

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

Fabício Vieira Andrade

**Projeções e avaliação do consumo de energia elétrica para
o setor residencial brasileiro a partir da técnica de
decomposição *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI)**

Fabício Vieira Andrade

**Projeções e avaliação do consumo de energia elétrica para
o setor residencial brasileiro a partir da técnica de
decomposição *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI)**

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.

Área de concentração: Engenharia Nuclear e da Energia

Linha de pesquisa: Planejamento Energético

Orientador: Ricardo Brant Pinheiro

Belo Horizonte
2014

A553p

Andrade, Fabrício Vieira.

Projeções e avaliação do consumo de energia elétrica para o setor residencial brasileiro a partir da técnica de decomposição Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) [manuscrito] Fabrício Vieira Andrade. – 2014. xv, 136 f., enc.: il.

Orientador: Ricardo Brant Pinheiro.

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

Anexos: f.125-136.

Bibliografia: f.118-124.

1. Engenharia nuclear – Teses. 2. Energia elétrica – Consumo – Teses. I. Pinheiro, Ricardo Brant. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia III. Título.

CDU: 621.039(043)



FOLHA DE APROVAÇÃO

Projeções e avaliação do consumo de energia elétrica para o setor residencial brasileiro a partir da técnica de decomposição Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI)

FABRICIO VIEIRA ANDRADE

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES, área de concentração ENGENHARIA NUCLEAR E DA ENERGIA.

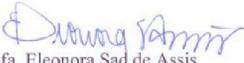
Aprovada em 29 de abril de 2014, pela banca constituída pelos membros:


Prof. Ricardo Brant Pinheiro - Orientador
Departamento de Engenharia Nuclear - UFMG


Dr. João Roberto Loureiro de Mattos
CDTN


Prof. Paulo Cesar da Costa Pinheiro
Departamento de Engenharia Mecânica - UFMG


Profª. Ângela Menin Teixeira de Souza
PUC/MG


Profa. Eleonora Sad de Assis
Escola de Arquitetura - UFMG

Belo Horizonte, 29 de abril de 2014.

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer ao meu orientador professor Ricardo Brant Pinheiro, ao Departamento de Engenharia Nuclear, a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), minha família e em especial, eu gostaria de agradecer à minha companheira e esposa Marta e nossa filha Sofia. Enquanto estivermos juntos, sempre chegaremos a algum lugar.

RESUMO

Neste trabalho é usada a técnica de decomposição *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI) para avaliar variações do consumo de energia elétrica no setor residencial no Brasil. Primeiro, o consumo de energia elétrica foi estimado a partir dos usos finais e depois foram elaboradas projeções para este consumo de 2005 a 2020. Os equipamentos considerados nas estimativas de consumo e projeções foram agrupados em sete categorias de usos finais, a saber: Aquecimento de água, Condicionamento de alimentos, Condicionamento de ambiente, Iluminação, Serviço, Lazer e Demais equipamentos. Na análise de decomposição, o consumo de energia elétrica foi desagregado em quatro efeitos: Atividade, Estrutura, Posse e Intensidade. Para cada categoria de uso final foram avaliados estes efeitos em períodos distintos e, desta forma, foi possível estimar como cada categoria e seus respectivos equipamentos, a quantidade de consumidores e a posse contribuíram para a variação no consumo de eletricidade no setor residencial. Dentre vários resultados, concluiu-se que o consumo de energia elétrica no setor residencial deverá alcançar 176 TWh em 2020, um aumento de 112% com relação a 2005. Também, percebe-se que grande parcela do aumento do consumo de energia elétrica seria devido ao efeito Atividade, que está associada ao aumento do número de domicílios ligados à rede de energia elétrica. No período 2005-2020, o efeito Atividade seria responsável por 56% do aumento de consumo de energia elétrica no setor residencial no Brasil.

ABSTRACT

This work aimed to apply the *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI) decomposition techniques to evaluate the variation of electricity consumption for the residential sector in Brazil for the period 2005-2020. Electricity consumption was decomposed into four effects/indicators: Activity, Structure, Intensity and Ownership. From the decomposition, it was possible to estimate how each category and its related appliances, the number of consumers and the ownership, have contributed to the variation of electricity consumption in the residential sector for the period 2005-2020. Among other results, we concluded that the electricity consumption in the residential sector in Brazil may reach 176 TWh in 2020. Indeed, we realize that a great amount of the rising of consumption is due to the Activity effect, which is closely related to the increase of the number of households. We may also consider that from 2005 to 2020, the Activity effect may be responsible for 56 percent of the increase of electricity consumption in the residential sector in Brazil.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVO.....	2
1.2	JUSTIFICATIVA.....	2
1.3	RELEVÂNCIA E ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	3
2.	O SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA....	5
2.1	A ESTRUTURA DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	7
2.2	A POSSE DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS E A QUANTIDADE DE DOMICÍLIOS.....	8
2.3	A RENDA DAS FAMÍLIAS, TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA E DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL.....	10
2.4	AS POLÍTICAS PÚBLICAS NO SETOR RESIDENCIAL.....	15
2.5	OS ESTUDOS SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA NO SETOR RESIDENCIAL.....	18
2.6	PRINCÍPIOS DO PLANEJAMENTO.....	31
2.7	MODELOS DE PROJEÇÕES DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	33
2.8	O MODELO LEAP.....	37
2.9	OS MÉTODOS DE ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO.....	41
2.10	A FORMALIZAÇÃO TEÓRICA DOS MÉTODOS DE DECOMPOSIÇÃO.....	43
2.11	OS MÉTODOS DE DECOMPOSIÇÃO PARA ANÁLISE ENERGÉTICA.....	45
2.12	O MÉTODO <i>LOGARITHMIC MEAN DIVISIA INDEX</i> (LMDI) E SUA APLICAÇÃO NO SETOR RESIDENCIAL.....	49
3.	METODOLOGIAS PARA ESTIMAR E PROJETAR O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO DESAGREGADO POR USOS FINAIS.....	53
3.1	A DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	56
3.2	DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE DOMICÍLIOS CONSUMIDORES EM CADA FAIXA DE RENDA.....	58
3.3	DETERMINAÇÃO DA POSSE DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS.....	58
3.4	DETERMINAÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DOS EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS	60
3.4.1	<i>CHUVEIRO ELÉTRICO</i>	60
3.4.2	<i>GELADEIRA E FREEZER</i>	65
3.4.3	<i>APARELHO DE AR CONDICIONADO E VENTILADORES</i>	66
3.4.4	<i>LÂMPADAS</i>	68
3.4.5	<i>APARELHO DE TELEVISÃO E COMPUTADORES</i>	72

3.4.6	<i>DEMAIS EQUIPAMENTOS</i>	73
3.5	PROJEÇÕES DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA ATÉ 2020	74
4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	88
5.	CONCLUSÕES	113
6.	REFERÊNCIAS	118
	APÊNDICES	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo de energia final para setor residencial.....	6
Figura 2 – Estrutura de consumo de energia elétrica no setor residencial em 2005, segundo PNE 2030.....	8
Figura 3 – Consumo per capita de energia e IDH para diversas nações em 2004.....	11
Figura 4 – Evolução do consumo de energia elétrica útil no Brasil, com relação ao IDH-M	12
Figura 5 – Evolução da desigualdade de renda familiar per capita no Brasil a partir do coeficiente de Gini, 1981-2009	13
Figura 6 – Consumo per capita de energia elétrica no setor residencial brasileiro	14
Figura 7 – Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial no Brasil	27
Figura 8 – Etapas do planejamento energético.....	33
Figura 9 – Fluxograma básico do modelo de simulação aplicado ao consumo de energia elétrica no setor residencial.	36
Figura 10 – Diferenças na estrutura de elaboração de cenários entre o LEAP e um modelo de Otimização.....	39
Figura 11 – “ <i>Layout</i> ” do módulo resultado no modelo LEAP	41
Figura 12 – Função logística e função exponencial	76
Figura 13 – Consumo de energia elétrica per capita por renda familiar em 2005.....	89
Figura 14 – Estrutura de consumo de energia elétrica no Brasil por categoria de uso final em 2005	90
Figura 15 – Comparação do consumo de energia elétrica do Ferro de passar roupa e do Aparelho de TV com relação aos demais equipamentos de suas categorias em 2005	91
Figura 16 – Projeção do consumo de energia elétrica no Brasil, para o setor residencial, desagregada por renda (PIB de 5,0% ao ano).....	94
Figura 17 – Projeção da estrutura de consumo de energia elétrica no setor residencial em 2020 (PIB de 5,0% ao ano).....	97
Figura 18 – Comparação das Projeções de consumo de energia elétrica para o cenário com maior PIB e melhor distribuição de renda versus menor PIB e pior distribuição de renda..	99

Figura 19 – Projeção do consumo de energia elétrica no Brasil, para o setor residencial, desagregada por renda (PIB de 4,0% e 3,0% ao ano).....	100
Figura 20 – Decomposição das variações de consumo de energia elétrica no Brasil (PIB 5,0% a.a) para o período 2005-2020.....	102
Figura 21 – Variação do consumo de energia associada ao efeito Atividade desagregada por estrato de renda (PIB 5,0% a.a), período 2005-2020.....	104
Figura 22 – Variação do consumo de energia elétrica associada ao efeito Estrutura desagregada por estrato de renda (PIB 5,0% a.a), período 2005-2020	105
Figura 23 – Variação do consumo de energia elétrica associada ao efeito Posse desagregada por estrato de renda (PIB 5,0% a.a), período 2005-2020	106
Figura 24 – Variação do consumo de energia elétrica associada ao efeito Intensidade desagregada por estrato de renda (PIB 5,0% a.a), período 2005-2020	107
Figura 25 – Projeção da estrutura de consumo de energia elétrica no setor residencial em 2020 para o PIB de 4,0% ao ano	110
Figura 26 – Decomposição das variações de consumo de energia elétrica para um PIB de 4,0% ao ano, período 2005-2020.....	111
Figura 27 – Decomposição das variações de consumo de energia elétrica para um PIB de 3,0% ao ano, período 2005-2020.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Números de alguns equipamentos eletroeletrônicos, por domicílio, no Brasil	9
Tabela 2 – Tarifas médias para classe de consumo residencial (em R\$/MWh), para o período 1996-2003, valores constantes de 2003 (IPCA).....	15
Tabela 3 – Posse média de equipamentos por domicílio em 2005.....	59
Tabela 4 – Limites de conforto térmico a partir das Tabelas de Mohoney	62
Tabela 5 – Quantidade de meses com desconforto por calor à noite nas principais cidades brasileiras.....	63
Tabela 6 – Tempo médio de banho e número de pessoas por domicílio em 2005.....	64
Tabela 7 – Consumo médio de refrigeradores e <i>freezers</i> e hábito de uso mensal em 2005 ..	65
Tabela 8 – Grau de utilização de aparelhos eletroeletrônicos	67
Tabela 9 – Parâmetros para estimar o consumo médio de energia elétrica a partir do estoque de aparelhos de ar condicionado em 2005.....	68
Tabela 10 – Potência e hábito de uso diário de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e outros tipos nos domicílios brasileiros de renda de até 3 SM, em 2005.....	69
Tabela 11 – Potência e hábito de uso diário de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e outros tipos nos domicílios brasileiros de renda entre 3 SM e 7 SM, em 2005	70
Tabela 12 – Potência e hábito de uso diário de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e outros tipos nos domicílios brasileiros de renda maior do que 7 SM, em 2005.....	71
Tabela 13 – Consumo médio mensal do estoque de aparelhos de televisão desagregado por estrato de renda, em 2005	72
Tabela 14 – Hábitos mensal e diário do uso do computador, em 2005.....	73
Tabela 15 – Consumo específico (kWh/ano) do estoque de equipamentos em 2005	74
Tabela 16 – Estimativas e projeções para o número de pessoas por domicílio para os três estratos de renda	77
Tabela 17 – Estimativas da utilização do computador para os três estratos de renda (total de dias por mês).....	82
Tabela 18 – Projeções da posse de equipamentos eletroeletrônicos, por domicílio, no Brasil, em 2020	85

Tabela 19 – Projeções do consumo específico a partir do estoque de eletroeletrônicos, em 2020 (kWh/ano).....	86
Tabela 20 – Consumo por domicílio para diferentes estratos de renda em 2005	88
Tabela 21 – Consumo de energia elétrica no setor residencial por categoria em 2005 (TWh/ano e %)	92
Tabela 22 – Comparação do consumo de energia elétrica no setor residencial (TWh)	93
Tabela 23 – Consumo de energia elétrica no setor residencial, por categoria, em 2020 para o PIB de 5,0% ao ano (TWh/ano e %)	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Alguns métodos utilizados na análise de decomposição de energia	48
Quadro 2 – Categorias de uso final e tipos de equipamentos	55
Quadro 3 – Variação do consumo de energia elétrica associada aos efeitos Posse e Intensidade desagregada por categoria de uso final (PIB 5,0% a.a), período 2005-2020 ..	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMDI – Divisia de Média Aritmética

BEN – Balanço Energético Nacional

CRT – Tubos de raios catódicos

DOE – Departamento de Energia dos Estados Unidos

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FLC – Lâmpadas fluorescentes compactas

GLP – Gás liquefeito de petróleo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IDH-M – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IEA – Agência Internacional de Energia

IICA – Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LEAP – *Long-range Energy Alternatives Planning System*

LCD – Display de cristal líquido

LED – Diodo emissor de luz

LMDI – Índice Divisia de Média Logarítmica

LPT – Programa Luz Para Todos

MCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

MME – Ministério de Minas e Energia

NOB/SUAS – Norma Operacional Básica do Sistema Único de Assistência Social

ONU – Organização das Nações Unidas

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PBF – Programa Bolsa Família

PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia

PIB – Produto Interno Bruto

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNE – Plano Nacional de Energia

POF – Pesquisa de Orçamentos Familiares

PPH – Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso no setor residencial

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SAS – Sistema de Aquecimento Solar

SAVE – Programa europeu de eficiência energética

SM – Salário mínimo

TMA – Temperatura média anual

LISTA DE SÍMBOLOS

E – consumo total de energia

N_{jki} – número de equipamentos N_{jki} na região i , do tipo j e na classe de renda k

c_j – consumo específico de energia de cada tipo de equipamentos j

p_j – potência de um tipo de equipamento j

t_j – tempo médio de horas de uso do equipamento j

f_{cc} – participação de uma classe de consumo pertencente a uma faixa de renda

E_{\max} – consumo máximo de uma classe de consumo

E_{\min} – consumo mínimo da respectiva classe de consumo

C_{jk} – Consumo total de um tipo de equipamento j em uma faixa de renda k

P_{jk} – posse de um tipo de equipamento j por domicílio e por faixa de renda k

ε – fator de degradação da eficiência conforme a idade

f_m – participação do modelo m equivalente em cada faixa de potência, quando se tratar do chuveiro elétrico, lâmpadas e condicionadores de ar; faixa de volume, quando se tratar de refrigeradores e *freezers*; e, faixa de polegadas, quando se tratar de aparelhos de televisão

C_m – consumo médio dos equipamentos pesquisados que se enquadraram nas respectivas faixas de potência

Co_k – consumo de energia elétrica para os outros equipamentos na faixa de renda k

$f_{c_{jk}}$ – participação de um tipo de equipamento j na faixa de renda k em %

f_{jk} – penetração do equipamento j na faixa de renda k

x_i – fatores de decomposição

α – parâmetro peso, sendo, por exemplo, $\alpha = 0$ (peso no ano base) e $\alpha = 1$ (peso ano final)

Q – quantidade total de domicílios consumidores ou efeito Atividade

q_{jk} – quantidade de um dado equipamento j no estrato de renda k

S_{jk} – efeito Estrutural de um tipo de equipamento j no estrato de renda k

P_{jk} – efeito Posse de um tipo de equipamento j no estrato de renda k

I_{jk} – efeito Intensidade de um tipo de equipamento j no estrato de renda k

T – temperatura média mensal horária (°C)

$T_{máx}$ – média mensal das temperaturas máximas (°C)

T_{min} – média mensal das temperaturas mínimas (°C)

v – ajuste da curva horária de temperatura, a partir da hora 0 até a hora 23

$f_{(inverno)}$ – proporção de domicílios que deixam a chave do chuveiro na posição inverno

$f_{(verão)}$ – proporção de domicílios que deixam a chave do chuveiro na posição verão

$n_{(não inverno)}$ – número de meses com predomínio de desconforto por calor à noite

$n_{(inverno)}$ – número de meses sem predomínio de desconforto por calor à noite

$f_{(n)}$ – proporção de equipamentos com idade de até cinco anos

$f_{(v)}$ – proporção de equipamentos com idade acima de cinco anos

h – hábito de uso mensal (dias/mês)

n – número de meses no ano (neste caso, doze meses)

$N(t)$ – função temporal de uma população

K – valor máximo de indivíduos no meio, ou seja, o valor de saturação

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica se caracteriza como um meio para obtenção de serviços essenciais à vida moderna. No setor residencial não é diferente. A energia elétrica é utilizada como meio para obtenção de serviços como aquecimento de água, iluminação de ambiente, conservação de alimentos, entretenimento e serviços em geral, que se traduzem em conforto e bem-estar para as famílias.

Neste contexto, pode-se dizer que compreender o setor residencial e o modo como ele consome energia elétrica passa pela compreensão dos hábitos de consumo e desejos dos consumidores, da relação da renda das famílias, do preço da energia e também das tecnologias utilizadas na geração dos serviços demandados.

Desta forma, estudos associados ao setor residencial devem ser trabalhos interdisciplinares e requerem um grande esforço dos profissionais envolvidos na interconexão das áreas de conhecimento. Portanto, os aspectos abordados neste trabalho são apenas um recorte do complexo setor residencial e devem ser vistos como “mais um passo” para sua compreensão.

Com o propósito de avaliar o consumo de energia elétrica e suas projeções no setor residencial brasileiro foi utilizada, neste trabalho, a técnica de decomposição *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI) para explicar as variações das projeções de consumo de energia elétrica no setor residencial a partir da quantificação dos efeitos de Atividade, Estrutura, Intensidade e Posse dos equipamentos de consumo de energia elétrica residencial. Neste caso, entenda-se Atividade, como a quantidade de domicílios; Estrutura, como a porcentagem de domicílios em um dado estrato de renda; Intensidade, como o consumo de energia de um dado serviço por equipamento; e, Posse, como a quantidade de um dado equipamento por domicílio consumidor. Para tanto, foram considerados sete categorias de uso final, a saber: Aquecimento de água, Condicionamento de alimentos, Condicionamento de ambiente, Iluminação, Serviços,

Lazer e Demais equipamentos e seus respectivos consumos de energia elétrica no ano de 2005 e 2010, e também sua projeção até 2020.

Para analisar a evolução do consumo de energia elétrica, foi desagregado o consumo por equipamentos, sendo estes associados a uma categoria de uso final. Os quatro efeitos considerados são determinados desagregando-se o consumo de energia elétrica como produto da quantidade de domicílios, da porcentagem de domicílios por estrato de renda, da intensidade e da posse de equipamentos e avaliando as variações dessas variáveis em momentos diferentes.

1.1 Objetivo

Um dos objetivos deste trabalho é desenvolver uma metodologia que permita estimar o consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro, desagregado pelos usos finais e por diferentes classes de renda. Também, pretende-se avaliar a evolução do consumo de energia elétrica neste setor em termos dos seus efeitos explicativos: efeito Atividade, associado ao número de domicílios consumidores de energia elétrica; efeito Estrutura, associado à proporção do número de domicílios por distribuição de renda, com relação ao total de domicílios; efeito Posse, associado à posse de cada tipo de equipamento eletroeletrônico por domicílio; e, finalmente, efeito Intensidade, associado ao consumo específico de cada tipo de equipamento. Desta forma, espera-se compreender melhor o comportamento e hábitos de consumo dos domicílios e, também, projetar melhor o consumo de energia elétrica no setor residencial.

1.2 Justificativa

Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), o consumo de energia elétrica no setor residencial chegará quase a triplicar em aproximadamente duas décadas, saindo de 112 TWh, em 2011 (BRASIL, 2012a), e alcançando 303 TWh em 2030, em um cenário mais otimista, do ponto de vista de consumo no setor residencial (BRASIL,

2007), consolidando o papel de segundo setor mais importante no consumo de eletricidade do Brasil, ficando apenas atrás do setor industrial.

Uma característica importante no setor residencial atual, no que tange ao consumo de energia elétrica, é que ele está passando por diversas modificações, seja por substituição de tecnologias, seja por mudanças de hábitos dos consumidores e também por penetração de novos equipamentos, ora mais eficientes, ora antes não existentes. Desta forma, avaliar como essas mudanças contribuem para o consumo de energia elétrica e para o aumento deste consumo, torna-se um problema de extremo interesse para sociedade, uma vez que, conhecido os efeitos de tais mudanças, podem-se sugerir melhores soluções para cenários futuros.

Apesar de sua relevância, poucas pesquisas têm sido desenvolvidas para este setor quando comparado, por exemplo, com o setor industrial. Isso se deve, dentre outros motivos, pelo fato de o setor residencial possuir características muito mais complexas do que os demais setores energéticos.

Portanto, esta tese espera contribuir quantitativamente, no que refere ao detalhamento do consumo de energia elétrica no setor residencial, e também, qualitativamente, do ponto de vista metodológico.

1.3 Relevância e organização da tese

No Brasil, poucos trabalhos foram desenvolvidos utilizando a análise de decomposição de índice, sendo estes voltados principalmente para o setor industrial. No caso do setor residencial, pode-se citar Achão (2009), que fez uma análise de decomposição das variações no consumo de eletricidade no Brasil. Nessa tese, a autora desagrega o consumo de energia elétrica por região para avaliar as variações estruturais no consumo devido às diferenças regionais e, posteriormente, o consumo por renda, para avaliar as variações estruturais no consumo da população de baixa renda com relação às outras classes.

Na presente tese, a análise de decomposição é utilizada para avaliar as variações no consumo de eletricidade, a partir dos usos finais, como também suas projeções de consumo. Com esta proposta, espera-se compreender a evolução do consumo no setor residencial e suas variações a partir das mudanças estruturais que vêm ocorrendo no setor e então, possibilitar subsídios para as políticas energéticas no Brasil.

O ineditismo deste trabalho está associado à integração de procedimentos metodológicos que permitem estimar o consumo de energia elétrica de forma desagregada, como também a utilização de uma metodologia de análise de decomposição para avaliar as projeções de consumo. A utilização desta metodologia para avaliar as projeções de consumo, principalmente no setor residencial, é uma novidade em estudos no Brasil.

Para tanto, a tese foi dividida em seis capítulos sendo o primeiro, este, em que são apresentados a introdução, o objetivo e a relevância deste trabalho. No Capítulo II é apresentada, com base em relatórios oficiais, a estrutura de consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro, a técnica de análise de decomposição *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI) e, também, algumas variáveis importantes para o consumo de energia. No capítulo seguinte, é apresentada a metodologia utilizada para caracterização do consumo de energia elétrica por usos finais para o ano de 2005. No Capítulo IV, são apresentados os resultados das estimativas de consumo a partir das hipóteses consideradas no capítulo III, as projeções de consumo e a análise de decomposição de energia para os períodos 2005-2010, 2010-2015 e 2015-2020. As conclusões são apresentadas no Capítulo V e o trabalho é fechado com um capítulo de referências bibliográficas e um apêndice.

2. O SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

O setor residencial é um dos principais responsáveis pelo consumo de energia elétrica no país. Segundo o Balanço Energético Nacional – BEN 2012 (BRASIL, 2012a), o setor residencial foi responsável pelo consumo de 23,6% da energia elétrica total, em 2011, ficando atrás apenas do setor industrial, com 46,3%.

Depois do racionamento de energia elétrica, em 2001, percebeu-se que o consumo das famílias tem-se elevado significativamente, retomando a trajetória de crescimento de antes da crise. Somente nos últimos anos, entre 2005 e 2011, o consumo neste setor, em média, cresceu 5,1% ao ano (BRASIL, 2012b). Dentre os principais motivos desse aumento, pode-se citar a melhoria de renda, a aquisição de novos equipamentos eletroeletrônicos e mudanças de hábitos de consumo.

Quantitativamente, o consumo de energia elétrica no Brasil, em 2011, correspondeu a 480 TWh, sendo que o setor residencial foi responsável por 112 TWh (BRASIL, 2012a). Conforme pode ser visto na Figura 1, a energia elétrica é o principal insumo energético consumido no setor, ultrapassando a lenha que foi por muitos anos o mais consumido.

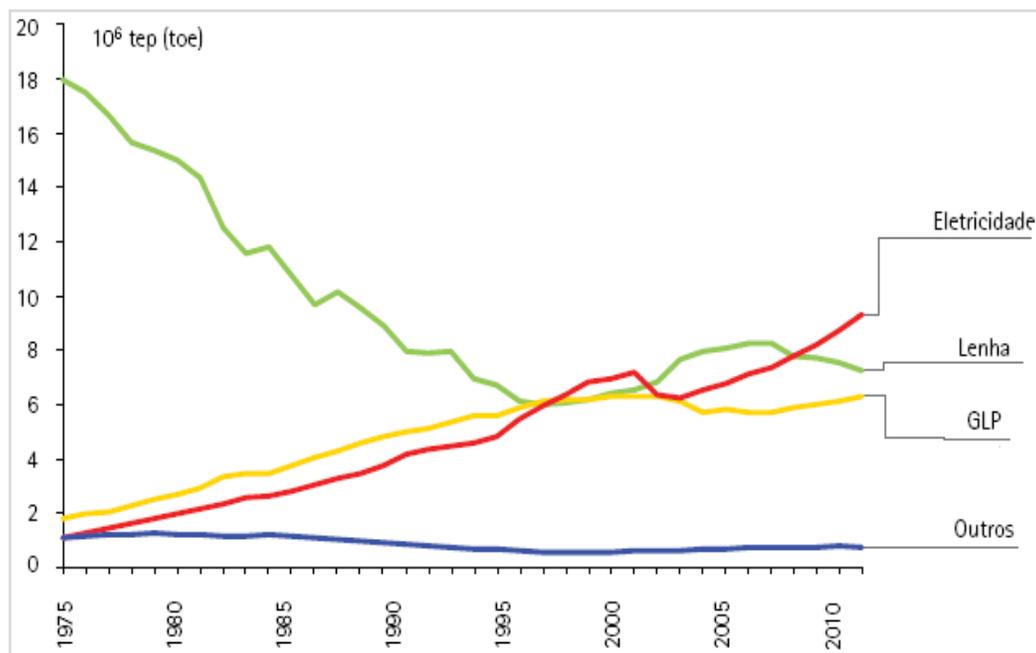


Figura 1 – Consumo de energia final para setor residencial

Fonte: Brasil (2012a)

Conforme a Figura 1, o consumo de lenha sofreu uma redução significativa no fim do século XX, quando comparado com o consumo de outros insumos energéticos no setor residencial. O uso da lenha, neste setor, é basicamente para cocção e sua substituição, principalmente pelo GLP, está relacionado com o aumento da urbanização, com o preço do GLP e com a crescente dificuldade de se obter lenha nas zonas urbanas e até mesmo nas zonas rurais.

No caso da energia elétrica, objeto desse estudo, a série histórica mostra que o consumo de energia cresceu significativamente nos últimos 35 anos e, de acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2020), o consumo vai aumentar, em média, 4,5% ao ano no período 2011 a 2020, chegando a 167 TWh, no final da projeção. Neste período espera-se que o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro cresça, em média, 5,0% ao ano (BRASIL, 2011a).

2.1 A estrutura de consumo de energia elétrica

De acordo com o Plano Nacional de Energia (PNE 2030), o setor residencial brasileiro consumiu energia elétrica, em 2005, para as seguintes finalidades: aquecimento de água, condicionamento de alimentos e iluminação de ambientes, sendo que somente estas três categorias foram responsáveis pelo consumo de 80% de toda energia elétrica neste setor (BRASIL, 2007).

O uso de aquecimento de água no setor residencial é quase totalmente para banho e a principal tecnologia associada é o chuveiro elétrico. Outras tecnologias como *boiler* elétrico, aquecedor de passagem e aquecedor central são de uso desprezível em comparação com o chuveiro elétrico. Segundo ELETROBRÁS/PROCEL (2007), do número de domicílios que usaram energia elétrica como fonte de aquecimento de água, em 2005, 99,6% o fez utilizando chuveiro elétrico. Já no caso de outras fontes de energia, apenas 5,9% dos domicílios utilizaram “gás de rua” ou GLP e, apenas 0,4% utilizaram energia solar, sendo que, do total de domicílios, 18,2% não aqueciam água de nenhuma maneira.

A Figura 2 mostra a estrutura de consumo de energia elétrica para o setor residencial brasileiro por equipamentos, segundo o PNE 2030 para o ano de 2005.

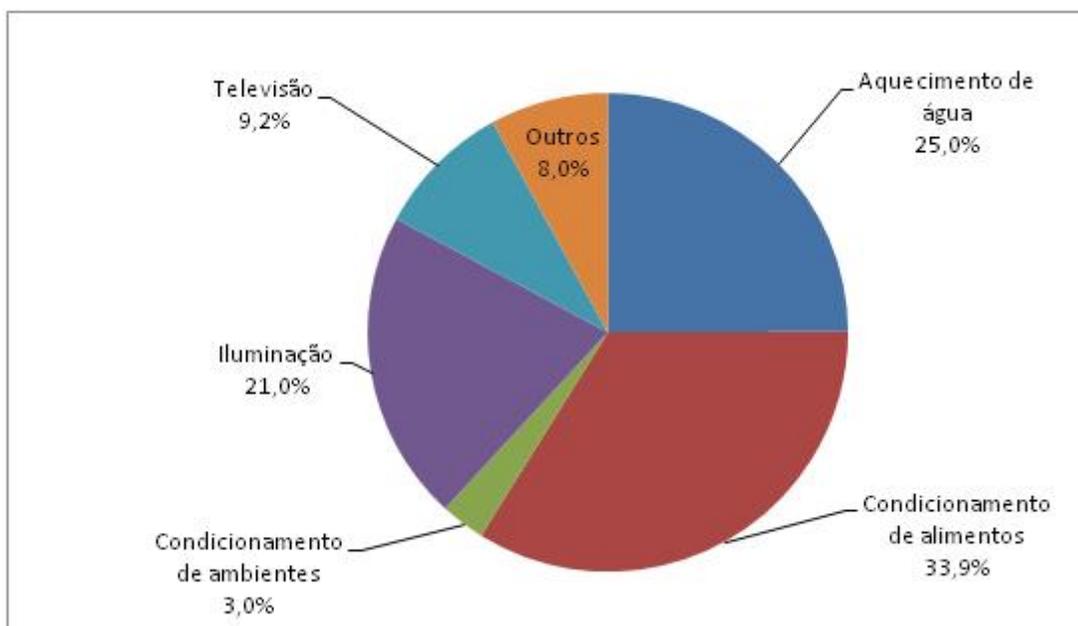


Figura 2 – Estrutura de consumo de energia elétrica no setor residencial em 2005, segundo PNE 2030

Fonte: Elaboração própria a partir de Brasil (2007)

Conforme apresentado na figura acima, a categoria Condicionamento de Alimentos (composta por refrigeradores e *freezers*) foi a maior responsável pelo consumo de eletricidade no setor residencial, com 33,9% de toda energia elétrica. Dentre os equipamentos eletroeletrônicos utilizados para lazer, o aparelho de televisão é destaque, consumindo 9,2% de energia elétrica. Os outros equipamentos, correspondendo a 8,0% na estrutura de consumo, são aqueles aparelhos eletroeletrônicos como computador, forno de micro-ondas, ferro de passar roupa e demais equipamentos.

2.2 A posse de equipamentos eletroeletrônicos e a quantidade de domicílios

Tanto a posse de equipamentos quanto a quantidade de domicílios são variáveis que estão relacionadas diretamente com o consumo de eletricidade, ou seja, espera-se que quanto maiores a posse e o número de domicílios, maior seja o consumo.

A evolução da posse de equipamentos no setor residencial pode ser observada baseando-se nas duas últimas pesquisas desenvolvidas pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), em 1999 e em 2005

(ELETROBRÁS/PROCEL, 1999; ELETROBRÁS/PROCEL, 2007). Quando se compara a posse de equipamentos nos distintos momentos, percebe-se que houve um crescimento para todos os equipamentos. Na Tabela 1 é mostrada a posse média, por domicílio, em 1998 e 2005, para diversos equipamentos.

Tabela 1 – Números de alguns equipamentos eletroeletrônicos, por domicílio, no Brasil

EQUIPAMENTOS	1998	2005
Chuveiro	0,64	0,89
Geladeira	0,84	1,00
Ar condicionado	0,12	0,16
Lâmpada	7,30	8,02
Aparelho de TV	1,37	1,41
<i>Freezer</i>	0,18	0,24

Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL (1999; 2007)

Esse aumento é resultado, de certa forma, da melhoria da renda das famílias brasileiras, principalmente das famílias de baixa renda, e também da facilidade de crédito, que proporcionou o financiamento de equipamentos até então considerados inacessíveis para muitos brasileiros.

Merece destacar nessa tabela a significativa quantidade de aparelhos de TV, por domicílio; ainda, apesar de ter aumentado pouco a quantidade média de lâmpadas, por domicílio, o número de lâmpadas fluorescentes compactas (FLC) aumentou significativamente, como será discutido posteriormente.

A atividade no setor residencial pode ser associada ao número de consumidores. Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD 2009 (IBGE, 2010), havia no Brasil 58,6 milhões de domicílios, em 2009, sendo que 99% desses domicílios possuíam energia elétrica. Desses domicílios que possuíam energia elétrica, infelizmente, nem todos são consumidores legalmente atendidos pelas concessionárias brasileiras como aponta Araujo (2007). Segundo ele, em 2005, 15% da energia elétrica

demandada no setor residencial foi perdida na distribuição, sendo que 32% desta energia (4,8% do total) foram consideradas perda não técnica, ou seja, desvios de energia ou erros associados à má gestão de faturamento de consumo de energia nos domicílios. Comparando o número de domicílios eletrificados no Brasil, em 2005, com o número de consumidores declarados pelas concessionárias no mesmo ano (ACHÃO, 2009) corresponderia a aproximadamente 5,5% dos domicílios brasileiros não pagando energia elétrica. Dentre as regiões brasileiras, as regiões Norte e Nordeste são as que apresentam maiores índices de perda não técnica de energia.

2.3 A renda das famílias, tarifas de energia elétrica e demanda de energia elétrica no setor residencial

A associação da qualidade de vida e bem-estar das famílias com o consumo de energia, em particular com a elétrica, é inquestionável, principalmente para as classes de baixa renda. Quando a eletricidade chega até as comunidades isoladas, é fato que ocorre uma ampliação de oportunidades de desenvolvimento econômico, social e cultural, tanto que projetos de eletrificação para toda população tornaram-se pauta constante na agenda dos últimos governos no Brasil. Nestes termos, a Figura 3 mostra a relação entre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) com o consumo de energia entre várias nações para um mesmo período, sendo que as nações com maiores índices são, a maioria delas, desenvolvidas.

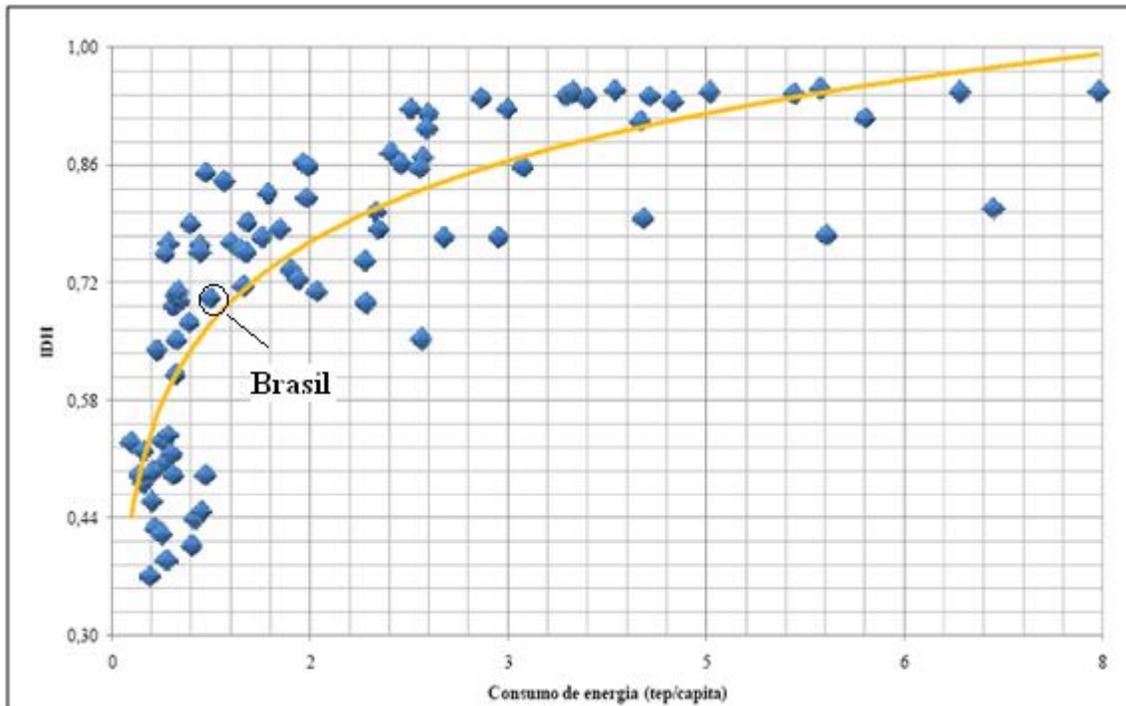


Figura 3 – Consumo per capita de energia e IDH para diversas nações em 2004

Fonte: Pereira (2007)

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o IDH do Brasil é 0,699 (ONU, 2010), indicando que o país está no meio da curva, portanto, considerado um país em desenvolvimento. É interessante notar na figura que, a curva indica que a partir de um dado ponto, parece ocorrer uma saturação no índice, desta forma, um aumento no consumo de energia não contribui significativamente para variação do IDH, como mostram os casos de países desenvolvidos.

Especificamente no caso do setor residencial e do consumo de eletricidade, ocorre uma correlação entre o consumo de energia e indicadores de desenvolvimento humano, entretanto, percebeu-se que há um período em que a qualidade de vida aumenta, sem necessariamente ocorrer um aumento no consumo de eletricidade, o que pode ser observado na Figura 4.

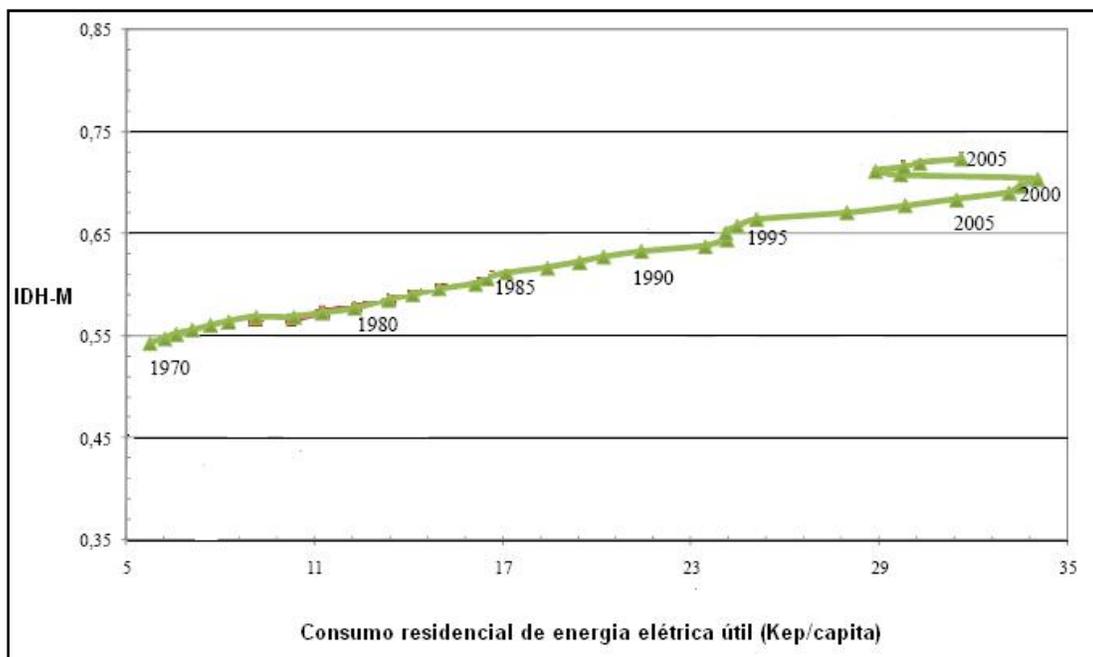


Figura 4 – Evolução do consumo de energia elétrica útil no Brasil, com relação ao IDH-M

Fonte: Pereira (2007)

A Figura 4 apresenta o IDH-M, que representa um indicador de desenvolvimento humano baseado nos municípios. Como pode ser visto, durante o período do racionamento de energia elétrica, que ocorreu em 2001, houve uma ligeira elevação do IDH-M sem necessariamente elevar o consumo. Isto indica que, em períodos onde ocorrem mudanças estruturais no consumo de energia elétrica, pode haver permanência ou melhoria na qualidade de vida sem ocorrer elevação no consumo de energia. De certa forma, essas mudanças estruturais, provavelmente, podem estar associadas à mudança de hábitos de consumo e também à melhoria de eficiência dos equipamentos eletrodomésticos e eletrônicos.

Uma variável importante, que está associada a indicadores de qualidade de vida e consumo de energia elétrica, é a renda das famílias (ANDRADE e LOBÃO, 1997). Historicamente, o nível de desigualdade de renda no Brasil sempre foi elevado e, somente a partir da década de 1990, esse quadro indica uma tendência positiva com relação à melhoria da distribuição de renda, Figura 5.

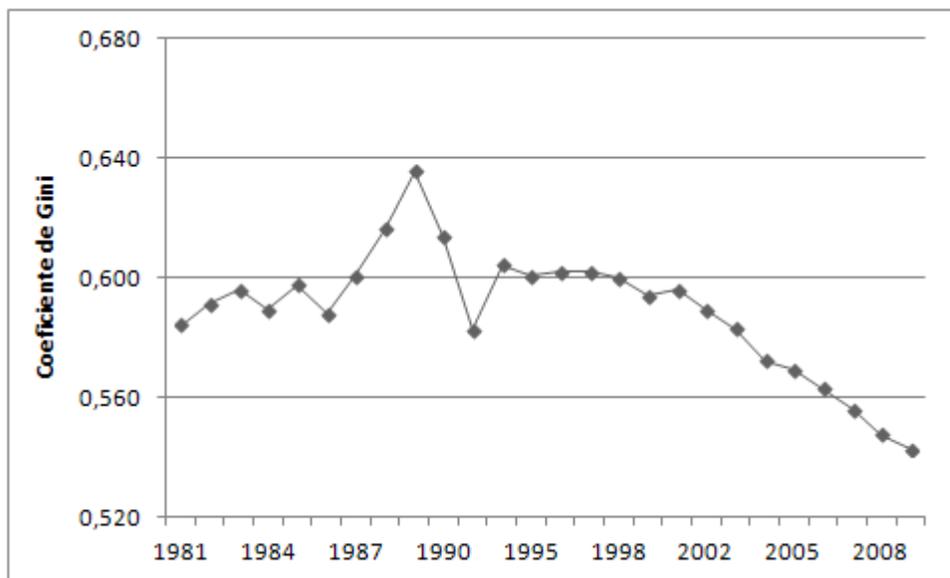


Figura 5 – Evolução da desigualdade de renda familiar per capita no Brasil a partir do coeficiente de Gini¹, 1981-2009

Fonte: Elaboração própria a partir de IPEA (2013)

Conforme pode ser visto na Figura 5, o índice de Gini para o Brasil reduziu a partir da década de 1990 e mostra uma tendência decrescente. De fato, o Brasil nos últimos anos tem vivido uma experiência nova com relação à distribuição de renda. Somente na última década, entre 2003 e 2008, a classe de renda considerada C passou de 37% da população brasileira para 49%, enquanto a classe de renda E² passou de 28% para 16% (BRASIL, 2010a). Esta mudança na economia brasileira indica, no mínimo, que milhões de pessoas estão mudando suas perspectivas, sendo que uma possibilidade vislumbrada é a pretensão de serviços que antes não eram possíveis, dada suas condições financeiras.

No caso do consumo de energia elétrica per capita no setor residencial no Brasil, percebe-se que o consumo médio reduziu nos primeiros anos após o ano 2000, conforme pode ser constatado na Figura 6, entretanto, a tendência de crescimento foi retomada na década atual.

¹ O coeficiente de Gini é um índice que mede a desigualdade de distribuição de renda. Quanto mais próximo de 1, maior será a concentração de renda, logo haverá mais desigualdade e, quanto mais próximo de zero, menor a concentração e menor a desigualdade.

² Segundo a Fundação Getúlio Vargas, a Classe E representa as famílias que receberam até R\$ 1.085,00 e a Classe C representa as famílias que receberam entre R\$ 1.734,00 e R\$ 7.475,00, em valores de julho de 2011.

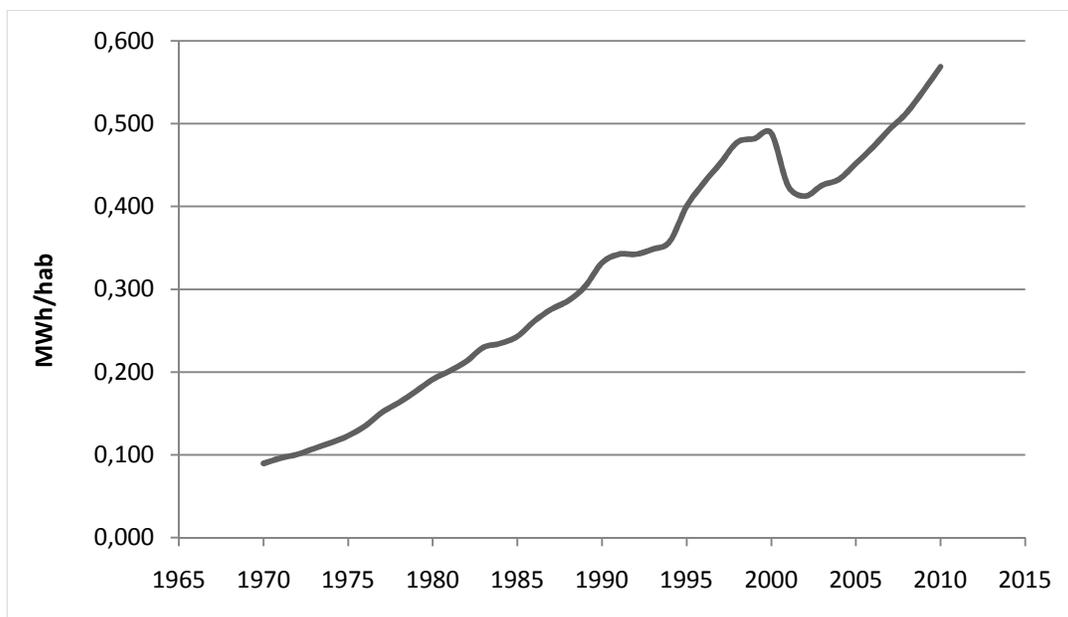


Figura 6 – Consumo per capita de energia elétrica no setor residencial brasileiro

Fonte: Brasil (2012b)

No período do racionamento de energia, a limitação do uso de energia elétrica no setor residencial foi o principal motivo da redução de consumo. Esta limitação veio principalmente devido à elevação do preço da energia elétrica para aqueles domicílios que ultrapassassem os limites de consumo estimado pelo governo. Restabelecida a normalidade da oferta de energia, o consumo voltou a crescer. Vários motivos têm contribuído para o aumento do consumo de energia elétrica, entre eles: políticas de eletrificação, como o programa “Luz para todos” (PLT); políticas de distribuição de renda, como o programa “Bolsa família” (PBF) e também, não menos importante, programas habitacionais, como o programa “Minha casa, Minha vida” (MCMV), além da redução do número de pessoas por domicílios. Ainda assim, o consumo poderia ser maior se não fosse a elevação da tarifa de energia, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Tarifas médias para classe de consumo residencial (em R\$/MWh), para o período 1996-2003, valores constantes de 2003 (IPCA)

Ano	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Variação 1996-2003 (%)
Belém	185,18	192,35	200,00	190,65	213,95	240,97	225,90	303,26	63,8
Belo Horizonte	164,53	170,25	203,36	217,01	238,68	258,23	260,90	317,10	92,7
Curitiba	168,94	189,00	201,08	184,58	223,30	243,30	239,90	277,71	64,4
Distrito Federal	183,65	190,47	194,39	178,44	227,80	245,54	256,75	291,08	58,5
Fortaleza	177,56	190,81	205,81	198,95	221,87	236,66	246,49	299,05	68,4
Goiânia	181,67	196,28	198,15	181,89	227,23	243,36	252,00	232,87	28,2
Porto Alegre	181,99	197,74	211,54	208,27	235,50	262,19	266,97	290,06	59,4
Recife	180,38	186,78	195,24	179,22	169,13	197,96	207,65	246,51	36,7
Rio de Janeiro	184,02	197,82	214,58	242,96	263,77	307,82	273,55	269,64	46,5
Salvador	171,48	189,89	201,76	195,16	214,32	228,46	236,50	287,37	67,6
São Paulo	228,16	238,86	217,20	222,54	246,24	253,31	286,50	306,92	34,5
Brasil Metropolitano	185,51	197,32	199,74	205,37	234,66	253,54	262,58	292,10	57,5

Fonte: Aguiar, et. al. (2007)

A tabela acima mostra que, em média, houve uma variação de 57,5% com relação a 1996 e 2003 para o Brasil metropolitano. Vale destacar que em Belo Horizonte o aumento chegou a quase 93%, neste mesmo período. Provavelmente, esta elevação na tarifa pode ter contribuído para conter a demanda no setor residencial, apesar da melhoria da renda das famílias brasileiras.

Contudo, nos últimos anos, como dito anteriormente, o consumo de energia elétrica no setor residencial cresceu, chegando à média de 145 kWh/mês, por domicílio, em 2009, e, segundo projeções do PNE 2030, este consumo poderá dobrar até 2030. Este cenário indica que, mais do que nunca, é necessário pensar em políticas de conservação e melhoria da eficiência energética no setor residencial, principalmente pelo lado da demanda.

2.4 As políticas públicas no setor residencial

No início do século XXI, a partir de ações governamentais, foram implementadas algumas políticas públicas sociais, as quais têm contribuído diretamente nas

possibilidades de consumo de bens e serviços e têm induzido a melhoria da qualidade de vida da população. Essas políticas públicas têm alavancado por um lado o bem estar da população, principalmente da mais pobre, e por outro lado, também, têm contribuído para aumentar a demanda de energia elétrica no setor residencial. Segundo o Balanço Energético Nacional, somente no período 2002-2011, o consumo de energia elétrica no setor residencial aumentou 54% (BRASIL, 2012a). Dentre os motivos para este aumento, pode-se citar a melhoria da renda das famílias e o acesso à energia elétrica, sendo que estes, de alguma forma, foram induzidos por estas políticas sociais que serão explicitadas neste trabalho, por serem de grande abrangência nacional e pelo efeito que têm causado no consumo de energia elétrica no setor residencial, como segue.

O Programa Bolsa Família (PBF): Segundo as diretrizes estabelecidas pelo Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, o Programa “Bolsa Família”, instituído pela Lei nº 10.836/04, de 09/01/2004 (BRASIL, 2004a), é um programa de transferência direta de renda. Este programa é uma política de governo e integra o programa “Fome Zero”, cujas prerrogativas visam a proporcionar o direito humano à alimentação adequada, de forma a contribuir para a conquista da cidadania pela população mais vulnerável à fome. Ele tem abrangência em todo território nacional e, em 2006, o PBF atingiu a sua meta de cobertura de 11 milhões de domicílios (SOARES e SÁTYRO, 2009).

A seleção dos beneficiários obedece aos critérios de vulnerabilidade, normatizados através da Norma Operacional Básica do Sistema Único de Assistência Social - NOB/SUAS, sendo que os objetivos básicos do PBF são³: a) promover o acesso à rede de serviços públicos, em especial, de saúde, educação e assistência social; b) combater a fome e promover a segurança alimentar e nutricional; c) estimular a emancipação sustentada das famílias que vivem em situação de pobreza e extrema pobreza; d) combater a pobreza; e) promover a intersetorialidade, a complementaridade e a sinergia das ações sociais do Poder Público.

³ Decreto 5.209, de 17/09/04, Art. 4º, incisos I a V (BRASIL, 2004b).

O Programa Luz Para Todos (PLT): Criado em 2003, pelo Decreto nº 4.873, o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica, denominado “Luz para Todos” (BRASIL, 2003), é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). Ele é uma política de eletrificação de abrangência nacional tendo como principal objetivo a ampliação do acesso de energia elétrica à população que não possui este serviço público, com foco na área rural do território brasileiro, localizada principalmente nas regiões Nordeste e Norte do Brasil.

Conforme Relatório do IICA (2011), entre 2003 e 2006 havia no país aproximadamente dois milhões de domicílios rurais sem eletrificação, o que correspondia a 80% do total nacional da exclusão elétrica, sendo que 90% destes domicílios possuíam renda inferior a três salários mínimos e se situam, na maioria, em regiões de baixo Índice de Desenvolvimento Humano. Esta meta inicial de cobertura do Programa Luz para Todos para dois milhões de residências foi atingida em 2009, chegando a 2,6 milhões em 2010 e 3,04 milhões em 2013, o que corresponde ao atendimento de 14,83 milhões de pessoas residentes em áreas rurais do país (BRASIL, 2013a).

Convém destacar que os impactos na economia brasileira proporcionados pela implementação do PLT, com ação integrada a outros programas governamentais, produziram um aumento no consumo de bens de uso domiciliar, com efeitos diretos sobre a demanda de energia, contribuindo para o desenvolvimento econômico e social.

O Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV): O Programa “Minha Casa Minha Vida” é uma política habitacional gerido pelo Ministério das Cidades e operacionalizado pela Caixa Econômica Federal, com ação integrada do Ministério da Fazenda e do Planejamento, Orçamento e Gestão, dos Estados, municípios e iniciativa privada. Criado em 2009 pela Lei nº 11.977 (BRASIL, 2009), com o objetivo de criar mecanismos de incentivo à produção e aquisição de novas unidades habitacionais ou requalificação de imóveis urbanos e produção ou reforma de habitações rurais, para famílias com renda mensal de dez salários mínimos; em 2011 esta Lei foi reformulada limitando esta renda para o valor fixo de R\$ 4.650,00 (quatro mil, seiscentos e

cinquenta reais). O programa MCMV contempla dois outros programas nacionais, que são o de Habitação Urbana e o de Habitação Rural.

No tocante à política habitacional do programa MCMV, esta consiste no fornecimento de subsídios proporcionalmente à renda familiar do requerente que ainda não possui moradia, principalmente aqueles que se encontrem na faixa de 0 a 3 salários mínimos. A meta inicial do programa MCMV consistia na disponibilidade de um milhão de novas unidades habitacionais, expandindo esta meta no momento atual para mais dois milhões, para famílias com renda bruta mensal conforme os parâmetros definidos em lei (CEF, 2013).

2.5 Os estudos sobre o consumo de energia no setor residencial

Atualmente os estudos sobre o consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro esbarram na limitação de referências desenvolvidas para este setor e, principalmente, no que tange a coerência de metodologias e escassez de dados atualizados e desagregados por classe de renda e região. Desta forma, neste capítulo, são apresentados alguns trabalhos recentes que foram utilizados como referência para o desenvolvimento desta tese. Aqui é possível notar distintas metodologias, por conseguinte, diferentes resultados, como também, percebe-se um grande esforço dos autores em organizar e acoplar diferentes e escassas fontes de dados com o intuito de descrever e compreender melhor a dinâmica do setor residencial brasileiro. Como esta tese trata do consumo de energia elétrica no setor residencial, foram recortados apenas aspectos associados a este tipo de energia nos trabalhos escolhidos.

1) *Análise da Estrutura de Consumo de Energia pelo Setor Residencial* (ACHÃO, 2003)

O principal objetivo deste trabalho consiste em determinar e analisar a estrutura de consumo de energia do setor residencial e mostrar as diferenças de consumo associadas ao nível de renda e às diferenças regionais.

Para isso, a autora analisou o consumo de energia no setor residencial para diferentes usos finais e classes de renda nas distintas regiões do país, na década de 1990 e início de 2000, sendo que as classes de renda familiar adotadas foram as seguintes:

- Classe I: menos de 2 salários mínimos
- Classe II: de 2 a 3 salários mínimos
- Classe III: de 3 a 5 salários mínimos
- Classe IV: de 5 a 10 salários mínimos
- Classe V: mais de 10 salários mínimos

Para determinar o consumo de energia total no setor residencial, foi considerado o número de equipamentos N_{jki} na região i , do tipo j e na classe de renda k e o coeficiente de consumo específico de energia c_j de cada aparelho, de modo que a energia final (E) é dada por:

$$E = \sum_i^n \sum_k^l \sum_j^m N_{jki} \cdot c_j \quad (1)$$

Foram consideradas seis categorias de uso final: Aquecimento de água, Serviços gerais, Conservação de alimentos, Condicionamento de ambientes, Lazer e Iluminação, sendo que para todos os equipamentos que pertencem a cada categoria, o consumo específico pode ser estimado por:

$$c_j = p_j \cdot t_j \quad (2)$$

em que, p_j significa a potência de um tipo de equipamento j e t_j o tempo médio de horas de uso do equipamento j .

Também, para cada categoria de uso final, foram feitas as seguintes considerações:

- a) Aquecimento de água; a tecnologia mais comum utilizada no Brasil é o chuveiro elétrico. Para estimar o número deste equipamento por classe de renda e região, foram utilizados os dados da Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo (ELETROBRÁS/PROCEL, 1999), que fornece o número médio de chuveiros por domicílio, de acordo com a concessionária de energia elétrica. Para as classes de renda até cinco salários mínimos, considerou-se um equipamento de potência 1,5 kW. Para as demais classes, considerou-se um equipamento de potência igual a 3,5 kW. O tempo médio de uso desta tecnologia por domicílio foi estimado a partir do tamanho da família e considerou-se a duração média do banho de 10 minutos.
- b) Serviços gerais; nesta categoria foram considerados os seguintes aparelhos: aspirador de pó, batedeira, enceradeira, ferro de passar roupa, forno de micro-ondas, liquidificador, máquina de costura, máquina de lavar louça, máquina de lavar roupa, máquina de secar roupa, microcomputador, secador de cabelo e torradeira elétrica. O consumo de energia elétrica associado a Serviços gerais foi estimado a partir do número de equipamentos de cada tipo, por classe de renda e por região, e do coeficiente de consumo específico de energia de cada aparelho. O levantamento do número de equipamentos foi obtido através da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) (IBGE, 1996).
- c) Para a categoria Conservação de alimentos; os equipamentos utilizados são: refrigerador e *freezer*;
- d) Para a categoria Condicionamento de ambientes; os equipamentos utilizados são: ar condicionado e ventilador;
- e) Para a categoria Lazer; as tecnologias associadas são: aparelho de televisão, videocassete e aparelho de som;
- f) Para a categoria Iluminação: lâmpadas incandescentes de 60 W, sendo considerada uma unidade para cada cômodo do domicílio.

Também, nestas categorias, foi utilizada a mesma fonte de dados do IBGE (1996) para estimar o número de equipamentos de cada tipo, por classe de renda e por região, e o coeficiente de consumo específico de energia de cada aparelho, exceto para a categoria de Iluminação, em que o consumo específico foi multiplicado por de 0,65 para justificar o fato de que nem todas as lâmpadas ficam acessas ao mesmo tempo.

A autora aponta que, devido à dificuldade na obtenção dos dados para alimentar o modelo proposto, ela realizou um levantamento das referências existentes e considerou potências e horas de uso padronizadas para todas as regiões para cada tipo de equipamento.

As conclusões deste trabalho com relação ao consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro apontam um expressivo aumento na aquisição de aparelhos eletroeletrônicos e, como consequência, um aumento no consumo de energia elétrica na década de 1990; também, em contrapartida, percebeu-se um aumento na participação de equipamentos eletroeletrônicos com maior eficiência.

Com relação às classes de renda, foi observado que há uma expressiva desigualdade no consumo de energia elétrica, privilegiando o acesso aos padrões de conforto proporcionados pela sociedade urbano-industrial moderna às classes de maiores rendas. Em contrapartida, o maior uso da lenha encontra-se nas classes mais baixas, onde o conforto doméstico é menor.

2) *Padrões de Eficiência Energética para Equipamentos Elétricos de Uso Residencial* (MELO, 2009)

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo para avaliação dos impactos da adoção de índices mínimos de eficiência energética para equipamentos eletroeletrônicos no setor residencial. Em específico, pretende-se estimar e projetar o consumo de energia elétrica de equipamentos eletroeletrônicos no setor residencial brasileiro e avaliar os impactos do potencial de conservação de energia elétrica neste setor.

A partir dos dados da pesquisa ELETROBRÁS/PROCEL (2007), foi elaborada a estrutura de consumo de energia elétrica no setor residencial por usos finais, conforme classificação, a seguir:

- a) Iluminação: lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas;
- b) Refrigeração de alimentos: refrigeradores e *freezers*;
- c) Condicionamento de ar: ar condicionado;
- d) Televisores;
- e) Aquecimento de água para banho: chuveiros elétricos;
- f) Outros equipamentos.

O consumo total de energia, por faixas de renda k e para cada região, foi estimada, como:

$$E_k = \sum_{cc} f_{cc} \cdot \left(\frac{E_{max} + E_{min}}{2} \right)_{cc} \quad (3)$$

onde, f_{cc} é a participação da classe de consumo cc ; E_{max} é o consumo máximo e E_{min} é o consumo mínimo da respectiva classe de consumo, sendo que o consumo de cada uso final é dado por:

$$C_{jk} = P_{jk} \cdot \varepsilon \cdot \sum_m (f_m \cdot C_m) \quad (4)$$

em que, P_{jk} é a posse de equipamento j por domicílio e por faixa de renda k , ε é o fator de degradação da eficiência conforme a idade e, f_m é a participação do modelo m equivalente em cada faixa de potência, quando se tratar do chuveiro elétrico, lâmpadas e condicionadores de ar; faixa de volume, quando se tratar de refrigeradores e *freezers*; e, faixa de polegadas, quando se tratar de aparelhos de televisão; sendo que C_m é o

consumo médio dos equipamentos pesquisados que se enquadram nestas respectivas faixas de potência descritas anteriormente e, para cada faixa de renda o consumo de energia elétrica para os outros equipamentos é dado por:

$$CO_k = \left(\sum_{cc} f_{cc} \cdot \left(\frac{E_{max} + E_{min}}{2} \right)_{cc} \right) - \sum_j^m C_{jk} \quad (5)$$

Ainda, para estimar a participação dos usos finais por faixas de renda foi utilizada a relação:

$$fC_{jk} = f_{jk} \cdot \left(\frac{C_{jk}}{E_k} \right) \cdot 100 \quad (6)$$

onde, fC é a participação do uso final em %, f é a penetração do equipamento na faixa de renda.

Para fazer as projeções de consumo de energia elétrica, foram propostas quatro etapas:

- Diagnóstico de consumo dos equipamentos por classe de renda;
- Elaboração de um modelo para projeção de posse de equipamentos por classes de renda;
- Projeção de cenários;
- Análise comparativa.

Neste modelo de projeção de consumo de energia é utilizado um modelo misto de projeção, agregando um método de regressão econométrica para avaliar a penetração de equipamentos por classe de renda e utiliza-se um modelo logístico para o sucateamento dos equipamentos em função da idade. Desta forma, os cenários dependem da variação do estoque a cada ano, dadas as distintas possibilidades de penetração destes equipamentos com diferentes eficiências.

Como conclusão, o autor percebeu diferenças na estrutura de consumo de energia elétrica de acordo com a distribuição de renda das famílias: nos domicílios de baixa renda, o consumo domiciliar se distribui basicamente para os usos de aquecimento de água, condicionamento de alimento, iluminação e televisão; para as classes de renda acima de 10 salários mínimos, estes mesmos equipamentos são responsáveis por aproximadamente metade do consumo total de energia elétrica na residência.

Também a estimativa de potencial de conservação de energia para um cenário economicamente viável, sob a perspectiva da sociedade, seria de 20 TWh, para refrigeradores, aparelhos de ar condicionado, lâmpadas e aparelhos de televisão, sendo que esta estimativa é maior do que a estimativa de potencial de conservação de energia no cenário técnico apresentado pelo PNE 2030, para o setor residencial.

3) *Electricity End-uses in the Residential Sector of Brazil* (GHISI *et al.*, 2007)

O principal objetivo deste trabalho é avaliar o consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro e estimar os usos finais de energia elétrica, para diferentes zonas bioclimáticas.

A análise é baseada na pesquisa realizada por ELETROBRÁS/PROCEL (1999), que obteve informações de uma amostra no total de 17.643 casas e apartamentos em mais de 12 estados do Brasil, em uma área de abrangência de 17 concessionárias de energia. Esta pesquisa foi realizada com intuito de obter dados do consumo de energia elétrica para todos os eletrodomésticos encontrados em casas e apartamentos. As estimativas de consumo dos usos finais de energia elétrica foram realizadas a partir de médias ponderadas de acordo com a localização dos domicílios em cada zona bioclimática.

Os resultados indicam que a geladeira e o *freezer* juntos representam quase 40% do consumo de energia elétrica no setor residencial. Enquanto os aparelhos de ar condicionado e o chuveiro elétrico são os equipamentos que mais dependem das condições climáticas. Além disso, a partir da análise, percebe-se que o aparelho de ar condicionado seria, no futuro próximo, uma grande preocupação para o setor residencial

brasileiro, uma vez que sua posse ainda é baixa, mas o seu consumo de energia elétrica é bastante expressivo, principalmente nos períodos do ano de maiores temperaturas.

4) *Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (PDE2020)*; (BRASIL, 2011a)

O plano decenal de expansão de energia é uma publicação periódica, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) juntamente com o Ministério de Minas e Energia (MME). Seu principal objetivo é orientar o planejamento energético nacional no longo prazo, com finalidade de subsidiar as decisões dos agentes no mercado de energia, de tal forma que seja assegurada a expansão equilibrada da oferta energética com qualidade, segurança e preços acessíveis aos consumidores.

Neste estudo foi definida, como premissa econômica, que a economia brasileira terá um crescimento maior que a média mundial, em torno de 5% ao ano; entretanto, como premissa demográfica, espera-se que o número de habitantes por domicílio no Brasil reduza de 3,1 em 2010 para 2,7 em 2020, sendo que há uma tendência de maior crescimento nas regiões Norte e Centro-Oeste no número total de domicílios no país.

Especificamente no setor residencial, admite-se o sucesso do Programa Luz para Todos (PLT) no horizonte de análise e um aumento significativo no estoque de equipamentos eletroeletrônicos, devido ao aumento da renda das famílias e de sua melhor distribuição. Além disso, a projeção do estoque de equipamentos eletroeletrônicos seguiu uma dinâmica de substituição de velhos equipamentos, ao final de sua vida útil, por equipamentos novos e mais eficientes. Para estimar o consumo específico dos equipamentos, foi utilizada a base de dados da pesquisa ELETROBRÁS/PROCEL (2007), dados sobre as potências e tempo de uso disponibilizado pelas concessionárias e, também, as tabelas de eficiência do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE).

Para fazer as projeções de demanda de energia elétrica, foi considerado um modelo técnico-econômico desagregado por usos finais, conforme as categorias a seguir:

- Aquecimento de água: chuveiro elétrico, aquecedor a gás natural e sistemas de aquecimento solar;

- Condicionamento de alimentos: refrigerador e *freezer*;
- Condicionamento de ambientes: ar condicionado;
- Iluminação: lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas;
- Serviços gerais: máquina de lavar roupa, máquina de lavar louça, aparelho de televisão, micro-ondas e demais equipamentos.

Para este setor, foram desenvolvidas duas metodologias complementares para projetar a demanda de energia. Na primeira, foi considerado o consumo residencial de forma agregada e avaliaram-se indicadores como: a relação do número de consumidores e população e, também, o consumo médio por consumidor. Na segunda, a projeção foi desenvolvida de forma desagregada por usos finais, em que se consideraram como indicadores: o número de domicílios, a posse média e o consumo específico dos equipamentos.

Os resultados deste estudo mostram que o consumo de energia elétrica no setor residencial seria de 176,1 TWh, em 2020, enquanto, considerando a melhoria de eficiência dos novos equipamentos consumidores, seria de 169,3 TWh, para o mesmo período, apresentando uma redução de 3,9%.

5) ***Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - ano base 2005 – Classe residencial relatório Brasil*** (ELETROBRÁS/PROCEL, 2007)

O principal objetivo deste trabalho é fazer um mapeamento do consumo de energia elétrica no setor residencial no Brasil, a partir da posse e hábitos de uso dos equipamentos eletroeletrônicos, com finalidade de subsidiar as ações da ELETROBRÁS, através do PROCEL.

A pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso para o setor Residencial (PPH) foi elaborada a partir da base de dados das pesquisas de campo realizadas em

2005, pelo Consórcio formado pela PUC-RIO e a ECOLUZ, em todas as regiões do Brasil. Além da posse e uso de equipamentos elétricos, foram verificados outros fatores nessa coleta de dados, tais como: condições socioeconômicas, qualidade do fornecimento, comportamento devido ao racionamento, satisfação do consumidor, iluminação pública, dentre outros.

Para tanto, essa pesquisa contemplou 16 estados e o Distrito Federal com a participação de 21 concessionárias de energia elétrica; foram aplicados quase 10.000 questionários e selecionados 4.310 destes, para serem utilizados como amostra.

Nesta pesquisa, os dados mostram que o maior consumo de energia elétrica no setor residencial está associado ao condicionamento de alimentos, ou seja, o consumo de energia a partir do uso de refrigeradores e *freezers*. A participação desses equipamentos representa 27% de toda energia elétrica consumida no setor residencial. Na Figura 7 é apresentada a participação dos eletrodomésticos no consumo residencial do país.

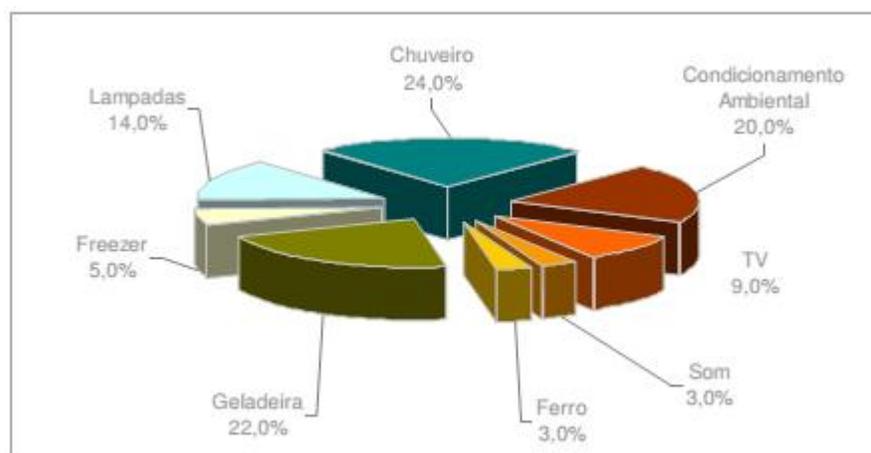


Figura 7 – Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial no Brasil

Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL (2007)

6) *Análise de Decomposição das Variações no Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro* (ACHÃO, 2009)

O principal objetivo deste trabalho consiste em desenvolver uma metodologia para avaliar a evolução do consumo residencial de energia elétrica no Brasil, a partir dos efeitos Atividade, Estrutura e Intensidade.

Para avaliar a evolução do consumo de energia elétrica neste setor, foi utilizado um conjunto de dados, referentes ao período 1980-2007, sobre consumo faturado e número de consumidores residenciais ligados em baixa tensão por concessionária de energia elétrica, disponibilizado pela EPE, como também, dados referentes ao perfil das famílias e domicílios, disponibilizado nas pesquisas realizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Com base nestes dados, foram definidos os efeitos Atividade, Estrutura e Intensidade como:

- Efeito atividade: efeito que explica a variação do consumo residencial em termos da variação do número de domicílios com acesso à energia elétrica.
- Efeito intensidade: efeito que explica a variação do consumo residencial em termos da variação do consumo médio por domicílio.
- Efeito estrutura: efeito que explica a variação do consumo residencial em termos da variação na participação regional ou de classe de renda do número total de consumidores.

Para tanto, a técnica de decomposição *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI) foi utilizada para avaliar a dinâmica do consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro para estes três efeitos, durante o período 1980-2007. Em um primeiro momento, tentou-se estimar os efeitos explicativos da evolução do consumo residencial de energia elétrica em termos das variações do número de consumidores por região com relação ao total no Brasil. Posteriormente, buscou-se estimar os efeitos das variações no consumo residencial de energia elétrica, devido às variações no consumo dos domicílios pertencentes às diferentes classes de renda.

Os resultados mostram que as variações no consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro, no período 1980-2007, estão associadas principalmente ao aumento do número de consumidores (efeito atividade) e de mudanças no consumo específico de energia elétrica nos domicílios (efeito intensidade). Entretanto, as mudanças na participação do número de domicílios por região (efeito estrutura) não demonstraram influência nas variações do consumo residencial de energia elétrica.

Na segunda análise, tanto o efeito Atividade quanto o efeito Intensidade são os principais fatores explicativos das variações do consumo, entretanto o efeito Estrutura se mostrou mais significativo depois de 2001, período do racionamento. Segundo Achão (2009), ocorreu uma mudança na estrutura de consumidores considerados de Baixa Renda e Convencionais, após este período, pelas concessionárias de energia elétrica. Esta mudança é devida a alterações nos critérios de enquadramento destas classes pelas concessionárias e também à incorporação de novos consumidores de Baixa Renda, a partir dos programas de universalização e transferência de renda, especialmente na região Nordeste.

A partir da leitura desses trabalhos, é importante apontar algumas considerações para elucidar os problemas que tem surgido nas estimativas e projeção do consumo de energia elétrica no setor residencial. Primeiro, pode-se dizer que a estimativa de consumo de energia elétrica tem sido realizada, para alguns trabalhos, dividindo o setor residencial em classes de renda. Percebe-se que esta divisão é fundamental no setor residencial porque o consumo de energia elétrica per capita de certa forma é sensível a renda como mostram Achão (2003) e Melo (2009). Entretanto, a divisão desse setor, em classes de renda, deve ser de tal forma que não comprometam suas estimativas de consumo, ou seja, nota-se que em vários trabalhos não foi possível obter informações suficientes para alimentar os modelos de estimativas de consumo por classe de renda e, portanto, isto prejudicou a qualidade do resultado da estimativa de consumo. Outro ponto importante, que deve ser destacado, está relacionado à potência dos equipamentos considerados na estimativa de consumo e seus hábitos de usos. Por exemplo, em Achão (2003), foram utilizadas apenas duas potências para o chuveiro elétrico para todo o Brasil e o tempo médio de banho por pessoa de 10 minutos para todas as classes de

renda consideradas. Contudo, como mostra Ghisi et. al. (2007), o uso do chuveiro elétrico para o aquecimento de água é um dos hábitos que mais depende das condições climáticas e o Brasil possui várias zonas bioclimáticas nos limites seu território.

Com relação às projeções do consumo de energia elétrica, alguns trabalhos apresentam algumas hipóteses que demonstraram se descolar significativamente da realidade. Isto pode ser percebido no PDE 2020 (BRASIL, 2011a). Neste relatório, considerou-se que o PIB do Brasil aumentaria de 5,0% ao ano, situação que não ocorreu e provavelmente não deverá acontecer, já que a projeção atual para o crescimento do PIB não passa de 3,0% em 2013 (FMI, 2013) e com a tendência de redução deste indicador no futuro. Também, outra hipótese equivocada desse relatório, consiste na penetração dos Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) devido principalmente ao programa MCMV. Nesse trabalho é considerado que todos os domicílios contemplados no programa MCMV (fase 2) pertencentes às famílias de renda até R\$ 1.600,00 possuiriam o SAS, entretanto, sabe-se que o programa apenas tornou obrigatório a instalação do SAS em domicílios unifamiliares, ficando facultativo para as residências multifamiliares. Isto, juntamente com outros fatores, tem contribuído para um menor número de equipamentos instalados. Segundo a ABRAVA (2013), a proporção de SAS instalados nos domicílios de baixa renda é de aproximadamente 32% do total de domicílios contemplados no programa MCMV para esta faixa de renda.

Destacando outro trabalho, pode-se citar a *Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso* no setor residencial (ELETROBRÁS/ PROCEL, 2007). Neste trabalho é elaborado um questionário que foi aplicado para uma grande quantidade de pessoas com alguns propósitos, dentre eles, o de mapear e descrever os hábitos de consumo de energia elétrica no setor residencial desagregado pelos usos finais. Contudo, a base de dados produzida por esta pesquisa, apesar de extensa e de grande relevância para o que propõe, precisaria passar por alguns ajustes para simplificar seu uso nas estimativas de consumo de energia elétrica. Algumas sugestões são:

- Além das desagregações já realizadas, o conjunto de dados da pesquisa poderia ser distinguido em domicílios de zona urbana e rural;

- Fazer medidas diretas nos principais equipamentos eletroeletrônicos, em alguns domicílios, para balizar com as informações declaradas pelos questionários;
- Melhorar o formato de algumas questões apresentadas nos questionários, principalmente com relação às faixas de hábitos de uso, como por exemplo, no chuveiro elétrico que define apenas três faixas de tempo de banho, sendo elas: até 10 minutos, entre 10 e 20 minutos e mais que 20 minutos, ou o ferro de passar roupa que define apenas a hora do dia que este equipamento foi utilizado. Nestes dois casos, devido à grande potência elétrica desses equipamentos, é necessária uma melhor precisão dos hábitos de usos desses equipamentos para que o consumo de energia não fique nem subestimado ou superestimado.

Finalmente, deve-se ressaltar que todos esses estudos sobre o setor residencial têm como finalidade compreender melhor o setor residencial e a forma como ele consome energia, além disso, espera-se que, com eles, seja possível estimar qual será o consumo de energia no futuro. A pretensão de estimar e projetar o consumo de energia no setor residencial é devido à necessidade de desenvolver o planejamento energético do setor residencial, uma vez que, neste setor a energia é um meio para realização de serviços como cozinhar, aquecer água para banho, realizar trabalho e tantos outros serviços que são essenciais para vida das sociedades modernas, lembrando que os recursos energéticos não são infinitos e o seu uso, portanto, precisa ser mais racional.

Desta forma, nos próximos capítulos serão destacadas as ideias básicas do planejamento energético e posteriormente apresentado qual modelo de projeção de demanda foi utilizado nesta tese, e também qual método de análise foi escolhido e os motivos desta escolha, para fazer a análise energética para o setor residencial.

2.6 Princípios do planejamento

A ideia de planejamento está atrelada à evolução humana. Desde os homens primitivos é possível detectar evidências da capacidade humana de adequação ao meio ambiente de forma planejada, na busca da manutenção da sua sobrevivência. De modo geral, a

atividade de planejamento consiste na aplicação sistemática do conhecimento humano para a *previsão e avaliação* dos cursos de ação com vistas à tomada de decisões adequadas e racionais, que sirvam de base para ação futura, ou seja, consiste na decisão antecipada *do que fazer, quando e como fazer*, buscando escolher sempre a melhor alternativa (HOLANDA, 1983).

Conforme define Cima (2006), a atividade do planejamento pode ser dividida em:

- Estabelecimento de objetivos e metas a serem alcançadas;
- Diagnóstico da situação passada e atual, por meio de ferramentas que permitam estabelecer correlações entre as intervenções passadas e a atual situação, e;
- Estabelecimento de políticas que determinam o que fazer e como fazer, para se atingir os objetivos.

O estudo de planejamento pode ser aplicado em diversas áreas, dentre elas, no setor energético. Neste setor o planejamento energético é feito com finalidade de garantir o suprimento de energia para seus usuários tanto no presente quanto no futuro. Isto, com menores impactos sociais e ambientais.

Desta forma, as etapas do planejamento energético devem ser construídas com o intuito de favorecer a elaboração precisa dos objetivos e, posteriormente, a sistematização das ações que serão tomadas para alcançar tais objetivos. A seguir, a Figura 8 apresenta uma possível estrutura das etapas do planejamento energético.

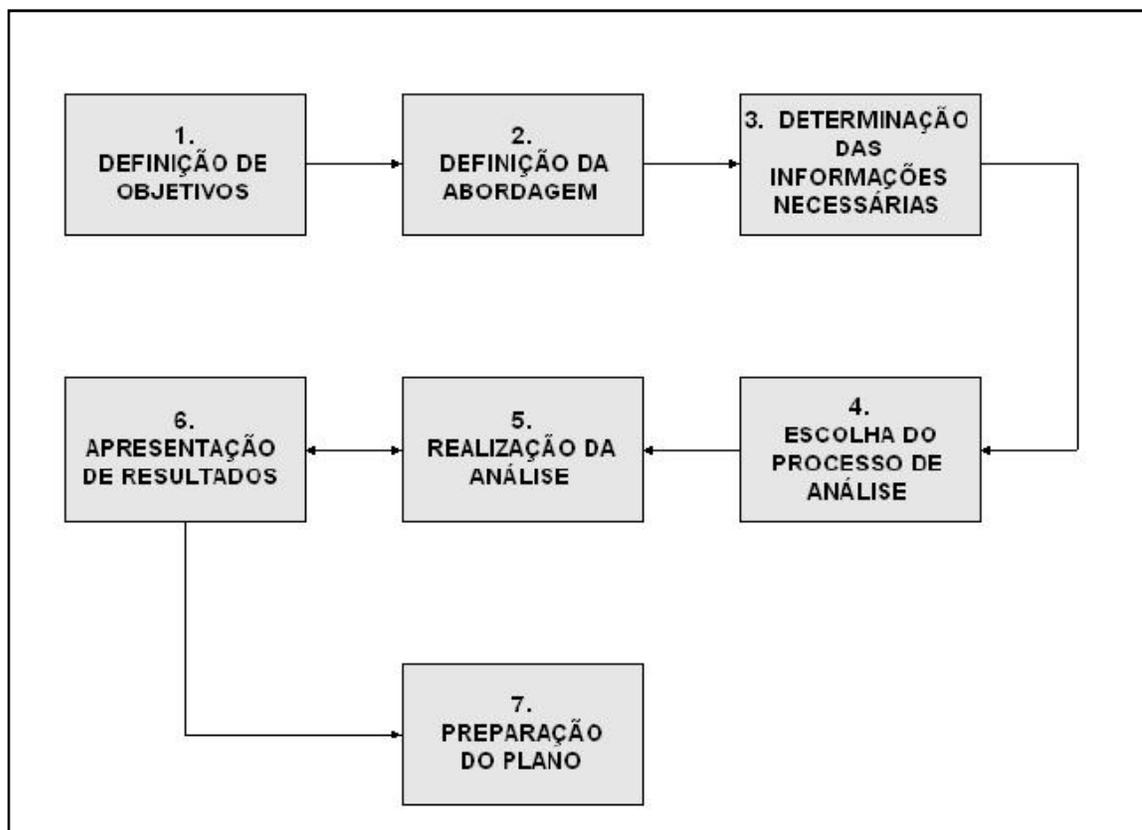


Figura 8 – Etapas do planejamento energético

Fonte: IAEA (1984)

Um dos principais objetivos do planejamento energético consiste na elaboração de estudos com a finalidade de fornecer subsídios (informação) para aqueles que tomam decisões. Os planos energéticos (exemplo: PNE 2030) são uma forma de apresentar os resultados dos estudos de planejamento energético.

2.7 Modelos de projeções de demanda de energia elétrica

Partindo de uma visão pelo lado da oferta de energia, os modelos no planejamento energético podem ser usados principalmente com a finalidade de possibilitar a expansão do sistema energético. Neste caso, as configurações possíveis são otimizadas a partir de variáveis selecionadas para satisfazer interesses de um grupo, de uma região ou de uma sociedade. Por outro lado, visto pelo lado da demanda, os modelos no planejamento energético podem ser usados com a finalidade de tornar o consumo mais racional,

buscando conservação de energia, por meio de alternativas que possam suprir os serviços demandados com menos consumo de energia e até mesmo, auxiliando nas escolhas e ações da sociedade quanto ao uso da energia.

Segundo Carvalho (2005), os modelos podem ser classificados como modelos de projeção de oferta, de projeção de demanda e integrados de oferta e demanda de energia. Podem ser modelos setoriais como, por exemplo, do setor residencial; podem ser modelos multissetoriais, que englobam dois ou mais setores, e podem ser globais, que trabalham com todos os setores macroeconômicos, de uma região ou de um país.

Nos modelos de oferta encontram-se aqueles que utilizam as técnicas de programação matemática, os que utilizam as técnicas de simulação ou as duas combinadas. Os modelos de oferta podem ser estáticos ou dinâmicos. No primeiro caso, o modelo projeta a oferta em um momento no tempo futuro sem se preocupar com a trajetória percorrida e, no segundo caso, o programa faz a projeção modelando a trajetória percorrida ao longo do tempo.

Os modelos de demanda podem ser divididos em modelos econométricos; contábeis, técnico-econômicos e modelos de simulação; e mistos. Os primeiros são adequados para projeções no curto e médio prazo, porque geralmente não são capazes de representar possíveis rupturas no cenário energético, devido a mudanças econômicas imprevistas ou ao surgimento de novas tecnologias. Eles, como o próprio nome diz, realizam projeções da demanda utilizando relações econométricas, a partir do histórico de grandezas econômicas como renda, PIB, valor agregado ou preços.

Para projeções no longo prazo, normalmente utilizam-se os modelos técnico-econômicos, contábeis ou de simulação. Nestes modelos, basta conhecer os dados necessários para análise em um ano base e os modelos projetam esses dados para o futuro, sem se preocupar com as trajetórias envolvidas no processo. Esses modelos trabalham com uma grande quantidade de variáveis e parâmetros, o que por um lado faz gerar resultados bastante detalhados e, por outro lado, os tornam caros e de difícil possibilidade de serem utilizados, devido à dificuldade de obtenção de dados.

Pode-se dizer que os modelos econométricos são restritos demais, enquanto os técnico-econômicos, contábeis ou de simulação são o oposto. Para tentar solucionar essas restrições, existem os modelos mistos que utilizam relações econométricas e, ao mesmo tempo, utilizam uma estrutura de projeções detalhada, que permite adequar o modelo às necessidades do objeto estudado, à complexa indústria de energia (CARVALHO, 2005).

Os modelos integrados de oferta/demanda são modelos de equilíbrio. Eles podem ser de equilíbrio parcial ou geral, sendo que o parcial engloba o equilíbrio em um setor ou em seus segmentos, a saber, o setor de gás natural, setor de energia elétrica, etc. Neste caso, o modelo faz a simulação avaliando os fluxos das quantidades dos energéticos, desde a oferta até a demanda ou vice-versa, encontrando um equilíbrio das quantidades entre a oferta e a demanda. Um acoplamento das duas possibilidades também é possível, se necessário. Já no caso do equilíbrio geral, o modelo vai além do equilíbrio setorial. Ele simula a evolução da economia como um todo e as relações econômicas entre um setor ou setores com outros segmentos da macroeconomia (CARVALHO, 2005).

No caso da projeção da demanda de energia elétrica no setor residencial, os modelos mais indicados são os modelos de projeção de demanda mistos que permitem desagregar o consumo de energia elétrica pelos usos finais, considerando particularidades específicas dos equipamentos eletroeletrônicos, hábitos de uso e posse; por outro lado, as técnicas da econometria possibilitam melhor aderência do modelo à realidade, correlacionando parâmetros sociais, técnicos e econômicos, permitindo, desta forma, explicar e compreender melhor a evolução de algumas variáveis na elaboração de tendências e cenários.

Esta metodologia também indica que a melhor abordagem seja a do tipo *bottom-up*, que consiste em uma metodologia comumente usada quando há necessidade de maior detalhamento pelo lado da demanda. Isto equivale dizer que os modelos de projeção do tipo *bottom-up* são modelos que visam a fazer uma descrição detalhada da estrutura do sistema energético considerando suas tecnologias e uso da energia de forma desagregada. Sua principal vantagem está associada na profundidade da análise;

entretanto, necessita de uma grande quantidade de dados para sua execução (CARVALHO, 2005).

Desta forma, conforme exposto acima, neste trabalho é utilizado um modelo de projeção de demanda técnico-econômico desagregado por usos finais, que também é a mesma metodologia utilizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) na elaboração do Plano Nacional de Energia – PNE 2030 e do Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2020 (BRASIL, 2007). Na Figura 9 é apresentado um esquema do modelo utilizado pela EPE para fazer projeções de consumo de energia elétrica no setor residencial.

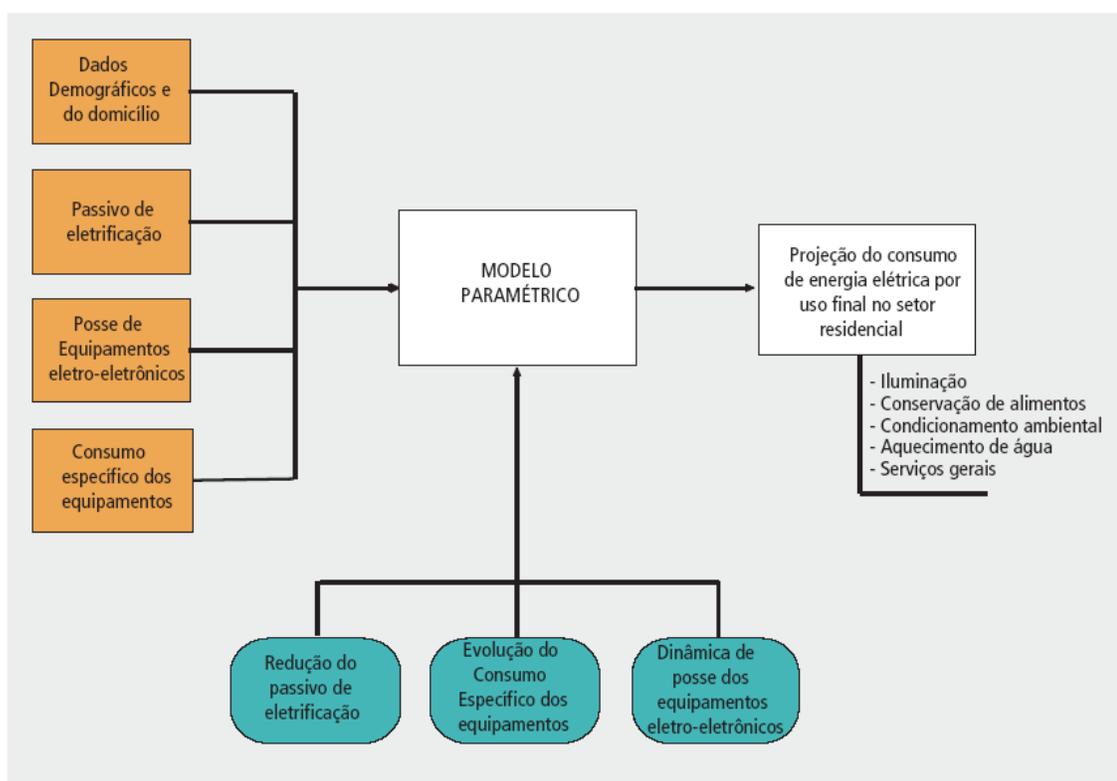


Figura 9 – Fluxograma básico do modelo de simulação aplicado ao consumo de energia elétrica no setor residencial.

Fonte: Brasil (2007)

Segundo este modelo, a estimativa da demanda de energia elétrica no setor residencial é realizada considerando o número de domicílios, o número de moradores, a posse de equipamentos eletroeletrônicos existente em cada domicílio, o consumo específico de

cada equipamento e o passivo de eletrificação. Neste caso, o passivo de eletrificação representa a quantidade de domicílios residenciais que não possuem eletricidade, mas que poderia usá-la, caso fosse disponibilizada. A evolução destas variáveis, consideradas em cada cenário, será responsável pela projeção de demanda de energia elétrica no setor residencial.

Nos planos PDE 2020 e PNE 2030, o consumo de energia elétrica foi desagregado em cinco categorias de uso final; entretanto, neste trabalho foram escolhidas sete categorias, sendo que, a categoria de Serviços gerais (nos planos) foi desagregada em Serviço e Lazer e para aqueles equipamentos eletroeletrônicos que, em 2005, tinham pouca representatividade na composição do consumo de energia elétrica, foram agregados em uma categoria chamada Demais equipamentos. Com essa divisão é esperado compreender melhor o comportamento e hábitos de consumo dos domicílios e também, projetar melhor o consumo de energia elétrica no setor residencial.

Para projetar o consumo de energia elétrica no setor residencial é necessário manipular uma grande quantidade de variáveis e correlações, dada a sua complexidade. Portanto, para facilitar a elaboração da estrutura de consumo e fazer projeções a partir de cenário, foi utilizada uma ferramenta computacional que consiste em um modelo técnico-econômico baseado em cenários, que será apresentado adiante.

2.8 O modelo LEAP

O modelo *Long-range Energy Alternatives Planning System* (LEAP) é um *software* desenvolvido pelo *Stockholm Environment Institute*, que integra um modelo técnico-econômico utilizando cenários para avaliar os impactos da evolução de tendências no setor energético (HEAPS, 2012).

Este modelo tem sido usado pelo grupo de estudo de planejamento energético do Departamento de Engenharia Nuclear/UFG, desde 2007, sendo que alguns trabalhos foram elaborados utilizando essa ferramenta na formulação de cenários energéticos para o setor residencial em Belo Horizonte (PEREIRA, 2010; SCARI, 2011).

O LEAP é uma ferramenta computacional baseada na modelagem de cenários. Estes cenários são elaborados a partir de uma construção de uma estrutura que contabiliza como a energia é produzida, convertida e consumida em uma determinada região ou economia, sob uma série de hipóteses acerca da população, desenvolvimento econômico, tecnologias, e assim por diante.

Como a elaboração das suas estruturas de inserção de dados é flexível, o LEAP permite uma análise tanto agregada quanto desagregada da energia, especificando recursos, tecnologias e usos finais de forma mais adequada. Esta característica é determinante para sua escolha na elaboração de cenários para projetar o consumo no setor residencial brasileiro, uma vez que o setor residencial é rico em detalhes e necessita de uma estrutura específica para cada grau de detalhamento na análise energética que for considerada.

Ao contrário dos modelos econométricos, o modelo LEAP não busca estimar o impacto das políticas energéticas com relação ao PIB, emprego ou outras variáveis socioeconômicas, embora tais modelos possam ser executados em conjunto com LEAP. O *software* não gera automaticamente soluções otimizadas para a estrutura energética considerada e nem soluções de equilíbrio entre oferta e demanda. Isto pode ser considerado, de certa forma, uma desvantagem, caso o usuário não avaliar se houve o balanço entre oferta e demanda de energia, ou deixar de levar em consideração tendências mercadológicas na hora de escolher as soluções energéticas. Em contrapartida, o modelo LEAP é bastante simples e possui uma interface amigável com o usuário, além de ser compatível com os *softwares Excel e Power Point da Microsoft Office* no tratamento dos dados e apresentação dos resultados, respectivamente.

Na Figura 10, é apresentado um fluxograma mostrando a diferença entre o modelo LEAP e um modelo de otimização na elaboração de cenários.

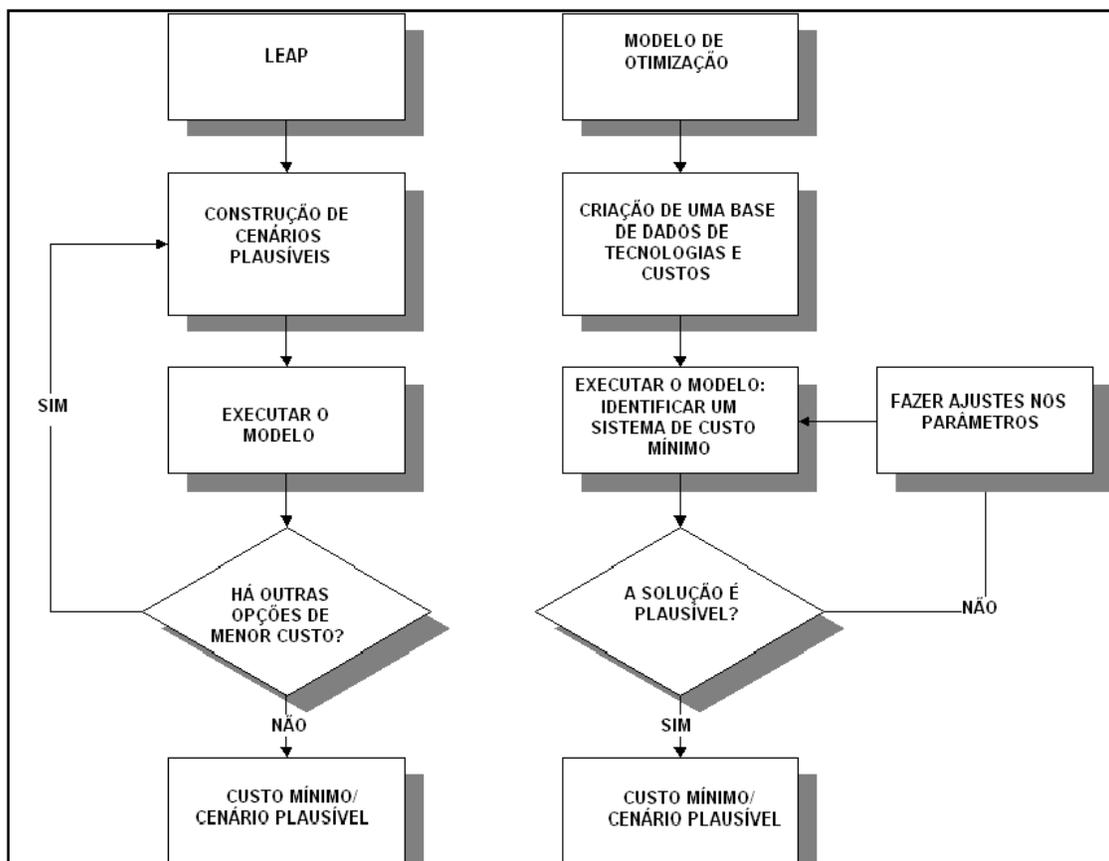


Figura 10 – Diferenças na estrutura de elaboração de cenários entre o LEAP e um modelo de Otimização

Fonte: Elaboração própria a partir de Heaps (2002)

Como pode ser observado na Figura 10, para fazer uma análise com a finalidade de elaborar um cenário com alternativas de menor custo, é necessário que o usuário do LEAP intervenha durante o processo de elaboração do cenário, selecionando previamente uma alternativa de menor custo, a qual deverá ser reintroduzida nele. O resultado do cenário apresentará uma solução otimizada somente se o usuário escolher adequadamente um sistema de custo mínimo. No caso de um modelo de otimização, o usuário só precisa avaliar se a escolha feita pelo programa é plausível ou não, sendo que sua escolha é sempre a melhor dentre as outras opções apresentadas para um conjunto de parâmetros pré-definidos.

Para elaborar o ano base, o LEAP dispõe de uma estrutura de “árvore” com ramificações, que funciona como a estrutura do *Windows* com pastas e subpastas. Essas

ramificações são diferentes e são utilizadas em cada contexto. Os principais tipos de ramos são:

- Ramos **Categoria**: são utilizados basicamente para construir a estrutura hierárquica da árvore;
- Ramos **Tecnologia**: são usados para agregar dados sobre as tecnologias que consomem, produzem e convertem energia;
- Ramos **Premissas Básicas**: são utilizados para guardar as variáveis independentes criadas pelo usuário, tais como PIB e população;
- Ramos **Combustível**: são utilizados para representar os combustíveis e a forma como eles são produzidos e consumidos na árvore;
- Ramos **Carga Ambiental**: são usados para representar os poluentes emitidos por cada tecnologia definida nos módulos demanda e transformação. Estes ramos são sempre os últimos ramos na estrutura da árvore.

Na Figura 11 é apresentado um “*Layout*” de um dos principais módulos de visualização do LEAP, o módulo resultado.

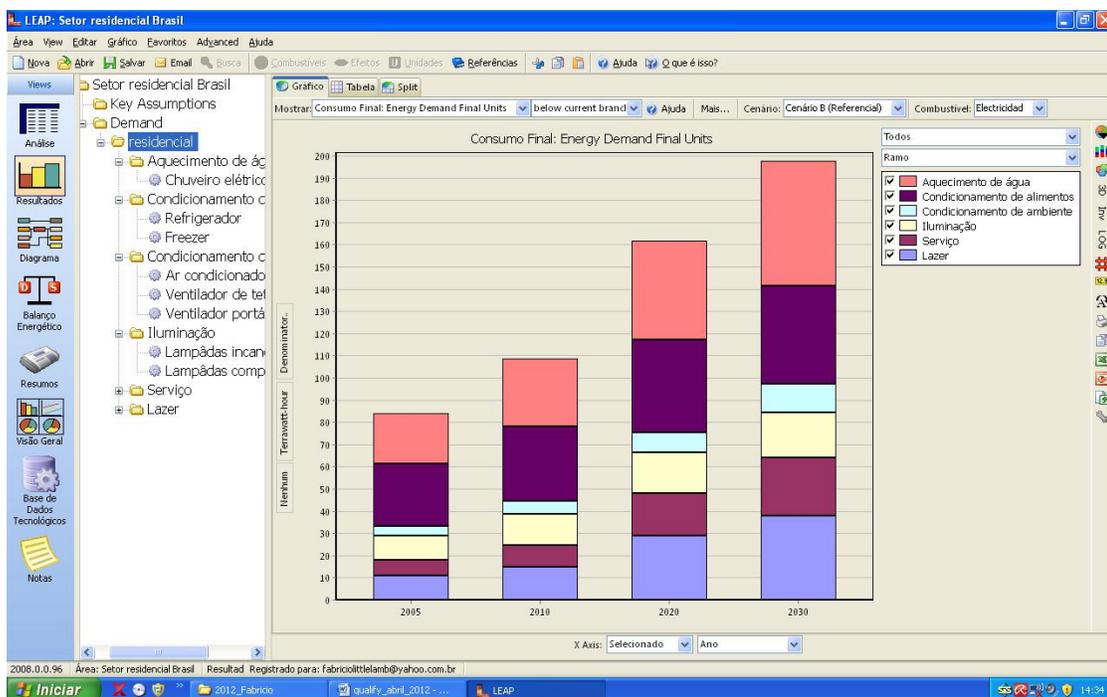


Figura 11 – “Layout” do módulo resultado no modelo LEAP

Fonte: Elaboração própria

Nesta Figura 11, pode-se perceber como são organizadas as categorias de uso final e suas respectivas tecnologias e, também, as projeções de consumo de energia para distintos períodos.

2.9 Os métodos de análise de decomposição

Os métodos de análise de decomposição de índice foram introduzidos no final da década de 1970 para estudar os impactos de mudanças estruturais no uso da energia na indústria. Desde então, suas aplicações têm crescido e diversificado para outros setores com a finalidade de subsidiar a elaboração de políticas energéticas.

A análise de decomposição de índice parte da definição de uma função da grandeza a ser avaliada composta por variáveis explicativas definidas previamente. A partir desse passo, vários métodos de decomposição podem ser utilizados para quantificar os impactos das variações da grandeza considerada. Apesar da possibilidade de utilização de diversos de métodos de decomposição de índice, Ang (2004) mostrou que alguns

métodos são preferíveis a outros, do ponto de vista teórico, e que para a escolha de um método de decomposição deve ser considerado pelo menos os seguintes pontos: fundamentação teórica, adaptabilidade, facilidade de uso, facilidade de compreensão e facilidade de apresentação dos resultados.

Dentre os métodos mais utilizados, podem ser citados os métodos baseados no *Divisia Index* e os métodos derivados do índice de Laspeyres; da família *Divisia Index*, podem ser citados os métodos Divisia de Média Aritmética (AMDI) e Divisia de Média Logarítmica (LMDI) e; da família *Laspeyres*, podem ser citados os métodos *Paasche* e *Marshall-Edgeworth* (Wachsmann, 2005). Dentre esses, várias organizações, pesquisadores e analistas nacionais e internacionais têm utilizado ora métodos derivados do *Divisia Index*, ora índice de Laspeyres. Este último, principalmente nas décadas de 1970 e 1980, sendo que, somente na década de 1990, o *Divisia Index* passou ser amplamente utilizado (ACHÃO, 2009).

Na literatura, a utilização da técnica de decomposição do uso da energia pode ser dividida pelo menos em cinco grandes áreas:

- Oferta e demanda;
- Emissões de gases poluentes;
- Fluxos de materiais e desmaterialização da economia;
- Desenvolvimento de indicadores de eficiência energética;
- Comparação entre países.

Dentre essas áreas, na década de 1980, foram publicados trabalhos, principalmente na área de oferta e demanda de energia, no setor industrial. Já na década seguinte, foram publicados trabalhos para a maioria dos setores energéticos, como setor de transporte e residencial. Mais tarde, na década de 1990, apareceram trabalhos na área de emissões de gases, principalmente para o dióxido de carbono (CO₂), gás causador de efeito

estufa. Também foram publicados trabalhos com desenvolvimento de indicadores de eficiência energética, com a finalidade de avaliar as políticas de efficientização. Dentre as organizações que utilizam o método *Divisia index* podem-se citar o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), que utiliza tal método para elaboração de índices de eficiência agregados para o país, e o programa europeu de eficiência energética (SAVE), que utiliza o método na elaboração de indicadores de eficiência energética para a indústria. No caso do método Laspeyres, podem-se citar o *Office of Energy Efficiency of Canada*, que utiliza o método para avaliar os níveis de eficiência energética nacional, e a Agência Internacional de Energia (IEA), que também utiliza o método na composição de indicadores de eficiência energética (ACHÃO, 2009).

No Brasil, poucos trabalhos foram desenvolvidos utilizando as técnicas de análise de decomposição, sendo a maioria para análise do setor industrial (ROSA e TOLMASQUIM, 1993; WORRELL *et al.*, 1997; MACHADO e SCHAEFFER, 2006). Desta forma, foram raros os trabalhos produzidos para outros setores. Em especial, para o setor residencial, que é o setor considerado nesta tese, podem ser citados Wachsmann (2005), Leon e Pessanha (2005) e Achão (2009). Este último, foi um dos principais trabalhos utilizados como referências para o desenvolvimento desta tese, uma vez que a autora deste trabalho utilizou a técnica de decomposição LMDI para avaliar a evolução do consumo de energia, a partir da variação na participação do número de consumidores em cada região geográfica com relação ao total no país e, também, na variação do número de consumidores de baixa renda e convencionais com relação ao total no Brasil. Já nesta tese, a análise de decomposição é utilizada para avaliar a evolução de consumo de energia elétrica no setor residencial a partir da variação na posse de equipamentos eletroeletrônicos, da variação no consumo específico desses equipamentos e da variação na participação do número de consumidores por renda com relação ao total no Brasil.

2.10 A formalização teórica dos métodos de decomposição

Considere uma variável y que depende de n variáveis independentes x_i ; ela pode ser escrita na forma:

$$y(x_1, x_2, \dots, x_n) = x_1 \cdot x_2 \dots x_n = \prod_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

Portanto, a contribuição de cada variável x_i na composição da variação dy pode ser definida como:

$$dy = \prod_{j=1, j \neq 1}^n x_j dx_1 + \prod_{j=1, j \neq 2}^n x_j dx_2 + \dots + \prod_{j=1, j \neq n}^n x_j dx_n = \sum_{i=1}^n \prod_{j=1, j \neq i}^n x_j dx_i \quad (8)$$

A equação 8 pode ser resolvida de distintas formas, entretanto, inicialmente os métodos mais utilizados são aqueles baseados nos índices de Laspeyres e índices *Divisia*, que são utilizados no campo das ciências econômicas para a composição, por exemplo, de índices de inflação.

A formulação do método da família Laspeyres é definida na forma:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1, j \neq i}^n x_j^\alpha \int_{x_{i,0}}^{x_{i,1}} dx_i \right) = \sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1, j \neq i}^n x_j^\alpha \Delta x_i \right) \quad (9)$$

sendo que, $x_j^\alpha = x_{j,0} + \alpha(x_{j,1} - x_{j,0})$, $0 \leq \alpha \leq 1$

E o método da família *Divisia* tem sua formulação como apresentado a seguir:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \left(\int_{x_{i,0}}^{x_{i,1}} \prod_{j=1, j \neq i}^n x_j \frac{dx_i}{x_i} \right) = \sum_{i=1}^n y^\alpha \ln \left(\frac{x_{i,1}}{x_{i,0}} \right) \quad (10)$$

em que, $y^\alpha = y_0 + \alpha \Delta y$

Tanto na equação 9 quanto na equação 10, x_i e x_j representam os efeitos de cada variável explicativa. Os índices 0 e 1 referem-se a tempos distintos e α é um parâmetro peso, sendo, por exemplo, $\alpha = 0$ (peso no ano base) e $\alpha = 1$ (peso ano final).

Segundo Wachsmann (2005), nas duas formulações a escolha do parâmetro α representa o tipo de índice, sendo que, quando $\alpha = 0$ (peso no ano base), corresponde

à decomposição segundo Laspeyres; quando $\alpha = 0,5$ (peso médio), corresponde à decomposição segundo Marshall-Edgeworth; e se $\alpha = 1$ (peso no ano final), está associado à decomposição segundo Paasche. Contudo, a diferença existente entre as duas formulações está associada à forma em que os efeitos são explicados. Enquanto Laspeyres explica os efeitos em termos de variações absolutas, o método *Divisia* explica os efeitos em termos de variações relativas.

Considerando que a escolha do tipo de índice é subjetiva e que na maioria dos métodos paramétricos parte das mudanças na variável y não é explicada, gera-se, portanto, um resíduo na análise. Assim, novos métodos foram desenvolvidos com a finalidade de serem mais exatos. Um dos métodos não paramétricos que surgiu a partir dessa necessidade é o chamado método *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI), que pode ser traduzido por índice *Divisia* de média logarítmica, sugerido por Ang e Choi (1997) e Ang et al. (1998), que foi substituída na Equação 10 a função $y^\alpha = y_0 + \alpha \Delta y$ pela função $y^\lambda = \Delta y / \Delta(\ln y)$. Essa técnica de decomposição passou a ser amplamente utilizada a partir da década de 1990 e sua vantagem reside no fato de possuir variações relativas simétricas e aditivas. Por exemplo, se o consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro, no ano de 2005, foi de 82,3 TWh e chegou a 105,5 TWh no ano de 2010, então, $\Delta(\ln y) = \ln(105,5/82,3) = 0,248$ e $\ln(82,3/105,5) = -0,248$; portanto, as variações são simétricas. Entretanto, no caso da função $y^\alpha = y_0 + \alpha \Delta y$ a variação vai depender de qual α será escolhido.

2.11 Os métodos de decomposição para análise energética

Como foi apresentando anteriormente, a escolha de métodos de decomposição para análise energética tem sido uma escolha subjetiva, haja vista os distintos estudos com diferentes métodos desenvolvidos, desde 1970, na área de energia. Entretanto, pode-se encontrar na literatura alguns trabalhos que evidenciam diferenças entre os métodos de decomposição e critérios que podem auxiliar na sua escolha (ANG, 2004). Esses critérios são:

- Fundamentação teórica;
- Adaptabilidade;
- Facilidade de uso;
- Facilidade de interpretação dos resultados.

Segundo Ang (2004), do ponto de vista da fundamentação teórica, os melhores métodos são aqueles que “passam” por quatro testes, quais sejam: teste de reversibilidade no tempo, teste de agregação, reversibilidade (decomposição) dos fatores e proporcionalidade. Estes testes são ligados à teoria de números-índice, uma vez que os métodos de decomposição de índices estão baseados em números-índices.

Para entender os quatro testes, pode-se recorrer à teoria dos números-índices. Uma definição de número-índice é a razão (quociente) que expressa a variação relativa entre uma medida qualquer em dois períodos distintos (FARIAS e LAURENCEL, 2005), conforme a equação a seguir:

$$X_{0,t} = X_t / X_0 \quad (11)$$

em que, X_0 se refere ao ano base e X_t a um período posterior.

Para realizar o teste de reversibilidade no tempo basta verificar se a propriedade $(X_{0,t}) \times (X_{t,0}) = 1$ é válida para o índice considerado, ou seja, ao inverter os períodos de comparação, os índices são um o inverso do outro.

Para realizar o teste de agregação é preciso verificar se a propriedade $(X_{0,t-1}) \times (X_{t-1,t}) = X_{0,t}$ é válida, ou seja, o produto de índices elaborados a partir de subintervalos de um período é igual ao índice no intervalo todo.

Para realizar o teste de reversibilidade (decomposição) dos fatores é necessário avaliar se a propriedade $Z = XY$, logo $Z_{0,t} = (X_{0,t}) \times (Y_{0,t})$ é verdadeira, ou seja, considerando uma medida composta pelo produto de outras medidas, o produto dos índices dessas medidas é igual ao índice da medida composta. Neste caso, os métodos que passam por este teste não produzem resíduos em sua decomposição.

O teste de proporcionalidade significa: $\alpha Z_{0,t} = \alpha(X_{0,t}) \times (Y_{0,t})$, ou seja, uma variação no índice de qualquer variável representa uma mesma variação no índice composto.

No caso da adaptabilidade, os métodos que possuem esta característica podem ser aplicados em diversos problemas de decomposição, permitindo a análise de conjuntos de dados, mesmo com valores negativos e zeros. Normalmente, tais métodos podem ser apresentados na forma multiplicativa e aditiva, sendo que a alternância de um para outro pode ser feita utilizando apenas operações matemáticas simples.

Já no caso da facilidade de uso e de interpretação, são critérios associados à simplicidade do método, do ponto de vista da utilização do método na decomposição e interpretação dos resultados produzidos. Na sequência, no Quadro 1, são apresentados alguns métodos recomendados para análise de decomposição de energia.

Família	Método	Algumas características
Laspeyres	Laspeyres	Paramétrico, possui grande resíduo, falha no teste de inversão de tempo
	Marshall Edgeworth	Paramétrico, possui resíduo para $n > 2$
	Paasche	Paramétrico, possui grande resíduo, falha no teste de inversão de tempo
	Laspeyres Refinado	Não paramétrico, não possui resíduo, formulação complicada para $n > 3$
	Táxa média de mudança –MRC	Paramétrico, formulação complicada para $n > 3$, insensível a valores negativos
Divisia	Baseado em Laspeyres	Paramétrico, possui resíduo, falha no teste de inversão de tempo
	Divisia convencional	Paramétrico, possui resíduo
	Divisia média logarítmica I – LMDI I	Não paramétrico, não possui resíduo, formulação simples
	Divisia média logarítmica II – LMDI II	Não paramétrico, não possui resíduo, formulação complicada

Quadro 1 – Alguns métodos utilizados na análise de decomposição de energia

Fonte: Elaboração própria a partir de Wachsmann (2005)

Conforme os critérios discutidos anteriormente, segundo Ang (2004), de forma geral, um dos métodos mais recomendados para fazer análise de decomposição energética deve ser o LMDI I, por ser um método não paramétrico, possuir perfeita decomposição (não gerar resíduo), por passar pelo teste de reversão de tempo e por possuir uma formulação simples. Outros métodos também poderiam ser utilizados, entretanto, em aplicações específicas, por exemplo, com valores negativos no conjunto de dados. A seguir será apresentado o método LMDI I em detalhes, por ser o método também

utilizado neste trabalho, sendo que o método LMDI I será referido apenas como LMDI, por simplificação, daqui por diante.

2.12 O método *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI) e sua aplicação no setor residencial

O *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI) é um método não paramétrico de formulação simples e que não gera resíduo na sua decomposição. Ele pode ser utilizado para fazer análise de decomposição e estudar os impactos das mudanças estruturais em um objeto de interesse; por exemplo, mudanças de intensidade energética em um dado setor. Ele apresenta algumas vantagens quando comparado com outros métodos, que são: simplicidade, decomposição perfeita (não produz resíduo) e possui uma consistência na agregação dos termos decompostos (ANG e LIU, 2001; ANG, 2004; ANG, 2005), sendo que sua formulação pode ser assim descrita:

Considere que E seja a energia total de um dado setor e que ela possa ser desagregada em x_{ij} variáveis, em que j representa os tipos de equipamentos eletroeletrônicos e i representa os fatores de desagregação, conforme apresentado a seguir:

$$E = \sum_j^m \prod_i^n x_{ij} \quad (12)$$

sendo, para um dado tempo inicial, T_0 e, para um período posterior, T:

$$E^{T_0} = \sum_j^m \prod_i^n x_{ij}^{T_0} \quad (13)$$

$$E^T = \sum_j^m \prod_i^n x_{ij}^T \quad (14)$$

Segundo Ang e Liu (2001) e Ang (2004; 2005), a metodologia LMDI na forma multiplicativa da decomposição pode ser escrita:

$$D_{\text{total}} = E^T / E^{T_0} = \prod_i^n D_{x_i} \quad (15)$$

em que o fator k-ésimo é:

$$D_{x_k} = \exp \left[\sum_j^m \frac{L(E_j^T, E_j^{T_0})}{L(E^T, E^{T_0})} \ln \left(\frac{x_{k,j}^T}{x_{k,j}^{T_0}} \right) \right] \quad (16)$$

onde

$$L(a,b) = (a-b)/\ln(a)-\ln(b) \quad \text{para } a \neq b \quad (17)$$

$$L(a,b) = a \quad \text{para } a = b$$

Na forma aditiva, a equação pode ser escrita:

$$\Delta E_{\text{total}} = E^T - E^{T_0} = \sum_i^n \Delta E x_i \quad (18)$$

$$\text{em que, } \Delta E x_k = \sum_j^m L(E_j^T, E_j^{T_0}) \ln \left(\frac{x_{k,j}^T}{x_{k,j}^{T_0}} \right) \quad (19)$$

É importante observar que há uma relação entre a forma aditiva e multiplicativa de LMDI, que pode ser escrita como:

$$\Delta E / \ln(D) = L(E^T, E^{T_0}) \quad (20)$$

Portanto, tanto faz utilizar a forma aditiva ou a forma multiplicativa no processo de decomposição; porém, neste trabalho, será utilizada a forma aditiva por ser mais simples.

Neste trabalho, o consumo de energia elétrica no setor residencial foi desagregado por tipos de equipamentos eletroeletrônicos e organizado por categorias de usos finais. Também, este consumo foi considerado função de quatro efeitos: Atividade, Estrutura, Posse e Intensidade. Atividade refere-se ao número de domicílios consumidores; Estrutura refere-se à proporção de domicílios consumidores em um específico estrato de

renda pelo total de domicílios; Posse refere-se ao número de equipamentos por domicílio consumidor e Intensidade refere-se ao consumo de energia elétrica para um dado equipamento. Portanto, para aplicar tal metodologia neste estudo, a energia elétrica consumida no setor residencial (E) foi desagregada como se segue:

$$E = \sum_k^l \sum_j^m Q \frac{Q_k}{Q} \frac{q_{jk}}{Q_k} \frac{C_{jk}}{q_{jk}} \quad (21)$$

em que Q é a quantidade total de domicílios consumidores, Q_k é a quantidade de domicílios consumidores em um estrato de renda k , q_{jk} é a quantidade de um dado equipamento j no estrato de renda k e C_{jk} é o consumo de energia elétrica total para um equipamento específico j no estrato de renda k .

Na equação 21, a razão Q_k/Q corresponde à quantidade de domicílios consumidores em um estrato de renda k relativo ao total de domicílios consumidores, sendo o quociente representado por (S_k); q_{jk}/Q_k representa a posse de um equipamento específico j por domicílio consumidor no estrato de renda k , sendo o quociente representado por (P_{jk}) e C_{jk}/q_{jk} pode ser entendida como a intensidade de um tipo de equipamento j no estrato de renda k , ou simplesmente, consumo específico para um equipamento j no estrato de renda k , sendo o quociente representado por (I_{jk}).

A decomposição da energia elétrica, como apresentado na equação 21, permite avaliar a variação de energia por efeitos distintos como o efeito Atividade (Q), o efeito Estrutural (S), o efeito Posse (P) e o efeito Intensidade (I). Isto pode ser feito, tanto para todo o setor como também para os estratos de renda considerados. Desta forma, se o consumo de energia elétrica no setor residencial aumentou durante um intervalo de tempo é possível saber se foi o número de novos domicílios (efeito Atividade) o principal responsável ou não e qual sua contribuição para este aumento. Também pode ser feito o mesmo para os outros efeitos.

Assim, o consumo de eletricidade no setor residencial pode ser escrito em termos do efeito Atividade (Q), do efeito Estrutural (S), do efeito Posse (P) e do efeito Intensidade (I):

$$E = \sum_k^l \sum_j^m Q S_k P_{jk} I_{jk} \quad (22)$$

Neste caso, somam-se os efeitos dos equipamentos j até m e, também, somam-se os estratos de renda k até l .

Por exemplo, aplicando a equação 19, o efeito Posse na variação de consumo de eletricidade de um equipamento w pode ser escrito como:

$$\Delta E(P_w) = \sum_k^l \left(\frac{E_{wk}^T - E_{wk}^{T_0}}{\ln E_{wk}^T - \ln E_{wk}^{T_0}} \right) \ln \left(\frac{P_{wk}^T}{P_{wk}^{T_0}} \right) \quad (23)$$

3. METODOLOGIAS PARA ESTIMAR E PROJETAR O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO DESAGREGADO POR USOS FINAIS

Para fazer um estudo de planejamento energético, uma das metodologias consiste em definir um ano, chamado ano-base, em que é elaborada a estrutura de consumo de tal maneira que todas as variáveis importantes sejam quantificadas de modo confiável. No caso do consumo de energia elétrica para o setor residencial, algumas dessas variáveis são:

- Número de domicílios;
- Tipos de equipamentos eletroeletrônicos;
- Posse desses equipamentos;
- Consumo específico de cada equipamento.

Para obter uma quantidade de dados suficientes para elaboração de uma pesquisa desse porte, incluindo os diversos usos finais existentes no setor residencial, o ano-base escolhido precisa ser principalmente um ano no qual haja documentos, relatórios e estudos que sejam capazes de suprir de modo confiável a maior parte das informações necessárias para a elaboração da estrutura de consumo. Portanto, a escolha do ano-base foi 2005, porque este ano representa o ano-base considerado na *Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso* no setor residencial (PPH), realizada pelo Procel/Eletrobrás, conjuntamente com a PUC-Rio (ELETROBRÁS/PROCEL, 2007), bem como está próximo do ano-base considerado no Plano Nacional de Energia PNE 2030, que é 2004, (BRASIL, 2007) e, de certa forma, um pouco distante de 2001, que foi um ano atípico, devido ao racionamento de energia elétrica.

A maioria dos dados utilizados para alimentar o ano-base neste estudo foi selecionada da fonte *Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso* no setor residencial (PPH). Esta pesquisa está contida dentro de um trabalho, no âmbito de um projeto maior, denominado “Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil”, em que foram desenvolvidos vários estudos, sendo um deles, para o setor residencial brasileiro. Um dos objetivos nesse estudo consiste em tentar compreender como e de que forma as pessoas consomem energia elétrica no setor residencial. Para tanto, essa pesquisa contemplou dezesseis estados mais o Distrito Federal, com a participação de vinte e uma concessionárias de energia elétrica, sendo aplicados quase 10.000 questionários e selecionados 4.310 consumidores para serem utilizados como amostra⁴.

Definido o ano-base, a estrutura de consumo de energia elétrica no setor residencial foi representada por sete categorias de usos finais, a saber: Aquecimento de água, Condicionamento de alimentos, Condicionamento de ambientes, Iluminação, Serviço, Lazer e Demais equipamentos. A elaboração de categorias para representar o consumo de energia no setor residencial é importante porque possibilita, muitas vezes, associar diferentes tecnologias para o mesmo uso final e também, possibilita distinguir como cada uso final contribui para a composição do consumo total de energia neste setor.

No Quadro 2 são apresentadas as sete categorias e seus respectivos equipamentos de usos finais para o consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro propostos neste trabalho.

⁴ Para mais detalhes sobre o processo de amostragem na pesquisa, consultar ELETROBRÁS/PROCEL (2007).

CATEGORIA DE USO FINAL	TIPO DE EQUIPAMENTO
Aquecimento de água	Chuveiro elétrico
Condicionamento de alimentos	Geladeira, <i>freezer</i>
Condicionamento de ambientes	Aparelho de ar condicionado, ventilador de teto e portátil
Iluminação	Lâmpada incandescente, fluorescente e outras
Serviço	Micro-ondas, ferro de passar roupa, máquina de lavar roupa
Lazer	Aparelho de TV, computador, equipamento de som
Demais equipamentos	Exaustor, aspirador de pó, secadora de roupa, máquina de lavar louça, forno elétrico, cafeteira elétrica, liquidificador, modem, rádio e outros

Quadro 2 – Categorias de uso final e tipos de equipamentos

Fonte: Elaboração própria

Os equipamentos escolhidos para compor as categorias de usos finais foram selecionados da *Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso* para o setor residencial, em 2005, sendo que foram considerados todos os equipamentos eletroeletrônicos, cuja posse fosse maior do que 3% no Brasil. Dentre esses, aqueles aparelhos que foram responsáveis por um consumo médio desprezível (menos de 1 kWh por mês) foram agrupados na categoria Demais equipamentos. A exceção é o computador, que apresentou consumo desprezível, em 2005, porém, devido à sua atual importância nos domicílios, foi selecionado para a categoria Lazer.

Vale destacar que cada equipamento associado a uma categoria de uso final utiliza a eletricidade como fonte de energia. No caso do aquecimento de água, tecnologias como *boiler* elétrico, aquecedor de passagem e aquecedor central, são equipamentos de uso desprezível no Brasil ELETROBRÁS/PROCEL (2007), por isso foi considerado apenas o chuveiro elétrico.

3.1 A desagregação do consumo de energia elétrica

Como já foi apresentado na seção anterior, o consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro é realizado por diversos usos finais e tecnologias. Além disso, variáveis climáticas, culturais e econômicas contribuem para que os consumos, em diferentes regiões, sejam distintos, com variações também intrarregionais. Diante disso, uma maneira de estimar o consumo de energia elétrica seria considerar o consumo de energia desagregado por cada tipo de equipamento (tecnologia) existente em todos os domicílios e distingui-los pelos padrões de consumos a partir dos hábitos de uso e pelo tipo de tecnologia.

Portanto, o consumo de energia elétrica no setor residencial (E), de forma desagregada, pode ser definido como a soma do consumo de energia elétrica de cada tipo de equipamento usado neste setor (C_j), conforme a Equação 24.

$$E = \sum_j^m C_j \quad (24)$$

Também, o consumo de um equipamento específico j pode ser definido como a quantidade de domicílios consumidores (Q) multiplicada pela posse média de equipamentos por domicílio ($\frac{q_j}{Q}$) e seu consumo específico (c_j).

$$C_j = Q \cdot \frac{q_j}{Q} \cdot c_j \quad (25)$$

onde q_j representa a quantidade de equipamentos j no total de domicílios.

O consumo específico (c_j) pode ser calculado a partir da potência do equipamento (p_j) e pelo tempo de uso diário (t_j), sendo que este período está associado ao hábito de uso do consumidor e a potência está associada ao tipo de tecnologia empregada. Além disso, fatores climáticos, culturais e econômicos são variáveis que interferem no consumo específico de cada equipamento.

Como a posse e o consumo de cada equipamento podem ser bastante distintos quando comparados à renda familiar e à região do país, o consumo de energia elétrica também foi desagregado considerando especificidades regionais e econômicas. Para tanto, as informações utilizadas da PPH, que estão contidas em uma amostra de 4.310 domicílios em todo Brasil, foram separadas em três estratos de renda, a saber: até 3 salários mínimos (até 3 SM), maior do que 3 e menor/ igual do que 7 salários mínimos (entre 3 SM e 7 SM) e, por último, acima de 7 salários mínimos (maior do que 7 SM). Esta divisão foi feita seguindo dois critérios: o primeiro deles está associado ao tamanho da amostra. Nestes estratos de renda, cada classe possui um tamanho de 1.268 domicílios, 1.298 domicílios e 565 domicílios, respectivamente, totalizando 3.131 domicílios que declararam sua renda familiar mensal. Se fosse utilizada uma divisão como feita na pesquisa da PNAD elaborada pelo IBGE, o tamanho da amostra para domicílios com renda maior do que dez salários mínimos seria muito pequeno, de acordo com os dados da PPH. Na pesquisa elaborada pelo IBGE é feita uma desagregação por salário mínimo para as classes sociais de menor renda e, para mais de cinco salários mínimos são consideradas apenas duas classes de renda, uma maior do que cinco salários mínimos até dez salários mínimos e outra acima de dez salários mínimos. O segundo critério considerado para divisão dos estratos de renda está associado ao interesse na separação das classes sociais que têm se beneficiado de programas do governo federal. Uma significativa parcela das famílias com renda de até três salários mínimos no Brasil, nos últimos anos, tem participado de programas como “Bolsa Família” (programa de distribuição de renda) e “Minha Casa Minha Vida” (programa habitacional) e, portanto, vale a pena avaliar este grupo separadamente.

Além da criação de estratos de renda, o consumo de energia elétrica para as categorias de Aquecimento de água e Condicionamento de ambiente recebeu um tratamento regionalizado, uma vez que nestas categorias o consumo de energia está fortemente ligado à temperatura do ambiente e no Brasil existem vários tipos de climas conforme a região.

3.2 Determinação do número de domicílios consumidores em cada faixa de renda

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD 2005 (IBGE, 2005), havia no Brasil 53,1 milhões de domicílios, em 2005, sendo que 97% desses domicílios possuíam energia elétrica. Entretanto, comparando com o número de consumidores declarados pelas concessionárias, no mesmo ano (ACHÃO, 2009), pode-se dizer que aproximadamente 5,5% dos domicílios brasileiros que fazem uso da eletricidade, provavelmente são consumidores não legalmente atendidos pelas concessionárias. Desta forma, pode-se considerar que o número de domicílios consumidores (consumidores legais) foi de aproximadamente 48,7 milhões em 2005. Neste trabalho foi utilizado o número de domicílios legalmente atendidos pelas concessionárias já que os dados utilizados para estimar o consumo de energia elétrica foram retirados da PPH, que se baseou nos consumidores atendidos por estas concessionárias.

Segundo a PNAD 2005, 53,0% dos domicílios brasileiros pertenciam ao estrato de renda até 3 SM (IBGE, 2005). Como a partir de cinco salários mínimos a PNAD separa apenas duas classes de renda, que não condiz com a mesma divisão feita neste trabalho, foi utilizada a mesma proporção encontrada na PPH para as famílias com renda acima de cinco salários mínimos. Desta forma, o estrato de renda entre 3 SM e 7 SM representava 29,5% do total de domicílios e 17,5% dos domicílios pertenciam ao estrato de renda acima de 7 SM.

3.3 Determinação da posse de equipamentos eletroeletrônicos

A posse de cada equipamento considerado neste trabalho foi estimada a partir do banco de dados da PPH. A partir dessa pesquisa foi estimada a quantidade de equipamentos existentes nos domicílios de cada estrato de renda e, então, a posse por estrato foi definida pela média aritmética do número de equipamentos, dividido pelo número de domicílios. Esta regra foi considerada para todos os equipamentos, sendo os resultados apresentados na Tabela 3, exceto para o chuveiro elétrico, cujos valores da posse média foram estimados considerando a proporção de domicílios que utilizam esta tecnologia

para o aquecimento de água para banho. Este procedimento é razoável porque para avaliar o consumo de energia elétrica a partir do uso do chuveiro elétrico é suficiente saber apenas quantos domicílios possuem o chuveiro elétrico e sua frequência de uso diário e não quantos equipamentos existem em cada domicílio. Na Tabela 3 é apresentada a posse média dos principais equipamentos avaliados em 2005.

Tabela 3 – Posse média de equipamentos por domicílio em 2005

EQUIPAMENTO	Até 3 SM	Entre 3 SM e 7 SM	Maior do que 7 SM
Chuveiro elétrico	0,57	0,81	0,82
Geladeira	0,92	1,02	1,08
Ar condicionado	0,02	0,09	0,42
Lâmpada incandescente	4,27	4,98	6,40
Lâmpada fluorescente	1,73	3,32	6,60
<i>Freezer</i>	0,09	0,21	0,48
Aparelho de Televisão	1,07	1,37	2,02
M. Lava roupa	0,39	0,73	0,88
Micro-ondas	0,07	0,32	0,66
Ferro de passar roupa	0,84	0,96	0,98
Aparelho de som	0,53	0,74	1,00
Computador	0,04	0,17	0,60
Ventilador de mesa	0,61	0,81	0,92
Ventilador de teto	0,16	0,48	0,72

Fonte: Elaboração própria a partir de ELETROBRÁS/PROCEL (2007)

Destaca-se, na Tabela 3, a significativa variação de posse de equipamentos eletroeletrônicos por estrato de renda. Conforme se pode notar, a posse de aparelhos como ar condicionado, computador e *freezer* chega a ser mais de cinco vezes maior para aqueles domicílios de maior renda, em comparação com aqueles de menor renda. Além disso, não se pode esquecer que o clima é um fator determinante na composição da posse de equipamentos eletroeletrônicos nos lares brasileiros. Por exemplo, no caso do chuveiro elétrico a posse desse equipamento na Região Norte, em média, é 0,05

chuveiros por domicílio, enquanto na Região Sul chega a 1,17 chuveiros por domicílio (ELETROBRÁS/ PROCEL, 2007).

Também, vale destacar que a posse média de um dado equipamento, multiplicada pelo número de domicílios, representa a quantidade média de equipamentos existentes, porém, quando multiplicado pelo consumo específico de cada equipamento, o resultado poderia ficar superestimado, uma vez que existem equipamentos que são utilizados de forma diferente uns dos outros, podendo ser de uso habitual ou eventual ou até mesmo permanecer sempre desligado. Portanto, percebe-se que a estimativa de consumo precisa ser mais detalhada e devem-se considerar as especificidades de cada equipamento, principalmente para aqueles de maior consumo. Desta forma, essas considerações serão discutidas a seguir.

3.4 Determinação do consumo específico dos equipamentos eletroeletrônicos

Em geral, o consumo específico de energia elétrica pelos equipamentos eletroeletrônicos é determinado pela Equação 9, apresentada anteriormente. Entretanto, para cada equipamento ou um conjunto deles, a equação do consumo específico foi modificada, ora desagregando a potência e o tempo de uso, ora apenas a potência ou o tempo de uso, de tal forma que a base de dados disponibilizada pela PPH possa ser usada de maneira mais eficiente. Essas especificidades serão apresentadas adiante.

3.4.1 Chuveiro elétrico

Para este equipamento, o consumo específico foi estimado considerando a potência média do estoque de equipamentos selecionados a partir da amostra da PPH. Considerou-se também que cada equipamento possui duas potências distintas, sendo que a potência do equipamento na posição da chave “verão” (menor potência) foi considerada como sendo 62% da potência na posição da chave “inverno” (maior potência) (INMETRO, 2011).

A partir da mesma pesquisa foi determinada a proporção de domicílios que utilizam o chuveiro elétrico na posição da chave “verão” ou na posição da chave “inverno”, tanto para o período que os moradores consideram inverno, quanto para o restante do ano.

Como hipótese, foi considerada que a quantidade de meses que um domicílio deixa a chave do chuveiro elétrico na posição “inverno” ou “verão” está relacionada com a sensação de desconforto térmico por calor ou frio para o ser humano. Para tanto, o Brasil foi dividido por região e cada região foi representada pelas capitais para simplificar a análise dos dados. Para cada capital, foram determinados quantos meses do ano a população, à noite, que é o principal período em que as pessoas tomam banho, têm o predomínio da sensação de desconforto térmico por calor e, portanto, tenderiam a dizer que não é período de inverno. A quantidade de meses considerada como não sendo inverno para cada capital foi estimada considerando o período da noite, entre 18 horas e 21 horas, em que pelo menos duas horas deste intervalo de tempo predominasse sensação de desconforto por calor.

Para tanto, a metodologia empregada para estimar a sensação de desconforto térmico consiste em determinar a temperatura média horária do ar em cada mês ao longo do período do dia para uma localidade específica e, para isso, são necessárias as médias das temperaturas do ar máximas e mínimas mensais que podem ser encontradas nas Normais Climatológicas (BRASIL, 2011b) e ajustadas à curva padrão da Organização Mundial de Meteorologia, conforme mostram Pereira (2010) e Assis (2001) e apresentado na Equação 26, a seguir.

$$T = T_{m\acute{a}x} - (T_{m\acute{a}x} - T_{m\grave{i}n}).v \quad (26)$$

Onde,

T = temperatura média mensal horária (°C);

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

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

v = ajuste da curva horária de temperatura, a partir da hora 0 até a hora 23, respectivamente: 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.

Segundo Koenigsberger *et al* (1977), é possível determinar quais os limites de temperaturas de conforto térmico por calor e por frio, tanto para o dia quanto para a noite. Normalmente, quanto maior a umidade relativa do ar, menores são estes limites e, portanto, tais limites variam dependendo de cada região do Brasil, uma vez que uma cidade como Belo Horizonte/MG sofre maiores variações de umidade relativa do ar durante o ano do que outra como Aracajú/SE. Estes limites são relacionados tanto com a umidade relativa do ar mensal quanto com a temperatura média anual (TMA), sendo que esta temperatura é calculada a partir da média aritmética da maior temperatura máxima e da menor temperatura mínima anual. O conjunto desses limites de conforto térmico está apresentado abaixo.

Tabela 4 – Limites de conforto térmico a partir das Tabelas de Mahoney

Umidade Relativa do Ar U R (%)	TMA ≤ 15°		15° < TMA < 20°		TMA ≥ 20°	
	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite
< 30	21-30	12-21	23-32	14-23	26-34	17-25
30-50	20-27	12-20	22-30	14-22	25-31	17-24
50-70	19-26	12-19	21-25	14-21	23-29	17-23
> 70	18-24	12-18	20-25	14-20	22-27	17-21

Fonte: Elaboração própria a partir de Koenigsberger *et al.* (1977)

Considerando o limite de conforto térmico por calor, à noite, para cada cidade, juntamente com a temperatura média mensal horária, foi possível estimar quantos meses durante o ano, em média, a população tem a sensação de “calor” e, portanto, os entrevistados poderiam tender a dizer que não é inverno. Na Tabela 5 é apresentada a

quantidade de meses que a população tenderia em dizer que não é inverno em diferentes cidades brasileiras.

Tabela 5 – Quantidade de meses com desconforto por calor à noite nas principais cidades brasileiras

Quantidade de meses com desconforto por calor à noite	Número de cidades avaliadas
0 - 5	3
6 - 9	3
10 - 11	4
12	17

Fonte: Elaboração própria

A quantidade de meses que as famílias tenderiam em dizer que não é inverno no Brasil foi estimada fazendo uma média do número de meses que não é inverno para todas as cidades consideradas e ponderando pela posse de chuveiros elétricos existentes nas regiões a que as cidades pertencem. Este tempo foi estimado em 8,4 meses e este período foi considerado para representar as proporções de domicílios que deixam a chave na posição “verão” e “inverno” no período que não é inverno, segundo a pesquisa PPH para o Brasil.

Finalmente, definida a potência, foi estimado o tempo de uso do chuveiro elétrico por mês. Para isso, considerou-se que, em média, uma pessoa toma um banho por dia, conforme declarações da maioria dos entrevistados na PPH. A Tabela 6 mostra o tempo de banho por estrato de renda (ELETROBRÁS/ PROCEL, 2007) e o número de pessoas por domicílio (IBGE, 2012).

Tabela 6 – Tempo médio de banho e número de pessoas por domicílio em 2005

Renda	Até 3 SM	Entre 3 SM e 7 SM	Maior do que 7 SM
Nº de pessoas por domicílio	3,30	3,67	3,60
Tempo médio de um banho em minuto	9,0	10,5	12,6

Fonte: Elaboração própria

De posse desses dados é possível estimar o consumo específico de energia elétrica a partir do uso do chuveiro elétrico para o Brasil, conforme a Equação 27.

$$C_{\text{chuveiro}} = [(p_{(\text{máx})} \cdot f_{(\text{inverno})} + p_{(\text{mín})} \cdot f_{(\text{verão})}) \cdot t] \cdot n_{(\text{não inverno})} + [(p_{(\text{máx})} \cdot f_{(\text{inverno})} + p_{(\text{mín})} \cdot f_{(\text{verão})}) \cdot t] \cdot n_{(\text{inverno})} \quad (27)$$

em que:

$C_{(\text{chuveiro})}$ – consumo específico de energia elétrica por chuveiro elétrico (kWh);

$p_{(\text{máx})}$ – Potência máxima do equipamento (kW);

$p_{(\text{mín})}$ – Potência mínima do equipamento (kW);

$f_{(\text{inverno})}$ – proporção de domicílios que deixam a chave do chuveiro na posição inverno;

$f_{(\text{verão})}$ – proporção de domicílios que deixam a chave do chuveiro na posição verão;

t – tempo total de uso do chuveiro por mês (horas);

$n_{(\text{não inverno})}$ – número de meses com predomínio de desconforto por calor à noite;

$n_{(\text{inverno})}$ – número de meses sem predomínio de desconforto por calor à noite.

3.4.2 Geladeira e freezer

Para estes equipamentos, o consumo específico foi estimado considerando a média de consumo do estoque de equipamentos, o hábito de uso e a idade dos aparelhos existentes nos domicílios brasileiros que foram amostrados pela PPH. Cada tipo de aparelho possui um consumo mensal declarado pelo INMETRO e o consumo específico é calculado pela média de consumo de cada aparelho e seu hábito de uso. Para todos os equipamentos que possuíam idade acima de cinco anos, foi considerado que eles consumiam 16% a mais do que um equipamento novo, no caso das geladeiras, e 13% no caso dos *freezers* (MELO, 2009). Também foi considerado que os hábitos de uso desses equipamentos podem ser divididos em quatro categorias, conforme PPH, a saber: uso permanente, desligado, uso parcial durante o dia e uso eventual. Para as categorias de uso parcial, foi considerado o tempo de dois dias por semana, enquanto para a categoria de uso eventual foi considerado o tempo de um dia por mês. A Tabela 7, a seguir, mostra o consumo médio de cada aparelho e o hábito de uso mensal por estrato de renda, em 2005.

Tabela 7 – Consumo médio de refrigeradores e *freezers* e hábito de uso mensal em 2005

Renda		Até 3 SM	Entre 3 SM e 7 SM	Maior do que 7 SM
Consumo médio (kWh/mês)	Refrigerador	34	39	46
	<i>Freezer</i>	47	47	52
Hábito de uso mensal (dias/mês)	Refrigerador	29	29	29
	<i>Freezer</i>	18	21	25

Fonte: Elaboração própria

Desta forma, o consumo de energia elétrica, a partir do uso do refrigerador e do *freezer*, pode ser estimado seguindo a Equação 28, a seguir.

$$c = [(C_m f_{(n)} + \varepsilon \cdot C_m f_{(v)}) \cdot h] \cdot n \quad (28)$$

em que:

c – consumo específico de energia elétrica por refrigerador ou *freezer* (kWh);

C_m – consumo médio dos equipamentos existentes nos domicílios (kWh/dia);

$f_{(n)}$ – proporção de equipamentos com idade de até cinco anos;

$f_{(v)}$ – proporção de equipamentos com idade acima de cinco anos;

ε – fator de correção de consumo (para o refrigerador 1,16 e para *freezer* 1,13);

h – hábito de uso mensal (dias/mês),

n – número de meses no ano (neste caso, doze meses).

3.4.3 *Aparelho de ar condicionado e ventiladores*

Também para estes equipamentos, o consumo específico foi estimado considerando o tipo de aparelho, o hábito de uso e a idade dos aparelhos existentes nos domicílios brasileiros que compõem a amostra da PPH.

O hábito de uso para estes equipamentos foi estimado baseando-se na mesma lógica utilizada na estimativa de consumo de energia para o chuveiro elétrico; entretanto, neste caso, foram definidas categorias de sensações térmicas como “Quente”, “Frio” e “Ameno”. A quantidade de meses para cada uma dessas sensações térmicas foi estimada considerando o período noturno. Segundo ELETROBRÁS/ PROCEL (2007), a curva de carga para o aparelho de ar condicionado indica que o período noturno é o período de maior uso deste equipamento no Brasil. Desta forma, considerando todo o período da noite, caso o maior número de horas durante este período seja de sensação térmica de calor, então o mês foi definido como “Quente”; sendo o maior número de

horas com a sensação térmica por frio, então foi definido como “Frio” e, não ocorrendo o predomínio de nenhum dos dois casos, então, “Ameno”.

Para determinar a frequência de uso mensal destes equipamentos, e também para outros, foram utilizados os dados da PPH, em que os entrevistados puderam afirmar qual o hábito de uso semanal de cada equipamento. Para isso, foram construídas cinco faixas que representam o grau de utilização do equipamento durante a semana. Essas faixas de utilização variam de “grande” (mais de quatro dias por semana) até “não utiliza”. Abaixo, na Tabela 8, são apresentadas essas faixas elaboradas pela PPH e a quantidade de dias por semana considerada, neste trabalho, para cada faixa.

Tabela 8 – Grau de utilização de aparelhos eletroeletrônicos

Frequência de uso	Dias por semana
Grande (mais de 4 vezes por semana)	6,0
Média (entre 1 e 3 vezes por semana)	2,0
Regular (entre 1 e 3 vezes por mês)	0,5
Pequena (menos de 1 vez por mês)	0,25
Não utiliza	0

Fonte: Elaboração própria

Desta forma, a quantidade de dias por semana em que um dado equipamento é utilizado foi estimada fazendo uma média ponderada das respostas dos entrevistados por faixas de grau de utilização.

No caso do tempo de uso diário do aparelho de ar condicionado, este foi estimado pela média dos hábitos de usos desses equipamentos ao longo do dia declarados pelos entrevistados na pesquisa da PPH, sendo que para os ventiladores foi considerado, como hipótese, o mesmo tempo, uma vez que eles têm a mesma finalidade dos aparelhos de ar condicionado.

Também, especialmente no caso dos aparelhos de ar condicionado que possuíam idade acima de cinco anos, em 2005, foi considerado que esses consumiam 15% a mais do que um equipamento novo (MELO, 2009). Na Tabela 9, na sequência, os parâmetros para estimar o consumo foram agrupados para melhor compreensão, considerando, em alguns casos, mais de um equipamento, conforme os estratos de renda.

Tabela 9 – Parâmetros para estimar o consumo médio de energia elétrica a partir do estoque de aparelhos de ar condicionado em 2005

RENDA	Consumo médio (kWh) em 1 hora	Horas por dia (h)	DIAS POR MÊS			Nº DE MESES		
			“Quente”	“Frio”	“Ameno”	“Quente”	“Frio”	“Ameno”
Até 3 SM	<i>Equip.1</i> 0,64	5,5	9,3	0,6	0,6	7,6	1,6	2,8
Entre 3 SM e 7 SM	<i>Equip.1</i> 0,64	5,6	13,5	2,1	5,8	7,6	1,6	2,8
	<i>Equip.2</i> 0,64	6,0	11,8	0,5	0,1			
Maior do que 7 SM	<i>Equip.1</i> 0,67	7,3	13,6	0,3	0,8	7,6	1,6	2,8
	<i>Equip.2</i> 0,67	7,4	10,8	0,9	0,6			

Fonte: Elaboração própria

No caso dos ventiladores, foram considerados os mesmos parâmetros utilizados para estimar o consumo de energia nos aparelhos de ar condicionado, entretanto, neste caso o consumo médio do estoque, em uma hora de funcionamento para os ventiladores de teto e portátil (de mesa), é 0,07 kWh (ELETROBRÁS/PROCEL, 2011).

3.4.4 Lâmpadas

Considerando o mesmo banco de dados da *Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso* (PPH), a estimativa do consumo específico de energia elétrica para iluminação foi elaborada a partir do estoque de lâmpadas existentes nos lares brasileiros. Da mesma forma, a quantidade de cada tecnologia foi estimada

considerando a média de lâmpadas incandescentes, fluorescentes compactas (FLC) e de outros tipos declaradas na pesquisa.

Para tanto, foi estimada a proporção de cada tipo de lâmpada existente nos cômodos dos domicílios e o tempo em que a luz fica acessa nesses espaços para os diferentes estratos de renda considerados neste trabalho. Nas Tabelas 10, 11 e 12 são apresentadas as potências médias para os tipos de lâmpadas existentes nos principais espaços das residências, segundo a PPH no ano de 2005 e, também, o tempo médio de uso diário. Neste caso, a quantidade de espaços considerados foi de acordo com a posse total de lâmpadas em cada estrato de renda.

Tabela 10 – Potência e hábito de uso diário de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e outros tipos nos domicílios brasileiros de renda de até 3 SM, em 2005

Espaços	Potência média de incandescentes (W)	Potência média de fluorescentes e outras (W)	Proporção de incandescentes (%)	Proporção de fluorescentes e outras (%)	Tempo de uso diário (h)
Sala	60	23	64	36	3,3
Quarto 1	58	19	72	28	1,6
Quarto 2	58	19	72	28	1,4
Banheiro	58	19	77	23	1,3
Cozinha/copa	60	23	66	34	3,1
Área externa	60	23	73	27	2,6

Fonte: Elaboração própria

Tabela 11 – Potência e hábito de uso diário de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e outros tipos nos domicílios brasileiros de renda entre 3 SM e 7 SM, em 2005

Espaços	Potência média de incandescentes (W)	Potência média de fluorescentes e outras (W)	Proporção de incandescentes (%)	Proporção de fluorescentes e outras (%)	Tempo de uso diário (h)
Sala	65	20	57	43	3,3
Quarto 1	63	19	63	37	1,7
Quarto 2	63	19	61	39	1,6
Banheiro 1	63	19	63	37	1,4
Corredor	63	20	60	40	2,3
Cozinha/Copa	66	24	49	51	3,2
Área serviço	66	22	64	36	1,5
Área externa	69	22	68	32	2,6

Fonte: Elaboração própria

Tabela 12 – Potência e hábito de uso diário de lâmpadas incandescentes, fluorescentes e outros tipos nos domicílios brasileiros de renda maior do que 7 SM, em 2005

Espaços	Potência média de incandescentes (W)	Potência média de fluorescentes e outras (W)	Proporção de incandescentes (%)	Proporção de fluorescentes e outras (%)	Tempo de uso diário (h)
Sala 1	67	21	45	55	3,8
Quarto 1	66	20	52	48	2,0
Quarto 2	66	20	52	48	1,8
Quarto 3	67	19	53	47	1,7
Banheiro 1	65	20	51	49	1,8
Banheiro 2	65	19	52	48	1,3
Corredor	62	21	46	54	2,0
Cozinha/Copa	67	24	33	67	3,9
Área serviço	62	21	50	50	1,4
Área externa	71	22	55	45	2,5
Garagem	67	23	56	44	1,9
Quarto 4	69	19	54	46	1,4
Banheiro 3	63	19	58	42	1,2

Fonte: Elaboração própria

O consumo médio, tanto para as lâmpadas incandescentes quanto para as lâmpadas fluorescentes e outras, foi estimado pela média do consumo em cada cômodo por tempo de uso diário. No caso das lâmpadas incandescentes, o consumo médio diário por lâmpada foi de 132 Wh, 142 Wh e 126 Wh, para os estratos de renda de até 3 SM, entre 3 SM e 7 SM e maior do que 7 SM, respectivamente. Para as lâmpadas fluorescentes e demais lâmpadas, o consumo médio diário foi de 48 Wh, 46 Wh e 40 Wh, para os estratos de renda de até 3 SM, entre 3 SM e 7 SM e maior do que 7 SM, respectivamente.

3.4.5 Aparelho de televisão e computadores

No caso do aparelho de televisão, foi estimado o consumo de energia para este equipamento considerando a potência média dos aparelhos existentes no Brasil, segundo a PPH, como também a potência média dos aparelhos em *stand by*. Além disso, o hábito de uso mensal foi estimado a partir das mesmas categorias de grau de utilização definidas na Tabela 8, sendo que o hábito de uso diário desses aparelhos foi considerado 5 horas por dia (ELETROBRÁS/PROCEL, 2011). No restante do tempo, o aparelho fica desligado ou em modo *stand by*. Para aqueles domicílios que têm o hábito de deixar o aparelho no modo *stand by*, foi estimado o consumo de energia neste período a partir da potência média neste modo de espera. A Tabela 13 mostra o consumo mensal estimado, para todos os estratos de renda considerados neste trabalho.

Tabela 13 – Consumo médio mensal do estoque de aparelhos de televisão desagregado por estrato de renda, em 2005

Estrato de renda	Consumo médio mensal por equipamento (kWh)
Até 3 SM	8,1
Entre 3 SM e 7 SM	9,4
Maior do que 7 SM	9,8

Fonte: Elaboração própria

No caso do computador, a estimativa de consumo de energia elétrica devida ao seu uso também foi baseada nos mesmos parâmetros da Tabela 8, que permite dimensionar o grau de utilização mensal deste equipamento e, a partir da mesma pesquisa (PPH) foi estimado o tempo de uso diário para os distintos estratos de renda. A potência utilizada para estimativas dos cálculos de consumo para estes equipamentos foi de 63W, sugerida por ELETROBRÁS/PROCEL (2011a). Na Tabela 14 é apresentado o hábito mensal e diário de uso do computador para os três estratos de renda.

Tabela 14 – Hábitos mensal e diário do uso do computador, em 2005

Estrato de renda	Hábito de uso mensal (dias/ mês)	Horas de uso diário (h)
Até 3 SM	10,9	2,5
Entre 3 SM e 7 SM	12,4	2,9
Maior do que 7 SM	15,8	3,9

Fonte: Elaboração própria

3.4.6 Demais equipamentos

Para os Demais equipamentos, foi considerada a potência, como também os hábitos de uso diário, sugerida por ELETROBRÁS/PROCEL (2011a). Entretanto, a frequência de uso mensal foi estimada a partir das cinco faixas de grau de utilização consideradas pela mesma metodologia descrita na Tabela 8.

Finalmente, na Tabela 15, são apresentados os consumos específicos dos principais equipamentos eletroeletrônicos avaliados neste estudo. Observe que o chuveiro a geladeira, *freezer* e o aparelho de ar condicionado são os equipamentos de maiores consumos específicos.

Tabela 15 – Consumo específico (kWh/ano) do estoque de equipamentos em 2005

Equipamento	Até 3 SM	Entre 3 SM e 7SM	Maior do que 7 SM
Chuveiro elétrico	532	724	912
Geladeira	406	464	546
Ar condicionado	257	424	481
Lâmpada incandescente	48	51	45
Lâmpada fluorescente	17	17	14
Freezer	568	565	623
Aparelho de Televisão	97	112	117
Máquina de lavar roupa	12	13	15
Micro-ondas	60	68	83
Ferro de passar roupa	65	81	96
Aparelho de som	44	47	55
Computador	21	30	49
Ventilador de mesa	29	39	45
Ventilador de teto	29	40	46

Fonte: Elaboração própria a partir de ELETROBRÁS/PROCEL (2007; 2011)

Conhecidos a quantidade de domicílios, a posse para cada equipamento e o consumo específico, então, é possível estimar, em 2005, a estrutura de consumo de energia elétrica para o setor residencial. Esses resultados serão apresentados no Capítulo 4 (quatro).

3.5 Projeções de consumo de energia elétrica até 2020

A partir de um dos objetivos deste trabalho, que consiste em avaliar a evolução do consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro, foi estimado o consumo de energia elétrica para o ano de 2010 e projetado o consumo de 2015 e 2020. Nas últimas décadas o setor residencial passou por significativas mudanças estruturais que contribuíram para um aumento expressivo do consumo de energia elétrica. Dentre as causas deste aumento no consumo pode-se citar: 1) a melhoria de renda das famílias, 2) a implementação de programas de eletrificação, que permitiram um maior acesso à energia elétrica, 3) a redução do déficit habitacional, 4) programas de eficiência

energética no setor residencial e, até mesmo, 5) em virtude das mudanças nos hábitos de vida dos brasileiros.

A escolha deste período de projeção de médio prazo, finalizando o alcance das projeções em 2020, justifica-se por dois motivos: 1) pela possibilidade de comparar com os valores do PDE 2020 (BRASIL, 2011a) e 2) porque fazer projeções no longo prazo para uma estrutura desagregada, como é proposta neste trabalho, tem se mostrado extremamente complexa, uma vez que no setor residencial o consumo se dá pela utilização de diversos equipamentos que possuem uma relação dinâmica de substituição, penetração e hábito de uso; portanto, a projeção no longo prazo no setor residencial torna-se mais recomendável para estudos com estruturas mais agregadas.

Desta forma, considerando as projeções até 2020, preferiu-se a elaboração de um único cenário e a utilização de análise de sensibilidade para avaliar o efeito de algumas importantes variáveis no consumo total de energia elétrica. Isto se justifica porque o consumo de energia elétrica em 2010 já é conhecido e o ano de 2015 está próximo, sendo que, conforme o PDE 2020, a projeção de consumo de energia elétrica em 2020 no setor residencial seria aproximadamente 23% maior do que a projeção de 2015 (BRASIL, 2011a).

Para fazer as projeções neste cenário foi considerado como variáveis socioeconômicas: o nível da atividade econômica no Brasil, a distribuição de renda das famílias, o número de domicílios consumidores e a densidade de pessoas por domicílio.

O nível da atividade econômica brasileira pode ser medido pelo Produto Interno Bruto (PIB). Este indicador apresentou um valor médio histórico de 4,3% ao ano, no período de 2005-2010 e uma projeção de 5,0% ao ano no período de 2010-2020, sendo que a elasticidade-renda⁵ do consumo de energia elétrica para este setor seria em média de 0,9 para o período 2010-2020 (BRASIL, 2011a). Além disso, o número de domicílios consumidores aumentou, em média, 3,2% ao ano no período 2005-2010 e espera-se que

⁵ Elasticidade-renda do consumo de energia é a razão entre a taxa anual de consumo de energia e a taxa anual de renda; neste caso, foi utilizado o PIB como parâmetro. Este indicador serve para indicar como o consumo de energia é sensível às variações de renda.

creança a uma taxa de 3,6% e 2,2% ao ano, nos períodos 2010-2015 e 2015-2020, respectivamente, chegando ao fim da projeção (ano 2020) com 75,7 milhões de domicílios (BRASIL, 2011a).

Para estimar a densidade de pessoas por domicílio até 2020, foi utilizado um ajuste logístico a partir dos dados históricos, disponibilizados pelo IBGE (2012). Este ajuste segue um modelo a partir de uma função logística que foi elaborada por Pierre François Verhulst, em 1838. Esta função logística descreve os processos de crescimento natural de vários sistemas, sendo representada em uma curva na forma de “S”, que demonstra um caráter de crescimento não linear. Um processo de crescimento natural consiste em preencher um determinado ‘nicho’ desde o início até a sua saturação, observando que este nicho a ser preenchido apresenta limite de capacidade. Desta forma, o crescimento de uma população, a difusão de uma epidemia ou de uma inovação tecnológica, o crescimento do mercado de um produto, o crescimento de um ser vivo, etc., são considerados como processos de crescimento natural e podem ser descritos por curvas logísticas (Ferreira, 1996). A Figura 12 mostra a diferença entre a curva de uma função exponencial e uma função logística.

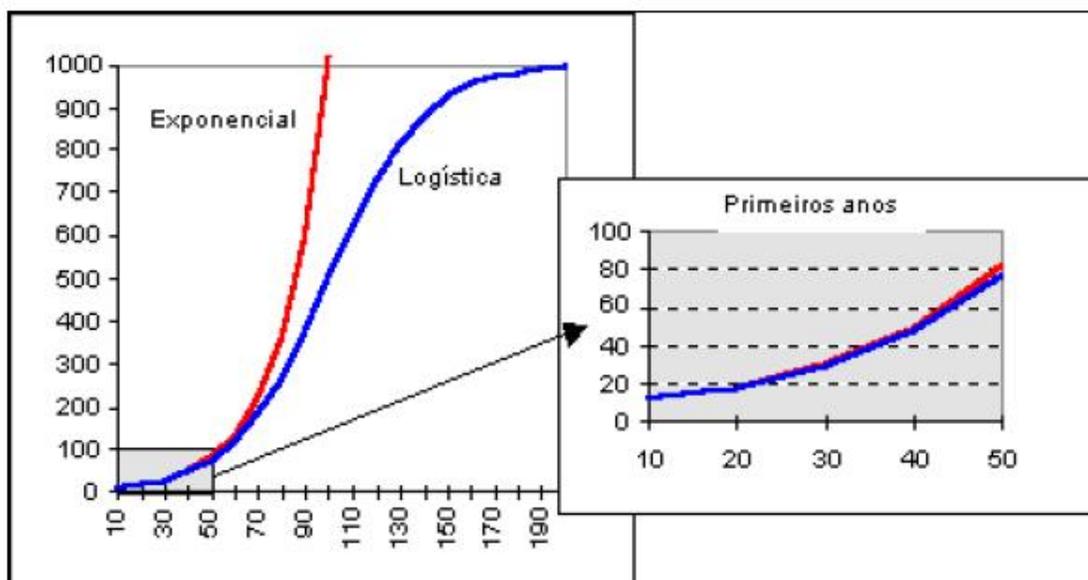


Figura 12 – Função logística e função exponencial

Fonte: Ferreira (1996)

Segundo esta função logística, a evolução temporal de uma população qualquer pode ser descrita como:

$$N(t) = \frac{K}{1+e^{-(rt+b)}} \quad (29)$$

onde,

K – é o valor máximo de indivíduos no meio;

r e b – são parâmetros que devem ser determinados a partir da evolução da população no passado.

A partir deste modelo foi possível estimar o número de pessoas por domicílios para os distintos estratos de renda considerados nesta tese, como pode ser vista na Tabela 16.

Tabela 16 – Estimativas e projeções para o número de pessoas por domicílio para os três estratos de renda

Renda	2005	2010	2015	2020
Até 3 SM	3,3	3,0	2,8	2,7
Entre 3 SM e 7 SM	3,7	3,4	3,3	3,2
Maior do que 7 SM	3,6	3,4	3,3	3,2

Fonte: Elaboração própria

Com relação à distribuição de renda, haveria uma redução da proporção de domicílios, com renda de até 3 salários mínimos, de 53,0% para 40,9% no período 2005-2020; um aumento da proporção de domicílios com renda acima de 7 SM, de 17,5% para 22,4%, no mesmo período; e, um aumento de 29,5% para 36,7% para os domicílios com renda entre 3 SM e 7 SM (ERNEST & YOUNG TERCO, 2008).

Para as demais hipóteses, inclusive as tecnológicas, as principais são:

a) *Aquecimento de água*: Aumento de potência de 0,48% ao ano, para os chuveiros elétricos (BRASIL, 2011a) e diminuição do tempo de uso do chuveiro elétrico, devido à redução do tamanho das famílias brasileiras. As demais variáveis relacionadas ao consumo específico do chuveiro elétrico foram mantidas constantes.

Durante o período 2005-2010, a região Nordeste foi uma das principais responsáveis pelo aumento do número de domicílios no Brasil (IBGE, 2012). Como nesta região a posse de chuveiro elétrico é pequena, considerou-se que em 2010 a proporção de chuveiros no Brasil seria a média ponderada das proporções regionais de chuveiros pelo peso do número de domicílios por região.

Para depois de 2010, considerou-se que o número de domicílios que teriam chuveiro elétrico no estrato de renda até 3 SM sofreria uma redução do número de domicílios de 0,8% ao ano, chegando a 50% em 2020. Isto porque o programa “Minha Casa Minha Vida” (MCMV) do governo federal seria responsável por induzir a redução do número de chuveiros ao substituir este equipamento por aquecedores solares. No programa MCMV são previstos aproximadamente 1,44 milhões residências, nas fases 1 e 2, para este estrato de renda (neste caso, considera-se que 840 mil residências seriam entregues até 2015 e o restante depois de 2015). Na primeira fase do programa, foi entregue aproximadamente 1,0 milhão de residências, sendo que apenas 24% destes imóveis destinavam-se para a classe até 3 SM (BRASIL, 2012c). Nesta fase, em torno de 4,1% das residências possuíam Sistema de Aquecimento Solar (SAS), todos eles instalados em domicílios de baixa renda (BRASIL, 2013b). Já na segunda fase do programa, o SAS passou a ser obrigatório para as casas contratadas para as famílias com renda até R\$ 1.600,00 e, esperava-se que fossem contratadas 1,2 milhões de residências para este estrato de renda (BRASIL, 2012c). Portanto, neste cenário considerou-se, seguindo proposta do PDE 2020, que praticamente todos os domicílios contratados na segunda fase do programa MCMV, na faixa de renda até 3 SM, possuiriam SAS. Para as famílias entre 3 SM e 7 SM, foi considerado que o programa MCMV (segunda fase) induziria uma penetração de 4,1% de residências com SAS, do total de 800 mil domicílios contratados, sendo que a primeira metade seria implementada até 2015 e a outra, até 2020. Isto porque a taxa de 4,1% representa a quantidade de domicílios que

possuíram o SAS de forma facultativa na primeira fase do programa MCMV, portanto, por hipótese, esta taxa foi utilizada também na segunda fase, para o estrato de renda entre 3 SM e 7 SM. Finalmente, nos domicílios de renda acima de 7 SM haveria uma penetração significativa de gás natural (GN), considerando-se, como hipótese, que todos os novos domicílios que aqueceriam água com GN estariam neste estrato de renda, havendo, dessa forma, uma maior substituição da energia elétrica e do GLP, como forma de aquecimento de água para banho. Diante disto, a posse de chuveiros elétricos reduziria em 0,2% ao ano até 2020, conforme nota técnica da EPE sobre eficiência energética na indústria e nas residências (BRASIL, 2010c). Neste caso, a posse de chuveiro elétrico seria reduzida para 80% e a do aquecedor a GN seria aumentada para 9%, em 2020, mantendo a posse das demais tecnologias de aquecimento de água constantes.

b) **Condicionamento de alimentos:** Espera-se melhoria da eficiência de refrigeradores e *freezers* por substituição de equipamentos velhos por novos, sendo que, em 2020, por hipótese, não haveria nenhum equipamento com eficiência abaixo da faixa B, estabelecida pelo INMETRO (2011). Nesta categoria, as geladeiras teriam uma redução de consumo de 0,8% ao ano, 0,2% ao ano e 1,3% ao ano, para os estratos de renda de 3 SM, entre 3 SM e 7 SM e maior do que 7 SM, respectivamente. Os *freezers* teriam o consumo reduzido de 1,2% ao ano, 0,6% ao ano e 0,8% ao ano, seguindo a mesma ordem dos estratos de renda apresentados anteriormente.

No caso da posse desses equipamentos, foi utilizado o método logístico para fazer a projeção a partir das séries históricas disponibilizadas pelo IBGE (2012), partindo do pressuposto que há uma saturação da quantidade de equipamento por domicílio e, portanto, poderia ser modelado como um processo de crescimento natural, conforme mostrado anteriormente. Para o estoque de geladeiras, a posse média por domicílio aumentaria, no período de 2005-2020, de 0,92 para 1,10 para as famílias com renda de até 3 SM; aumentaria de 1,02 para 1,06, para as famílias com renda entre 3 SM e 7 SM; e, aumentaria de 1,08 para 1,09, para os domicílios com renda acima de 7 SM. Para o *freezer*, a posse média do estoque por domicílio, aumentaria de 0,09 para 0,10, reduziria

de 0,21 para 0,19 e, reduziria de 0,48 para 0,35, no mesmo período e para os mesmos estratos de renda apresentados para a geladeira, respectivamente.

c) **Condicionamento de ambientes:** Espera-se melhoria de eficiência dos aparelhos de ar condicionado por substituição de velhos equipamentos por novos, sendo 0,2% ao ano, para equipamentos existentes nos domicílios com renda de até 7 SM, e, 0,5% ao ano, para os demais equipamentos, sendo que, em 2020, não haveria nenhum equipamento com eficiência abaixo da faixa B, estabelecida pelo INMETRO (2011). Para os ventiladores, foi utilizada a mesma faixa de eficiência acima, sendo que todos os aparelhos existentes nos domicílios de renda de até 7 SM teriam uma redução de consumo de 1,1% ao ano e, para os demais equipamentos, a redução de consumo seria de 2,1% ao ano.

Para a projeção da posse dos aparelhos de ar condicionado e ventiladores, foi feito um ajuste logístico a partir dos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF), elaborada pelo IBGE (1996), juntamente com os valores estimados a partir da pesquisa do ELETROBRÁS/PROCEL (2007), para o ano de 2005. Desta forma, considerou-se que para as famílias, com renda de até 3 SM, o número de aparelhos de ar condicionado aumentaria de 7,5% ao ano, de 2005-2010, e 10,3% ao ano, para o restante do período; para as famílias com renda entre 3 SM e 7 SM, aumentaria de 9,1% ao ano, no período 2005-2010 e 6,1% ao ano, para os demais anos e, finalmente, para as famílias com renda acima de 7 SM, as taxas seriam de 2,8% ao ano e 1,8% ao ano, para os mesmos períodos dos outros estratos. Para os ventiladores, haveria aumento de 1,1% ao ano no período 2005-2010 e 0,6% ao ano no período 2010-2020, para os ventiladores existentes nos domicílios de renda de até 3 SM, de 0,9% ao ano e 0,4% ao ano, nos mesmos períodos para o estrato de renda entre 3 SM e 7 SM, e de 0,9% ao ano e 0,5% ao ano, para o estrato de renda acima de 7 SM.

d) **Iluminação:** Para a categoria de iluminação, considerou-se que em 2020 não haveria nenhuma lâmpada incandescente sendo utilizada para iluminação de ambientes, conforme Portaria nº 1.007/2010, do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2010b). Desta forma, todas as lâmpadas incandescentes seriam substituídas por lâmpadas

fluorescentes compactas (FLC). Primeiramente, a partir de 2015, não haveria lâmpadas incandescentes de 100 W e 150 W e, por isso, o consumo médio do estoque de lâmpadas seria de 45 kWh ao ano para o estrato de renda até 3 SM, de 46 kWh ao ano para o estrato de renda entre 3 SM e 7 SM e de 40 kWh ao ano para o estrato de renda maior do que 7 SM, em 2015. No ano de 2020, o consumo seria nulo para todos os estratos de renda. Para lâmpadas fluorescentes compactas (FLC) e demais tecnologia considerou-se, como hipótese, que o consumo específico de energia elétrica pelo estoque destas lâmpadas seria o mesmo de 2005 para todos os estratos de renda.

Com relação à projeção da posse, espera-se que não haja grandes variações no número de lâmpadas por domicílios para cada estrato de renda, como indica o PDE 2020 (BRASIL, 2011a); contudo, conforme Portaria nº 1.007/2010, haverá substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes e demais tecnologias. Desta forma, neste trabalho foi considerada a mesma posse total (incandescentes e outras) para cada estrato durante o intervalo de projeção, sendo que a proporção de lâmpadas incandescentes diminuiria da seguinte maneira: de 71% em 2010 para 65% em 2015, chegando a 0% em 2020 para o estrato de renda até 3 SM; de 60% em 2010 para 52% em 2015 e 0% em 2020, para o estrato de renda entre 3 SM e 7 SM, e; de 49% em 2010 para 40% em 2015 e 0% em 2020, para o estrato de renda acima de 7 SM.

e) *Lazer*: Dentre os equipamentos considerados nesta categoria, destaca-se o consumo do aparelho de TV e do computador. Os aparelhos de TV são equipamentos de grande penetração nos domicílios brasileiros e de diferentes tamanhos e tecnologias como: CRT, LCD, Plasma e LEDs. Enquanto em 2005 a maioria dos aparelhos era de CRT e LCD, atualmente os aparelhos de CRT são minoria quando comparados com as demais tecnologias.

Se por um lado a substituição de tecnologia tem contribuído para reduzir o consumo de energia elétrica devido à penetração de equipamentos mais eficientes, por outro lado, percebe-se que os novos equipamentos têm sido cada vez maiores e, portanto, aumentando significativamente o consumo de energia elétrica nesta categoria. Desta forma, foi considerado que os equipamentos existentes, em 2005, podem ser agrupados

por tamanho em quatro grupos: até 20 polegadas, de 20 e 21 polegadas, de 29 polegadas e maior do que 30 polegadas seriam substituídos até 2020 por equipamentos maiores, como se segue: 21 a 30 polegadas, 31 a 40 polegadas, 41 a 50 polegadas e maior do que 50 polegadas, sucessivamente. Assim, haveria um aumento no consumo de energia elétrica de 3,3% ao ano, de 3,4% ao ano e 3,8% ao ano, para as famílias de renda de até 3 SM; entre 3 SM e 7 SM e maior do que 7 SM, respectivamente. Estas taxas foram obtidas considerando o consumo médio do estoque de equipamentos existente no mercado, conforme tabela do INMETRO (2011) e também, utilizando a hipótese sugerida pelo PDE 2020, que propõe melhoria de eficiência dos aparelhos em 0,3% ao ano (BRASIL, 2011a).

A projeção do consumo de energia elétrica para o computador está baseada na hipótese de que a frequência de uso mensal desses equipamentos deve aumentar devido ao maior acesso à *internet*. Portanto, a partir das taxas de crescimento do número de domicílios que utilizam computador diariamente CETIC (2012), foi estimado a quantidade de dias por mês que as pessoas utilizariam seus computadores para o ano de 2010 e até 2020. Esses dados estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Estimativas da utilização do computador para os três estratos de renda (total de dias por mês)

Renda	2005	2010	2015	2020
Até 3 SM	11	15	20	24
Entre 3 SM e 7 SM	13	16	18	20
Maior do que 7 SM	16	24	27	29

Fonte: Elaboração própria

Além disso, foi considerado que a potência dos computadores seria a mesma de 2005 e também, o tempo de uso diário não mudaria para os três estratos de renda.

O consumo do aparelho de som foi estimado a partir da potência e do tempo de uso diário disponibilizado por ELETROBRÁS/PROCEL (2011a) e também pelo grau de utilização mensal que pode ser verificado a partir da PPH e das faixas de frequências de utilização apresentadas na Tabela 8. Como não há informações e nem indícios que este equipamento sofreria significativas mudanças nestas variáveis no futuro, foi mantido o consumo específico constante para cada estrato renda.

Para fazer projeções de posse, também foi utilizado um método logístico para os equipamentos pertencentes a esta categoria. A base de dados de alimentação para este método foi a POF (IBGE, 1996) e a PNAD (IBGE, 2012).

f) **Serviço:** O ferro de passar roupa é o principal equipamento na categoria Serviço. Somente ele foi responsável por 73% de toda energia consumida por esta categoria em 2005. O consumo deste equipamento foi estimado considerando uma potência média de 1 kW, sendo utilizadas as mesmas faixas da Tabela 8 para determinar o grau de utilização mensal e o tempo de uma hora por uso, conforme ELETROBRÁS/PROCEL (2011a). Para projetar o consumo de energia para este equipamento foi mantida a mesma potência, porém, considerando que devido à redução do número de pessoas por domicílio haveria também uma diminuição no uso deste equipamento. Desta forma, foram utilizadas as mesmas taxas de projeção do número de pessoas por domicílio para projetar o consumo de energia do ferro de passar roupa.

A projeção de consumo para a máquina de lavar seguiu a mesma lógica do ferro de passar roupa. Definido o consumo em 2005, este equipamento reduziria o consumo seguindo as mesmas taxas de projeção do número de pessoas por domicílio. A exceção é que para este equipamento foi considerado um melhoria na eficiência de 0,9% ao ano (BRASIL, 2011a).

O consumo de energia elétrica devido ao aparelho de micro-ondas é estimado da mesma forma que foi para os demais equipamentos de sua categoria. Entretanto, considerou-se, como hipótese, que não haveria variação na projeção de consumo em relação a 2005. De fato, sabe-se que o consumo de energia elétrica pelo seu uso depende muito dos

hábitos das famílias. Em regiões em que são consumidos muitos alimentos prontos (industrializados), o uso desse equipamento é maior do que naquelas que possuem o hábito de consumir maior quantidade de alimentos “*in natura*”. Também, pode-se afirmar que o uso do micro-ondas depende do peso da conta de energia elétrica no orçamento familiar e, portanto, a projeção de consumo de energia pelo uso do micro-ondas se baseia na hipótese de que tanto os hábitos regionais quanto o preço da energia e seu peso no orçamento não sofrerão significativas variações no horizonte de projeção.

A partir dos dados da POF (IBGE, 1996) e da PNAD (IBGE, 2012) foi projetada a posse para os equipamentos pertencentes a esta categoria. Para tanto, também um método logístico foi utilizado.

g) ***Demais equipamentos***: Apesar de esta categoria representar apenas 2% de toda energia elétrica consumida no setor residencial, em 2005, alguns estudos, incluindo o PDE 2020, apontam que ela será uma das principais categorias de uso final responsável pelo consumo de energia elétrica no futuro (BRASIL, 2011a). Dentre os motivos, pode-se citar: o aumento do número de ligações à rede elétrica, a melhoria da renda das famílias e, principalmente, a penetração de equipamentos eletroeletrônicos como *cooktops* elétrico, panela elétrica, console de vídeo *game*, decodificador de sinal digital e tantos outros, cujas posses e usos eram desprezíveis (até mesmo nula) nos lares brasileiros.

Devido às dificuldades de obtenção de informações sobre a posse e hábitos de uso para a maioria dos equipamentos nesta categoria foi preferível trabalhar com o consumo de energia de forma agregada, uma vez que o PDE 2020 apresenta projeções até 2020 para um conjunto de equipamentos e projeções de consumo de energia elétrica total para o setor residencial. Por isso, para este trabalho foi estimado o consumo desta categoria considerando o consumo em 2010 e a projeção de consumo de energia elétrica, em 2020, segundo PDE 2020 e subtraindo o consumo daqueles equipamentos que foram considerados tanto para 2010 quanto para 2020. Essa diferença, que representa o consumo de todos os equipamentos que não foram desagregados no PDE 2020, foi subtraída pelo consumo dos equipamentos que foram considerados nesta tese nas

categorias de Condicionamento de ambientes, Lazer e Serviço e que também não foi contemplado pelo PDE 2020. O “resíduo” seria o consumo da categoria Demais equipamentos. A projeção da posse e consumo específico nesta categoria foi estimada, considerando a evolução das posses e do consumo específico dos equipamentos considerados nesta tese, mas não contemplados pelo PDE 2020, para cada estrato de renda.

A Tabela 18 apresenta as projeções da posse dos principais equipamentos avaliados neste trabalho.

Tabela 18 – Projeções da posse de equipamentos eletroeletrônicos, por domicílio, no Brasil, em 2020

Equipamentos	Até 3 SM	Entre 3 SM e 7SM	Maior do que 7SM
Chuveiro elétrico	0,50	0,77	0,80
Geladeira	1,10	1,06	1,09
Ar condicionado	0,07	0,25	0,58
Lâmpada incandescente	0,00	0,00	0,00
Lâmpada fluorescente	6,00	8,30	13,0
Freezer	0,10	0,19	0,35
Aparelho de Televisão	1,18	1,42	2,03
Máquina de lavar roupa	0,56	0,89	1,00
Micro-ondas	0,15	0,40	0,70
Ferro de passar roupa	0,90	1,00	1,01
Aparelho de som	0,63	0,87	1,14
Computador	0,80	0,94	0,91
Ventilador de mesa	0,68	0,88	1,01
Ventilador de teto	0,18	0,52	0,79

Fonte: Elaboração própria

Nesta Tabela 18, vale destacar que a posse de lâmpadas incandescentes é nula porque conforme a Portaria nº 1.007/2010, do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2010b), essas lâmpadas deixarão de ser produzidas e comercializadas antes de 2020.

Na Tabela 19 são apresentadas as projeções de consumo específico, por equipamento, para o ano 2020.

Tabela 19 – Projeções do consumo específico a partir do estoque de eletroeletrônicos, em 2020 (kWh/ano)

Equipamentos	Até 3 SM	Entre 3 SM e 7 SM	Maior do que 7SM
Chuveiro elétrico	468	682	871
Geladeira	359	450	450
Ar condicionado	251	414	445
Lâmpada incandescente	-	-	-
Lâmpada fluorescente	17	17	14
Freezer	476	518	551
Aparelho de Televisão	159	187	205
Máquina de lavar roupa	8	10	12
Micro-ondas	60	68	83
Ferro de passar roupa	73	91	107
Aparelho de som	44	47	55
Computador	46	44	87
Ventilador de mesa	25	33	33
Ventilador de teto	25	34	34

Fonte: Elaboração própria

Comparando com o consumo específico de energia elétrica, em 2005 (Tabela 15), percebe-se que, para a maioria dos equipamentos, o consumo específico seria reduzido, exceto para os aparelhos de televisão e computadores, que apresentam um aumento no consumo, e para lâmpadas fluorescentes, aparelhos de micro-ondas e aparelhos de som que, por hipótese, foi mantido constante. No caso do aparelho de televisão, a compra de novos aparelhos com tamanhos de telas maiores seria um dos principais responsáveis pelo aumento de consumo de energia para este equipamento. No caso dos computadores, o aumento do acesso à *internet* seria o principal responsável pelo aumento do consumo específico para este equipamento.

Os resultados deste cenário foram baseados nas hipóteses que o PIB nacional cresceria 5,0% ao ano e que haveria uma melhor distribuição de renda; entretanto, a economia brasileira não tem crescido como se esperava. De acordo com *World Economic Outlook*, elaborado pelo Fundo Monetário Internacional (FMI), em 2013, o PIB

nacional neste ano seria de 3,0% e em 2014 seria de 4,0% (FMI, 2013). Diante deste quadro econômico, foram feitas alterações neste cenário considerando, em uma primeira proposta, que: o PIB nacional seria de 4,0% ao ano até o final do horizonte de projeção e que a elasticidade-renda do consumo de energia elétrica no setor residencial seria a mesma considerada no PDE 2020 (BRASIL, 2011a). Também, foi considerado que haveria uma pior distribuição de renda comparada com este cenário. Neste caso, por hipótese, o estrato de renda até 3 SM seria 10% maior, a proporção de domicílios no estrato de renda entre 3 SM e 7 SM seria a mesma e no estrato maior do que 7 SM, seria menor. Isto implica que 45,0% dos domicílios consumidores existentes no Brasil, em 2020, estariam no estrato de renda até 3 SM e apenas 18,3% dos domicílios estariam no estrato de renda maior do que 7SM, ficando o restante dos domicílios no estrato entre 3 SM e 7 SM. Em uma segunda proposta, o PIB nacional seria de 3,0% até o final do horizonte de projeção e as demais condições seriam idênticas às da primeira proposta, exceto para o Sistema de Aquecimento Solar (SAS). Neste caso, conforme aponta a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA), em um total de 2 milhões de contratos firmados na modalidade do programa MCMV, estes contemplariam em torno de 263 mil domicílios com SAS, para um total de 936 mil domicílios, para as famílias de renda até 3 SM (ABRAVA, 2013). Vale considerar que, mantidas as mesmas proporções, a penetração do SAS nos domicílios das famílias de renda até 3SM seria de 233 mil SAS, até 2015, que representa 32% do total de domicílios que deveriam ser contratados pelo programa MCMV na segunda fase, mais 4,1% dos domicílios entregues na primeira fase. Para o período de 2015-2020, seriam entregues 192 mil SAS, que também representa 32% do total de domicílios.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir das informações e hipóteses consideradas no Capítulo 3 (três), foi estimado o consumo de energia elétrica no setor residencial para três estratos de renda e por tipos de equipamentos eletroeletrônicos existentes nos lares brasileiros. Os dados associados a cada equipamento são apresentados por categorias de usos finais para simplificar a representação gráfica e principalmente a análise das informações.

Segundo o Balanço Energético Nacional – BEN 2012, o consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro foi de 83,2 TWh no ano de 2005 (BRASIL, 2012a). Já neste estudo, a estimativa de consumo de energia elétrica foi de 82,9 TWh, para o mesmo período. Deste valor, os domicílios que possuíam renda de até três salários mínimos (3 SM) eram responsáveis pelo consumo de 37% de toda energia e os outros dois estratos de renda, entre 3 SM e 7 SM e maior que 7 SM, representaram aproximadamente 33% e 30%, respectivamente. Entretanto, o consumo por domicílio mostra que as famílias de maior renda chegaram a consumir mais do que o dobro que as famílias de menor renda, conforme indica a Tabela 20.

Tabela 20 – Consumo por domicílio para diferentes estratos de renda em 2005

Estrato de renda	Consumo por domicílio (MWh/ano)
Até 3 SM	1,2
Entre 3 SM e 7 SM	1,9
Maior do que 7 SM	2,9

Fonte: Elaboração própria

Com relação ao consumo de energia elétrica per capita, a Figura 13 mostra este consumo no setor residencial em função da renda das famílias.

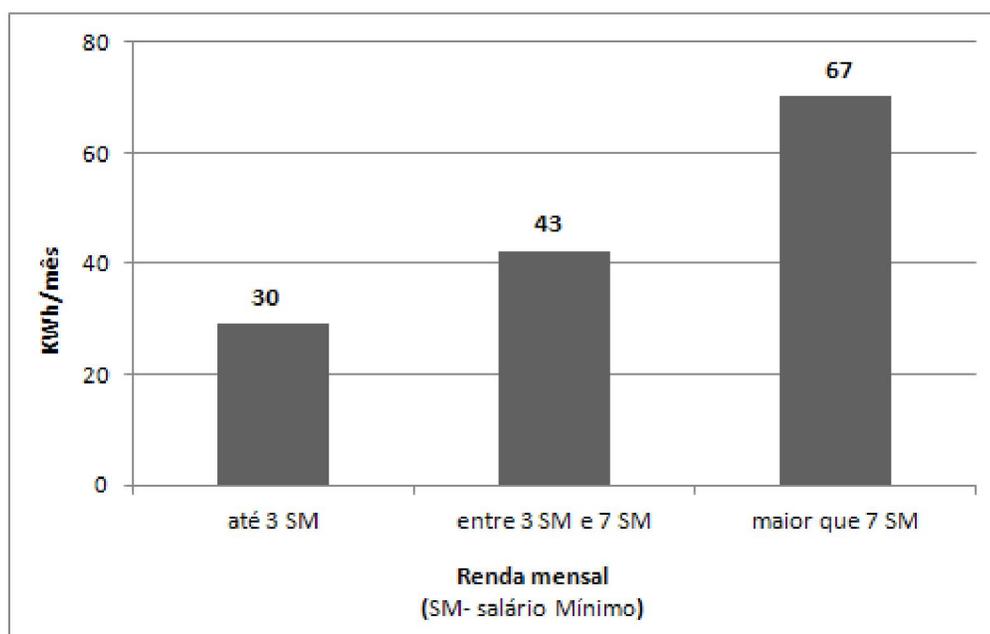


Figura 13 – Consumo de energia elétrica per capita por renda familiar em 2005

Fonte: Elaboração própria

Conforme pode ser observado na Figura 13, o consumo de energia elétrica per capita para os domicílios com maior renda, também, é maior do que aqueles de menor renda. Dentre os fatores que podem contribuir para justificar tal diferença, pode-se citar o metro quadrado de área construída por habitante, a posse de equipamentos eletroeletrônicos, além dos diferentes hábitos de consumo. Desta forma, uma mudança estrutural nas proporções de classes de renda, ou até mesmo na melhoria de renda de cada classe de renda, poderia representar uma mudança no padrão de consumo das famílias e uma variação no consumo de energia elétrica.

A partir dos dados desagregados por uso final e considerando as sete categorias definidas previamente no Capítulo 3 (três) foi possível elaborar a estrutura de consumo de energia elétrica no setor residencial para o ano de 2005. Nesta estrutura de consumo percebe-se que a categoria de Condicionamento de alimentos e Aquecimento de água são as categorias mais eletrointensivas, sendo que esses resultados e outros, para as demais categorias, podem ser vistos na Figura 14.

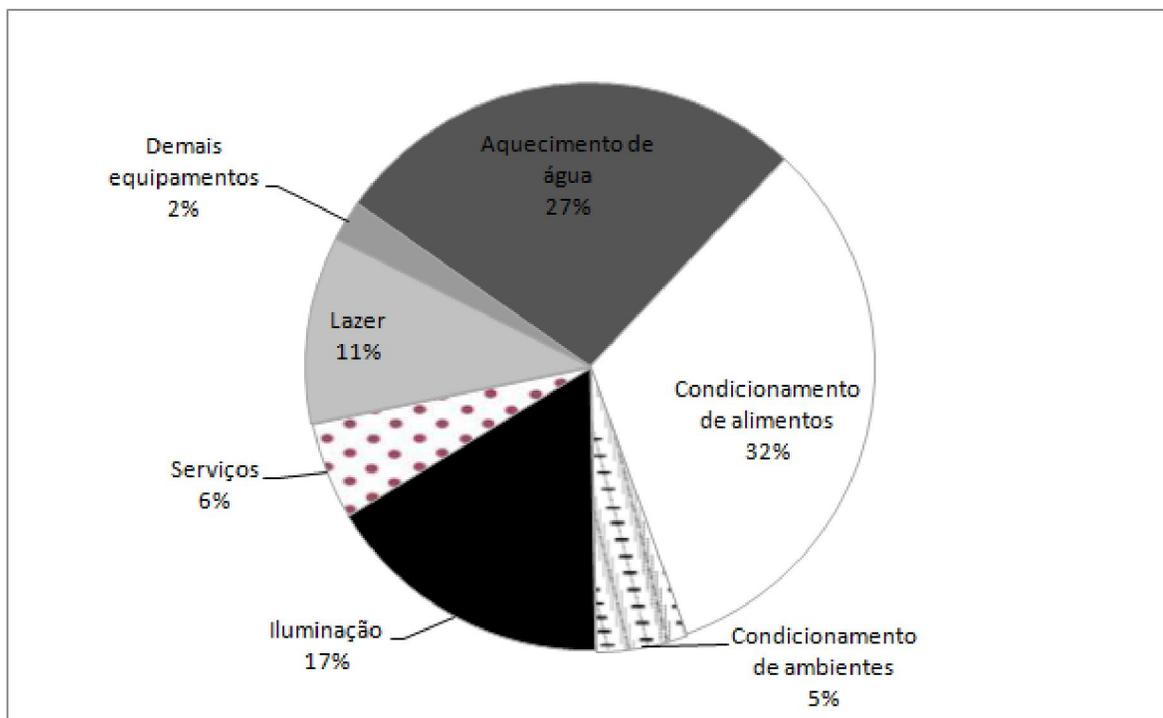


Figura 14 – Estrutura de consumo de energia elétrica no Brasil por categoria de uso final em 2005

Fonte: Elaboração própria

Na categoria Condicionamento de alimentos, a geladeira foi responsável por quase 26% do consumo de energia elétrica no Brasil, enquanto o *freezer* consumiu mais de 6% de toda energia. Para a categoria Iluminação, que corresponde a 17% do total, pode-se afirmar que lâmpadas incandescentes foram responsáveis por 14% do consumo, enquanto as demais tecnologias correspondem a 3% do total de energia elétrica consumida no setor residencial.

No caso do Condicionamento de ambientes, o aparelho de ar condicionado foi responsável pelo consumo de 3% da energia elétrica e, o restante (2%), pelos aparelhos de ventilação.

Para as categorias Serviços/Lazer, os principais equipamentos foram o ferro de passar roupa e o aparelho de televisão, respectivamente. A Figura 15 mostra a importância destes aparelhos com relação aos demais de suas categorias.

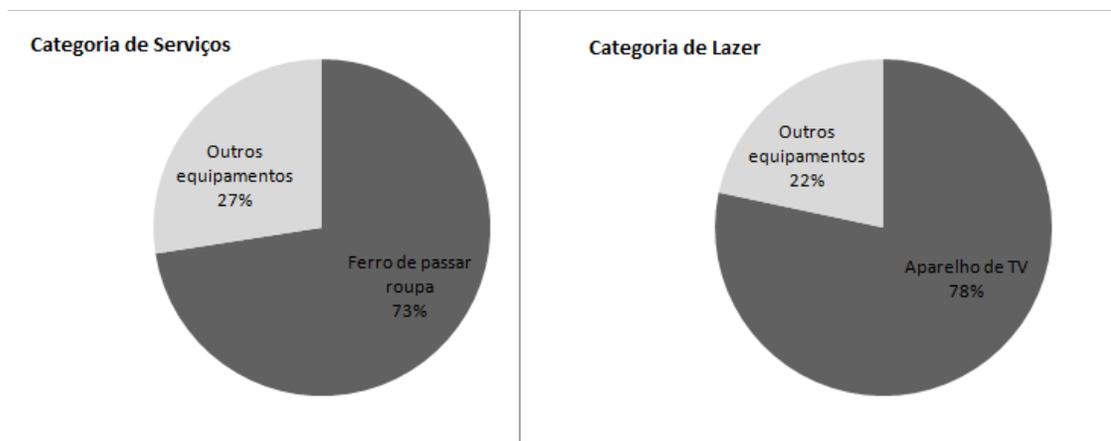


Figura 15 – Comparação do consumo de energia elétrica do Ferro de passar roupa e do Aparelho de TV com relação aos demais equipamentos de suas categorias em 2005

Fonte: Elaboração própria

Comparando a estrutura de consumo da Figura 14, elaborada nesta tese, com o da Figura 2, elaborada pelo PNE 2030, pode-se dizer que apesar das diferenças, as proporções de consumo por cada categoria apresentaram algumas semelhanças, como pode ser visto na categoria Iluminação. Nesta categoria, para o PNE 2030, 21% de toda energia foi consumida pelas lâmpadas, enquanto, nesta tese, estimou-se 20% de toda energia elétrica. Também o mesmo pode ser dito para a categoria Aquecimento de água, que foi estimado 25% e 27% para o PNE 2030 e para esta tese, respectivamente.

Considerando a estrutura de consumo de energia elétrica desagregado por estrato de renda, percebe-se que há algumas diferenças com relação à estrutura de consumo para o total do Brasil, e mesmo, diferenças entre os próprios estratos de renda. A Tabela 21 mostra o consumo de energia elétrica por categoria de uso final e estrato de renda no Brasil.

Tabela 21 – Consumo de energia elétrica no setor residencial por categoria em 2005 (TWh/ano e %)

Categorias	Até 3 SM	Entre 3 SM e 7 SM	Maior do que 7 SM	Total
Aquecimento de água	7,8 (25,4%)	8,4 (30,5%)	6,4 (25,9%)	22,6 (27,3%)
Condicionamento de alimentos	10,9 (35,4%)	8,5 (30,8%)	7,6 (30,8%)	27,0 (32,5%)
Condicionamento de ambientes	0,7 (2,2%)	1,3 (4,6%)	2,4 (9,6%)	4,3 (5,2%)
Iluminação	6,0 (19,5%)	4,4 (16,1%)	3,3 (13,4%)	13,7 (16,6%)
Serviço	1,6 (5,3%)	1,6 (5,7%)	1,4 (5,6%)	4,6 (5,5%)
Lazer	3,3 (10,7%)	2,8 (10,1%)	2,7 (11,1%)	8,8 (10,6%)
Demais equipamentos	0,4 (1,4%)	0,6 (2,1%)	0,9 (3,6%)	1,9 (2,3%)
Total	30,8 (100%)	27,6 (100%)	24,6 (100%)	82,9 (100%)

Fonte: Elaboração própria

Conforme a Tabela 21, os domicílios com renda de até 3 SM utilizaram 80% de toda sua energia consumida para Aquecimento de água, Condicionamento de alimentos e Iluminação, enquanto para os domicílios com renda maior do que 7 SM foram utilizados apenas 70%. Em certa medida, isto mostra que os domicílios de maior renda tendem a diversificar mais o uso da energia elétrica do que os domicílios com renda menor. Também, pode-se notar que as famílias com renda acima de 7 SM consomem, proporcionalmente, menos energia elétrica para Iluminação que as demais famílias brasileiras, entretanto, consomem maior quantidade de energia elétrica para o Condicionamento de ambiente. Já as famílias com renda até 3 SM consomem menos energia elétrica para Condicionamento de ambiente que as demais famílias brasileiras, entretanto, consomem maior quantidade de energia elétrica para o Condicionamento de alimentos. Essas diferenças nas estruturas de consumo apontam que cada estrato de renda utiliza a energia elétrica de forma distinta e, portanto, os programas de conservação de energia devem ser elaborados levando-se em consideração essas diferentes demandas das famílias brasileiras.

Em comparação com os relatórios oficiais, os resultados encontrados para o consumo de energia elétrica no setor residencial, a partir da metodologia desenvolvida neste trabalho, demonstram coerência com o consumo de energia elétrica declarada pelo Balanço Energético Nacional - BEN 2012, tanto em 2005, quanto para 2010, (BRASIL, 2012a). A Tabela 22 mostra os consumos declarados pelo Balanço Energético Nacional para 2010 e compara-os com os resultados encontrados neste trabalho, bem como apresenta as diferenças de consumo em porcentagem.

Tabela 22 – Comparação do consumo de energia elétrica no setor residencial (TWh)

Ano	BEN 2012	Este trabalho	Dif.(%)
2005	83,2	83	0,2
2010	107,2	106	1,1

Fonte: Elaboração própria

Observando a Tabela 22, percebe-se que as estimativas de consumo de energia elétrica no setor residencial, feitas neste trabalho, não ficaram tão diferentes dos valores do Balanço Energético Nacional – BEN 2012, apesar de o consumo para cada equipamento eletroeletrônico ter sido feito para apenas três estratos de renda e sem ter levado em consideração alguns aspectos regionais que podem influenciar o consumo final neste setor. Contudo, foram consideradas as diferenças de temperatura para distintas regiões, que é uma variável fundamental para determinar o consumo de energia elétrica nas categorias Aquecimento de água e Condicionamento de ambientes, como também, diferenças de hábitos de uso da eletricidade que certamente contribuíram para refinar os resultados.

No caso da projeção de consumo de energia elétrica para o setor residencial brasileiro, em que foi considerado um crescimento do PIB de 5% ao ano, os resultados mostram que, em 2020, o consumo seria de 176 TWh, representando um aumento de 112%, com relação ao consumo em 2005. Porém, se o PIB do Brasil crescer apenas 4,0% ao ano e se mantiver uma inadequada distribuição de renda, como apresentado anteriormente, a

tendência seria uma projeção de consumo de 159 TWh e, caso o crescimento do PIB seja de 3,0% ao ano, então, o consumo seria de 146 TWh, em 2020. Estes valores representam uma variação de menos de 13% da estimativa de projeção do PDE 2020, que projeta um consumo de 167 TWh, em 2020, para o setor residencial (BRASIL, 2011a).

Considerando como objeto de análise apenas o cenário em que o PIB seria de 5,0% ao ano, haveria para todos os estratos de renda um aumento no consumo de energia elétrica, entretanto, as famílias que pertencem ao estrato de renda até 3 SM, relativamente, consumiriam menos em 2020 quando comparado com 2005. Neste caso, este estrato seria responsável pelo consumo de 25% de toda energia elétrica em 2020, contra 37% em 2005. A Figura 16 mostra projeções de consumo desagregadas por estrato de renda para o cenário de crescimento do PIB em 5,0% ao ano.

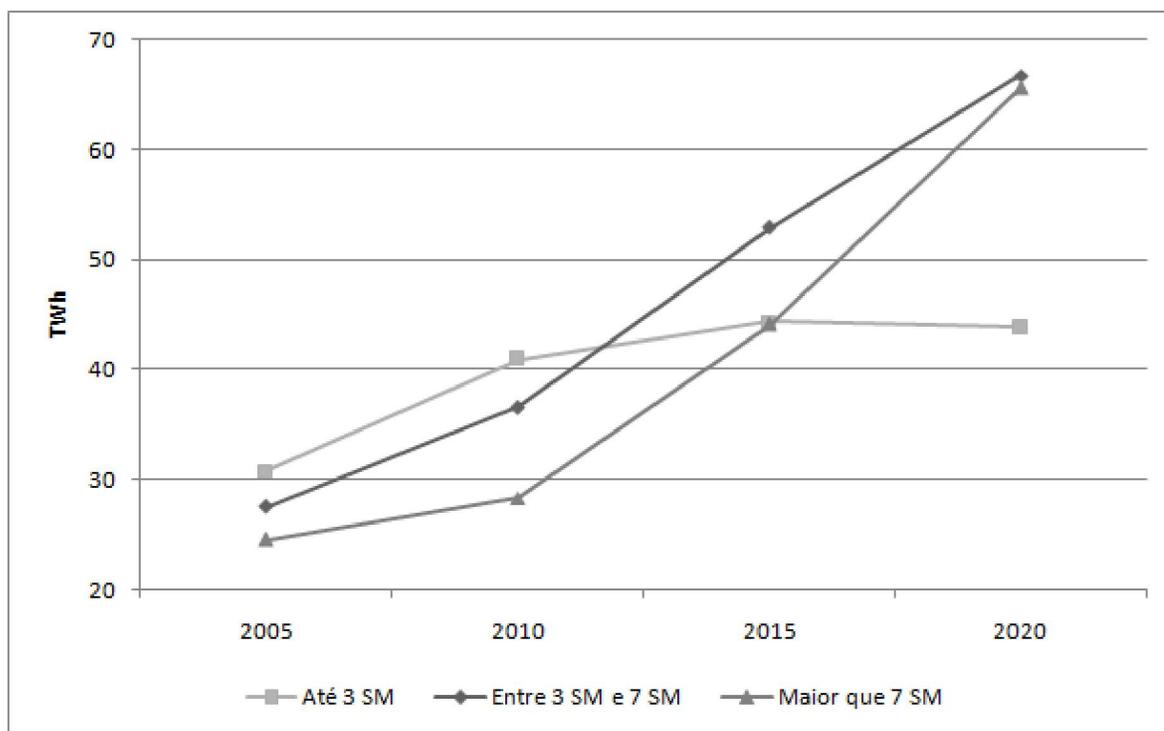


Figura 16 – Projeção do consumo de energia elétrica no Brasil, para o setor residencial, desagregada por renda (PIB de 5,0% ao ano).

Fonte: Elaboração própria

Conforme é apresentado na Figura 16, os domicílios que possuem renda acima de 7 SM seriam responsáveis por consumir 66 TWh no fim do horizonte de estudo, enquanto, em 2005, ele era o estrato que menos consumiu energia elétrica. Já para o estrato de renda até 3 SM, que consumiu a maior quantidade de energia elétrica até 2010, passaria ser o estrato que consumiria a menor quantidade de energia em 2020. Para este estrato, esperam-se as menores taxas de crescimento no consumo de energia, e isso é devido, principalmente, pela menor taxa de crescimento do número de domicílios que se enquadrariam nesta faixa de renda. Também, percebe-se que entre 2010-2015 haveria uma mudança na estrutura de consumo de energia elétrica relacionada aos estratos de renda. As famílias de renda até 3 SM foram as principais responsáveis pelo consumo de energia até 2010, entretanto, as projeções de consumo apontam que os domicílios com renda até 3 SM seriam responsáveis pelo consumo de apenas 25% da energia elétrica em 2020, como apresentado anteriormente. Esta mudança estaria associada, principalmente, ao aumento da renda das famílias brasileiras que por isso deixariam o estrato de renda até 3 SM e passariam a pertencer aos demais estratos. Contudo, cada estrato de renda possui um perfil de consumo e, assim, essa mudança estrutural contribuiria para alterar a forma do consumo de energia elétrica no setor residencial. Como foram apresentadas na Tabela 21, as principais categorias de uso final, em 2005, foram as categorias Aquecimento de água, Condicionamento de alimentos e Iluminação, para os três estratos de renda, sendo que somente estas categorias foram responsáveis por consumir 76% de toda energia elétrica no setor residencial, enquanto em 2020, estas mesmas categorias seriam responsáveis por consumir 48% para os três estratos de renda.

Na Tabela 23 são apresentadas as projeções de consumo de energia elétrica no setor residencial, por categoria de uso final, para os três estratos de renda, no Brasil.

Tabela 23 – Consumo de energia elétrica no setor residencial, por categoria, em 2020 para o PIB de 5,0% ao ano (TWh/ano e %)

Categorias	Até 3 SM	Entre 3 SM e 7 SM	Maior do que 7 SM	Total
Aquecimento de água	7,3 (16,6%)	14,6 (21,8%)	11,8 (17,9%)	33,6 (19,1%)
Condicionamento de alimentos	13,8 (31,5%)	16,0 (24,0%)	11,6 (17,6%)	41,4 (23,5%)
Condicionamento de ambientes	1,2 (2,7%)	4,2 (6,3%)	5,4 (8,2%)	10,7 (6,1%)
Iluminação	3,2 (7,3%)	3,8 (5,7%)	3,2 (4,8%)	10,2 (5,8%)
Serviço	2,5 (5,6%)	3,6 (5,3%)	3,0 (4,6%)	9,0 (5,1%)
Lazer	7,8 (17,8%)	9,7 (14,5%)	9,5 (14,4%)	26,9 (15,3%)
Demais equipamentos	8,1 (18,5%)	14,9 (22,4%)	21,2 (32,4%)	44,3 (25,1%)
Total	43,8 (100%)	66,7 (100%)	65,6 (100%)	176,1 (100%)

Fonte: Elaboração própria

Comparando a Tabela 23 com a Tabela 21, pode-se dizer que apenas para a categoria de Iluminação e para a categoria de Aquecimento de água (até 3 SM) haveria uma redução no consumo de energia em 2020 em comparação a 2005. Como já foi dito, a proibição da fabricação e venda de lâmpadas incandescentes reduziria o consumo na categoria Iluminação, enquanto a substituição do chuveiro elétrico por aquecedores solares, principalmente nos domicílios de baixa renda, seria responsável pela redução de energia na categoria de Aquecimento de água. Para as demais categorias haveria aumento no consumo de energia elétrica.

Para o ano de 2020, as projeções de consumo de energia elétrica mostram que haveria expressivas mudanças na estrutura de consumo de energia elétrica para o setor residencial brasileiro. A Figura 17 mostra como seria esta estrutura de consumo no fim do horizonte de projeção para o cenário de crescimento do PIB de 5,0% ao ano.

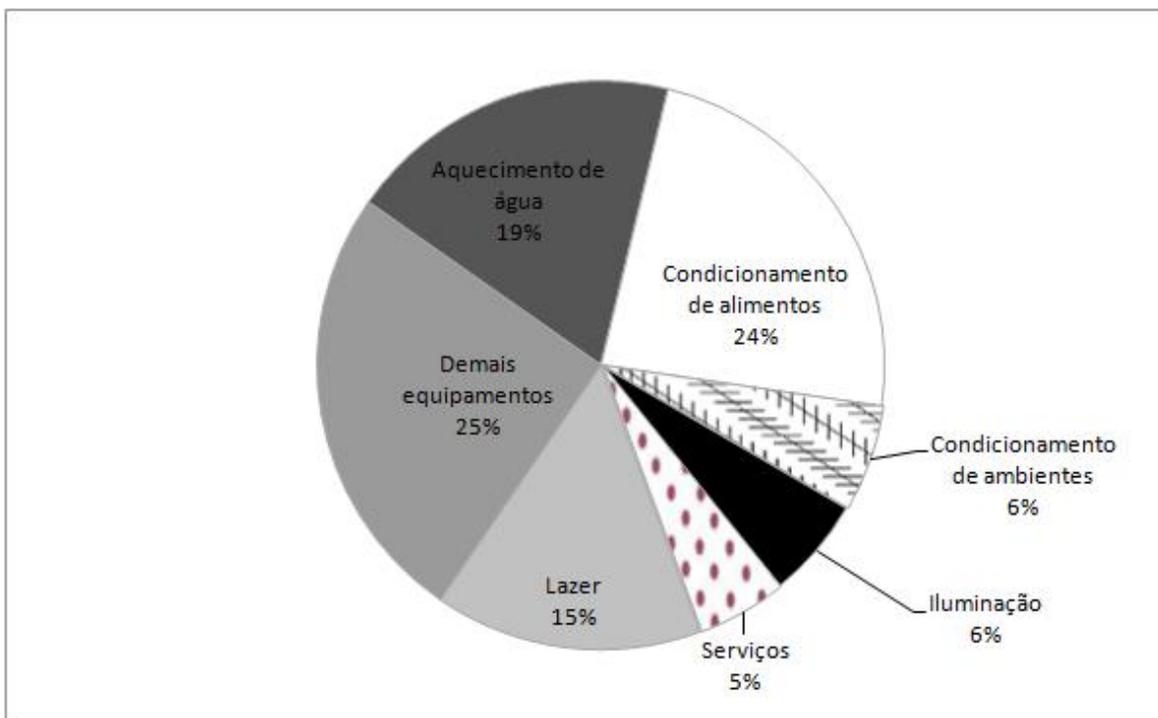


Figura 17 – Projeção da estrutura de consumo de energia elétrica no setor residencial em 2020 (PIB de 5,0% ao ano)

Fonte: Elaboração própria

Observando a Figura 17 e comparando-a com a Figura 14, pode-se dizer que as categorias de Aquecimento de água, Condicionamento de alimentos e Iluminação sofreriam significativas reduções nas proporções de consumo com relação ao total de energia consumida. Entretanto, somente a categoria de Iluminação diminuiria o consumo de energia elétrica como já foi mostrado anteriormente, no período 2005-2020. Essa redução no consumo de energia para categoria de Iluminação mostra que as políticas governamentais, voltadas para conservação energética, são um importante instrumento na indução da redução do consumo de energia, uma vez que, a partir da proibição do uso de lâmpadas incandescentes, o consumo de energia elétrica para iluminação nos domicílios reduziria 3,5 TWh no período 2005-2020, apesar do aumento do número de domicílios ligados à rede.

No caso da categoria Demais equipamentos, o expressivo aumento de consumo estaria de acordo com os estudos elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), inclusive com o PDE 2020 e demais estudos de projeções de longo prazo. De fato, este

aumento estaria associado à aquisição de equipamentos, com posse nula ou desprezível em 2005, como panela elétrica, console de vídeo games, “*cooktops*” elétricos e outros que propiciam conforto e entretenimento para as famílias. Vale a pena lembrar que, em 2005, para esta categoria foram considerados mais de quinze equipamentos eletroeletrônicos com posse superior a 3% do número de domicílios no Brasil e consumo mensal de até 1 kWh; entretanto, um aumento do consumo desta forma, somente seria possível se houver uma significativa mudança na posse, nos hábitos de uso e na penetração de outros equipamentos não considerados em 2005. Infelizmente, um estudo desagregado não foi realizado nesta tese pela dificuldade de obtenção de informações suficientes para uma análise coerente nesta categoria; porém, por outro lado, foi possível estimar o consumo total, que permite, de certa forma, contornar esta insuficiência.

A Figura 18 mostra as projeções de consumo de energia elétrica e aponta que este consumo seria menor caso o PIB brasileiro não cresça como esperado pelo PDE 2020 e considerando um cenário de maior desigualdade de renda.

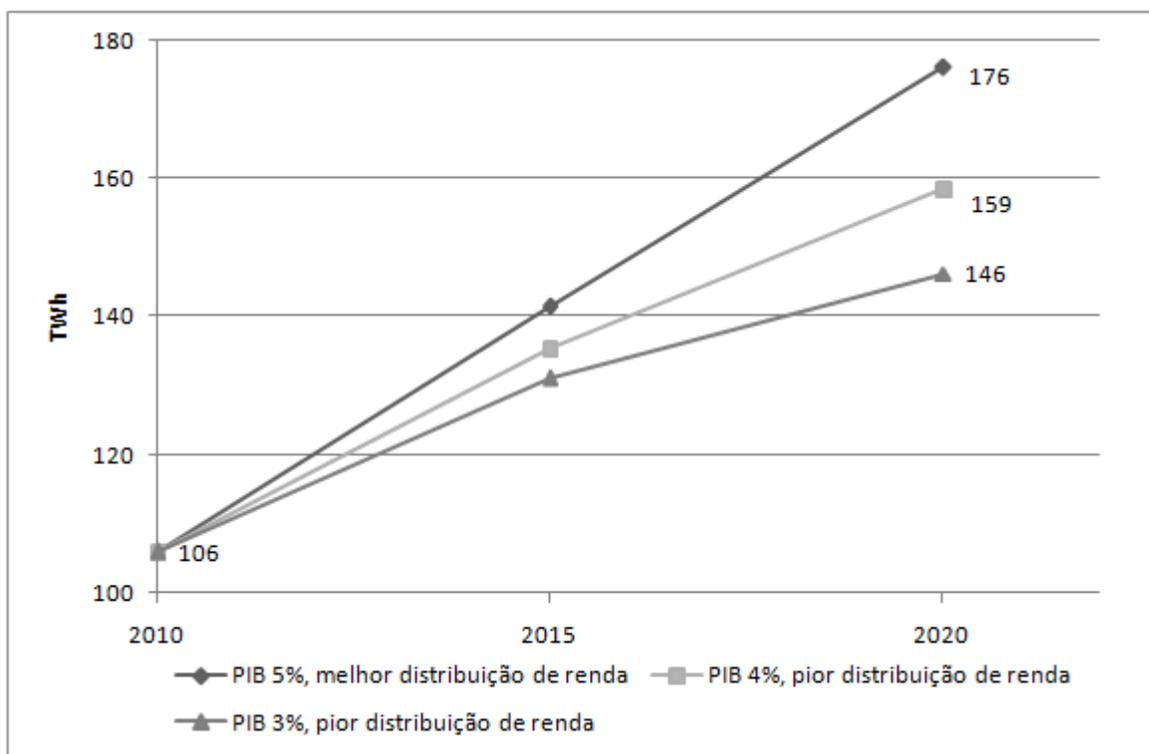


Figura 18 – Comparação das Projeções de consumo de energia elétrica para o cenário com maior PIB e melhor distribuição de renda versus menor PIB e pior distribuição de renda.

Fonte: Elaboração Própria

De acordo com a Figura 18, comparando-se as projeções para o crescimento do PIB de 3,0% ao ano com as projeções do cenário de PIB maior, a diferença no consumo de energia elétrica no setor residencial, em 2020, seria de 30 TWh, sendo que esta diferença, representa 17% de redução do consumo de energia elétrica no setor residencial. Este resultado mostra que, modificando apenas duas variáveis socioeconômicas (PIB e desigualdade de renda) e uma tecnológica (substituição menor da proporção de chuveiros elétricos por sistemas de aquecimento solar), a variação no consumo de energia é mais representativa do que, por exemplo, a redução do consumo de energia no setor residencial apresentado pelo Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE2020). Segundo este relatório, em 2020, a conservação de energia elétrica no setor residencial seria de 6,8 TWh devido à melhoria da eficiência energética neste setor (BRASIL, 2011a).

A Figura 19 apresenta as projeções de consumo de energia elétrica para os três estratos de renda para dois possíveis crescimentos médios do PIB brasileiro.

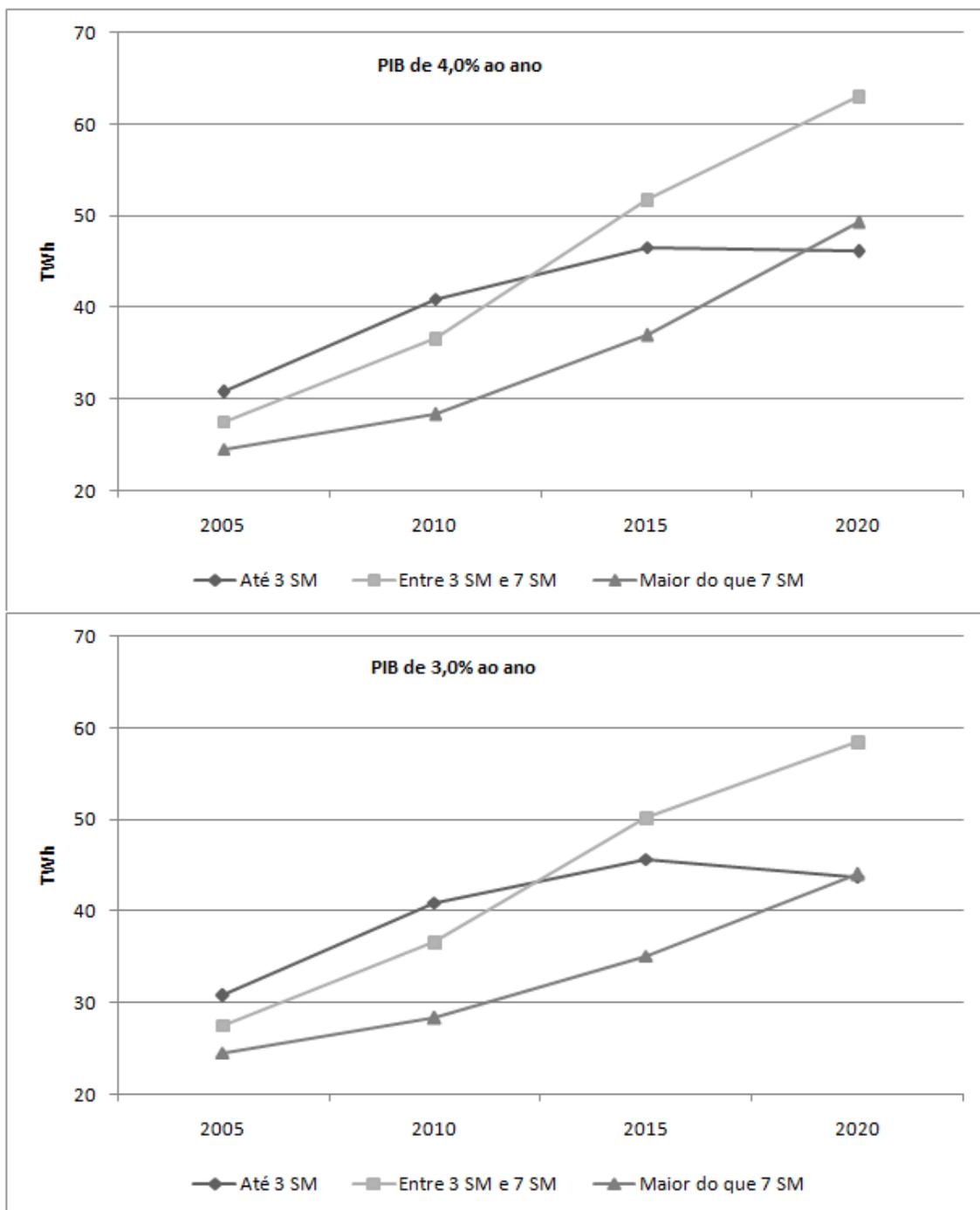


Figura 19 – Projeção do consumo de energia elétrica no Brasil, para o setor residencial, desagregada por renda (PIB de 4,0% e 3,0% ao ano).

Fonte: Elaboração própria

Conforme pode ser observado na Figura 19, as projeções de consumo de energia elétrica para os PIB 4,0% ao ano e 3,0% ao ano seriam menores para todos os estratos de renda, quando comparado com as projeções de consumo para o PIB de 5,0% ao ano. Além disso, pode-se notar que já no período entre 2010-2015 o consumo de energia das famílias que pertencem ao estrato de renda entre 3 SM e 7 SM seria maior que o das famílias de renda até 3 SM.

Aplicando a metodologia de decomposição de índice, LMDI (forma aditiva), a partir da estimativa e projeção de consumo de energia elétrica, foi possível separar os efeitos Atividade, Estrutura, Posse e Intensidade na composição da variação de energia total no período 2005-2020. O efeito Atividade está associado ao número de domicílios e, portanto, será positivo se houver um aumento no número de domicílios. O efeito Estrutura, neste caso, está associado à porcentagem de domicílios em um específico estrato de renda e, por isso, haverá um efeito de valor positivo caso, durante um intervalo de tempo, a porcentagem de domicílios aumente para um dado estrato de renda. Neste caso, o efeito total é contabilizado, levando em consideração todos os outros estratos de renda considerados. O efeito Posse está associado ao número médio de um dado equipamento eletroeletrônico por domicílio e desta forma, será positivo se houver um aumento desta média por domicílio. Também, o efeito total é contabilizado, levando em consideração todos os outros equipamentos eletroeletrônicos. Finalmente, o efeito Intensidade está associado ao consumo específico de um dado equipamento. Caso ocorra uma melhoria de eficiência em um equipamento específico, então haverá um efeito Intensidade negativo para este equipamento. A Figura 20 mostra a decomposição da variação de consumo projetada (PIB 5,0% ao ano) para os períodos 2005-2010, 2010-2015 e 2015-2020.

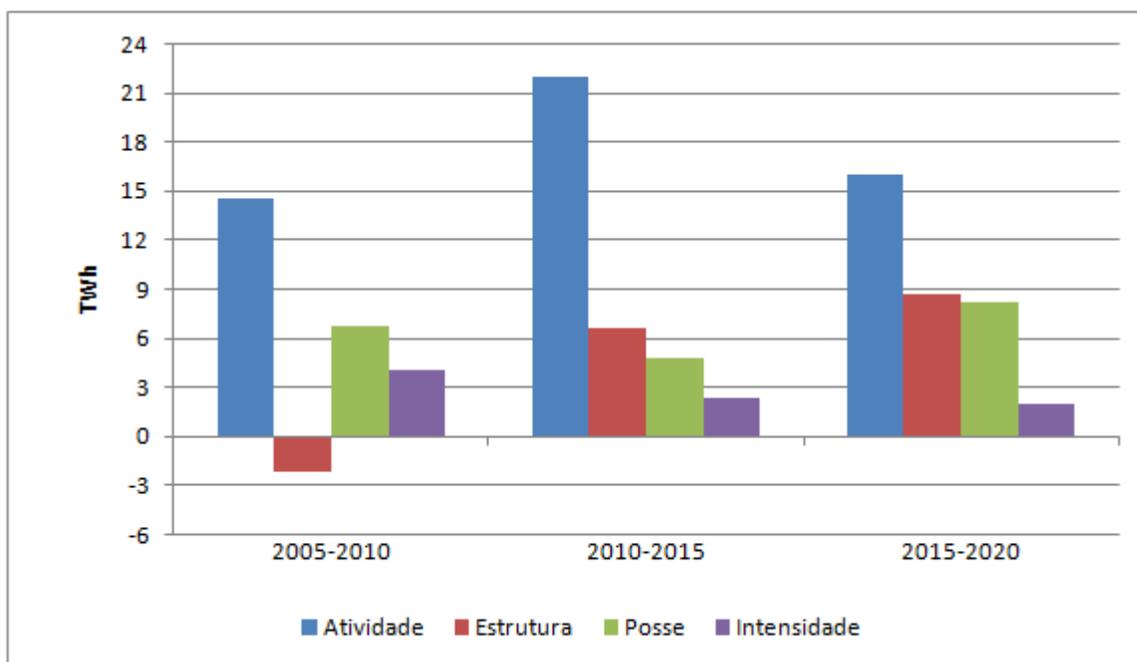


Figura 20 – Decomposição das variações de consumo de energia elétrica no Brasil (PIB 5,0% a.a) para o período 2005-2020

Fonte: Elaboração própria

A decomposição da variação de consumo de energia elétrica por meio da técnica LMDI mostra que o efeito Atividade seria o grande responsável pelo aumento no consumo de energia elétrica no período de 2005-2010 e também, seria o principal efeito para o aumento do consumo de energia elétrica no setor residencial no horizonte de projeção.

Considerando o período 2005-2020, o efeito Intensidade deverá contribuir apenas com 8,2 TWh, enquanto os outros efeitos seriam responsáveis por: 52,4 TWh (efeito Atividade), 13,0 TWh (efeito estrutura) e 19,6 TWh (efeito Posse), para uma variação no consumo total de 93,2 TWh.

O efeito Estrutura negativo, no período 2005-2010, pode ser explicado pela redução da porcentagem de domicílios no estrato de renda maior do que 7 SM, que contribuiu com um efeito de valor negativo maior do que os efeitos positivos produzidos pelos outros dois estratos de renda.

Os efeitos Estrutura e Posse seriam responsáveis, no período 2005-2020, pelo aumento de 33 TWh no consumo de energia elétrica no setor residencial, ou seja, 35% do total da variação de consumo neste setor. De fato, estes dois efeitos indicam uma melhoria na renda dos brasileiros e na sua melhor distribuição. Nestas projeções de consumo de energia para cada equipamento e estrato de renda, a porcentagem de domicílios que pertenciam ao estrato de renda até 3 SM era de 53% em 2005, enquanto, no fim do horizonte de projeção seria de quase 40%. Contudo, pode-se dizer que, com a saturação do número total de domicílios, com a saturação do número de equipamentos eletroeletrônicos por domicílio e com a estabilização das classes de renda no Brasil, o consumo de energia elétrica no setor residencial sofreria poucas variações, exceto, se houver outro racionamento de energia elétrica, como ocorrido em 2001, ou se o preço da energia elétrica aumentar significativamente.

Estes resultados mostram que o efeito Intensidade, que dá indícios das mudanças na eficiência e no hábito de uso dos equipamentos eletroeletrônicos, seria o efeito que menos iria impactar no aumento do consumo residencial de energia elétrica e, em contrapartida, o número de novas ligações domiciliares seria o principal responsável pelo aumento do consumo de energia. Fazendo uma reflexão sobre este resultado, pode-se dizer que é inevitável o aumento do consumo de energia elétrica devido ao aumento de novos consumidores; entretanto, ele mostra também que, exatamente devido ao grande número de domicílios, pequenas intervenções poderiam gerar soluções de grande impacto para a conservação de energia no setor residencial. Isto porque, políticas públicas que pretendam reduzir o consumo de energia elétrica no setor residencial podem gerar expressivos resultados devido ao ganho de escala. No caso do efeito Intensidade, o pequeno efeito positivo deve ocorrer porque os efeitos individuais de alguns equipamentos deverão ser negativos, como por exemplo, as lâmpadas incandescentes que serão substituídas por lâmpadas mais eficientes, contribuindo, dessa forma, para a redução do efeito Intensidade total.

Na Figura 21 é apresentada a variação do consumo de energia associada ao efeito Atividade para os três estratos de renda (PIB 5,0% ao ano), no período de 2005-2020.

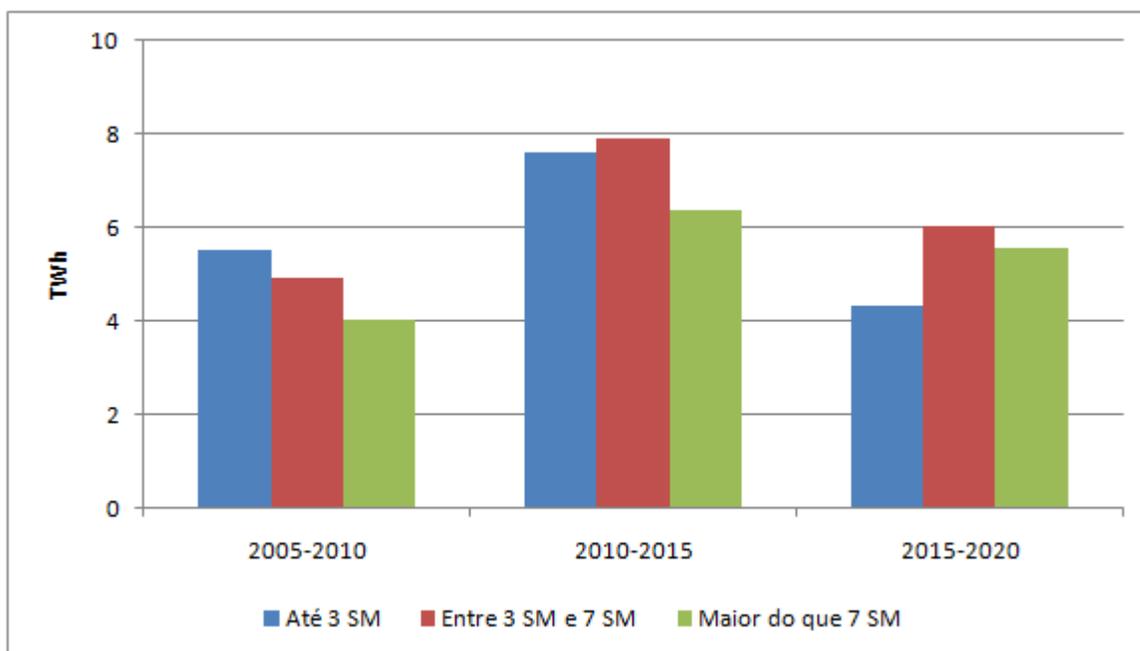


Figura 21 – Variação do consumo de energia associada ao efeito Atividade desagregada por estrato de renda (PIB 5,0% a.a), período 2005-2020

Fonte: Elaboração própria

De acordo com a Figura 21, o aumento no consumo de energia elétrica devido ao efeito Atividade deverá ser distribuído aproximadamente de forma igual para os três estratos, no período 2005-2020. Isto porque, apesar do efeito Atividade do estrato de renda até 3 SM ter sido maior no período 2005-2010, no último período avaliado, este mesmo estrato geraria um efeito Atividade menor. De forma quantitativa, o efeito Atividade seria de 18 TWh, 19 TWh e 16 TWh, respectivamente, para os estratos de renda de até 3 SM, entre 3 SM e 7 SM e maior do que 7 SM, no período 2005-2020.

Na Figura 22 é apresentada a variação do consumo de energia associada ao efeito Estrutura para os três estratos de renda (PIB 5,0% ao ano), no período 2005-2020.

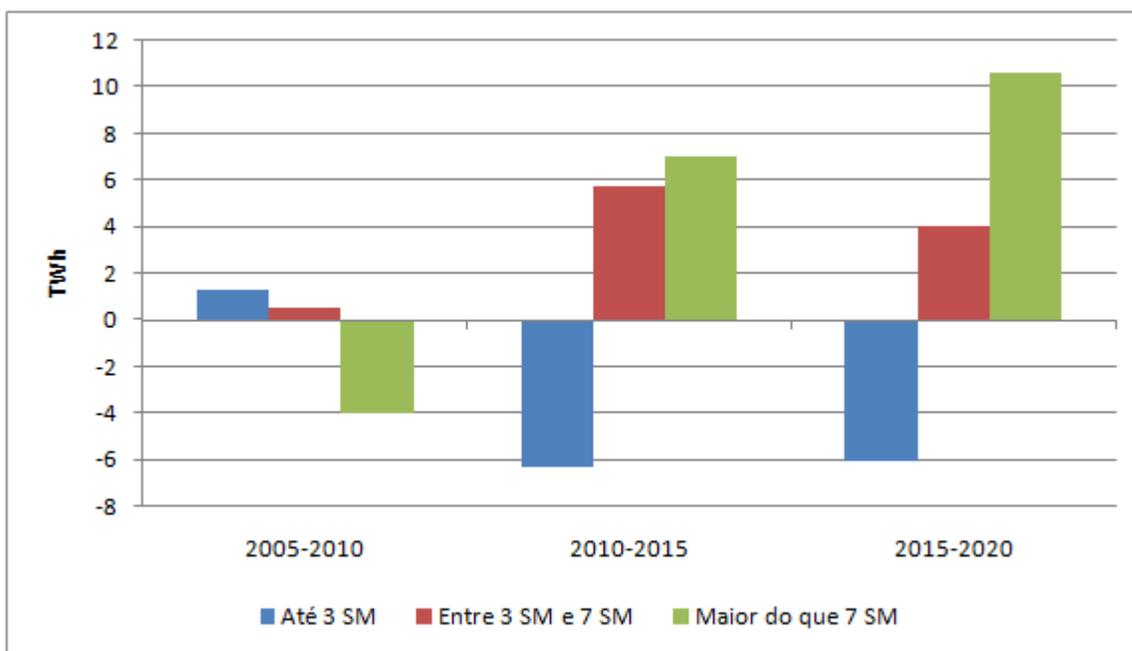


Figura 22 – Variação do consumo de energia elétrica associada ao efeito Estrutura desagregada por estrato de renda (PIB 5,0% a.a), período 2005-2020

Fonte: Elaboração própria

Conforme mostra a Figura 22, no período 2005-2010, o estrato de renda maior do que 7 SM foi o único responsável por produzir um efeito Estrutura negativo. Somente este estrato reduziu o consumo de aproximadamente 4,0 TWh, enquanto os outros dois estratos de renda contribuíram positivamente em 1,8 TWh, neste mesmo período. Isto ocorreu porque houve uma redução da porcentagem de domicílios no estrato de renda maior do que 7SM, sendo que para os demais ocorreu o contrário.

Para os períodos 2010-2015 e 2015-2020, a diminuição do número de famílias que pertencem ao estrato de até 3 SM seria responsável por produzir um efeito Estrutura negativa e os outros dois estratos produziram um efeito positivo. Isto indica que, conforme as hipóteses utilizadas para fazer as projeções, uma melhor distribuição de renda no Brasil seria responsável por aumentar o consumo de energia elétrica em 15,0 TWh, no período 2010-2020.

Na Figura 23 é apresentada a variação do consumo de energia associada ao efeito Posse para os três estratos de renda (PIB 5,0% ao ano), no período de 2005-2020.

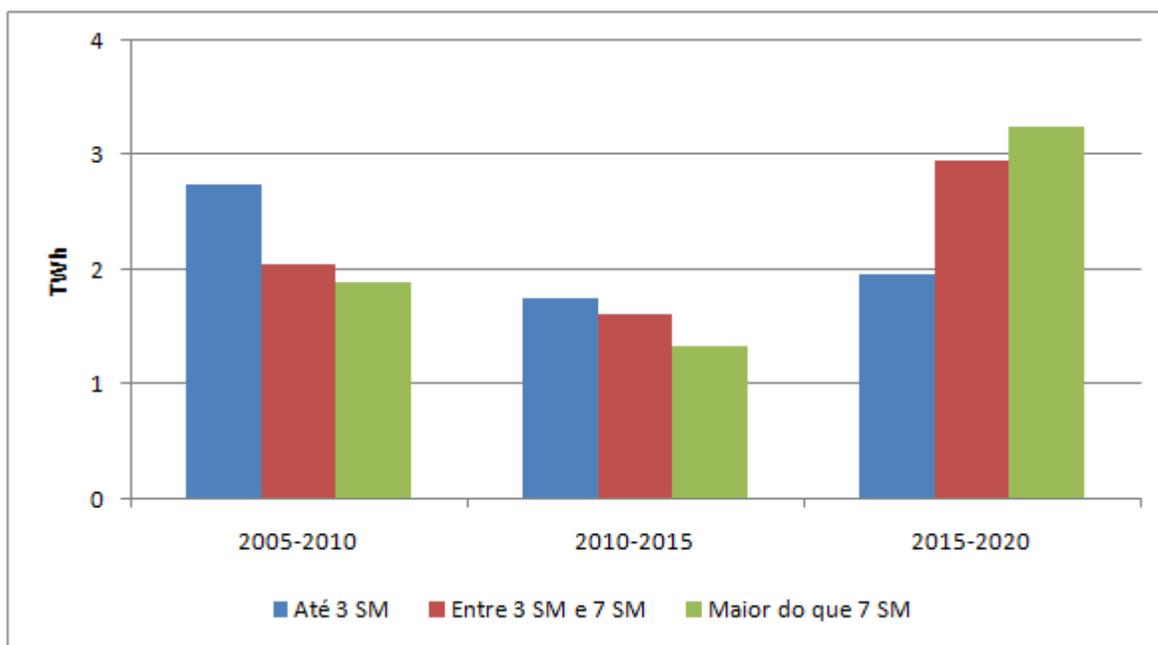


Figura 23 – Variação do consumo de energia elétrica associada ao efeito Posse desagregada por estrato de renda (PIB 5,0% a.a), período 2005-2020

Fonte: Elaboração própria

A Figura 23 mostra que no período 2005-2010, o estrato de renda até 3 SM foi responsável por aumentar o consumo de energia em 2,8 TWh, enquanto o estrato de renda superior a 7 SM foi responsável por menos de 1,9 TWh. Isto pode ser explicado considerando que a maior quantidade absoluta de equipamentos eletroeletrônicos foi adquirida pelo estrato de menor renda, efeito este devido à melhoria da renda das famílias e do acesso ao crédito, que possibilitou a compra de equipamentos, principalmente pelas famílias de menor poder aquisitivo. No período 2010-2015, não haveria grandes mudanças em comparação ao período anterior; entretanto, no período 2015-2020, o estrato de renda maior do que 7 SM seria responsável por 3,3 TWh.

Na Figura 24 é apresentada a variação do consumo de energia associada ao efeito Intensidade para os três estratos de renda (PIB 5,0% ao ano), no período 2005-2020.

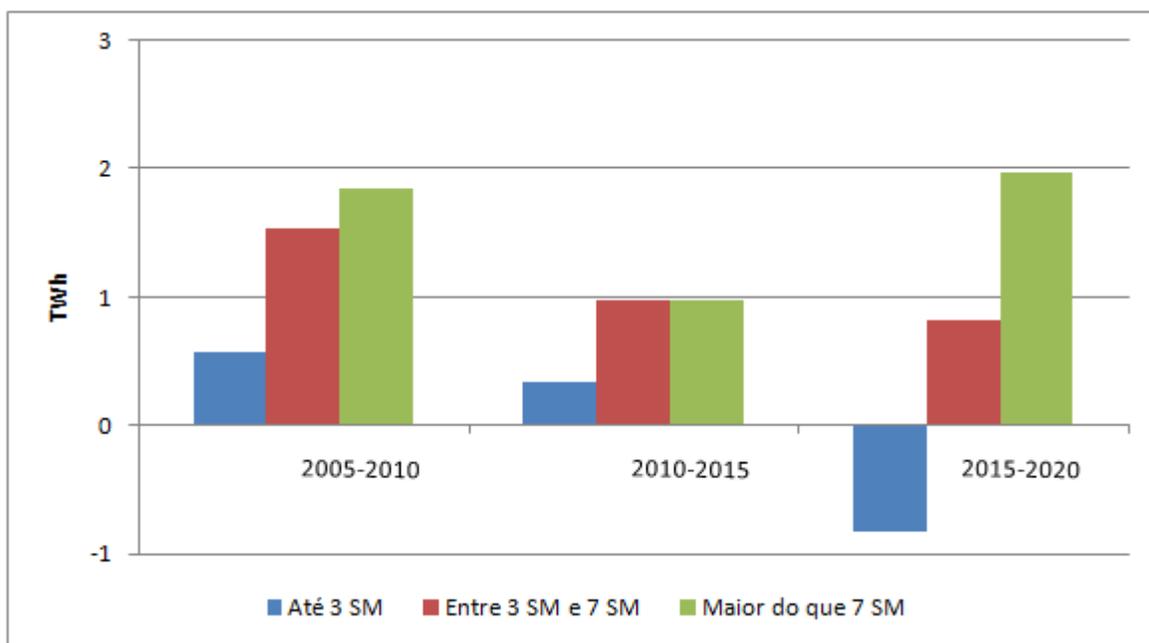


Figura 24 – Variação do consumo de energia elétrica associada ao efeito Intensidade desagregada por estrato de renda (PIB 5,0% a.a), período 2005-2020

Fonte: Elaboração própria

É importante observar na Figura 24 que o efeito Intensidade não seria responsável por grandes variações no consumo de energia elétrica no período 2005-2020. Isto porque na soma dos efeitos de cada equipamento em suas categorias de uso final, existem categorias com efeitos Intensidade negativos, como é o caso da categoria de Iluminação, Aquecimento de água e Condicionamento de alimentos. No caso do efeito Intensidade total negativo, que ocorreria no período 2015-2020 para o estrato de renda até 3 SM, este está associado principalmente porque as lâmpadas incandescentes, o chuveiro elétrico e outros equipamentos seriam responsáveis por reduzir o consumo de energia elétrica no setor residencial em quantidade maior do que os equipamentos que iriam produzir um efeito Intensidade positivo. O Quadro 3, a seguir, mostra de forma mais desagregada os efeitos Posse e Intensidade para as diversas categorias de uso final, definidas previamente no Capítulo 3 (três). Neste quadro, é possível avaliar com mais precisão os efeitos por uso final e suas contribuições para a variação do consumo de energia elétrica no setor residencial para o caso do crescimento do PIB 5,0% ao ano.

EFEITO POSSE									
(valores em TWh)									
	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior do que 7 SM		
Categorias	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Aquecimento de água	-0,42	-0,31	-0,29	-0,45	-0,01	-0,01	-0,06	-0,07	-0,10
Condicionamento de alimentos	1,31	0,71	0,39	0,07	0,05	0,04	-0,34	-0,20	-0,21
Condicionamento de ambientes	0,09	0,14	0,22	0,36	0,42	0,70	0,28	0,23	0,35
Iluminação	0,00	-0,34	-0,97	0,00	-0,42	-0,70	0,00	-0,33	-0,33
Serviço	0,15	0,09	0,08	0,13	0,03	0,04	0,05	0,01	0,01
Lazer	0,44	0,30	0,62	0,30	0,20	0,31	0,05	0,13	0,22
Demais equipamentos	1,19	1,16	1,91	1,64	1,34	2,57	1,91	1,58	3,32
Total	2,76	1,76	1,97	2,05	1,62	2,96	1,89	1,35	3,26
EFEITO INTENSIDADE									
(valores emTWh)									
	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior do que 7 SM		
Categorias	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Aquecimento de água	-0,58	-0,37	-0,09	-0,28	-0,19	-0,13	-0,15	-0,11	-0,07
Condicionamento de alimentos	-0,52	-0,60	-0,65	-0,13	-0,16	-0,20	-0,41	-0,46	-0,59
Condicionamento de ambientes	-0,04	-0,04	-0,04	-0,05	-0,06	-0,08	-0,11	-0,14	-0,19
Iluminação	0,00	-0,37	-2,52	0,00	-0,50	-2,07	0,00	-0,34	-1,16
Serviço	0,04	0,05	0,06	0,03	0,05	0,07	0,02	0,03	0,04
Lazer	0,57	0,83	1,05	0,49	0,74	1,13	0,54	0,67	1,13
Demais equipamentos	1,10	0,83	1,37	1,47	1,09	2,09	1,97	1,33	2,80
Total	0,58	0,34	-0,83	1,54	0,97	0,82	1,85	0,98	1,97

Quadro 3 – Variação do consumo de energia elétrica associada aos efeitos Posse e Intensidade desagregada por categoria de uso final (PIB 5,0% a.a), período 2005-2020

Fonte: Elaboração própria

Como pode ser visto no Quadro 3, a categoria Aquecimento de água seria responsável por reduzir o consumo de energia elétrica no setor residencial em todos os períodos e estratos de renda, tanto para o efeito Posse quanto para o efeito Intensidade. Nesta categoria, o único equipamento considerado foi o chuveiro elétrico; desta forma, o efeito Posse negativo significa que este equipamento seria substituído por outras tecnologias de aquecimento de água. Nos estratos de renda até 7 SM, o chuveiro elétrico seria substituído, principalmente, por aquecedores solares; para os domicílios pertencentes ao estrato maior do que 7 SM, seriam substituídos, principalmente, por aquecedores a gás natural. Estas substituições seriam responsáveis por reduzir o consumo de energia em 1,7 TWh, no período de 2005-2020. Já para o efeito Intensidade, a redução no consumo de energia seria de 2,0 TWh, para o mesmo período. Para este equipamento é esperado um aumento na potência de 0,48% ao ano, mas, ao mesmo tempo, haveria uma redução da quantidade de banhos por mês, devido à diminuição do número de pessoas por domicílios.

Considerando apenas os efeitos Posse e Intensidade, a categoria Iluminação é aquela que seria responsável pela maior redução de consumo de energia elétrica no setor residencial. O efeito Posse reduziria o consumo em 3,0 TWh, enquanto o efeito Intensidade reduziria em 7,0 TWh. Como dito anteriormente, a proibição da fabricação e venda de lâmpadas incandescentes pela Portaria nº 1.007/2010, do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2010b) será indutora destes efeitos negativos.

A Posse e o consumo específico na categoria Demais equipamentos foram estimados utilizando a PPH, considerando os equipamentos de forma agrupada, uma vez que cada um tinha um consumo de energia muito pequeno comparado com os demais equipamentos das outras categorias. Para as projeções, foi mantida esta agregação porque a quantidade de informações foi insuficiente para considerar cada equipamento separadamente; portanto, os resultados das projeções foram elaborados a partir da diferença da projeção de consumo disponibilizada pelo PDE 2020 e a projeção de consumo daqueles equipamentos conhecidos neste trabalho. Desta forma, os efeitos considerados nesta categoria não foram analisados, ficando como proposta para trabalhos futuros. Contudo, vale destacar, que as análises feitas para as outras categorias

não foram afetadas pelo fato da projeção desta categoria ter sido feita de forma agregada e indireta como apresentada nas estimativas de projeções de consumo, no capítulo 3 (três).

Considerando a projeção de consumo em que o crescimento do PIB seria de 4,0% ao ano e que haveria uma pior distribuição de renda, pode-se dizer que a variação do consumo de energia seria de 76 TWh, no período 2005-2020, ou seja, um crescimento de 91% em comparação com o consumo de energia elétrica em 2005. Com relação à estrutura de consumo a partir dos usos finais, a Figura 25 indica como seria a porcentagem de cada categoria de uso final, caso o PIB cresça menos.

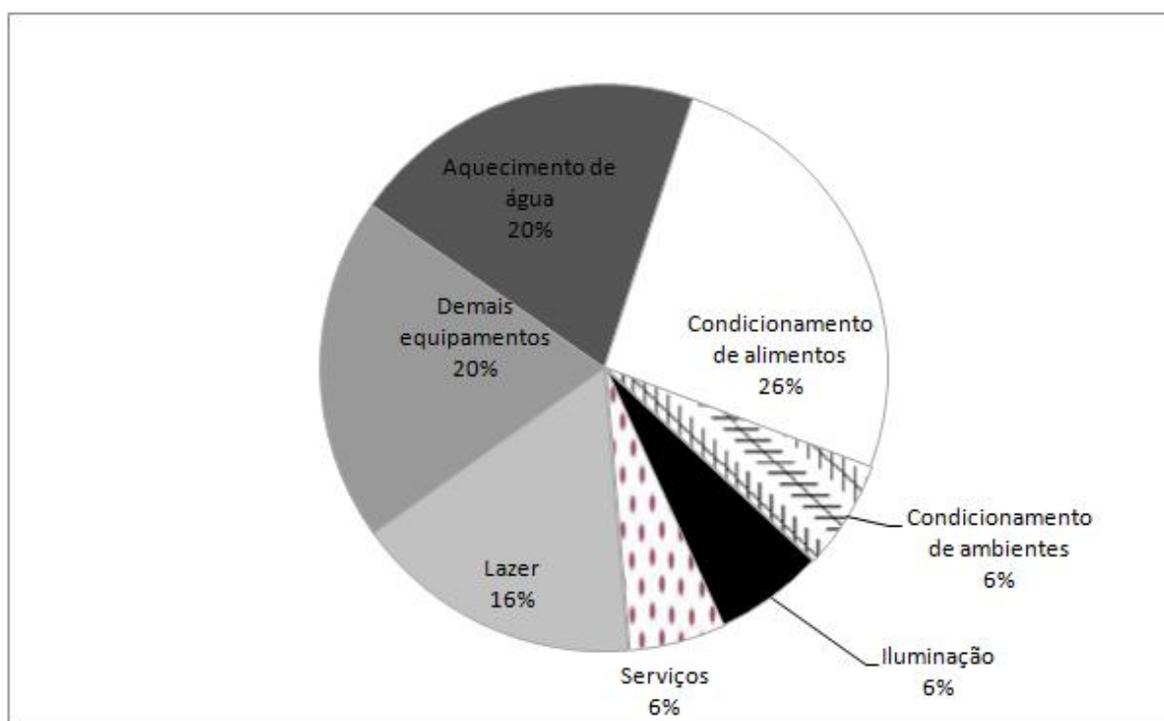


Figura 25 – Projeção da estrutura de consumo de energia elétrica no setor residencial em 2020 para o PIB de 4,0% ao ano

Fonte: Elaboração própria

Comparando a Figura 25 com a Figura 17, percebe-se que a categoria Demais equipamentos foi aquela que sofreria a maior variação, deixando de representar 25% de toda a energia consumida e chegando a 20%. Sendo que esta diferença corresponde a aproximadamente a 13 TWh.

Na Figura 26 é apresentada a decomposição da variação do consumo de energia associada a todos os efeitos, caso a taxa de variação do PIB seja de 4,0% ao ano, no período de 2005-2020.

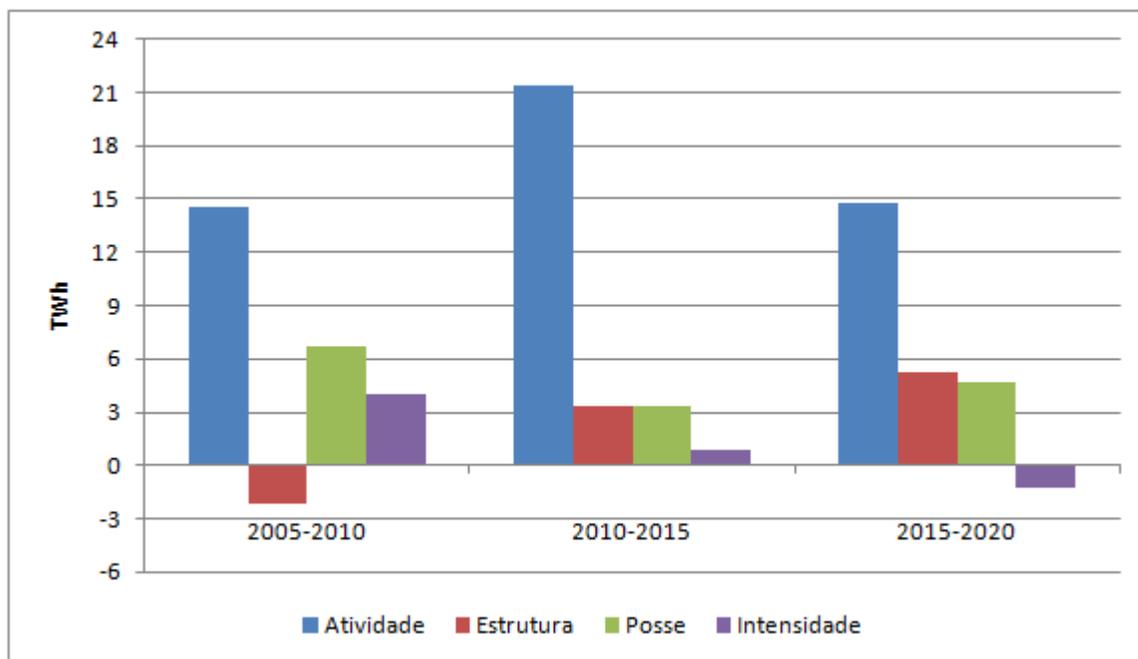


Figura 26 – Decomposição das variações de consumo de energia elétrica para um PIB de 4,0% ao ano, período 2005-2020

Fonte: Elaboração própria

Dentre todos os efeitos considerados nesta decomposição, o efeito Atividade seria responsável por 67% da variação do consumo de energia elétrica. A proporção deste efeito é maior que a proporção do efeito Atividade para o cenário com taxa de variação do PIB de 5,0% ao ano. Considerando o período 2005-2020, o efeito Estrutura contribuiria para o aumento no consumo de 6,3 TWh, enquanto os outros efeitos seriam responsáveis por: 51,0 TWh (efeito Atividade), 3,6 TWh (efeito Intensidade) e 14,7 TWh (efeito Posse).

Na Figura 27 é apresentada a decomposição da variação do consumo de energia associada aos quatro efeitos para a taxa de variação do PIB de 3,0% ao ano, no período de 2005-2020.

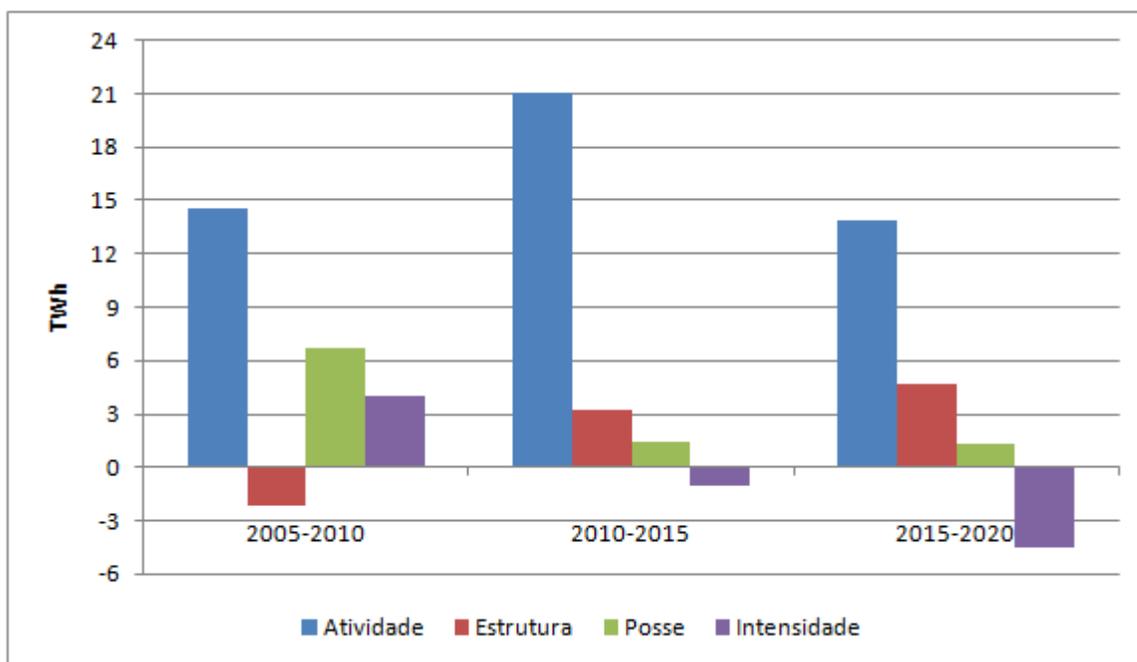


Figura 27 – Decomposição das variações de consumo de energia elétrica para um PIB de 3,0% ao ano, período 2005-2020

Fonte: Elaboração própria

Considerando o baixo crescimento do PIB associado com uma pior distribuição de renda, percebe-se na Figura 27 que o efeito Atividade seria também o principal responsável pela variação do consumo de energia elétrica, chegando a representar 79% do total de 63,0 TWh, que é o aumento do consumo para este cenário. Portanto, pode-se afirmar que quanto maior (relativamente) é o efeito Atividade na composição da variação do consumo de energia, mais preciso deve ser o resultado da projeção deste consumo no setor residencial quando esta projeção for baseada na curva de crescimento do número de domicílios.

Finalmente, nos Apêndices podem ser encontrados os efeitos Atividade, Estrutura, Posse e Intensidade, para cada tipo de equipamento considerado neste estudo. Nestes são apresentados os efeitos desagregados para o cenário com o PIB de 5,0% ao ano e, também, para os demais casos com o PIB de 4,0% ao ano e 3,0% ao ano.

5. CONCLUSÕES

A estimativa de consumo de energia elétrica desagregada por equipamento e estrato de renda, em 2005, mostrou que o consumo de energia elétrica per capita para os domicílios é bastante distinto para os três estratos de renda. Enquanto o consumo médio per capita das famílias de renda até 3 SM correspondia a 30 kWh/mês, os membros das famílias com renda acima de 7 SM consumiam 67 kWh/mês. Dentre os fatores para justificar tal diferença, pode-se citar o tamanho dos domicílios, a posse de equipamentos eletroeletrônicos, além dos diferentes hábitos de consumo entre os estratos de renda. Desta forma, uma mudança estrutural na distribuição de renda pode representar uma significativa variação no consumo de energia elétrica.

Apesar das famílias com renda até 3 SM possuírem o menor consumo per capita entre os três estratos considerados, percebeu-se que, devido ao grande número de famílias com renda até 3SM, o consumo de energia foi o maior em comparação com os demais estratos. Especificamente, as famílias de renda até 3 SM consumiram 30,8 TWh, que corresponde a 37% do total do consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro em 2005.

Considerando o consumo a partir das categorias de uso final, percebeu-se que as categorias Aquecimento de água, Condicionamento de alimentos e Iluminação são as principais categorias de consumo de energia elétrica. Para estas três categorias, o consumo representou 76% de toda energia consumida no setor residencial. Já considerando cada estrato de renda, percebeu-se que as famílias com renda até 3 SM consumiram mais energia elétrica pelos usos finais associados às categorias de Aquecimento de água, Condicionamento de alimentos e Iluminação do que as famílias com renda acima de 7 SM. Esta conclusão agregada ao maior consumo médio per capita das famílias de renda acima de 7 SM apontam que em um cenário futuro, o consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro poderia ser muito maior que o cenário elaborado pelo PDE 2020, caso haja uma melhor distribuição de renda e também, com uma estrutura de consumo muito diferente da observada em 2005.

Somente no período de 2005-2011 o consumo aumentou quase 34% (BRASIL, 2012a). Seguindo esta tendência, as projeções de consumo de energia elétrica no setor residencial mostram que o consumo aumentaria de 83 TWh, para 176 TWh, no período 2005-2020, uma variação de 112%. Isto implica que o consumo de energia elétrica mais que dobraria em apenas 15 anos. Considerando o mesmo cenário, com apenas mudanças na taxa de variação do PIB de 5,0% ao ano para uma taxa de 4,0% ao ano e uma pior distribuição de renda, o consumo de energia elétrica seria de 159 TWh, uma variação de 92%, com relação ao ano base. Estes dois valores de consumo para 2020 estão próximos da projeção de consumo de energia feita pelo PDE 2020, que estimou um consumo no setor residencial de 167 TWh, em 2020. Já para um crescimento do PIB menor (3,0% ao ano), considerando que a substituição de chuveiros elétricos por sistemas de aquecimento solar devido ao incentivo do programa “MCMV” não ocorra como o PDE 2020 considera em suas projeções, estimou-se que o consumo de energia elétrica, em 2020, seria de 146 TWh, sendo que este consumo representa uma diferença de 30 TWh com relação ao cenário com PIB de 5,0% ao ano.

Com relação à metodologia de análise de decomposição, *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI), esta se mostrou uma ferramenta bastante eficaz para avaliar a variação de consumo de energia desagregada por efeitos. Sua utilização é bastante simples e possui decomposição perfeita, ou seja, não produz resíduo na decomposição dos fatores. Isto é uma vantagem fundamental na análise porque não há termos que não possam ser explicados. Desta forma, recomenda-se a utilização desta metodologia na elaboração e análise dos planos nacionais energéticos, como os planos decenais.

Na decomposição da variação total do consumo de energia pelos efeitos Atividade, Estrutura, Posse e Intensidade, o efeito Atividade seria o maior responsável pelo aumento no consumo de energia elétrica no Brasil. Somente este efeito aumentaria o consumo de 52,4 TWh, ou seja, 56% da variação de consumo no período 2005-2020, para o cenário de variação do PIB de 5,0% ao ano. Para todos os efeitos avaliados seus valores seriam positivos, sendo que, devido à melhoria de eficiência de diversos equipamentos eletroeletrônicos, à substituição de tecnologias e a mudanças de hábitos

de uso, o efeito Intensidade seria o de menor impacto, contribuindo apenas com 8,2 TWh, para um aumento total de 93,2 TWh.

A justificativa para o efeito Atividade ser o principal responsável pelo aumento no consumo de energia elétrica está ligada a grande expectativa do aumento no número de domicílios ligados a rede elétrica no Brasil. Segundo projeções do PDE 2020, o número de novos domicílios com acesso a energia elétrica em 2020 seria 56% maior do que em 2005.

Além do destaque do efeito Atividade, os efeitos Estrutura e Posse seriam responsáveis, no período 2005-2020, pelo aumento de 33 TWh no consumo de energia elétrica no setor residencial, ou seja, mais de 35% do total da variação de consumo neste setor. Estes dois efeitos indicam uma melhoria na renda dos brasileiros, na sua melhor distribuição e no aumento do conforto advindos do uso da eletricidade.

Considerando os efeitos Posse e Intensidade desagregados por categoria de uso final, a substituição do chuveiro elétrico por aquecedor solar e a penetração do gás natural para aquecimento de água seriam responsáveis por reduzir a posse de chuveiros elétricos e, por consequência, a redução do consumo de energia em 1,7 TWh (efeito Posse), no período 2005-2020. No caso do efeito Intensidade para este equipamento, a redução no consumo de energia elétrica seria de 2,0 TWh para o mesmo período e estaria associado, principalmente, à redução do número de banhos por mês em cada domicílio devido à diminuição do tamanho das famílias.

Na categoria de Condicionamento de alimentos, o efeito Intensidade reduziria o consumo de energia elétrica em 3,7 TWh, no período 2005-2020 e ocorreria pela substituição de equipamentos velhos por novos e mais eficientes.

Com aplicação da Portaria nº 1.007/2010, do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2010b), a categoria Iluminação seria responsável pela maior redução de consumo de energia elétrica no setor residencial. O efeito Posse reduziria o consumo em 3,0 TWh, enquanto o efeito Intensidade reduziria em 7,0 TWh.

Todos estes resultados mostram que o setor residencial brasileiro passaria por mudanças estruturais e estas mudanças impactariam significativamente o consumo de energia elétrica. Os programas sociais como “Luz para todos” e “Minha Casa, Minha Vida” têm contribuído para tais mudanças, incentivando o acesso à energia elétrica e reduzindo o déficit habitacional. Tais ações são responsáveis por uma parcela no aumento do consumo de energia elétrica, principalmente, associado ao efeito Atividade. Percebe-se também que a integração de políticas sociais com políticas energéticas pode gerar bons resultados para a conservação de energia elétrica. No programa “Minha Casa, Minha Vida”, a determinação da instalação de aquecedores solares nas residências induz a redução do número de chuveiros elétricos e, portanto, contribui para que o efeito Posse para o chuveiro elétrico seja negativo. Da mesma forma, a regulação da indústria de equipamentos eletroeletrônicos com relação à eficiência energética revela-se uma ação fundamental para combater o aumento da demanda de energia. Somente a proibição da fabricação e venda de lâmpadas incandescentes reduziria 10 TWh, no período 2005-2020, devido ao efeito Posse e Intensidade.

Finalmente, pode-se dizer que para estimar e fazer a projeção do consumo de energia elétrica no setor residencial, desagregado por equipamento eletroeletrônico, é necessário um enorme conhecimento do setor como também o acesso a uma gama de informações que nem sempre estão disponibilizadas. Isto induz a necessidade de elaboração de metodologias e utilização de hipóteses para cobrir as lacunas deixadas pela falta de informações. Este trabalho seguiu este caminho e se concentrou em desenvolver uma metodologia para estimar o consumo de energia desagregado por usos finais, como também, a partir da técnica de decomposição foi possível estimar os efeitos explicativos do consumo de energia para cada uso final. Espera-se que estes resultados possam contribuir para outros trabalhos futuros.

Vale a pena destacar aqui que a *Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso* (PPH), utilizada como referência para estimativa do consumo de energia elétrica no setor residencial em 2005, contribuiu significativamente com sua base de dados bastante detalhada; entretanto, seria interessante, para uma pesquisa futura, a consideração de medições diretas de vários equipamentos, mesmo que fossem para uma

amostra pequena. Essa medição do consumo feita diretamente nos equipamentos possibilitaria uma melhor compreensão dos hábitos de uso e do real consumo específico para cada equipamento. Também, seria importante que na próxima PPH seja feita uma revisão no formato de algumas questões apresentadas nos questionários, principalmente com relação às faixas de hábitos de uso, como por exemplo, no chuveiro elétrico que define apenas três faixas de tempo de banho, sendo elas: até 10 minutos, entre 10 e 20 minutos e mais que 20 minutos, ou o ferro de passar roupa que define apenas a hora do dia que este equipamento foi utilizado. Nestes dois casos, devido à grande potência elétrica desses equipamentos, é necessária uma melhor precisão dos hábitos de usos deles para que o consumo de energia elétrica não fique nem subestimado ou superestimado.

Como sugestão de trabalhos, seria interessante fazer um estudo detalhado do consumo e projeção de consumo daqueles equipamentos que pertencem à categoria Demais equipamentos. Espera-se que estes equipamentos sejam responsáveis por uma grande parcela do consumo de energia elétrica no futuro. Outra possibilidade seria fazer um estudo, como este desenvolvido nesta tese, entretanto, desagregando o consumo por regiões e por mais estratos de renda. Também, poder-se-ia dar continuidade nesta tese, ajustando a metodologia desenvolvida aos novos dados referentes ao consumo de energia, considerando outros cenários e aplicando estes resultados à metodologia de decomposição LMDI.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. *Os Aquecedores Solares de Água no Minha Casa, Minha Vida: Benefícios econômicos ambientais e sociais*. ABRAVA, 2013. Disponível em: <http://www.dasolabrava.org.br/publicacoes/aquecimento-solar/>. Acessado em: dez. 2013.

ACHÃO, C. C. L. *Análise da estrutura de consumo de energia pelo setor residencial brasileiro*. 2003. 103p. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético). Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

ACHÃO, C. C. L. *Análise de decomposição das variações no consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro*. 2009. 166p. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético). Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

AGUIAR, A. C. et al. O papel das tarifas de energia elétrica na queda da desigualdade de renda no Brasil. In: XXXV Encontro Nacional de Economia. *Anais...* Recife/PE, ANPEC, 2007. 23p. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/encontro2007/artigos/A07A149.pdf>. Acessado em: fev. 2014

ANDRADE, T. A.; LOBÃO, W. J. A. *Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil*. Texto para Discussão, n. 489. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997. 25p. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=3706. Acessado em: fev. 2014.

ANG, B. W. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy*, v. 32, issue 9, 2004. p. 1131-1139.

ANG, B. W. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy*, v. 33, issue 7, 2005. p. 867-871.

ANG, B. W.; LIU, F. L. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation. *Energy*, v. 26, issue 6, 2001. p. 537-548.

ANG, B. W.; CHOI, K. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method. *Energy Journal*, v. 18, issue 3, 1997. p. 59-73.

ANG, B. W.; ZHANG, F. Q.; CHOI, K. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy*, v. 23, 1998. p. 489-495.

ARAÚJO, A. C. M. *Perdas e inadimplência na atividade de distribuição de energia elétrica no Brasil*. 2007. 98p. Tese de doutorado; Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

ASSIS, E. S. Método integrado de análise climática para arquitetura aplicado à cidade de Belo Horizonte, MG. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. *Anais...* São Pedro: ANTAC/UNICAMP, 2001. 8p.

BRASIL. Câmara dos Deputados. *Decreto n. 4.873*, de 11 de novembro de 2003. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2003/decreto-4873-11-novembro-2003-497318-norma-pe.html>. Acessado em: jan. 2013.

BRASIL. Presidência da República. *Lei n. 10.836*, de 9 de janeiro de 2004. Cria o Programa Bolsa Família e dá outras providências, 2004a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.836.htm. Acessado em: jan. 2013.

BRASIL. Presidência da República. *Decreto n. 5.209*, de 17 de setembro de 2004. Regulamenta a lei 10.836/2004, 2004b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5209.htm. Acessado em: jan. 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Nacional de Energia 2030*. Brasília: EPE, 2007. 408p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>. Acessado em: fev. 2014.

BRASIL. Câmara dos Deputados. *Lei n. 11.977*, de 7 de julho de 2009. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2009/lei-11977-7-julho-2009-589206-norma-actualizada-pl.html>. Acessado em: jan. 2013.

BRASIL. Ministério da Fazenda. *Economia Brasileira em Perspectiva*, 7ª edição. Relatório Junho/Julho 2010a. Disponível em: http://www.fazenda.gov.br/divulgacao/publicacoes/economia-brasileira-em-perspectiva/economia_brasileira_em_perspectiva_pt_ed7_jun_jul2010.pdf. Acessado em: fev. 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Portaria Interministerial n. 1.007 de 31 de dezembro de 2010. MME: Consultoria Jurídica. Brasília/DF, 2010b. Disponível em: http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/legislacao/portaria_interministerial/Portaria_MM-E-MCT-MDIC_n_1.007-2010.pdf. Acessado em: fev. 2014

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE, Empresa de Pesquisa Energética. *Avaliação da Eficiência Energética na Indústria e nas Residências no Horizonte Decenal 2010-2019* (nota técnica). Rio de Janeiro, 2010c. Disponível em: http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série_Estudos_de_Energia/20100809_4.pdf. Acessado em: abr. 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2020*. Brasília: EPE, 2011a. 319p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>. Acessado em: fev. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Gráficos de dados climatológicos*. In: Instituto Nacional de Meteorologia, INMET, 2011b. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>. Acessado em: fev. 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional 2012: ano base 2011*. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2012a. 282p. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>. Acessado em: fev. 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional: séries completas (2002-2011)*. Rio de Janeiro: EPE, 2012b. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>. Acessado em: fev. 2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. *Programa Minha Casa, Minha Vida, fase 1 e 2*. Relatório 2012. Brasília/DF, 2012c. Disponível em: http://www.sedhab.df.gov.br/mapas_sicad/conferencias/programa_minha_casa_minha_vida.pdf. Acessado em: set. 2013.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. *O Programa Luz para Todos*. Brasília/DF, 2013a. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia/programa-luz-para-todos>. Acessado em: jan. 2013.

BRASIL, Portal Brasil. Brasília/DF, 2013b. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2013/09/mais-de-183-mil-casas-tem-aquecimento-solar-no-Brasil>. Acessado em: out. 2013.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. CEF. *Programa Minha Casa, Minha Vida: Recursos FAR*. Brasília, 2013. Disponível em: http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programas_habitacao/pmcmv/saiba_mais.asp. Acessado em: jan. 2013.

CARVALHO, C. B. *Avaliação crítica do planejamento energético de longo prazo no Brasil, com ênfase no tratamento das incertezas e descentralização do processo*. 2005. 309p. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP.

CENTRO DE ESTUDOS SOBRE AS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E DA COMUNICAÇÃO. *Pesquisa sobre o uso das tecnologias da informação e*

comunicação no Brasil. Ano de 2005 a 2011. São Paulo, CETIC, 2012. Disponível em: <http://www.cetic.br/usuarios/tic/>. Acessado em: set. 2012.

CIMA, F. M. *Utilização de indicadores energéticos no planejamento energético integrado*. 2006. 208p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Planejamento) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

ELETROBRÁS/PROCEL. *Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso, Setor Residencial, Dados do Brasil*. Rio de Janeiro, PROCEL, 1999.

ELETROBRÁS/PROCEL. *Pesquisa de Posse de Eletrodomésticos e Hábitos de Uso, Ano Base 2005, Setor Residencial, Relatório Brasil*. Rio de Janeiro, PROCEL, 2007.

ELETROBRÁS/PROCEL. *Tabela de estimativa de consumo médio mensal de eletrodomésticos - 2011*. Rio de Janeiro, PROCEL, 2011. Disponível em: <http://www.eletronbras.com/elb/procel/main.asp>. Acessado em: ago. 2011.

ERNST & TERCO, Y. *Brasil Sustentável: Crescimento econômico e potencial de consumo*. Fundação Getúlio Vargas, 2008. Disponível em: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Crescimento_Econômico_e_Potencial_de_Consumo_PDF_Publicação/\\$FILE/Crescimento_Econômico_e_Potencial_de_Consumo.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Crescimento_Econômico_e_Potencial_de_Consumo_PDF_Publicação/$FILE/Crescimento_Econômico_e_Potencial_de_Consumo.pdf). Acessado em: dez. 2012.

FARIAS, A. M. L.; LAURENCEL, L. C. *Números índices*. Departamento de Estatística, Centro de Estudos Gerais, Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2005.

FERREIRA, O. C. Futurologia ou brincando com a logística. In: *Economia e Energia*, v. 1, n. zero, dezembro de 1996. Disponível em: <http://www.ecen.com/content/eee00/futurr.htm>. Acessado em: out. 2009.

FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. *World Economic Outlook: Hopes, Realities and Risks*, abril de 2013. Washington, EUA. FMI, 2013. Disponível em: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2013/01>. Acessado em: jun. 2013.

HEAPS, C. *Integrated energy-environment modeling and LEAP*. Somerville, MA, USA: Stockholm Environment Institute, 2002. Apresentação em Power Point. Disponível em: http://catedradogas.iee.usp.br/upload/workshop2013/Kadota_LEAP_02.pdf. Acessado em: fev. 2014

HEAPS, C. *Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system: Software version 2011.0043*. Somerville, MA, USA: Stockholm Environment Institute, 2012. Disponível em: www.energycommunity.org. Acessado em: jan. 2012.

- HOLANDA, N. *Planejamento e Projetos*. Fortaleza, 12ª Edição, UFC, 1983. 402p.
- LEON, N.; PESSANHA, J. F. M. Dinâmica da evolução do consumo de energia no setor residencial. *Anais do XVIII SNPTEE*. Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Curitiba, Brasil, 2005.
- IICA. Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. *Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica no Meio Rural Brasileiro: Lições do Programa Luz para Todos*. Brasília/DF, 2011. Disponível em: http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/brasil/Lists/Publicacoes/Attachments/85/Relatorio_1_LpT_baixa_resolucao.pdf. Acessado em: jan. 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF)*. Rio de Janeiro, Brasil. IBGE, 1996.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PNAD 2005. Síntese de indicadores. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 123p. ISSN 0101-6822.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PNAD 2009. Síntese de indicadores. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 288p. ISBN 978-85-240-4141-9.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). *Banco de dados agregados- SIDRA*. Brasil, IBGE, 2012.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. *Tabelas de consumo/eficiência energética, Produtos*. INMETRO, 2011. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>. Acessado em: nov. 2011.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Coeficiente de Gini; IPEADATA. IPEA, 2013. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/>. Acessado em: mar. 2013.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Expansion planning for electrical generating systems, a Guide Book*. Viena: IAEA, 1984. Technical Report Series, n. 241.
- KOENINGSBERGER, O. H. et al. *Viviendas y edificios en zonas calidas y tropicales*. Madrid, 1977. 328p.
- MACHADO, G.; SCHAEFFER, R. Energy and Economic Development. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, et al. *Brazil: A Country Profile on Sustainable Energy Development*. Vienna: IAEA, 2006.

MELO, C. A. *Padrões de Eficiência Energética para Equipamentos Elétricos de Uso Residencial*. 2009. 130p. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos), Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP. Campinas.

MORISHITA, C.; GHISI, E. Assessment of the impact of energy-efficient household appliances on the electricity consumption in the residential sector of Brazil. In: World Energy Congress. *Anais...* Montreal 2010. Disponível em: <http://www.worldenergy.org/documents/congresspapers/244.pdf>. Acessado em: fev. 2013.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Relatório de Desenvolvimento Humano 2010*. Brasil, PNUD, 2010. Disponível em: http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2010_PT_Complete_reprint.pdf. Acessado em: fev. 2013.

PEREIRA, A. P. A. *Consumo Residencial de Energia e Desenvolvimento Humano: um estudo da realidade brasileira de 1970 a 2005*. 2007. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia da Energia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá/MG.

PEREIRA, I. M. *Desenvolvimento de metodologia para planejamento energético integrado ao espaço urbano: um estudo do setor residencial de Belo Horizonte*. 2010. 199p. Tese (Doutorado em Ciências e Técnicas Nucleares). Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares. Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG. Belo Horizonte.

ROSA, L. P.; TOLMASQUIM, M. T. An analytical model to compare energy efficiency indices and CO² emissions in developed and developing countries. *Energy Policy* 21, p. 276-283, 1993.

SCARI, M. E. *Cenários de consumo de energia elétrica no setor residencial de Belo Horizonte*. 2011. 150f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares). Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares. Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG. Belo Horizonte.

SOARES, S.; SÁTYRO, N. *O Programa Bolsa Família: desenho institucional, impactos e possibilidades futuras*. Texto para discussão, n. 1424. Brasília: IPEA, outubro de 2009. 41p.

WACHSMANN, U. *Mudanças no consumo de energia e nas emissões associadas de CO₂ no Brasil entre 1970 e 1996: uma análise de decomposição estrutural*. 2005. 215p. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético). Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.

WORRELL, E.et al. Energy intensity in the iron and steel industry: a comparison of physical and economic indicators. *Energy Policy*, v. 25, issues 7-9, p. 727-744, 1997.

APÊNDICES

A.1 - Variação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamentos e estrato de renda para o efeito Atividade (PIB de 5,0% ao ano)

EFEITO ATIVIDADE (valores em TWh)									
Equipamentos	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior que 7 SM		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Chuveiro	1,27	1,47	0,81	1,38	1,92	1,43	0,98	1,33	1,08
Geladeira	1,72	2,29	1,34	1,17	1,72	1,29	0,76	1,00	0,78
Ar condicionado	0,02	0,05	0,04	0,12	0,24	0,24	0,29	0,44	0,39
Lâmpada incandescente	0,90	1,07	0,01	0,62	0,80	0,01	0,39	0,45	0,01
Lâmpada fluorescente	0,13	0,19	0,21	0,14	0,22	0,27	0,13	0,19	0,23
Freezer	0,22	0,29	0,17	0,28	0,38	0,27	0,36	0,43	0,32
Aparelho de Tv	0,52	0,82	0,58	0,42	0,73	0,66	0,35	0,59	0,59
Máquina de lavar roupa	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Micro-ondas	0,03	0,04	0,03	0,06	0,10	0,07	0,08	0,11	0,09
Ferro de passar roupa	0,25	0,34	0,21	0,20	0,31	0,24	0,13	0,19	0,16
Som	0,11	0,15	0,09	0,09	0,14	0,11	0,08	0,11	0,10
Computador	0,01	0,06	0,08	0,03	0,09	0,09	0,05	0,10	0,11
Ventilador/circulador	0,08	0,10	0,06	0,08	0,11	0,08	0,05	0,07	0,05
Ventilador de teto	0,02	0,03	0,02	0,05	0,07	0,05	0,04	0,06	0,04
Demais equipamentos	0,21	0,71	0,69	0,28	1,06	1,20	0,36	1,30	1,61
Total	5,53	7,63	4,36	4,92	7,92	6,04	4,06	6,38	5,58

A.2 - Variação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamentos e estrato de renda para o efeito Estrutura (PIB de 5,0% ao ano)

EFEITO ESTRUTURA (valores em TWh)									
Equipamentos	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior que 7 SM		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Chuveiro	0,30	-1,22	-1,12	0,15	1,40	0,95	-0,97	1,47	2,06
Geladeira	0,41	-1,89	-1,86	0,13	1,26	0,86	-0,75	1,11	1,49
Ar condicionado	0,01	-0,04	-0,06	0,01	0,18	0,16	-0,28	0,48	0,73
Lâmpada incandescente	0,21	-0,89	-0,02	0,07	0,59	0,01	-0,38	0,50	0,01
Lâmpada fluorescente	0,03	-0,16	-0,30	0,01	0,16	0,18	-0,13	0,21	0,44
Freezer	0,05	-0,24	-0,23	0,03	0,28	0,18	-0,36	0,47	0,60
Aparelho de Tv	0,12	-0,68	-0,80	0,04	0,54	0,44	-0,34	0,65	1,12
Máquina de lavar roupa	0,01	-0,02	-0,02	0,00	0,03	0,02	-0,02	0,03	0,04
Micro-ondas	0,01	-0,04	-0,04	0,01	0,07	0,05	-0,07	0,12	0,17
Ferro de passar roupa	0,06	-0,28	-0,30	0,02	0,22	0,16	-0,13	0,21	0,31
Som	0,03	-0,13	-0,13	0,01	0,10	0,07	-0,07	0,12	0,18
Computador	0,00	-0,05	-0,12	0,00	0,06	0,06	-0,05	0,11	0,21
Ventilador/circulador	0,02	-0,08	-0,08	0,01	0,08	0,05	-0,05	0,08	0,10
Ventilador de teto	0,00	-0,02	-0,02	0,00	0,05	0,03	-0,04	0,06	0,08
Demais equipamentos	0,05	-0,59	-0,96	0,03	0,77	0,80	-0,35	1,44	3,07
Total	1,31	-6,32	-6,06	0,53	5,78	4,02	-4,00	7,07	10,62

A.3 - Variação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamentos e estrato de renda para o efeito Posse (PIB de 5,0% ao ano)

EFEITO POSSE (valores em TWh)									
Equipamentos	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior que 7 SM		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Chuveiro	-0,42	-0,31	-0,29	-0,45	-0,01	-0,01	-0,06	-0,07	-0,10
Geladeira	1,13	0,65	0,36	0,17	0,10	0,09	0,01	0,01	0,01
Ar condicionado	0,05	0,12	0,20	0,32	0,40	0,68	0,25	0,22	0,32
Lâmpada incandescente	0,00	-0,54	-3,09	0,00	-0,64	-2,54	0,00	-0,50	-1,45
Lâmpada fluorescente	0,00	0,20	2,12	0,00	0,22	1,84	0,00	0,17	1,12
Freezer	0,17	0,07	0,03	-0,10	-0,05	-0,05	-0,35	-0,21	-0,21
Aparelho de Tv	0,24	0,05	0,08	0,04	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00
M. Lava roupa	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Micro-ondas	0,09	0,02	0,03	0,08	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Ferro de passar roupa	0,03	0,05	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	0,00	0,01
Som	0,07	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03
Computador	0,14	0,21	0,51	0,21	0,13	0,23	0,02	0,10	0,18
Ventilador/circulador	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Ventilador de teto	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Demais equipamentos	1,19	1,16	1,91	1,64	1,34	2,57	1,91	1,58	3,32
Total	2,76	1,76	1,97	2,05	1,62	2,96	1,89	1,35	3,26

A.4 - Variação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamentos e estrato de renda para o efeito Intensidade (PIB de 5,0% ao ano)

EFEITO INTENSIDADE									
(valores em TWh)									
Equipamentos	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior que 7 SM		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Chuveiro	-0,58	-0,37	-0,09	-0,28	-0,19	-0,13	-0,15	-0,11	-0,07
Geladeira	-0,44	-0,51	-0,56	-0,07	-0,10	-0,13	-0,32	-0,36	-0,47
Ar condicionado	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,05	-0,06	-0,10
Lâmpada incandescente	0,00	-0,37	-2,52	0,00	-0,50	-2,07	0,00	-0,34	-1,16
Lâmpada fluorescente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Freezer	-0,09	-0,10	-0,09	-0,05	-0,06	-0,07	-0,10	-0,10	-0,12
Aparelho de Tv	0,54	0,74	0,90	0,45	0,69	1,06	0,41	0,61	1,04
M. Lava roupa	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01
Micro-ondas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferro de passar roupa	0,06	0,07	0,08	0,05	0,07	0,09	0,03	0,04	0,06
Som	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Computador	0,03	0,09	0,14	0,04	0,05	0,08	0,13	0,05	0,09
Ventilador/circulador	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,04	-0,05
Ventilador de teto	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,04
Demais equipamentos	1,10	0,83	1,37	1,47	1,09	2,09	1,97	1,33	2,80
Total	0,58	0,34	-0,83	1,54	0,97	0,82	1,85	0,98	1,97

A.5 - Variação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamentos e estrato de renda para o efeito Atividade (PIB de 4,0% ao ano)

EFEITO ATIVIDADE (valores em TWh)									
Equipamentos	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior que 7 SM		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Chuveiro	1,27	1,51	0,87	1,38	1,92	1,43	0,98	1,23	0,91
Geladeira	1,72	2,35	1,44	1,17	1,72	1,29	0,76	0,93	0,65
Ar condicionado	0,02	0,05	0,05	0,12	0,24	0,24	0,29	0,40	0,32
Lâmpada incandescente	0,90	1,10	0,01	0,62	0,80	0,01	0,39	0,42	0,01
Lâmpada fluorescente	0,13	0,19	0,23	0,14	0,22	0,27	0,13	0,18	0,19
Freezer	0,22	0,30	0,18	0,28	0,38	0,27	0,36	0,40	0,26
Aparelho de Tv	0,52	0,84	0,62	0,42	0,73	0,66	0,35	0,54	0,49
M. Lava roupa	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Micro-ondas	0,03	0,04	0,03	0,06	0,10	0,07	0,08	0,10	0,08
Ferro de passar roupa	0,25	0,35	0,23	0,20	0,31	0,24	0,13	0,18	0,14
Som	0,11	0,16	0,10	0,09	0,14	0,11	0,08	0,10	0,08
Computador	0,01	0,06	0,09	0,03	0,09	0,09	0,05	0,09	0,09
Ventilador/circulador	0,08	0,10	0,06	0,08	0,11	0,08	0,05	0,07	0,05
Ventilador de teto	0,02	0,03	0,02	0,05	0,07	0,05	0,04	0,05	0,04
Demais equipamentos	0,21	0,68	0,60	0,28	0,98	0,96	0,36	1,11	1,08
Total	5,53	7,79	4,56	4,92	7,84	5,81	4,06	5,82	4,40

A.6 - Variação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamentos e estrato de renda para o efeito Estrutura (PIB de 4,0% ao ano)

EFEITO ESTRUTURA (valores em TWh)									
Equipamentos	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior que 7 SM		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Chuveiro	0,30	-0,80	-0,87	0,15	1,40	0,95	-0,97	0,36	1,21
Geladeira	0,41	-1,25	-1,43	0,13	1,26	0,86	-0,75	0,27	0,87
Ar condicionado	0,01	-0,02	-0,05	0,01	0,18	0,16	-0,28	0,12	0,43
Lâmpada incandescente	0,21	-0,58	-0,01	0,07	0,59	0,01	-0,38	0,12	0,01
Lâmpada fluorescente	0,03	-0,10	-0,23	0,01	0,16	0,18	-0,13	0,05	0,26
Freezer	0,05	-0,16	-0,18	0,03	0,28	0,18	-0,36	0,11	0,35
Aparelho de Tv	0,12	-0,45	-0,62	0,04	0,54	0,44	-0,34	0,16	0,66
M. Lava roupa	0,01	-0,02	-0,02	0,00	0,03	0,02	-0,02	0,01	0,02
Micro-ondas	0,01	-0,02	-0,03	0,01	0,07	0,05	-0,07	0,03	0,10
Ferro de passar roupa	0,06	-0,19	-0,23	0,02	0,22	0,16	-0,13	0,05	0,18
Som	0,03	-0,08	-0,10	0,01	0,10	0,07	-0,07	0,03	0,11
Computador	0,00	-0,03	-0,09	0,00	0,06	0,06	-0,05	0,03	0,12
Ventilador/circulador	0,02	-0,05	-0,06	0,01	0,08	0,05	-0,05	0,02	0,06
Ventilador de teto	0,00	-0,01	-0,02	0,00	0,05	0,03	-0,04	0,01	0,05
Demais equipamentos	0,05	-0,36	-0,59	0,03	0,71	0,64	-0,35	0,32	1,44
Total	1,31	-4,14	-4,52	0,53	5,72	3,86	-4,00	1,68	5,86

A.7 - Variação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamentos e estrato de renda para o efeito Posse (PIB de 4,0% ao ano)

EFEITO POSSE (valores em TWh)									
Equipamentos	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior que 7 SM		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Chuveiro	-0,42	-0,30	-0,28	-0,45	-0,01	-0,01	-0,06	-0,07	-0,09
Geladeira	1,13	0,66	0,39	0,17	0,10	0,09	0,01	0,01	0,01
Ar condicionado	0,05	0,13	0,22	0,32	0,40	0,68	0,25	0,20	0,27
Lâmpada incandescente	0,00	-0,55	-3,26	0,00	-0,64	-2,54	0,00	-0,47	-1,25
Lâmpada fluorescente	0,00	0,21	2,30	0,00	0,22	1,84	0,00	0,16	0,93
Freezer	0,17	0,07	0,03	-0,10	-0,05	-0,05	-0,35	-0,20	-0,18
Aparelho de Tv	0,24	0,05	0,09	0,04	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00
M. Lava roupa	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Micro-ondas	0,09	0,02	0,03	0,08	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Ferro de passar roupa	0,03	0,05	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	0,00	0,01
Som	0,07	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03
Computador	0,14	0,22	0,55	0,21	0,13	0,23	0,02	0,10	0,15
Ventilador/circulador	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Ventilador de teto	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Demais equipamentos	1,19	0,84	1,26	1,64	0,86	1,44	1,91	0,92	1,52
Total	2,76	1,47	1,43	2,05	1,14	1,82	1,89	0,70	1,42

A.8 - Variação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamentos e estrato de renda para o efeito Intensidade (PIB de 4,0% ao ano)

EFEITO INTENSIDADE									
(valores em TWh)									
Equipamentos	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior que 7 SM		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Chuveiro	-0,58	-0,38	-0,10	-0,28	-0,19	-0,13	-0,15	-0,10	-0,06
Geladeira	-0,44	-0,52	-0,61	-0,07	-0,10	-0,13	-0,32	-0,34	-0,40
Ar condicionado	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,05	-0,06	-0,08
Lâmpada incandescente	0,00	-0,38	-2,67	0,00	-0,50	-2,07	0,00	-0,32	-1,00
Lâmpada fluorescente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Freezer	-0,09	-0,10	-0,10	-0,05	-0,06	-0,07	-0,10	-0,09	-0,10
Aparelho de Tv	0,54	0,76	0,97	0,45	0,69	1,06	0,41	0,56	0,87
M. Lava roupa	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01
Micro-ondas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferro de passar roupa	0,06	0,07	0,08	0,05	0,07	0,09	0,03	0,04	0,05
Som	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Computador	0,03	0,10	0,15	0,04	0,05	0,08	0,13	0,05	0,08
Ventilador/circulador	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04
Ventilador de teto	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03
Demais equipamentos	1,10	0,53	0,79	1,47	0,63	1,05	1,97	0,71	1,17
Total	0,58	0,02	-1,52	1,54	0,51	-0,23	1,85	0,37	0,44

A.9 - Variação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamentos e estrato de renda para o efeito Atividade (PIB de 3,0% ao ano)

EFEITO ATIVIDADE (valores em TWh)									
Equipamentos	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior que 7 SM		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Chuveiro	1,27	1,53	0,91	1,38	1,92	1,43	0,98	1,23	0,91
Geladeira	1,72	2,35	1,44	1,17	1,72	1,29	0,76	0,93	0,65
Ar condicionado	0,02	0,05	0,05	0,12	0,24	0,24	0,29	0,40	0,32
Lâmpada incandescente	0,90	1,10	0,01	0,62	0,80	0,01	0,39	0,42	0,01
Lâmpada fluorescente	0,13	0,19	0,23	0,14	0,22	0,27	0,13	0,18	0,19
Freezer	0,22	0,30	0,18	0,28	0,38	0,27	0,36	0,40	0,26
Aparelho de Tv	0,52	0,84	0,62	0,42	0,73	0,66	0,35	0,54	0,49
M. Lava roupa	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Micro-ondas	0,03	0,04	0,03	0,06	0,10	0,07	0,08	0,10	0,08
Ferro de passar roupa	0,25	0,35	0,23	0,20	0,31	0,24	0,13	0,18	0,14
Som	0,11	0,16	0,10	0,09	0,14	0,11	0,08	0,10	0,08
Computador	0,01	0,06	0,09	0,03	0,09	0,09	0,05	0,09	0,09
Ventilador/circulador	0,08	0,10	0,06	0,08	0,11	0,08	0,05	0,07	0,05
Ventilador de teto	0,02	0,03	0,02	0,05	0,07	0,05	0,04	0,05	0,04
Demais equipamentos	0,21	0,59	0,40	0,28	0,85	0,65	0,36	0,96	0,73
Total	5,53	7,72	4,39	4,92	7,72	5,49	4,06	5,67	4,04

A.10 - Variação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamentos e estrato de renda para o efeito Estrutura (PIB de 3,0% ao ano)

EFEITO ESTRUTURA (valores em TWh)									
Equipamentos	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior que 7 SM		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Chuveiro	0,30	-0,81	-0,90	0,15	1,40	0,95	-0,97	0,36	1,21
Geladeira	0,41	-1,25	-1,43	0,13	1,26	0,86	-0,75	0,27	0,87
Ar condicionado	0,01	-0,02	-0,05	0,01	0,18	0,16	-0,28	0,12	0,43
Lâmpada incandescente	0,21	-0,58	-0,01	0,07	0,59	0,01	-0,38	0,12	0,01
Lâmpada fluorescente	0,03	-0,10	-0,23	0,01	0,16	0,18	-0,13	0,05	0,26
Freezer	0,05	-0,16	-0,18	0,03	0,28	0,18	-0,36	0,11	0,35
Aparelho de Tv	0,12	-0,45	-0,62	0,04	0,54	0,44	-0,34	0,16	0,66
M. Lava roupa	0,01	-0,02	-0,02	0,00	0,03	0,02	-0,02	0,01	0,02
Micro-ondas	0,01	-0,02	-0,03	0,01	0,07	0,05	-0,07	0,03	0,10
Ferro de passar roupa	0,06	-0,19	-0,23	0,02	0,22	0,16	-0,13	0,05	0,18
Som	0,03	-0,08	-0,10	0,01	0,10	0,07	-0,07	0,03	0,11
Computador	0,00	-0,03	-0,09	0,00	0,06	0,06	-0,05	0,03	0,12
Ventilador/circulador	0,02	-0,05	-0,06	0,01	0,08	0,05	-0,05	0,02	0,06
Ventilador de teto	0,00	-0,01	-0,02	0,00	0,05	0,03	-0,04	0,01	0,05
Demais equipamentos	0,05	-0,31	-0,40	0,03	0,62	0,43	-0,35	0,28	0,97
Total	1,31	-4,10	-4,36	0,53	5,63	3,65	-4,00	1,64	5,38

A.11 - Variação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamentos e estrato de renda para o efeito Posse (PIB de 3,0% ao ano)

EFEITO POSSE									
(valores em TWh)									
Equipamentos	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior que 7 SM		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Chuveiro	-0,42	-0,11	-0,09	-0,45	-0,01	-0,01	-0,06	-0,07	-0,09
Geladeira	1,13	0,66	0,39	0,17	0,10	0,09	0,01	0,01	0,01
Ar condicionado	0,05	0,13	0,22	0,32	0,40	0,68	0,25	0,20	0,27
Lâmpada incandescente	0,00	-0,55	-3,26	0,00	-0,64	-2,54	0,00	-0,47	-1,25
Lâmpada fluorescente	0,00	0,21	2,30	0,00	0,22	1,84	0,00	0,16	0,93
Freezer	0,17	0,07	0,03	-0,10	-0,05	-0,05	-0,35	-0,20	-0,18
Aparelho de Tv	0,24	0,05	0,09	0,04	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00
M. Lava roupa	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Micro-ondas	0,09	0,02	0,03	0,08	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Ferro de passar roupa	0,03	0,05	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	0,00	0,01
Som	0,07	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03
Computador	0,14	0,22	0,55	0,21	0,13	0,23	0,02	0,10	0,15
Ventilador/circulador	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
Ventilador de teto	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Demais equipamentos	1,19	0,30	0,35	1,64	0,13	0,17	1,91	0,10	0,12
Total	2,76	1,13	0,71	2,05	0,41	0,55	1,89	-0,12	0,03

A.12 - Variação de consumo de energia elétrica desagregada por equipamentos e estrato de renda para o efeito Intensidade (PIB de 3,0% ao ano)

EFEITO INTENSIDADE									
(valores em TWh)									
Equipamentos	Até 3 SM			Entre 3 SM e 7 SM			Maior que 7 SM		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Chuveiro	-0,58	-0,38	-0,10	-0,28	-0,19	-0,13	-0,15	-0,10	-0,06
Geladeira	-0,44	-0,52	-0,61	-0,07	-0,10	-0,13	-0,32	-0,34	-0,40
Ar condicionado	0,00	0,00	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,05	-0,06	-0,08
Lâmpada incandescente	0,00	-0,38	-2,67	0,00	-0,50	-2,07	0,00	-0,32	-1,00
Lâmpada fluorescente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Freezer	-0,09	-0,10	-0,10	-0,05	-0,06	-0,07	-0,10	-0,09	-0,10
Aparelho de Tv	0,54	0,76	0,97	0,45	0,69	1,06	0,41	0,56	0,87
M. Lava roupa	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01
Micro-ondas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ferro de passar roupa	0,06	0,07	0,08	0,05	0,07	0,09	0,03	0,04	0,05
Som	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Computador	0,03	0,10	0,15	0,04	0,05	0,08	0,13	0,05	0,08
Ventilador/circulador	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04
Ventilador de teto	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03
Demais equipamentos	1,10	0,03	0,04	1,47	-0,07	-0,09	1,97	-0,09	-0,11
Total	0,58	-0,48	-2,28	1,54	-0,19	-1,37	1,85	-0,42	-0,84