

# ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM REFRIGERADORES NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO

Rafael Balbino Cardoso<sup>1</sup>

Luiz Augusto Horta Nogueira<sup>2</sup>

## RESUMO

Os refrigeradores domésticos são responsáveis por grande parte da energia elétrica consumida nos lares brasileiros, entretanto a estimativa de seu consumo para todo o setor residencial apresenta diversas dificuldades, especialmente na determinação do parque de equipamentos. Considerando o consumo por refrigerador avaliado pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE/INMETRO), ajustado pela degradação ao longo da vida útil e pelo efeito da temperatura local, o presente trabalho apresenta duas abordagens para estimar o consumo total de energia devido aos refrigeradores, determinando-se o parque de equipamentos a partir de: a) dados anuais de venda e estimativas de descarte de equipamentos e b) modelo de penetração de refrigeradores no setor residencial, proposto por McNeil e Letschert (2005), em função de variáveis como renda familiar, urbanização e eletrificação rural. Os resultados foram comparados com valores inferidos mediante estudos de posse e hábitos de eletrodomésticos, indicando que o consumo de energia elétrica pelos refrigeradores residenciais no Brasil em 2005 foi da ordem de 23 TWh, cerca de 28% do consumo total de eletricidade no setor doméstico e 6% do consumo total de energia elétrica no país.

Palavras chave: Consumo de eletricidade em eletrodomésticos, Parque de equipamentos, Influência climática, Efeito da degradação de eficiência.

---

1 Centro de Excelência em Eficiência Energética – EXCEN, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Av. BPS 1303, 55-35-3629-1000, Itajubá-MG, e-mail: cardosorb@unifei.edu.br/Fone: (35) 3629-1411.

2 Centro de Excelência em Eficiência Energética – EXCEN, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Av. BPS 1303, 55-35-3629-1000, Itajubá-MG, e-mail: horta@unifei.edu.br/Fone: (35) 3629-1442.

## 1. INTRODUÇÃO

Atendendo a importantes usos como conservação de alimentos e bebidas, os refrigeradores são os maiores consumidores de energia elétrica no setor doméstico, com alguns estudos indicando que respondem por um consumo entre 28% a 30% de toda eletricidade utilizada nos lares brasileiros (CEPEL, 2006, CPFL, 2006, CEMIG, 2006). Considerando a relevância de seu consumo e a necessidade de promover o uso eficiente de energia, é de efetivo interesse conhecer com a precisão possível o consumo real dos refrigeradores no setor residencial, tema do presente trabalho.

De um modo geral, o consumo de energia elétrica devido aos eletrodomésticos é função de seu consumo unitário e do parque de equipamentos. O consumo unitário dos refrigeradores vem diminuindo com o passar do tempo, devido à evolução tecnológica e ao interesse dos fabricantes em atender as exigências dos compradores, induzidas por medidas de informação sobre o desempenho dos equipamentos. Nesse contexto, o Programa Selo PROCEL desde 1995 vem estimulando os fabricantes brasileiros a colocarem no mercado produtos mais eficientes, mediante melhorias no isolamento térmico, sistemas de vedação, compressor, ajustes de termostatos, etc., com expressivos resultados. Estima-se que, nos últimos vinte anos, essas ações proporcionaram reduções de consumo unitário na ordem de 47%, níveis comparáveis aos indicados para programas similares nos Estados Unidos, cerca de 56% no mesmo período (dados EUA: CLASP, 2001, dados Brasil: PROCEL, 2006).

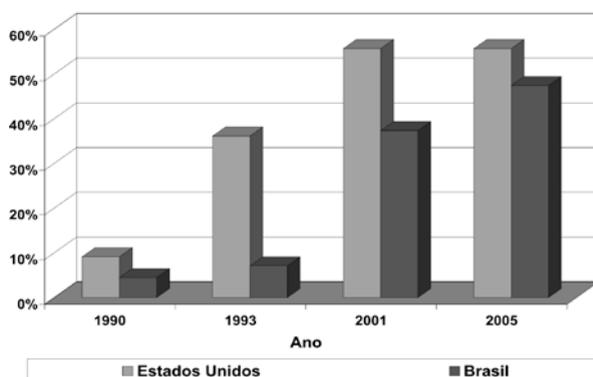


Figura 1 – Redução de consumo unitário de refrigeradores – Ano base 1985

Fontes: (CLASP, 2001; PROCEL, 2006)

O parque de refrigeradores em uso no Brasil, ou seja, o número de refrigeradores em operação é um dado essencial para estimar o consumo associado a esse tipo de equipamento, contudo tem sua avaliação dificultada pela reduzida base de dados. No presente estudo foram adotados dois procedimentos para estimar o parque de refrigeradores no Brasil ao longo dos últimos anos: o primeiro procedimento utiliza os dados de vendas anuais e estimativas de descarte de equipamentos, enquanto que o segundo utiliza o modelo de penetração de refrigeradores no setor residencial. Em ambos os casos desagregaram os resultados em termos regionais e se incluíram os efeitos da degradação do consumo unitário ao longo da vida do equipamento.

Para a estimativa do consumo de energia elétrica de refrigeradores no setor residencial brasileiro desenvolveram-se as seguintes etapas:

1. Estimativa do parque de equipamentos: empregaram-se dois modelos:

a. *Modelo baseado na venda e descarte de refrigeradores*: O parque de equipamentos é obtido em função das vendas anuais de refrigeradores e descarte. Este modelo foi utilizado no Relatório de Avaliação de Resultados do Programa Selo Procel de Economia de Energia do ano de 2007.

b. *Modelo de penetração de refrigeradores no setor residencial*: Baseado na proposta de McNiel e Letschert (2005) o parque de equipamentos é calculado em função do número de domicílios particulares e da posse de equipamentos por residência.

2. Estimativa do consumo unitário de refrigeradores do Brasil: foram empregados os consumos fornecidos pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE/INMETRO, que representam o consumo de equipamentos novos ensaiados em câmaras à temperatura de 32°C, corrigido para as temperaturas medias estimadas de operação e ajustado em função da degradação de eficiência, conforme informações de fabricantes de refrigeradores.

3. Estimativa do consumo de energia elétrica no parque de refrigeradores no setor residencial brasileiro: relacionando o parque de refrigeradores com o consumo unitário, pode-se estimar diretamente o consumo de energia elétrica de refrigeradores no setor residencial brasileiro.

4. Comparação de resultados: realizam-se comparações entre os resultados de consumo de energia, atribuído aos refrigeradores no setor residencial brasileiro, obtidos pelas diferentes modelagens de formação do parque

de equipamentos, bem como comparações com os resultados do Balanço Energético Nacional – BEN para analisar a consistência de ambos os modelos de formação do parque de equipamentos.

## 2. ESTIMATIVA DO PARQUE DE REFRIGERADORES

### 2.1. Modelo baseado na venda e descarte de refrigeradores

A formação do parque de refrigeradores baseada em dados de venda e sucateamento desenvolveu-se segundo a seguinte modelagem, que toma em conta as entradas (vendas anuais) e as saídas (em torno dos 16 anos de uso (Queiroz, et.al., 2007)):

$$N_i = \left( \sum_{i=N-16}^N V_i \right) - N_N \quad (1)$$

onde:

$$N_N = \lambda.V_{i15} + \alpha.V_{i16} + \beta.V_{i17} \quad (2)$$

Nas expressões anteriores tem-se que:

$N_i$  - Parque de refrigeradores no ano  $i$ ;

$V_i$  - Vendas de refrigeradores no ano de fabricação  $i$ ;

$N_N$  - Sucateamento de refrigeradores no ano  $N$ ;

$V_{i15}$ ,  $V_{i16}$  e  $V_{i17}$  - Refere-se às vendas de refrigeradores, há 15, 16 e 17 anos respectivamente;

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  - Coeficientes de sucateamento, respectivamente 0,5; 0,4 e 0,1; valores determinados considerando o parque de refrigeradores informado pelo PNAD/IBGE (diversos anos).

Informações detalhadas encontram-se no Relatório de Avaliação de Resultados do Programa Selo Procel de Economia de Energia (2007). Desta forma, consegue-se calcular o parque de refrigeradores, baseado unicamente em dados de venda e descarte dos equipamentos.

## 2.2. Modelo de penetração de refrigeradores no setor residencial

A formação do parque de refrigeradores do setor residencial brasileiro baseado na penetração de equipamentos, com base nos estudos de McNiel e Letschert (2005), apresenta a seguinte modelagem, que considera o número de domicílios e a respectiva posse de equipamentos:

$$N_i = N_{di} \cdot S_i \quad (3)$$

onde:

$N_i$  - Parque de refrigeradores no ano  $i$ ;

$N_{di}$  - Número de domicílios particulares do Brasil no ano  $i$ ;

$S_i$  - Posse de equipamentos por residência brasileira no ano  $i$ .

O número de domicílios particulares do Brasil foi tomado dos levantamentos apresentados pelo PNAD/IBGE. A posse de equipamentos por residência brasileira foi determinada com base na modelagem de penetração de equipamentos, que inclui variáveis de renda familiar, urbanização e eletrificação rural, segundo as expressões abaixo:

$$S = S_{\max} \cdot (1 - \exp(a \cdot I^\gamma \cdot U))^{b \cdot (RE)^\delta} \quad (4)$$

e

$$RE = 1 - \frac{1 - E}{1 - U} \quad (5)$$

onde:

$S$  - Posse de refrigeradores do setor residencial

$S_{\max}$  - Posse máxima com interferência climática (não utilizada = 1)

$I$  - Renda média familiar

$RE$  - Taxa de eletrificação rural nacional

$E$  - Taxa de eletrificação nacional

$U$  - Taxa de urbanização nacional

$a, b, \delta$  - Coeficientes da regressão, propostos pelos autores

Segundo informam McNiel e Letschert (2005), para o Brasil, os coeficientes  $a, b$  e  $\delta$  valem respectivamente, 0,0016; 0,32 e -0,63, resultantes de mode-

los de regressão múltipla, sobre a base de dados de posse de equipamentos domésticos.

### 2.3. Resultados do parque de refrigeradores

Aplicando as modelagens anteriores foi possível obter a evolução do parque de refrigeradores ao longo dos últimos anos, como mostrado na Figura 2. Segundo estimativas para 2005, os resultados dessas modelagens apresentaram diferenças consideráveis, já que o modelo de venda e descarte apontou aproximadamente 48 milhões de equipamentos, enquanto que o modelo de penetração de equipamentos indicou 42 milhões.

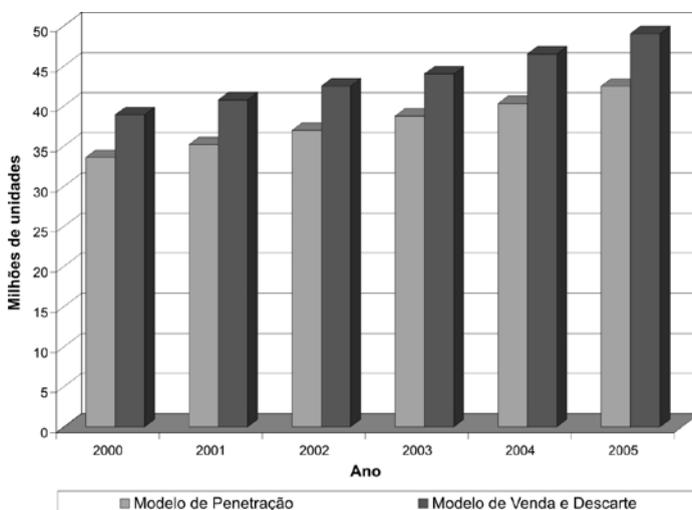


Figura 2: Parque de refrigeradores do Brasil nos últimos anos

Observa-se que o parque obtido pela modelagem de penetração de equipamentos no setor residencial mostra-se subestimado com relação ao parque obtido pela modelagem de venda e descarte. Cabe ressaltar que o parque obtido pela modelagem de venda e descarte pode ser subdividido por idade, já que é formado a partir de vendas anuais de refrigeradores.

### 3. ESTIMATIVA DO CONSUMO DE REFRIGERADORES

Além do parque de equipamentos, para se estimar o consumo nos refrigeradores é essencial conhecer o consumo unitário médio dos refrigeradores, que varia com a idade, devido à degradação de eficiência, depen-

dendo ainda do local onde o refrigerador é instalado, devido ao efeito da temperatura ambiente. Existem outros fatores que também influenciam o consumo dos refrigeradores, como hábitos de uso (frequência de abertura da porta, regulação do termostato, nível de carregamento), umidade relativa, contudo é a temperatura o parâmetro de maior influência (Masjuki et al., 2000).

### 3.1. Consumo unitário médio dos refrigeradores brasileiros

O consumo dos refrigeradores é obtido por ensaios padronizados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE/INMETRO em câmaras à temperatura de ensaio de 32°C, condições determinadas pela norma ISO 7371/1995 de acordo com a NBR ISO/IEC 17025/2001. Embora essa condição permita a adequada comparação entre modelos de refrigeradores, certamente não representa as condições mais frequentes de operação no Brasil, país continental e com grande diversidade climática. Visando considerar esse quadro, os dados de consumo unitário de refrigeradores fornecidos pelo INMETRO foram ajustados para a temperatura de 22,2° C, valor médio anual, resultante da ponderação da temperatura média de cada mesorregião geográfica brasileira por sua população, um indicador aproximado da posse de refrigeradores. Esse método foi utilizado pelo Relatório de Avaliação de Resultados do Programa Selo PROCEL de Economia de Energia, 2007. A influência da temperatura segue a fórmula a seguir, determinada utilizando os fundamentos da Termodinâmica Aplicada:

$$C_c = C_e \cdot \left( \frac{T - 5}{27} \right) \quad (6)$$

onde:

$C_c$  – Consumo unitário médio corrigido

$C_e$  – Consumo unitário médio padronizado, informado pelo PBE/INMETRO

$T$  – Temperatura média anual brasileira ponderada pela população das regiões (22,2°C)

Tabela 1: Consumo unitário médio de refrigeradores novos do Brasil

Ano	Consumo unitário médio padronizado (kWh)	Consumo unitário médio corrigido (kWh)
2000	519,0	331,2
2001	505,1	322,3
2002	486,8	310,6
2003	441,4	281,7
2004	433,2	276,4
2005	423,8	270,4

Como o parque de refrigeradores é composto por equipamentos novos e antigos, é interessante corrigir os consumos unitários considerando a degradação de eficiência ao longo de sua vida útil, utilizando-se um fator de degradação de eficiência, visto a seguir:

$$C_{\text{real}} = C_c \cdot FD_i \quad (7)$$

onde:

$C_{\text{real}}$  – Consumo real do refrigerador

$FD_i$  – Fator de degradação de eficiência do refrigerador de idade  $i$ .

Baseada em informações de fabricantes de refrigeradores brasileiros, sobre o desempenho dos equipamentos, que é variável com a idade, devido à perda de eficiência quanto aos compressores, vedação, ajuste do termostato e isolamento, foi elaborada uma curva que representa a degradação de eficiência dos refrigeradores fabricados no Brasil.

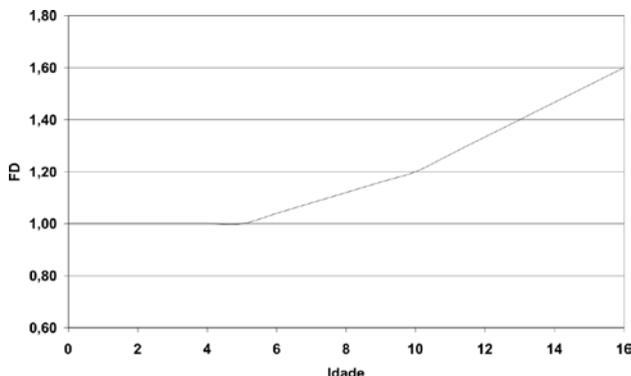


Figura 3: Fator de degradação de eficiência (FD)

Conforme a Figura 3, se assume que nos primeiros cinco anos não há degradação de eficiência dos refrigeradores, no entanto, a partir do sexto ano de idade, os refrigeradores devem começar a perder desempenho, chegando a 60% da eficiência original ao final da vida útil.

Para exemplificar os cálculos efetuados e tendo em vista o ano de 2005, a Tabela 2 apresenta o consumo unitário dos refrigeradores de diferentes idades instalados no Brasil, incluindo os efeitos de degradação de eficiência e temperatura ambiente.

Tabela 2: Consumo unitário médio de refrigeradores instalados no Brasil no ano de 2005

Idade (anos)	Ano de entrada no mercado	Consumo unitário do equipamento novo (kWh/ano)	Consumo unitário do equipamento no ano de 2005 (kWh/ano)
16	1990	491,3	753,31
15	1991	485,5	712,13
14	1992	481,7	674,41
13	1993	477,9	637,19
12	1994	554,5	702,31
11	1995	351,6	421,88
10	1996	347,2	402,78
9	1997	343,0	384,17
8	1998	339,2	366,36
7	1999	334,9	348,32
6	2000	331,2	331,17
5	2001	322,3	322,29
4	2002	310,6	310,58
3	2003	281,7	281,65
2	2004	276,4	276,41
1	2005	270,4	270,43

### 3.2. Consumo do parque de refrigeradores brasileiros

Com o parque de equipamentos determinado e o consumo unitário médio dos refrigeradores ajustados, em função de dados climáticos e idade, torna-se possível estimar o consumo do parque de refrigeradores

do país. A estimativa de consumo do parque, utilizando a modelagem de venda e descarte, utilizou o seguinte modelo:

$$C_N = \left( \sum_{i=N-16}^N V_i \cdot C_{i\text{real}} \right) - C_{NS} \quad (8)$$

e

$$C_{NS} = \gamma \cdot V_{i15} \cdot C_{i15} + \alpha \cdot V_{i16} \cdot C_{i16} + \beta \cdot V_{i17} \cdot C_{i17} \quad (9)$$

onde:

$C_N$  – Consumo do parque de refrigeradores no ano N;

$V_i$  – Vendas de refrigeradores do ano i;

$C_{i\text{real}}$  – Consumo médio de refrigeradores no ano i;

$C_{NS}$  – Consumo de sucateamento no ano N;

$C_{i15}$ ,  $C_{i16}$  e  $C_{i17}$  – Refere-se ao consumo médio de refrigeradores, com 15, 16 e 17 anos de idade respectivamente;

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – Coeficientes de sucateamento, respectivamente 0,5; 0,4 e 0,1.

A estimativa do consumo do parque de equipamentos, utilizando a modelagem penetração de equipamentos no setor residencial, foi realizada por um modelo diferente, já que o parque de equipamentos formado em um determinado ano, ao contrário da modelagem de venda e descarte, não pode ser desagregado por idade. Para incluir os efeitos da degradação de eficiência, foi adotada uma vida útil média de 16 anos de idade para os refrigeradores e assumido que o parque total de equipamentos de um determinado ano é formado por 16 partes iguais, que representam o parque com idades que variam de 1 ano a 16 anos.

$$C_N = \frac{N_N}{16} \cdot \left( \sum_{i=N-16}^N C_{i\text{real}} \right) \quad (10)$$

onde:

$C_N$  – consumo do parque de refrigeradores no ano N;

$N_N$  – parque de refrigeradores do ano N;

$C_{i\text{real}}$  – Consumo médio de refrigeradores no ano i.

Os resultados de consumo de energia obtidos pelas equações 8 e 10 estão representados na Tabela 3.

#### 4. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

A Figura 4 e a Tabela 3 apresentam uma comparação entre os consumos do parque de refrigeradores do Brasil no ano de 2005, obtidos pelos métodos de venda e descarte e de penetração de refrigeradores no setor residencial, incluindo os efeitos de temperatura ambiente e idade no desempenho dos equipamentos, frente aos estudos do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL e do BEN.

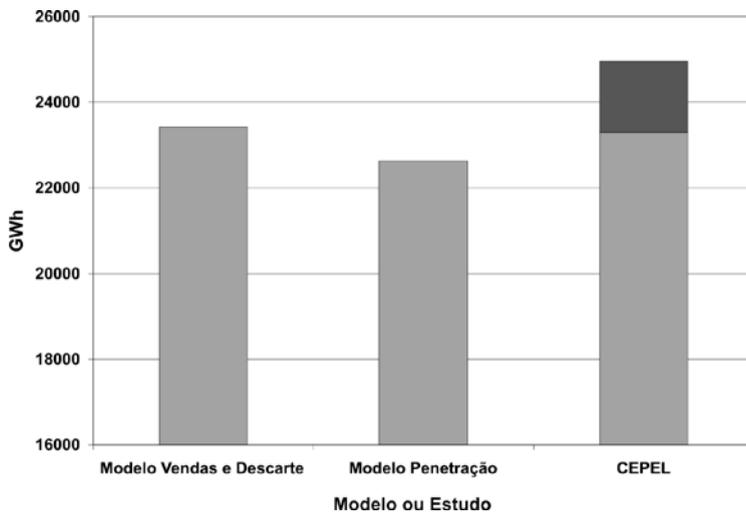


Figura 4: Comparação do consumo de energia elétrica de refrigeradores no setor residencial brasileiro – 2005

Os resultados referentes aos consumos de energia elétrica de refrigeradores no setor residencial, obtidos pelos modelos e fontes de informações, estão apresentados na Tabela 3 com suas respectivas porcentagens de participação do consumo total, com base em informações do BEN (2006).

Tabela 3: Desvios observados nas estimativas de consumo do parque de refrigeradores no setor residencial brasileiro – 2005

Modelo ou Fonte	Consumo (GWh)	Participação no consumo total do setor residencial
Vendas e Descarte	23.418	28,1%
Penetração	22.636	27,2%
CEPEL	23.294 a 24.958	28% a 30%

Os consumos de energia referentes aos modelos de vendas e descarte e de penetração de equipamentos no setor residencial, foram calculados pelo presente trabalho utilizando as Equações (8) e (10), já o consumo referente ao CEPEL, foi obtido por relações entre seus próprios dados de consumo de energia elétrica de refrigeradores no setor residencial e dados do Balanço Energético Nacional – BEN, segundo o qual o consumo total de energia elétrica no setor residencial brasileiro no ano de 2005 correspondeu a 83.193 GWh (BEN,2006).

No âmbito dos casos estudados, embora os resultados apresentados pelos dois modelos sejam similares, com diferenças entre 1 e 3%, a estimativa do consumo de energia elétrica dos refrigeradores no setor residencial brasileiro utilizando o modelo de venda e descarte (28,1% do consumo residencial) mostrou maior aderência com os valores indicados pelo CEPEL para a fração do consumo dedicada aos refrigeradores (28 a 30%).

## 5. CONCLUSÃO

A partir de dois métodos distintos de formação do parque de refrigeradores no setor residencial brasileiro, baseados em modelos de venda e descarte e penetração de equipamentos no setor residencial, juntamente com ajustes no consumo unitário desses equipamentos, incluindo efeitos climáticos e perda de desempenho ao longo da vida útil, foi possível estimar o consumo de energia elétrica do parque de refrigeradores do setor residencial brasileiro. Utilizando a modelagem de venda e descarte de equipamentos para a formação do parque, chegou-se ao resultado de 23.418 GWh no ano de 2005, cerca de 28,1% do consumo total do setor residencial e 6% do consumo total de energia elétrica no país, valor consistente quando comparado as estimativas apresentadas pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL, que aponta o percentual entre 28% e 30%. Já as estimativas utilizando o modelo de penetração de equipamentos na formação do parque proposto por McNeil e Letschert (2005) apresentaram resultados similares, algo subestimados com relação aos valores indicados pelo CEPEL.

## 6. REFERÊNCIAS

BEN/MME, Balanço Energético Nacional/Ministério de Minas e Energia, 2006. Site acessado em 12/12/2006: <http://www.mme.gov.br>.

CEMIG, CIA Energética de Minas Gerais, 2006. Site acessado em 15/11/2006: [http://www.cemig.com.br/consumidores\\_residenciais/index.asp](http://www.cemig.com.br/consumidores_residenciais/index.asp).

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, 2006. Site acessado em 28/05/2006: <http://www.dse.cepel.br/estudos/info.asp>.

CLASP, 2001. Energy-Efficiency Labels and Standards: A Guidebook for Appliances, Equipment, and Lighting. Lead authors: WIEL, Stephen and MCMAHON, James E., Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP), 205 p.

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz, 2006. Site acessado em 15/11/2006: <http://www.cpfl.com.br/new/index.asp>.

IBGE/PNAD, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Pesquisa Nacional por Amostra a Domicílio, 2006. Site acessado em 20/12/2006: <http://www.ibge.gov.br>.

ISO 7371, 1995. Household refrigerating appliances - Refrigerators with or without low-temperature compartment - Characteristics and test methods. RC: International Organisation for Standardization, [S.d.], 6p.

Masjuki, H.H.; Saidur, R.; Choudhury, I.A.; Mahlia, T.M.I., 2000. Factors effecting energy consumption of household refrigerator-freezers, TENCON, Proceedings Volume 2, pp:92 – 96.

McNiel, M.A.; Letschert, V.E, 2005. Forecasting Electricity Demand in Developing Countries: A Study of Household Income and Appliance Ownership, Berkeley, California 94720.

MME, 2006. Plano Nacional de Energia 2030 – Eficiência Energética, Brasília 13 de Julho de 2006.

PBE/INMETRO, Programa Brasileiro de Etiquetagem/ Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, 2006. Site acessado em 12/07/2006: [www.inmetro.gov.br](http://www.inmetro.gov.br).

PROCEL, 2006. Avaliação dos Resultados do Procel 2005, Eletrobrás, DPS/DPST.

PROCEL, 2007. Relatório de Avaliação de Resultados do Programa Selo Procel de Economia de Energia, DPS/DPST.

Queiroz, G.C. et.al., 2007, Metodologia de Análise de Custo de Ciclo de Vida (ACCV), Revista Brasileira de Energia, Volume 13, p. 41-66.