

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR HERCULANO XAVIER DA
SILVA JUNIOR..... E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 28.10.7.2005.....


ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Aplicação das Metodologias de Análise
Estatística e de Análise do Custo do Ciclo de
Vida (ACCV) para o Estabelecimento de
Padrões de Eficiência Energética:
Refrigeradores Brasileiros**

Autor: **Herculano Xavier da Silva Junior**

Orientador: **Gilberto De Martino Jannuzzi**

Co-orientador: **Guilherme de Castilho Queiroz**

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

**Aplicação das Metodologias de Análise
Estatística e de Análise do Custo do Ciclo de
Vida (ACCV) para o Estabelecimento de
Padrões de Eficiência Energética:
Refrigeradores Brasileiros**

Autor: **Herculano Xavier da Silva Junior**

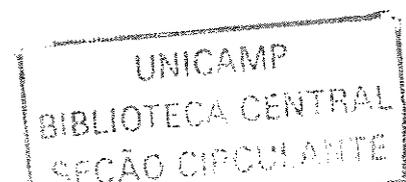
Orientador: **Gilberto De Martino Jannuzzi**

Co-orientador: **Guilherme de Castilho Queiroz**

Curso: Planejamento de Sistemas Energéticos.

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para obtenção do título de Mestre em Planejamento de Sistemas Energéticos.

Campinas, 2005
São Paulo - Brasil



UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	T/UNICAMP
	Si38a
V	EX
TOMBO BC/	66452
PROC.	16.00086-05
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	11,00
DATA	30/11/05
Nº CPD	

Silv. id. 373763

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Si38a Silva Junior, Herculano Xavier da
Aplicação das metodologias de análise estatística e de análise do custo do ciclo de vida (ACCV) para o estabelecimento de padrões de eficiência energética: refrigeradores brasileiros / Silva Junior, Herculano Xavier da. --Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Gilberto De Martino Jannuzzi, Guilherme de Castilho Queiroz

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Desenvolvimento energético. 2. Eletrodoméstico – Conservação de energia. 3. Eletrodoméstico – Consumo de energia. 4. Análise ambiental. 5. Economia – Métodos estatísticos. I. Jannuzzi, Gilberto De Martino. II. Queiroz, Guilherme de Castilho. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. IV. Título.

Titulo em Inglês: Application of the methodology of statistical analysis and of life cycle cost analysis (LCCA) to the establishment energy efficiency standards: brazilian refrigerators.

Palavras-chave em Inglês: Energy development, Energy conservations electric household appliances, Energy consumer electric household appliances, Electric power conservation, Environmental analysis e Economic statistics

Área de concentração: Planejamento de Sistemas Energéticos

Titulação: Mestre em Planejamento de Sistema Energéticos

Banca examinadora: Sergio Valdir Bajay e Edson Adriano Vendrusculo

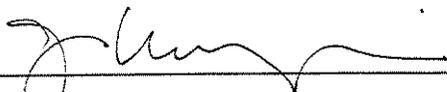
Data da defesa: 28/07/2005

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Aplicação das Metodologias de Análise
Estatística e de Análise do Custo do Ciclo de
Vida (ACCV) para o Estabelecimento de
Padrões de Eficiência Energética:
Refrigeradores Brasileiros**

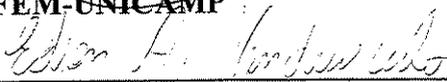
Autor: Herculano Xavier da Silva Junior



**Prof. Dr. Gilberto De Martino Jannuzzi, Presidente
FEM-UNICAMP**



**Prof. Dr. Sergio Valdir Bajay
FEM-UNICAMP**



**Dr. Edson Adriano Vendrusculo
FEEC-UNICAMP**

Campinas, 28 de 07 de 2005

Dedicatória

***A meus pais, Herculano e Rita Maria, irmãs,
Priscila, Patrícia e Virgínia, e namorada,
Juliana, pela luta e dedicação incansáveis,
compartilho toda a felicidade que
certamente estão sentindo neste momento.***

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Gilberto Jannuzzi e ao Dr. Guilherme Queiroz pela rica orientação atenta, paciente e crítica quando necessária na elaboração da dissertação.

Aos componentes da banca de qualificação e defesa, Prof. Dr. Sérgio Bajay, Prof. Dr. Arnaldo Walter e Dr. Edson Vendrusculo pelas críticas e sugestões que possibilitaram tornar este trabalho melhor.

Aos eternos mestres e amigos, os professores, Rolando e Peter, pela oportunidade de, com eles, aprender muito.

Aos amigos Herivelto, Paccola, Rodolfo, Godfrey, Raúl, Kisala, Fernando, Rodrigo, Cleci, Kamyla, Fabiana (“s”), Andréia e Adriano, que tive o privilégio de conviver e, pela ajuda nos momentos de muita ansiedade e dificuldades na elaboração deste trabalho.

Aos meus tios Joaquim e Elaine, que me acolheram em muitos momentos difíceis nestes dois anos de convivência.

E, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram de alguma maneira para execução desta dissertação.

“Se todos nós fizéssemos as coisas de que somos capazes, ficaríamos espantados conosco mesmos”.

(Thomas Edison)

Resumo

SILVA Jr., Herculano Xavier, Aplicação das Metodologias de Análise Estatística e de Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) para o Estabelecimento de Padrões de Eficiência Energética: Refrigeradores Brasileiros, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 144 p. Dissertação (Mestrado)

O objetivo desta dissertação é discutir a aplicação das metodologias de Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) e de Análise Estatística como ferramentas para propor padrões de eficiência energética, complementares às etiquetas (selos) voluntárias já existentes, nos refrigeradores brasileiros de uma porta. Um outro objetivo é estudar o papel desses instrumentos (Selos e Padrões de Eficiência Energética) como meios de fornecer subsídios técnicos para o estabelecimento de níveis máximos de consumo de energia elétrica para equipamentos consumidores de eletricidade comercializados no Brasil. As metodologias ACCV e Análise Estatística permitem avaliar os impactos do aumento de eficiência energética nesses equipamentos, resultando em economias (de energia, financeiras, redução na emissão de dióxido de carbono, etc.) importantes para os consumidores e para o País. Os resultados alcançados nesse estudo apresentam importantes dados para subsidiar discussões mais aprofundadas com os fabricantes e governo para estipular padrões mínimos de eficiência energética para os refrigeradores brasileiros. Uma das importantes conclusões é que, apesar de existirem outras metodologias como a Análise Estatística, a ACCV que leva em conta os custos tecnológicos permite que se conheça melhor o mercado (custos, capacidades tecnológicas, etc.) e sugere os melhores Padrões Mínimos de Eficiência Energética (MEPS – *Minimum Energy Performance Standards*) com o máximo retorno econômico para o consumidor. Contudo, quando não é possível coletar todos os dados exigidos para a aplicação da ACCV, recorre-se a uma análise mais simplificada, ou seja, à metodologia de Análise Estatística.

Palavras-Chave

Eficiência Energética, Análise do Custo do Ciclo de Vida, Análise Estatística, Selos de Eficiência, Padrões de Eficiência, Índices de Eficiência Energética e Economia de Energia.

Abstract

SILVA Jr., Herculano Xavier, *Application of the Methodology of Statistical Analysis and of Life Cycle Cost Analysis (LCCA) to the Establishment Energy Efficiency Standards: Brazilian Refrigerators*, Campinas: Faculty of Mechanical Engineering, State University of Campinas, 2005. 144p. Thesis for a Master of Science Degree.

The objective of this thesis is to discuss the application of the methodologies of Life Cycle Cost Analysis (LCCA) and of Statistical Analysis as tools to propose energy efficiency standards, complementally to the voluntary labels already existent in the Brazilian one-door refrigerators. Another objective is to study the role of these instruments (energy efficiency labels and standards) in order to seek technical subsidies for the establishment of maximum level of electric energy consumption for electrical equipments in Brazil. The LCCA and Statistical Analysis methodologies permit to evaluate the impacts of the energy efficiency increase in electrical equipments commercialized in Brazil, resulting in important savings (energy, financial, carbon dioxide emissions avoided etc) for the country and its citizens. The results of this study offer important data to subsidize deeper discussions with manufacturers and the government to stipulate minimum energy efficiency standards for the Brazilian refrigerators. One of the important conclusions is that, even though there are other methodologies, such as the Statistical Analysis which does not take technological costs into account, the LCCA allows to better understand the market (costs, technological capacity etc) and suggests the best MEPS (Minimum Energy Performance Standards) with the maximum economic return for the consumer. Nevertheless, when it is not possible to collect all the necessary data to apply the LCCA, it can be used a more simplified analysis, such as the Statistical Analysis methodology.

Key Words

Energy Efficiency, Life Cycle Cost Analysis, Statistical Analysis, Efficiency Labels, Efficiency Standards, Energy Efficiency Rate and Energy Economy.

Índice

Dedicatória	iv
Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
Nomenclatura	xvi
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 <i>Objetivo da Dissertação</i>	3
1.2 <i>Justificativa da Dissertação</i>	4
1.3 <i>Por Que um Padrão para os Refrigeradores no Brasil?</i>	5
1.3.1 <i>Evolução Histórica dos Eletrodomésticos da Linha Branca no Brasil</i>	7
1.3.2 <i>Crescimento do Mercado Brasileiro de Refrigeradores</i>	7
1.3.3 <i>Tendências Tecnológicas</i>	10
1.3.4 <i>Importância dos Refrigeradores para o Brasileiro</i>	12
1.4 <i>Estrutura da Dissertação</i>	13
Capítulo 2	15
Programas de Etiquetagem e Padrões de Eficiência Energética	15
2.1 <i>Selos e Padrões de Eficiência Energética</i>	15
2.2 <i>Programas de Etiquetagem e Padrões de Eficiência Energética no Mundo</i>	16
2.2.1 <i>Selos de Eficiência Energética no Mundo</i>	17

2.2.2	Padrões de Eficiência Energética no Mundo.....	21
2.3	<i>Etiquetas e Padrões de Eficiência Energética no Brasil</i>	23
2.3.1	Programa Brasileiro de Etiquetagem.....	23
2.3.2	Etiquetas (Selos) de Eficiência Energética no Brasil.....	24
2.3.3	Padrões de Eficiência Energética no Brasil.....	30
2.4	<i>Passos no Desenvolvimento de Programas de Etiquetagem e Padrões de Eficiência Energética</i>	34
Capítulo 3	.....	42
Metodologias Sugeridas para o Estabelecimento de Padrões de Eficiência Energética	.....	42
3.1	<i>A Importância da Disponibilidade dos Dados na Seleção da Metodologia Analítica..</i>	42
3.2	<i>Análise do Custo do Ciclo de Vida</i>	45
3.2.1	Análise de Engenharia/Economia.....	46
3.2.2	Custo do Ciclo de Vida - CCV.....	49
3.2.3	Período de Retorno do Investimento.....	52
3.2.4	Descrição da Metodologia da ACCV.....	53
	Seqüência de Etapas para se Analisar Inovações Tecnológicas em Refrigeradores.....	56
	<i>Etapa 1 – Entrada de Dados</i>	56
	<i>Etapa 2 – Cálculos</i>	56
	<i>Etapa 3 – Resultados</i>	57
3.3	<i>Análise Estatística</i>	58
3.3.1	Etapa 1 – Entrada de Dados.....	58
3.3.2	Etapa 2 – Cálculo.....	59
3.3.3	Etapa 3 – Resultados.....	60
3.3.4	Um Exemplo de Aplicação.....	61
3.3.5	ACCV <i>versus</i> Análise Estatística.....	63
Capítulo 4	.....	64
Estudo de Caso	.....	64
4.1	<i>Dados Utilizados na Análise Estatística</i>	64
4.1.1	Seleção dos Dados dos Modelos Escolhidos que Existem no Mercado.....	64
4.1.2	Seleção dos Percentuais (Estatísticos) Referente ao Ganho de Eficiência dos Refrigeradores.....	66
4.1.3	Seleção das Fatias de Mercado de Cada Fabricante de Refrigerador que Estiverem Incluídos no Estudo.....	67
4.1.4	Seleção dos Dados Referentes ao Percentual de Refrigeradores Existentes nas Residências Brasileiras.....	68

4.1.5	Seleção da Tarifa de Energia Elétrica, dos Fatores de Conversão do Gás Natural, de Emissão de CO ₂ e de Projeções de Crescimento da População Brasileira	69
4.2	<i>Resultados Alcançados Aplicando Análise Estatística</i>	71
4.2.1	Cálculo da Projeção do Número de Refrigeradores Existentes nas Residências Brasileiras no Período 2004 – 2038.....	72
4.2.2	Cálculo da Média Ponderada do Consumo por Fatia de Mercado dos Refrigeradores de Uma Porta no Brasil	75
4.2.3	Cálculo da Equação do Índice Mínimo de Eficiência Energética dos Futuros Padrões (Ajuste de Mercado).....	75
4.2.4	Implantação do Padrão de Eficiência Energética Segundo a Análise Estatística.....	76
4.2.5	Possíveis Economias Alcançadas com a Implantação dos Padrões de Eficiência Energética, Segundo a Análise Estatística	78
4.2.6	Resumo dos Resultados Alcançados com a Análise Estatística	84
4.3	<i>Dados Utilizados na Análise do Custo do Ciclo de Vida</i>	85
4.3.1	Escolha de um Modelo de Refrigerador para Coletar Seu Preço	85
4.3.2	Seleção dos Dados Referente ao Ganho de Eficiência por Inovação e os Respective Custos (em Reais R\$)	86
4.3.3	Seleção da Taxa de Retorno do Investimento	86
4.3.4	Vida Útil do Aparelho	87
4.4	<i>Resultados Alcançados Aplicando a Análise do Custo do Ciclo de Vida</i>	87
4.4.1	Escolha do Cenário para o Estudo da ACCV	88
4.4.2	Cálculo da Média Ponderada do Consumo por Divisão de Mercado do Cenário “H” Escolhido para a Análise do Custo do Ciclo de Vida.....	88
4.4.3	Cálculo do Custo Operacional, da Economia de Energia Alcançada e da Economia no Custo Operacional para o Consumidor	89
4.4.4	Custo do Ciclo de Vida (CCV) para Implantação dos Padrões.....	90
4.4.5	Período de Retorno do Investimento.....	94
4.4.6	Implantação dos Padrões de Eficiência Energética Segundo a ACCV.....	96
4.4.7	Possíveis Economias Alcançadas com a Implantação do Padrão de Eficiência Energética Segundo a Análise do Custo do Ciclo de Vida.....	97
4.4.8	Resumo dos Resultados Alcançados com a ACCV	101
4.5	<i>Índices de Eficiência Energética (IEE) Sugeridos por esta Dissertação</i>	102
4.5.1	Índices de Eficiência Energética Obtidos Através da Análise Estatística.....	103
4.5.2	Índices de Eficiência Energética Sugeridos Pela Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV).....	103
4.6	<i>Conclusões do Estudo de Caso</i>	104
Capítulo 5	.....	108
Conclusões e Recomendações	.....	108

Referências Bibliográficas.....	112
Anexo I.....	121
Aspectos Técnicos do Refrigerador	121
<i>I.1 Leis Térmicas da Refrigeração</i>	<i>121</i>
I.1.1 Calor.....	121
I.1.2 Transferência de Calor/Fluxo de Calor.....	122
I.1.3 Frio.....	123
<i>I.1.4 Funcionamento do Refrigerador</i>	<i>124</i>
I.1.5 O Gabinete.....	125
I.1.6 A Estrutura.....	125
I.1.7 O Líquido Refrigerante	126
I.1.8 O Evaporador.....	126
I.1.9 O Acumulador	127
I.1.10 A Linha de Sucção	127
I.1.11 O Condensador.....	128
I.1.12 O Filtro Secador.....	128
I.1.13 O Tubo Capilar (Válvula de Expansão)	128
I.1.14 O Compressor Hermético	129
Anexo II.....	132
Tabelas de Cálculo	132
<i>I.2 Cálculo do Padrão de Eficiência Energética (Metodologia de Análise Estatística) ..</i>	<i>132</i>
Apêndice A	135
Lei nº 10.295, de 17 de Outubro de 2001	135
Apêndice B.....	137
Decreto nº 4.059, de 19 de Dezembro de 2001	137
Apêndice C	143
Padrão Compulsório para Motores Elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, Decreto nº4.508 de 11 de Dezembro de 2002	143

Lista de Figuras

Figura 1: Setor Residencial Brasileiro; Distribuição Percentual, por Usos Finais, do Consumo de Eletricidade	6
Figura 2: Evolução das vendas de Refrigeradores no Brasil (Balança Comercial em US\$ FOB) ..	9
Figura 3 – Selo Europeu: classificação por categoria	17
Figura 4 a, b e c – Exemplos de Selos Comparativos Internacionais	18
Figura 5 a e b - Selos Australiano e Indiano	19
Figura 6 - Selo <i>Energy Star: Endorsement Labels</i>	20
Figura 7 a e b – Selos de Eficiência Energética Japoneses	21
Figura 8 – Selo PROCEL/INMETRO de Economia de Energia	27
Figura 9 – Etiqueta de Eficiência do INMETRO-ENCE	28
Figura 10 - Etiqueta de Eficiência do INMETRO-ENCE	29
Figura 11: Etapas Típicas no Processo de Implantação de Programas de Etiquetagem e Padrões de Eficiência Energética	35
Figura 12: Etapas Envolvidas na Escolha do Método de Análise ou Estabelecimento de Padrões	43
Figura 13: Exemplo de Dados para Análise de Engenharia/Economia do Refrigerador- <i>Freezer Auto-Defrost</i> , nos EUA	47
Figura 14: Desenho Esquemático de um Refrigerador- <i>Freezer Auto-Defrost</i>	48
Figura 15: Custo do Ciclo de Vida – CCV	50
Figura 16: Curva da Análise Custo do Ciclo de Vida (<i>Life Cycle Cost Analysis - LCCA</i>) Versus Consumo Anual de Energia	51
Figura 17: Período de Retorno do Investimento, em anos, Versus Aumento da Eficiência, em kWh/ano, para o Refrigerador- <i>Freezer Auto-Defrost</i>	53
Figura 18: Modelo Estatístico Aplicado aos Refrigeradores- <i>Freezers</i> da Comunidade Européia ..	61
Figura 19: Regressão Linear do Percentual do Número de Refrigeradores nas Residências	72
Figura 20: Regressão Linear e Obtenção da Equação da Média de Consumo do Mercado de Refrigeradores	76
Figura 21: Padrão Mínimo de Eficiência Energética Sugerido pela Análise Estatística	77
Figura 22: Consumo da População dos Refrigeradores Antes e Após a Implantação do Padrão 1	79
Figura 23: Economia Acumulada de Eletricidade (TWh/ano) com a Implantação do Padrão 1 ..	79
Figura 24: Custo Operacional Antes e Após a Implantação do Padrão 1	80
Figura 25: Economia Acumulada com a implantação do Padrão 1	81
Figura 26: Emissão de CO ₂ Antes e Após a Implantação do Padrão 1	82
Figura 27: Redução Acumulada na Emissão de CO ₂ ao Ambiente	82
Figura 28: Valor Acumulado Estimado para a Redução na Emissão da tCO ₂ com a Implantação do Padrão 1	83
Figura 29: Custo do Ciclo de Vida do Refrigerador de uma Porta no Brasil	91
Figura 30: Custo do Ciclo de Vida - Escolha do MEPS	92

Figura 31: Custo do Refrigerador para o Fabricante e Preço para o Consumidor, para as Diversas Inovações Analisadas	94
Figura 32: Período de Retorno do Investimento para $r= 14\%$ ao ano.....	95
Figura 33: Ilustração do Padrão de Eficiência Energética Sugerido na ACCV.....	97
Figura 34: Economia Acumulada de Eletricidade (TWh/ano) com a Implantação do Padrão 1... 98	98
Figura 35: Economia Líquida Acumulada com a Implantação do Padrão 1	99
Figura 36: Redução Acumulada na Emissão de CO ₂ ao Ambiente	100
Figura 37: Valor Acumulado Estimado para a Redução na Emissão da tCO ₂ com a Implantação do Padrão 1	101
Figura 38: Resumo da Evolução dos Padrões Sugeridos Neste Trabalho.....	106
Figura 39: Diagrama simplificado do funcionamento de um refrigerador elétrico	123
Figura 40: Diagrama do Ciclo de Refrigeração e seus Componentes.....	124
Figura 41: Desenho esquemático do refrigerador comum	125
Figura 42: Desenho esquemático da circulação do ar no refrigerador.....	127
Figura 43: Estrutura do compressor hermético	129

Lista de Tabelas

Tabela 1: Exemplos de Programas de Padrões de Eficiência Energética.....	5
Tabela 2: Número Total de Refrigeradores Vendidos no Brasil	8
Tabela 3: Evolução do Nível de Difusão de Eletrodomésticos da Linha Branca no Mercado Brasileiro (1972 – 2000) (%).....	10
Tabela 4: Tendências Tecnológicas Almejadas pela Indústria de Eletrodoméstico no Mundo	11
Tabela 5: Principais Ações do PROCEL para Melhoria de Eficiência Energética em Equipamentos no Brasil.....	26
Tabela 6: Proposta de Consumo Máximo Permissível de Energia Elétrica, em kWh/mês, por Tipo de Refrigerador em Função de Seu Volume Ajustado	33
Tabela 7: Valores Limites para as Classes do Índice de Eficiência Energética (IEE) de Refrigeradores de Uma Porta, <i>Freezers</i> e Combinados.	34
Tabela 8: Refrigeradores de uma Porta que Participam do PBE (Selos PROCEL/INMETRO) Ano 2004-2005.....	65
Tabela 9: Sugestões de Ganho de Eficiência Energética para o Refrigerador de 330 Litros.....	67
Tabela 10: Fatias de Mercado dos Fabricantes de Refrigeradores no Brasil, no ano 2000.....	68
Tabela 11: Porcentagem de Refrigeradores Existentes nas Residências Brasileiras	69
Tabela 12: Tarifa de Eletricidade e Fatores de Conversão e de Emissão de CO ₂	70
Tabela 13: Projeção do Número de Habitantes no Brasil de 2004 a 2038 e o Número Médio de Habitantes por Residência	71
Tabela 14: Projeção do Número de Refrigeradores nas Residências Brasileiras até 2038	73
Tabela 15: Médias de Consumo/Marca e Média Ponderada/Fatia de Mercado (em kWh/ano)....	75
Tabela 16: Equações do Padrão 1 e na Categoria “A” obtidas com a Análise Estatística	77
Tabela 17: Resumo dos Resultados Alcançados com a Aplicação da Análise Estatística (Padrão 1)	84
Tabela 18: Resumo dos Resultados Alcançados com a Aplicação da Análise Estatística (Categoria “A”).....	84
Tabela 19: Melhorias Tecnológicas Simuladas nos Refrigeradores “X” e “Y” de 330 litros	86
Tabela 20: Valores Sugeridos para Taxa de Retorno do Investimento	87
Tabela 21: Consumos Específicos e a Média Ponderada (X * 53% e Y * 47%) Destes Consumos (em kWh/ano)	89
Tabela 22: Custo Operacional, Economia de Energia e Economia/Redução de Consumo	89
Tabela 23: Custo do Ciclo de Vida - CCV	90
Tabela 24: Equações da Média do Mercado, Padrão 1 e Categoria “A” do PROCEL.....	97
Tabela 25: Resultados Alcançados com a ACCV (Padrão 1).....	102
Tabela 26: Resultados Alcançados com a ACCV (Categoria “A”).....	102
Tabela 27: Proposta de Índice de Eficiência Energética para o Padrão 1 (+ 12%) em 2008	103
Tabela 28: Proposta de Índice de Eficiência Energética para o Padrão 1 (28,10%) em 2008	103
Tabela 29: Rendimentos Nominais Mínimos	143

Nomenclatura

Letras Latinas

ΔE	Economia de energia anual
CO_2	Dióxido de carbono
N	Vida útil do produto
QH	Calor retirado do corpo mais quente
QL	Calor retirado do corpo mais frio
P	Preço de compra a varejo para o consumidor
P_{in}	Preço de compra somado ao custo por inovação
r	Taxa de desconto real para o consumidor
T12	Lâmpadas fluorescentes normais
T8	Lâmpadas fluorescentes de alto rendimento

Letras Gregas

Δ	Delta (diferenciação entre dois valores)
Σ	Somatório

Unidades

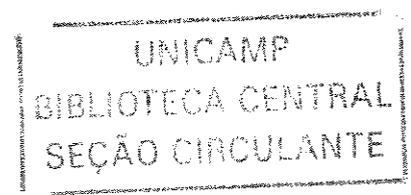
g	Gramma
G	Giga [10^9]
h	Hora
Hz	Hertz
J	Joule
k	Quilo [10^3]
kg	Quilograma [10^3 grama]
M	Mega [10^6]
$^{\circ}C$	Graus Celsius
R\$	Reais [moeda do Brasil]
T	Tera [10^{12}]
t	Tonelada [10^3 Quilograma]
US\$	Dólar [moeda dos Estados Unidos da América]
V	Volts
W	Watt
Wh	Watt-hora

Siglas e abreviaturas

ACCV (LCCA)	Análise do Custo do Ciclo de Vida	<i>Life Cycle Cost Analysis</i>
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica	

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica	
ANP	Agência Nacional do Petróleo	
BEN	Balanco Energético Nacional	
CCV (LCC)	Custo do Ciclo de Vida	<i>Life Cycle Cost</i>
CEC	Custo da Energia Conservada	
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética	
CI	Custo por Inovação	
CIF	<i>Cost Insurance Freight</i>	Embarque com Cobrança de Frete (taxa)
CLASP	<i>Collaborative Labeling And Appliance Standards Program</i>	
CO	Custos Operacionais Anuais	
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural	
COP	<i>Coefficient of Performance</i>	Coefficiente de Desempenho
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>	Agência de Proteção Ambiental
ERA	<i>EPA Refrigerator Analysis</i>	
EU	<i>European Union</i>	União Européia
EUA	Estados Unidos da América	
FOB	<i>Free on Board</i>	Embarque Livre de Produtos sem Taxas
FRC	Fator de Recuperação do Capital	
GEA	<i>Group for Efficient Appliance</i>	Grupo para Aparelhos Eficientes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	
IEA	<i>International Energy Agency</i>	Agência Internacional de Energia
IEE (EER)	Índice de Eficiência Energética	<i>Energy Efficiency Rate</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial	
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific Assessment</i>	Painel Intergovernamental Sobre Mudança do Clima
ISO	<i>International Standardizing Organization</i>	
LFCs	Lâmpadas Fluorescentes Compactas	
MDL (CDM)	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo	<i>Clean Development Mechanism</i>
MEPS	<i>Minimum Energy Performance Standards</i>	Padrão Mínimo de Eficiência Energética ou Máximo Desempenho Energético
MIDIC	Ministério da Indústria e do Comércio	
MME	Ministério das Minas e Energia	
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento	
PAY	<i>Payback Period</i>	Período de Retorno do Investimento
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem	
PIB	Produto Interno Bruto	

PNAD	Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio	
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica	
RGR	Reserva Global de Reversão	
U.S.DOE	<i>United States Department of Energy</i>	Departamento de Energia dos Estados Unidos
VA (AV)	Volume Ajustado	<i>Adjusted Volume</i>



Capítulo 1

Introdução

Nos últimos anos, o Brasil tem passado por algumas crises no setor elétrico; a mais recente se deu em 2001-2002 e foi denominada popularmente de “Apagão”. Inicialmente a ausência de chuvas foi apontada como causa do racionamento, isto devido ao parque gerador brasileiro ser constituído, aproximadamente, por 90% (www.aneel.gov.br , consultado em 13/04/2004) de usinas hidroelétricas. Posteriormente, foi detectado que o “Apagão” foi causado também por falta de investimentos no sistema elétrico interligado nacional. Na época, a necessidade de redução no consumo de energia elétrica era de até 20% na maioria dos Estados brasileiros, embora, alguns poucos Estados continuaram com seu consumo normal. As hidrelétricas continuaram com seus limites máximos de armazenamento de água e até sendo obrigadas a verter água. Estes acontecimentos contribuíram para que o País sofresse retração econômica, paralisando investimentos internos e externos e causando falências em empresas, desemprego e privação parcial da utilização do bem público, “Eletricidade”, à maior parcela da população brasileira (ROSA, 2002; COSTA, 2002 e BRANCO *et al*, 2001).

Acontecimentos como os citados anteriormente deveriam desencadear sentimentos voltados para a necessidade de se migrar a cultura brasileira, de um consumo descontrolado dos recursos naturais para uma nova cultura de consumo sustentável¹. Fazem-se necessárias, então, iniciativas governamentais para a criação de programas de conscientização da importância em se utilizar, de forma racional, os recursos naturais. Com uma melhor educação ambiental, unida a uma busca pela melhoria da qualidade dos equipamentos elétrico-eletrônicos e eletrodomésticos utilizados no País, é iniciada uma das caminhadas para se atingir o consumo sustentável.

¹ Consumo sustentável significa usar conscientemente os recursos naturais para satisfazer as necessidades atuais da população, sem comprometer as necessidades e aspirações das gerações futuras (www.mma.gov.br , 28/04/2005).

Outro fator que deve ser considerado é o econômico, pois, hoje vem sendo disseminada a necessidade de se concentrar esforços para proteger o meio ambiente e, conseqüentemente, a sobrevivência da humanidade. Desta forma, muitos países já estão exigindo de seus fornecedores (de produtos variados) uma maior preocupação em produzir produtos de alta qualidade e, ao mesmo tempo, respeitando a natureza (www.clasponline.org , consultado em 15/06/2005). Isto vem sendo exigido através de programas nacionais de etiquetagem energética (selos de eficiência energética) e, mais recentemente, ambiental (selos ecológicos). O fabricante que não se adequar a estas exigências poderá ser impedido de comercializar seus produtos nestes países, ocasionando problemas econômicos e sociais para a empresa e para o seu país.

Atualmente no Brasil existem instrumentos modernos de incentivo (Lei de Eficiência Energética, investimentos obrigatórios em eficiência energética por parte das concessionárias de energia elétrica, Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, etc.) à inovação tecnológica introduzindo com maior rapidez os produtos energeticamente mais eficientes no mercado consumidor.

Um programa de transformação de mercado exige a participação não só de agentes públicos (governos, ministérios, órgãos reguladores, etc.), mas também de concessionárias distribuidoras de eletricidade, bem como de fabricantes, distribuidoras e varejistas (para distribuição de produtos), além de empresas construtoras e de projetos (para especificação de produtos, suas aplicações, etc.). As concessionárias distribuidoras de eletricidade têm um papel importante, já que estão diretamente associadas ao fornecimento de eletricidade e aos hábitos de consumo dos usuários, tendo um mercado controlado que pode ser orientado para o uso eficiente de energia (JANNUZZI *et al*, 2004). A concessionária pode atrair outros participantes do mercado (fabricantes, distribuidores, importadores e ESCOs²), com a segurança no retorno do investimento decorrente do seu grande volume de consumidores cativos. O programa deve, portanto, ser elaborado de modo a mobilizar o interesse destes agentes de mercado.

Programas de eficiência energética são ferramentas que auxiliam na redução de consumo garantindo conforto à população e crescimento econômico ao País (qualidade dos equipamentos, maiores investimentos privados, geração de novos postos de trabalho, etc.). O Brasil possui um

² ESCOs – *Energy Service Companies* – São empresas privadas que oferecem serviços em eficiência energética para clientes (investidores) com objetivo de melhorar os seus processos de produção e vendas.

forte instrumento para maior disseminação dessas inovações através da Lei 10.295 (BRASIL, 17/10/2001), regulamentada pelo Decreto 4.059 (BRASIL, 19/12/2001). A lei federal brasileira 10.295 que dispõe sobre a “Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia” estabelece grupos de ações para estudar e estabelecer padrões mínimos de eficiência energética para equipamentos consumidores de energia elétrica que é comercializado no País.

Assim sendo, parcerias entre governo, fabricantes e as instituições de ensino e pesquisa podem contribuir para o desenvolvimento de equipamentos e metodologias que visem avaliar e disponibilizar recursos tecnológicos para este fim, além de propor padrões (indicadores) de eficiência energética capazes de serem atendidos pela indústria nacional.

Outro fator importante é que, ao serem estabelecidos critérios de desempenho energético para equipamentos e aparelhos consumidores de energia, estes devem estar subordinados a critérios econômicos. Em outras palavras, obter o máximo desempenho energético somente se torna viável se for juntamente alcançada com a máxima eficiência econômica (HIRSCHFELD, 1998). Desta forma, o melhor critério para a seleção de equipamentos, do ponto de vista do consumidor, é aquele que considera o custo total durante o ciclo de vida útil. Nesta dissertação esta abordagem é chamada de metodologia de Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV).

Portanto, o estudo apresentado aqui propõe métodos para apoio ao estabelecimento de normas de eficiência energética. Parte substancial do trabalho desenvolvido são os estudos e a aplicação das metodologias de Análise Estatística e de Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) para o estabelecimento de padrões mínimos de eficiência energética (conhecido na literatura como *MPES – Minimum Energy Performance Standards*).

1.1 Objetivo da Dissertação

Os padrões e selos de eficiência energética sejam eles, voluntários ou compulsórios (obrigatórios), têm o objetivo de estabelecer referências para o consumo de energia elétrica. Esses instrumentos têm sido amplamente utilizados ao redor do mundo como instrumentos eficazes para a promoção da transformação da demanda elétrica no mercado de energia.

Desta forma, o principal objetivo desta dissertação é discutir a aplicação das metodologias Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) e Análise Estatística, como ferramentas para propor

padrões de eficiência energética complementares às etiquetas (selos) voluntárias já existentes, para os refrigeradores brasileiros de uma³ porta. Um outro objetivo é estudar o papel destes instrumentos (padrões de eficiência energética) para otimizar o uso de energia no País e, ainda, sua utilidade em fornecer subsídios técnicos para o estabelecimento do MEPS para equipamentos consumidores de eletricidade comercializados no Brasil.

Finalmente, como aplicação das duas metodologias apresentadas neste trabalho, objetiva-se apresentar uma proposta de novos padrões de eficiência energética para os refrigeradores brasileiros de uma porta.

1.2 Justificativa da Dissertação

Os refrigeradores são ao lado dos chuveiros elétricos os maiores consumidores de eletricidade de uma residência, sendo que seu consumo de energia elétrica corresponde a 30% de toda a residência.

São desejáveis, então, estudos que contribuam para alimentar debates sobre a eficácia/importância da evolução do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), hoje um programa voluntário, para que ele passe a ter um caráter compulsório, procurando, desta maneira, subsidiar a formulação de políticas públicas para incentivar inovações tecnológicas que tragam melhorias no consumo de energia elétrica de refrigeradores e, posteriormente, de todos os equipamentos consumidores de eletricidade no País. Desta forma, é interessante que, em dado momento, haja medidas compulsórias para determinados equipamentos (como é hoje com os motores elétricos) e medidas voluntárias para outros. Além disso, em geral as últimas precedem as primeiras!

Esta não é uma tarefa simples porque há uma dependência de diversos agentes interessados, como fabricantes, consumidores e representantes do governo. Estes agentes possuem um papel fundamental para a determinação do MEPS permissível que seja tecnicamente possível (sugestões de melhorias tecnológicas) e economicamente viáveis, procurando sempre maximizar os benefícios sociais, que é um atrativo interessante de uma das metodologias propostas aqui, a Análise de Custo do Ciclo de Vida (ACCV).

³ Neste trabalho, analisam-se, como um estudo de caso que aplica as metodologias propostas, os refrigeradores domésticos brasileiros de uma porta.

A Tabela 1 apresenta os resultados alcançados por alguns países e/ou regiões onde foram implantados programas de padrões de eficiência energética. Desta forma, pode ser verificado que se os programas forem bem planejados na fase de elaboração e implementação podem se tornar experiências de sucesso.

Tabela 1: Exemplos de Programas de Padrões de Eficiência Energética

País ou Região	Programa	Resultados Alcançados
Austrália	Padrões obrigatórios e etiquetagem	11% de redução no consumo de energia do aparelho doméstico etiquetado em 1992; Aproximadamente 94 GWh de energia foi economizado, ou 1,6% de redução no total do consumo de eletricidade residencial.
Europa	Padrões obrigatórios e etiquetagem	Alemanha: 16,1% de crescimento no mercado de equipamentos eficientes (1993 - 1996); Países Baixos: 12,6% de crescimento no mercado de equipamentos eficientes (1992 - 1995); Reino Unido: 7,3% de crescimento na eficiência de refrigerador/freezer (1994 - 1996);
Filipinas	Padrões obrigatórios e etiquetagem	25% de crescimento, em média, na eficiência de aparelhos de ar condicionado (após o primeiro ano); Energia economizada: 6 MW na demanda e 17 GWh no consumo (após o primeiro ano);
Coréia	Padrões obrigatórios e etiquetagem	11% de redução no consumo de energia em refrigeradores (após 3 anos); 24% de redução no consumo de energia em aparelhos de ar condicionado (após 3 anos); 1,8% de redução no consumo nacional de energia (1992 - 1993);
Tailândia	Etiquetagem voluntária	14% de redução no consumo de energia em refrigeradores (após 3 anos); Energia Economizada: 65 MW na demanda e 643 GWh no consumo;
Estados Unidos	Padrões obrigatórios e etiquetagem	98% de crescimento na população de refrigeradores eficientes (1972-1988); Mais que 3% de redução nos Estados Unidos no consumo anual residencial de aparelhos e equipamentos de iluminação.

Fonte: Elaboração, própria baseada em CLASP (2003).

1.3 Por Que um Padrão para os Refrigeradores no Brasil?

No ano de 2003, o consumo final de eletricidade atingiu 341,9 TWh. Deste montante, 76,1 TWh (22,3%) foram consumidos pelo setor residencial, 48,4 TWh (14,2%) pelo setor comercial e 160,4 TWh (46,9%) pelo setor industrial, restando 57,64 TWh (16,9%) para o setor de serviços, como, por exemplo, o setor público (BEN, 2004). De acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica os maiores responsáveis pelo consumo de eletricidade em uma residência são o refrigerador e o chuveiro elétrico, conforme ilustrado na Figura 1.

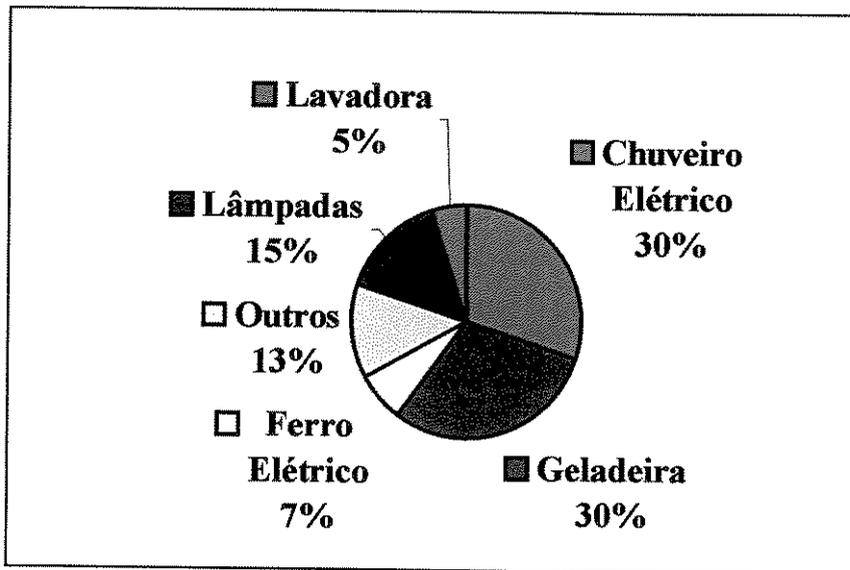


Figura 1: Setor Residencial Brasileiro; Distribuição Percentual, por Usos Finais, do Consumo de Eletricidade

Fonte: Elaboração própria, baseada em Chade (2004) e Eletropaulo (2004)

Para efeito comparativo dos resultados da metodologia ACCV, coletou-se os dados de consumo de um refrigerador (Electrolux ERC 2735 de 255 litros de 1 porta) europeu da categoria “A++” (melhor categoria na Europa) com o consumo de eletricidade anual de 157 kWh (ENERGY-PLUS, 2004) e pegou-se um refrigerador (também Electrolux RE 26 de 240 litros de 1 porta) brasileiro da categoria “A” (melhor categoria no Brasil) com o consumo anual de 289,20 kWh (PROCEL, 2005). Em primeiro lugar, não foi possível coletar dados de um refrigerador brasileiro com exatamente 255 litros, mas foi encontrado este de 240 litros, que é muito similar. Em segundo lugar, nota-se que o refrigerador brasileiro consome 45,7% mais eletricidade do que o modelo europeu de similar volume e marca, mostrando que é possível reduzir os consumos dos refrigeradores no Brasil.

Logo, é necessário direcionar esforços para se aumentar a eficiência do refrigerador, através da inserção de componentes mais eficientes. Isso ocorre com a criação de programas como os de padrões de eficiência energética, com todas as suas exigências. No capítulo 4 são mostrados os cálculos e os resultados das economias obtidas com a inserção de componentes mais eficientes no refrigerador, os seus impactos para o consumidor e para o setor elétrico brasileiro.

1.3.1 Evolução Histórica dos Eletrodomésticos da Linha Branca no Brasil

A evolução da indústria brasileira de eletrodomésticos da linha branca⁴ foi marcada por sua desnacionalização na década de 1990. Então, a indústria de eletrodomésticos passou a ser controlada por um número reduzido de grandes empresas estrangeiras, reproduzindo a concentração da estrutura de oferta mundial no interior das fronteiras nacionais. Sua principal forma de competição tem sido o lançamento permanente de produtos diferenciados (produtos com maior desempenho e durabilidade), que procuram ampliar o mercado corrente das empresas, para garantir um elevado nível de rentabilidade (CUNHA, 2003). Com o mercado aberto e mais competitivo, a indústria brasileira de eletrodomésticos foi obrigada a importar novas tecnologias de processo de fabricação e inserir novos conceitos de projetos, para o mercado nacional. No entanto, as empresas nacionais sempre enfrentaram dificuldades para ultrapassar os limites impostos à ampliação de sua rentabilidade pelo ritmo de expansão de seu mercado corrente, basicamente restrito ao mercado nacional na década de 1990 (CARMEIS, 2002).

1.3.2 Crescimento do Mercado Brasileiro de Refrigeradores

Observando a

Tabela 2, nota-se que a procura pelo refrigerador veio crescendo desde 1994 até 1996, como reflexo dos ganhos de poder aquisitivo da população proporcionados pelo arrefecimento da inflação (Plano Real); no período de 1997-1999 houve quedas nas vendas, que se recuperaram em 2000. No primeiro trimestre de 2001 foram vendidos 893.783 refrigeradores, o que mostra uma tendência do mercado, para aquele ano, de 3,2 milhões de unidades vendidas, um número semelhante ao atingido em 2000 (CARMEIS, 2002). No ano de 2003, o refrigerador foi o principal aparelho, em termos de receita de vendas, dentre todos os eletrodomésticos da linha branca, atingindo um valor, na base FOB⁵, de US\$159.528.649,00, que corresponde a 58% do

⁴ Eletrodomésticos da linha branca incluem refrigeradores, *freezers*, lavadoras de roupa (somente automática), secadoras de roupa, lavadoras de louça, fogões a gás e elétricos, fornos de microondas e condicionadores de ar (CUNHA, 2003).

⁵ Segundo a INVESTOPEDIA (29/04/2005), o FOB (*Free On Board*) é o valor das mercadorias nos portos de origem, sendo desta maneira, excluídas as despesas com transportes, impostos de exportação e seguro. Caso o comprador desejar não se preocupar com estes trâmites legais da importação, citados acima, estas despesas são incluídas ao valor do produto e esse procedimento passa a ser chamado CIF (*Cost Insurance Freight*).

total das vendas (somente o fogão aproxima-se, de uma maneira tímida, com 24,4% das vendas, mostrando o grande interesse da população em adquirir um refrigerador).

Tabela 2: Número Total de Refrigeradores Vendidos no Brasil

Ano	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Refrigerador	2.400.191	3.031.247	4.041.065	3.720.164	3.207.477	3.006.751	3.239.111

Fonte: Elaboração própria com dados retirados de ELETROS (2004).

A Figura 2 apresenta uma série (1998 a 2003) da balança comercial para refrigeradores brasileiros, onde pode ser notada, ao longo dos anos, a diminuição das importações e um grande crescimento das exportações de refrigeradores. Por exemplo, no ano de 1998 houve um saldo negativo na balança comercial, próximo dos US\$ 3 milhões, demonstrando uma alta dependência (importações) do mercado externo de refrigeradores. Mas, ao longo da série apresentada, observa-se que os refrigeradores brasileiros vêm se difundindo rapidamente em outros países. Os saldos positivos da balança comercial em 2001 e 2004 foram de US\$ 62 milhões e US\$ 240 milhões, respectivamente (crescimento de 387% em relação a 2001). O ano de 2002 apresentou uma ligeira queda na balança comercial de refrigeradores em relação a 2001, provavelmente influenciado pelo racionamento de energia elétrica (entre 2001 e 2002) e retração da economia.

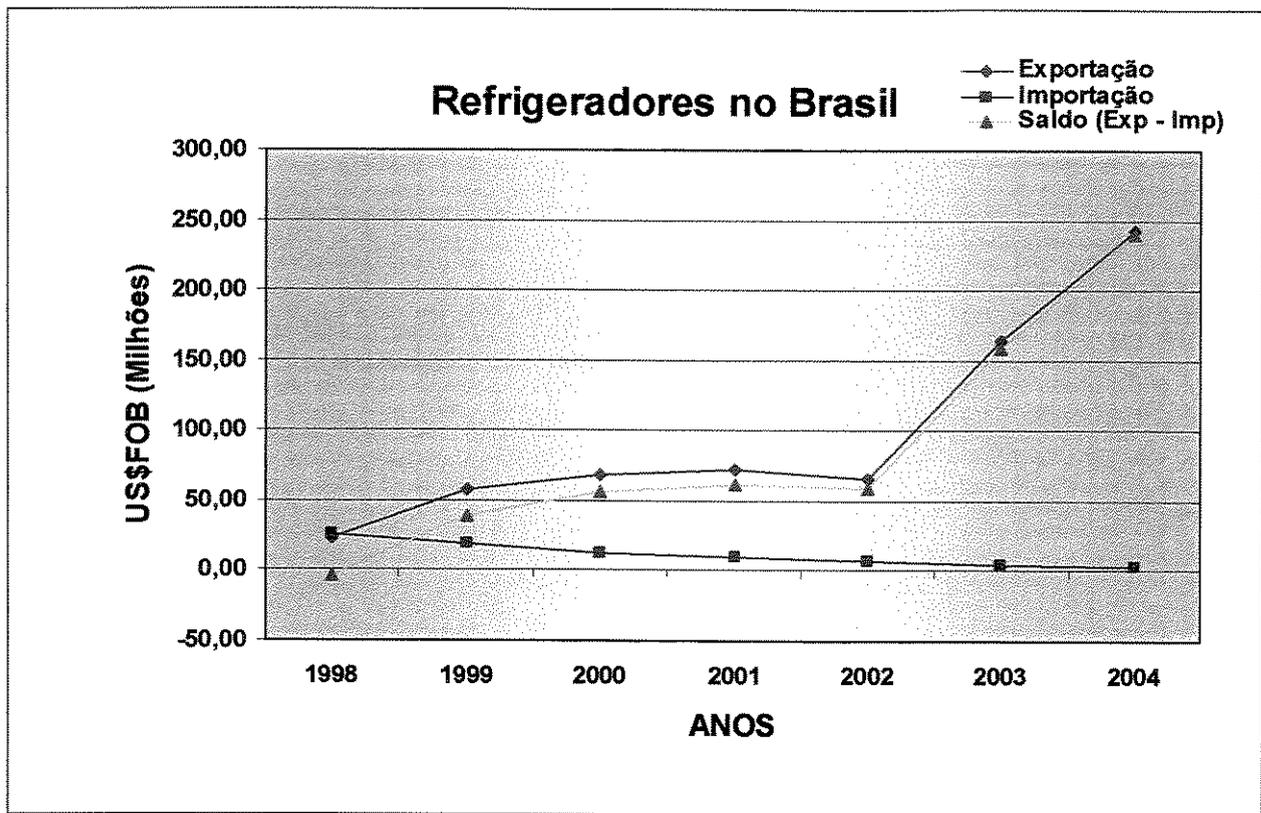


Figura 2: Evolução das vendas de Refrigeradores no Brasil (Balança Comercial em US\$ FOB)

Fonte: Elaboração própria com dados retirados de ELETROS (2005)

O aumento da fatia do mercado internacional de refrigeradores conquistada pelas empresas brasileiras é decorrente da melhoria na qualidade dos produtos oferecidos e da alta competitividade de seus preços. As indústrias brasileiras de eletrodomésticos (sobretudo os fabricantes de refrigeradores e fogões) vêm investindo pesado na conquista do mercado internacional, pois pesquisas de posse de equipamentos vem indicando que o mercado brasileiro de refrigeradores e fogões está cada vez mais saturado, conforme indicado na Tabela 3.

A Tabela 3 mostra a evolução, ao longo dos anos, do nível de difusão de alguns eletrodomésticos da linha branca no mercado brasileiro, como refrigeradores e fogões, revelando uma crescente saturação destes últimos. Contudo, os demais aparelhos citados na tabela, como *freezers*, lavadoras e secadoras de roupas e fornos de microondas, apresentam um nível de difusão ainda muito reduzido.

Tabela 3: Evolução do Nível de Difusão de Eletrodomésticos da Linha Branca no Mercado Brasileiro (1972 – 2000) (%)

	1972	1982	1985	1990	1992	1998	1999	2000
fogões	53,5	93,3	94,9	96,4	94,8	97,4	97,4	97,6
refrigeradores	30,9	57,5	63,1	71,1	71,5	81,9	82,8	85,1
<i>freezers</i>	-	-	-	-	12,3	19,7	19,6	18,8
lavadoras de roupa	-	-	-	-	24,0	32,3	32,8	33,7
secadoras de roupa ⁽²⁾	-	-	-	-	-	-	-	5,0
fornos de microondas ⁽²⁾	-	-	-	-	-	-	-	19,0

(1) O nível de difusão consiste na porcentagem (%) de unidades domésticas (lares) que possuem eletrodomésticos com relação à população total.

(2) Dados da *Euromonitor*.

Fonte: CUNHA (2003), a partir dos dados PNAD, IBGE e EUROMONITOR (2001)

Assim, o apoio para implementação de programas de etiquetagem e padrões de eficiência energética em eletrodomésticos e, em particular, em refrigeradores pelas indústrias é importante não só para a população brasileira ou para diminuir o consumo de energia elétrica no País, mas também, para que os próprios fabricantes brasileiros ultrapassem as barreiras de exportações impostas por países onde os eletrodomésticos são obrigados a apresentarem testes e credenciamentos destes tipos de programas, conforme apresentado anteriormente. Inclusive voltar a vender no Brasil, dado que haverá uma saturação do mercado de refrigeradores, desta forma, a economia resultante será, no futuro, prioritariamente devido à troca de refrigeradores (economias devido à substituição dos antigos refrigeradores por refrigeradores novos e mais eficientes energeticamente), e não somente pela venda direta de um refrigerador novo.

1.3.3 Tendências Tecnológicas

As tendências tecnológicas estão diretamente relacionadas à maturidade da indústria de eletrodomésticos, que por sua vez, está vinculada com a introdução de inovações incrementais ao longo do tempo. As inovações tecnológicas freqüentemente chegam ao País com grande atraso, os lançamentos de novos produtos nem sempre ocorrem simultaneamente nos países de origem (unidade matriz) e nas subsidiárias estrangeiras (filiais). Além disso, algumas inovações de processo também são inicialmente implementadas nas unidades produtivas estrangeiras antes de serem utilizadas em fábricas brasileiras. Um outro fator importante que tem contribuído para suspender a implantação de novas tecnologias nos produtos da linha branca é o limitado poder

aquisitivo da maioria da população brasileira (CUNHA, 2003) e as altas taxas de juros aplicadas hoje no mercado.

Na Tabela 4 são apresentadas algumas tendências de inovações tecnológicas perseguidas pela indústria de eletrodomésticos no mundo, com relação aos seus produtos e processos produtivos. Estas inovações são algumas das diversas inovações que podem ser utilizadas para obtenção de melhores índices de eficiência energética nos refrigeradores. No capítulo 4 é apresentado um estudo de caso que mostra as vantagens na conservação de energia elétrica partindo de sugestões de inovações tecnológicas.

Tabela 4: Tendências Tecnológicas Almejadas pela Indústria de Eletrodoméstico no Mundo

Inovações de Produtos	Inovações de Processos Produtivos
Introdução de novas características nos aparelhos	Utilização de uma plataforma comum para diferentes produtos
Combinação de aparelhos (por exemplo, geladeira mais <i>freezer</i>)	Padronização de componentes utilizados em diferentes produtos
Incorporação de componentes microeletrônicos	Difusão da automação em cada etapa do processo produtivo
Utilização de componentes reciclados e recicláveis	Incorporação de técnicas de controle da qualidade
Modificação do sistema de compressão (utilização de compressores mais eficientes)	
Mudança do <i>design</i> (projeto/modelo)	Adoção de técnicas de reciclagem
Diversificação dos acabamentos e introdução de novas cores	Utilização de novos métodos de organização da produção e do trabalho

Fonte: Elaboração própria, a partir de Cunha (2003)

A expectativa para o futuro é que as inovações tecnológicas tornem-se cada vez mais presentes no mercado de eletrodomésticos. Segundo Cunha (2003), algumas destas inovações se destacam por causa do seu poder de aumentar as vendas dos aparelhos como, por exemplo:

- Incorporação da microeletrônica nos aparelhos eletrodomésticos (ampliação das possibilidades de programação dos aparelhos e de controle de suas variáveis relevantes, além de permitir o acréscimo de novas funções);
- Modificação do sistema de compressão dos aparelhos de refrigeração, através, por exemplo, da substituição de compressores menos eficientes por mais eficientes, de menor tamanho e menor ruído;
- Mudança de *design* (desenhos modernos ou imitação externa de linhas antigas);
- Diversificação dos acabamentos (exterior em aço inoxidável, em madeira, ou em porcelana esmaltada);
- Introdução de novas opções de cores, etc.

Portanto, o desenvolvimento de programas de reestruturação por parte das indústrias brasileiras de eletrodomésticos (e que ocorre também no nível da cadeia de suprimentos) parece ser um desdobramento estratégico originado dos investimentos diretos dos associados externos (CUNHA, 2003). Provavelmente os principais objetivos destes investidores seriam a produção eficiente⁶ e o aumento das fatias dos mercados interno e externo. Isto quer dizer, que a tendência do mercado é fazer inovações que não visão diretamente o ganho em eficiência energética, portanto, um dos desafios para esta dissertação é vencer este ponto.

1.3.4 Importância dos Refrigeradores para o Brasileiro

O refrigerador assume um lugar, entre os eletrodomésticos, considerado indispensável e de crucial importância nos lares dos brasileiros. Isto se dá pelo motivo deste país possuir um clima predominantemente tropical, fazendo do refrigerador um meio de se melhorar a qualidade de vida da população, através do aumento do tempo de conservação dos alimentos.

⁶ Produção eficiente quer dizer aqui melhoramento do processo produtivo (otimização do processo de produção), isto não significa produzir aparelhos mais eficientes.

Assim, diante da preeminente necessidade da população brasileira possuir um refrigerador, o “Plano Real” mostrou ser um fator alavancador para o crescimento das vendas deste e de outros eletrodomésticos no País. Isto se deu porque o Plano Real difundiu o acesso ao consumo (através da estabilização da inflação, do aumento da renda real disponível, da queda de juros, da ampliação do crédito, etc.) e, cada vez mais, as famílias sentiram-se mais motivadas a abrirem linhas de créditos de longo prazo (crediários, financiamentos, empréstimos, etc.) para adquirirem novos eletrodomésticos (CARMEIS, 2002).

Contudo, durante todos esses anos de crescimento no consumo de eletrodomésticos não houve uma política pública (como programas educativos ou informativos) sequer, para orientar os compradores sobre qual produto escolher, enfocando na qualidade e preços. Desta maneira, a população encontra-se na sua grande maioria totalmente desinformada para escolher qual é o melhor produto a ser comprado, e mostra-se facilmente influenciada pelos preços baixos das várias promoções do mercado. Portanto, com toda essa desinformação, o selo comparativo de eficiência energética (Figura 9), criado em 1993 para premiar os aparelhos energeticamente mais eficientes e, ao mesmo tempo, disponibilizar informações ao consumidor, acaba sendo esquecido, ou nem mesmo notado.

1.4 Estrutura da Dissertação

Inicialmente este estudo apresenta uma revisão bibliográfica (capítulo 2) das experiências internacionais sobre o estabelecimento de padrões mínimos de eficiência (MEPS) e de etiquetas (selos) de eficiência energética e, também, reporta a experiência brasileira no assunto. O capítulo 3, baseado no manual da CLASP (2001), IEA (2000) e DOE (1995), descreve detalhadamente as metodologias Análise Estatística e ACCV. No capítulo 4 é apresentado o estudo de caso relativo a refrigeradores domésticos de uma porta no Brasil. No último capítulo (capítulo 5) encontram-se as conclusões e sugestões para implantação de padrões e selos de eficiência em caráter compulsório no Brasil. As principais características técnicas e o princípio de funcionamento dos refrigeradores são apresentados no Anexo I.

O capítulo 2 tem como meta mostrar a importância da implantação de programas de eficiência energética no Brasil e no mundo. A idéia aqui é passar uma visão conceitual e descrever a situação atual de alguns programas de etiquetagem e padrões de eficiência energética.

A revisão bibliográfica está dividida em quatro seções principais: etiquetas (selos) e padrões de eficiência energética (descrição dos conceitos e etapas para seu planejamento e implementação); exemplos de etiquetas (selos) e padrões de eficiência energética no mundo (exemplos de implementações já existentes e de quanto estes programas estão difundidos no mundo); selos e padrões de eficiência energética no Brasil (mostra o nível de desenvolvimento do programa de etiquetagem brasileiro).

O capítulo 3 tem o objetivo de apresentar e sugerir a aplicação no Brasil de duas metodologias capazes de auxiliar na definição e implementação de padrões de eficiência energética. Essas metodologias são a Análise Estatística e a Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV). Nesse capítulo, as metodologias são descritas com maior detalhamento, tanto em suas formulações matemáticas quanto em suas vantagens e desvantagens no auxílio à tomada de decisão para se implantar padrões de eficiência energética.

No capítulo 4 o principal objetivo é comparar as metodologias que são descritas no capítulo 3 para auxiliar no estabelecimento de padrões mínimos de eficiência energética para refrigeradores brasileiros de uma porta.

Finalmente o capítulo 5 apresenta as conclusões e as sugestões para a implantação de padrões de eficiência energética no País.

Capítulo 2

Programas de Etiquetagem e Padrões de Eficiência Energética

Este capítulo apresenta os principais conceitos sobre os programas de etiquetagem e padrões de eficiência energética e está dividido em três seções principais: Selos e Padrões de Eficiência Energética (descrição dos conceitos e etapas para seu planejamento e implementação); Exemplos de Selos e Padrões de Eficiência Energética no Mundo (exemplos de implementações já existentes e de quanto estes programas estão difundidos no mundo); Selos e Padrões de Eficiência Energética no Brasil (mostra o nível de desenvolvimento do programa de etiquetagem brasileiro).

2.1 Selos e Padrões de Eficiência Energética

Um programa de etiquetagem objetiva utilizar os selos de eficiência⁷ para auxiliar o consumidor na hora de comprar o eletrodoméstico fazendo com que essa escolha seja direcionada para um aparelho que execute os mesmos serviços realizados por um aparelho comum do mercado. Contudo, obtendo um melhor desempenho energético, ou seja, consumindo menos energia elétrica. O consumidor de eletrodoméstico busca os benefícios resultantes da energia utilizada como, por exemplo, conforto, preservação de alimentos, limpeza e secagem de roupas, cocção de alimentos, iluminação para o trabalho, etc. (CLASP, 2001). A eficiência energética de um aparelho é um atributo invisível e pouco atrativo ao consumidor desinformado. Assim, a existência de programas de etiquetagem e padrões de eficiência energética com credibilidade elevada (através, por exemplo, de uma coordenação e maior divulgação por parte do governo) poderá levar o consumidor a olhar com bons olhos para uma campanha de eficiência energética a nível nacional.

⁷ Os selos (etiquetas) de eficiência energética são concedidos aos aparelhos e equipamentos elétricos que participam de um programa de eficiência energética e que estão dentro dos níveis de consumo (energia elétrica) previamente estabelecidos. Os padrões de eficiência energética são procedimentos e regulamentos estabelecidos por instrumentos legais que determinam o desempenho mínimo de um produto fabricado de maneira compulsória ou não.

De acordo com CLASP (2001), os programas de etiquetagem e padrões de eficiência energética possuem três objetivos principais que afetam diretamente consumidores e fabricantes:

- Informar e educar o consumidor, através de dados referentes ao desempenho energético, os quais são encontrados impressos no selo e que indicam o quão eficiente o aparelho se apresenta;
- Estimular os fabricantes a melhorar o desempenho energético dos aparelhos (qualidade);
- Encorajar os grandes distribuidores e varejistas a dar maiores destaques aos produtos mais eficientes.

O selo de eficiência energética é somente uma parte de uma estrutura mais elaborada de elementos e atividades para o funcionamento de um programa de selos e padrões de eficiência energética (CLASP, 2001). Desta forma, os elementos utilizados para desenvolver um programa de etiquetagem, segundo o DOE (1995), são:

- Escolha do produto para o qual será implantado o selo e se o programa de etiquetagem será compulsório (obrigatório) ou voluntário;
- Estabelecimento dos procedimentos de testes de laboratório, protocolo de teste consensual, notificação e registro;
- Pesquisa do comportamento do consumidor, formato do desenho do selo, estabelecimento de categorias de consumo e tolerância para cada categoria; e
- Promoção do programa no mercado, monitoramento da adesão, atualização dos procedimentos de teste, avaliação regular para se melhorar o programa, etc.

2.2 Programas de Etiquetagem e Padrões de Eficiência Energética no Mundo

É importante ilustrar com exemplos, apresentados nesta seção, as várias implementações desses programas ao redor do mundo.

2.2.1 Selos de Eficiência Energética no Mundo

Hoje no mundo existem vários países que aderiram aos programas de eficiência energética e muitos deles os fazem em caráter compulsório. Um dos mais conhecidos, segundo a CLASP (2001), é o selo comparativo de eficiência energética europeu, ilustrado na Figura 3.

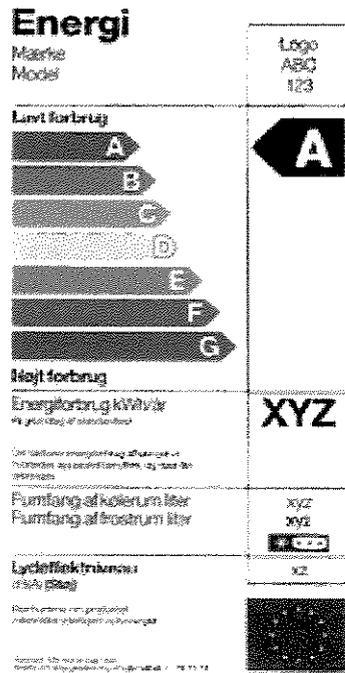
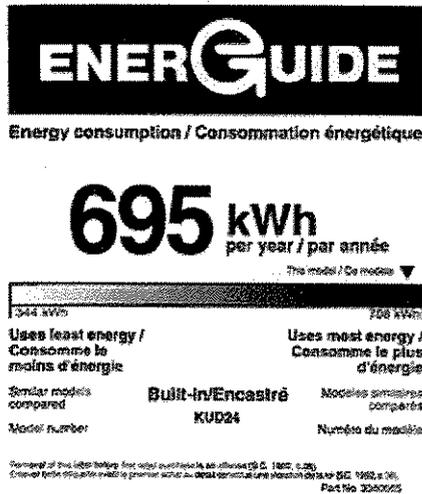


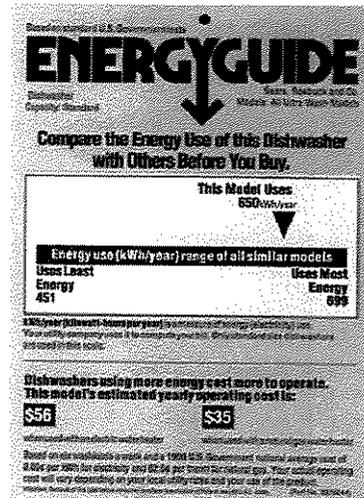
Figura 3 – Selo Europeu: classificação por categoria

Fonte: Jannuzzi *et al* (2003).

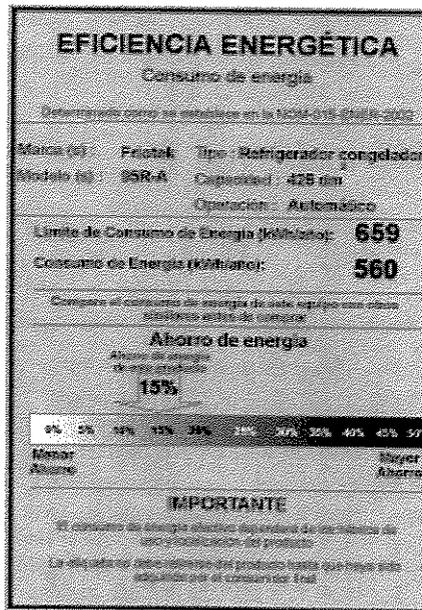
O selo comparativo europeu classifica o consumo, em kWh/ano, dos equipamentos por categorias (A, B, C, D, E, F e G). Desta forma, os equipamentos que atingirem a categoria “A” serão os mais eficientes energeticamente e os encontrados na categoria “G” serão os menos eficientes. Outros selos comparativos usados como exemplos são o canadense, norte americano e o mexicano. No entanto, estes utilizam como referência, uma escala contínua para a energia consumida anualmente por aparelho, conforme ilustrado na Figura 4 a, b e c, respectivamente.



a - Selo Canadense: Classificação em escala contínua.



b - Selo Norte Americano: Classificação em escala contínua.



c - Selo Mexicano: Classificação em escala contínua.

Figura 4 a, b e c – Exemplos de Selos Comparativos Internacionais

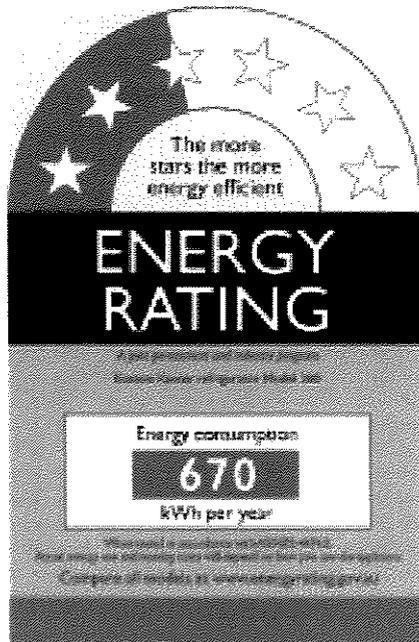
Fonte: Jannuzzi *et al* (2003).

O valor consumido pelo aparelho é indicado na faixa contínua e também é destacado no selo. Nos selos apresentados na Figura 4 não ocorre a classificação em classes específicas (categorias A, B, C, D, etc.) como no selo europeu. As Figura 4 a e b indicam, por exemplo, no extremo esquerdo da faixa, que os aparelhos mais econômicos consomem 344 e 451 kWh/ano, respectivamente e, no extremo direito, os de maior consumo consomem 708 e 699 kWh/ano,

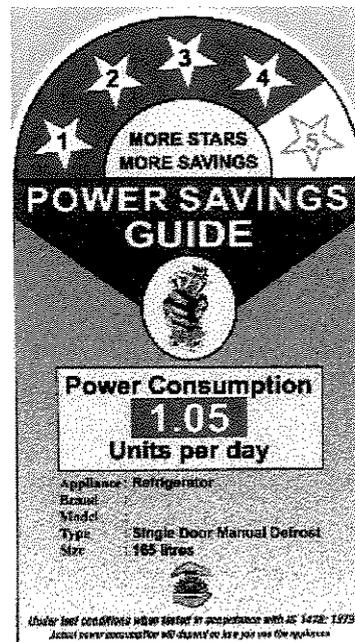
respectivamente. Os exemplos apresentados referem-se a aparelhos que consomem 695 e 650 kWh/ano, respectivamente (JANNUZZI *et al*, 2003).

O selo comparativo mexicano, mostrado na Figura 4 c, tem uma característica diferente. A sua escala contínua não indica o valor absoluto do consumo, mas sim, o valor relativo (em %) de seu consumo comparado com um consumo padrão. Mesmo assim, se encontra especificado o limite máximo de consumo permitido para o aparelho (659 kWh/ano) e a energia que será consumida, em média, sendo no caso do exemplo, de 560 kWh/ano (JANNUZZI *et al*, 2003).

Existem, também, selos que seguem modelos diferentes do europeu e brasileiro e do canadense, norte americano e mexicano, que são os selos australiano e indiano, Figura 5 a e b, respectivamente.



a - Selo Australiano



b - Selo Indiano

Figura 5 a e b - Selos Australiano e Indiano

Fonte: JANNUZZI *et al* (2003).

Estes selos trazem em seu ponto central a indicação do consumo total do aparelho, sendo o australiano representado em kWh/ano e o indiano em kWh/dia. Contudo, para uma melhor percepção e compreensão do consumidor foi inserida na parte superior do selo uma escala

conceitual (por estrelas). Desta forma, o consumidor ao analisar o selo perceberá que, quanto maior for o número de estrelas preenchidas pela faixa mais econômico será o modelo em questão.

Encontram-se também em uso os selos denominados *Endorsement Labels*⁸ (JANNUZZI *et al*, 2003). Através deste selo o consumidor somente terá a informação (credibilidade) que o aparelho foi aprovado após ter passado por testes utilizando determinados critérios de eficiência energética. Para exemplificar tem-se o selo *Energy Star* (Figura 6) que tem sido muito utilizado em computadores e, atualmente vem sendo aplicado também na área de ventilação, aquecimento, ar condicionado, equipamentos para escritório (CLASP, 2001) e, mais recentemente em refrigeradores nos EUA (ENERGY STAR, 2005).



Figura 6 - Selo *Energy Star: Endorsement Labels*

Fonte: ENERGY STAR (2005).

Em 2000 foi implantado no Japão um programa de etiquetagem energética com caráter voluntário. O objetivo é incentivar os fabricantes a apresentar equipamentos com o mais baixo índice de consumo possível. O aparelho (modelo) que alcançar o menor índice de consumo receberá o selo exclusivo *Top-Runner* – Figura 7 a. Os outros modelos que não alcançaram o índice receberão uma etiqueta (Figura 7 b), indicando o quanto eles são menos eficientes (em %) comparando com o *Top-Runner*. Está é uma maneira de estimular a competição entre fabricantes

⁸ *Endorsement Labels* (selos de endossamento ou aprovação) são os selos que já possuem um critério de avaliação da qualidade e desempenho do produto pré-aprovado. Estes selos são tipicamente aplicados em produtos considerados topo de linha (*Top-Tier*), ou seja, os produtos mais eficientes de um referido mercado. Desta forma, quando o consumidor encontra esse tipo de selo em um aparelho ou equipamento (computadores, ventiladores etc.) já está subentendido uma alta qualidade e o melhor desempenho de funcionamento dos mesmos (www.clasponline.org, consultado em 17/09/2004). Segundo a EPA (1994), outros *Endorsement Labels* utilizados são os selos ecológicos (*Eco-Labels*), empregados para indicar os produtos que possuem um desempenho energético e ambiental superior. Segundo AVASOO (2004), estes selos estão sendo bem aceitos em várias agências governamentais nos países ao redor do mundo (por exemplo, União Européia, Espanha, Países Nórdicos e França).

e inovações tecnológicas em eficiência energética, porque o modelo que consumir menos energia em um dado ano se tornará o *Top-Runner* para o próximo ano.

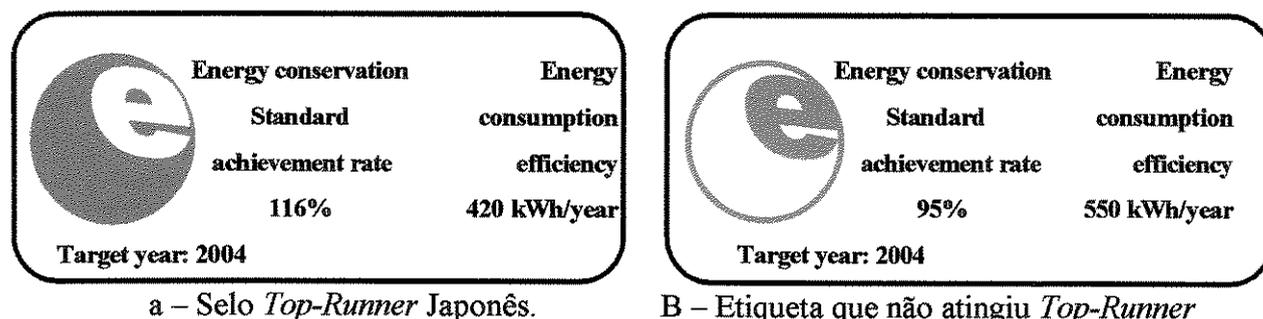


Figura 7 a e b – Selos de Eficiência Energética Japoneses⁹

Fonte: Elaboração própria, embasada em Avasoo (2004) e Akashi *et al* (2003).

2.2.2 Padrões de Eficiência Energética no Mundo

Os padrões de eficiência energética tiveram seu início em 1962 na Polônia. O governo francês estabeleceu padrões para refrigeradores em 1966 e para *freezers* em 1978. Outros governos europeus, incluindo o da Rússia, introduziram legislações autorizando a exigência de informações referente à eficiência em selos e seu desempenho energético em padrões durante os anos 1960 e 1970 (CLASP, 2001).

Como descrito anteriormente, os padrões de eficiência energética são procedimentos e regulamentos que determinam o desempenho de um produto fabricado. Nos países que praticam esses programas em caráter compulsório existe a proibição de venda de produtos que estão abaixo da eficiência energética mínima permitida pelo padrão (por exemplo, EUA, Canadá, França, etc.). Nos países que praticam programas de padrões de desempenho energético em caráter voluntário (por exemplo, Hong Kong, Japão, etc.) não está proibida. O termo padrão (*standard*) engloba comumente dois possíveis significados (CLASP, 2001; e MCMAHOW *and* TURIEL, 1997):

⁹ O selo *top-runner* japonês possui como demonstrativos símbolos em cores diferenciadas (verde e laranja) e um valor (expresso em %) que indica qual sua posição perante o *top-runner* atual. Por exemplo, os valores de 95% e 116% representam, respectivamente, os produtos que não atingiram a meta de 100% (*top-runner* atual) e o produto que superou em 16% a eficiência de 100%, passando assim, a ser o novo *top-runner* durante todo o ano subsequente. Portanto, o produto ganhador do selo *top-runner* recebe a etiqueta com o símbolo verde (Figura 7 a) e todos os outros produtos recebem a etiqueta com o símbolo de cor laranja (Figura 7 b).

- Protocolos bem definidos (ou procedimentos de testes em laboratório) para os quais se obtém uma estimativa suficientemente satisfatória do desempenho energético de um produto do jeito que ele é tipicamente usado ou pelo menos, uma classificação de seu desempenho energético comparado a outros modelos;
- Limites-alvo de desempenho energético (comumente com consumo máximo ou eficiência mínima) embasados em um protocolo de teste pré-especificado.

O termo *norma* é, às vezes, usado no lugar de *padrão* na Europa e América Latina para se referir ao limite-alvo (*target limits*) da eficiência energética de equipamentos e aparelhos. Segundo a CLASP (2001) existem três tipos de padrões de eficiência energética:

- Padrões Prescritivos (*Prescriptive Standard*);
- Padrão de Desempenho Energético Mínimo (*Minimum Energy Performance Standard* – MEPS) que é aplicado, por exemplo, nos EUA e Europa;
- Padrão Médio por Categoria¹⁰ (*Class-Average Standard*), que é aplicado, por exemplo, no Japão.

O Padrão Prescritivo (*Prescriptive Standards*) requer que determinadas características pré-estabelecidas (por exemplo, obrigatoriedade de uso de um determinado material, acessório, dimensão, etc.) estejam presentes em todos os produtos novos. O MEPS (*Minimum Energy Performance Standard*) determina que os fabricantes devam aperfeiçoar continuamente cada produto, especificando o desempenho energético do aparelho e/ou equipamento, mas não os detalhes da tecnologia ou modelo do produto como exigido no Padrão Prescritivo. O Padrão Médio por Categoria (*Class-Average Standard*) especifica a eficiência média de uma classe de produtos, permitindo a cada fabricante selecionar o nível de eficiência para cada modelo, assim que a média global for estabelecida. O método do MEPS foi o escolhido para análise nesta dissertação, visto que, o refrigerador brasileiro pode melhorar o seu desempenho energético através de inovações tecnológicas ainda não aplicadas no Brasil. Como apresentado

¹⁰ As palavras “categoria e classes” de refrigeradores utilizadas nesta dissertação, na tem haver com o Padrão Médio por Categoria (*Class-Average Standard*). O método para obtenção do padrão de eficiência energética que é utilizado neste trabalho é o MEPS.

anteriormente, os refrigeradores brasileiros possuem um desempenho energético muito aquém dos fabricados, por exemplo, na Europa.

Os padrões prescrevem uma eficiência mínima (ou máximo consumo de energia) que os produtos incluídos no programa podem apresentar. Estes padrões permitem inovações e competição de projetos entre os fabricantes e a conformidade (credenciamento) é determinada por testes de laboratório. Exemplificando, cada unidade deve consumir não mais que um montante máximo de energia por ano, de acordo com testes pré-estabelecidos. Várias aplicações de padrões de eficiência energética são em caráter compulsório. Contudo, alguns países (por exemplo, Japão e Suíça) têm implantado padrões de eficiência energética em caráter voluntário. Os padrões voluntários são usualmente estipulados em um consenso entre governo e fabricantes e, em alguns casos (por exemplo, Suíça), o fabricante que não atingir o nível estabelecido pelo padrão voluntário em um período estipulado, concorda que a agência reguladora substitua o padrão voluntário para um de caráter compulsório (CLASP, 2001).

2.3 Etiquetas e Padrões de Eficiência Energética no Brasil

O Brasil vem adquirindo experiência no planejamento e implantação de programas de conservação de energia elétrica já há alguns anos. Nesta seção é apresentada a experiência brasileira através do Programa Brasileiro de Etiquetagem, do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e da Lei de Eficiência Energética Brasileira.

2.3.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) foi instituído para funcionar como uma ferramenta de certificação, auxílio e divulgação aos consumidores sobre o consumo elétrico e a eficiência dos aparelhos mais utilizados no país (www.inmetro.org.br, consultado em 16/04/2004).

O PBE é um programa de conservação de energia que, por meio de etiquetas informativas, visa orientar o consumidor quanto à eficiência energética de alguns produtos comercializados no país. Seu objetivo é estimular a racionalização do consumo de energia pela utilização de produtos mais eficientes. A etiquetagem (selos) permite que o consumidor avalie os diversos produtos

quanto a seu rendimento energético e selecione os que lhe trarão maior economia durante sua utilização (www.conpet.gov.br/, consultado em 23/06/2005).

A adesão ao Programa Brasileiro de Etiquetagem é voluntária e somente são feitos testes com os produtos dos fabricantes que querem fazer parte do programa (www.inmetro.org.br, consultado em 04/05/2005). Assim, no Brasil, os fabricantes não são obrigados sob formas legais a participarem do programa de eficiência energética. Contudo, com o mundo globalizado, uma transferência de informações cada vez mais rápida (ocasionado pela mídia e a disseminação da alta tecnologia como computadores, *Internet*, etc.) e fortes questões comerciais (exportações de aparelhos e/ou equipamentos para países onde existem e/ou são exigidos padrões, etc.) que podem se transformar em grandes barreiras comerciais entre países, os produtores estão sendo forçados a se enquadrarem a estes programas por causa de uma maior exigência do mercado.

Do outro lado, a educação e a legislação ambiental, juntamente com as recentes preocupações sobre a necessidade de economia de energia (*por exemplo*, um planejamento energético integrado com vistas ao desenvolvimento sustentável, etc.), também se mostraram ótimos aliados na campanha de adesão dos fabricantes de eletrodomésticos ao PBE. Esse tipo de pressão estimula a competitividade do mercado a cada nova avaliação desta forma, o programa incentiva a melhoria contínua do desempenho dos eletrodomésticos e/ou equipamentos, buscando otimizar o processo de qualidade dos mesmos. Atualmente, participam do PBE os setores produtores de geladeiras, *freezers*, chuveiros, aparelhos de ar condicionado, motores elétricos trifásicos, máquinas de lavar roupa, sistemas de aquecimento solar de água, lâmpadas fluorescentes compactas, lâmpadas incandescentes, reatores, fornos e fogões (www.inmetro.org.br, consultado em 04/05/2005).

2.3.2 Etiquetas (Selos) de Eficiência Energética no Brasil

A experiência brasileira na implantação de programas de eficiência energética teve seu marco inicial em 1984 quando foi firmado um protocolo entre o Ministério da Indústria e do Comércio (MIDIC) e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica – ABINEE através do assessoramento do Ministério das Minas e Energia – MME (www.inmetro.org.br, consultado em 2004).

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL foi criado em dezembro de 1985 através de um trabalho conjunto entre dois Ministérios, o de Minas e Energia e o da Indústria e Comércio, e tem como sua administradora uma secretaria executiva subordinada à Eletrobrás. Em 18 de julho de 1991 transformou-se em um programa de governo, tendo seus deveres e poderes ampliados (PROCEL, 2004).

O papel do PROCEL é disseminar o conceito do combate ao desperdício e a idéia de conservação, melhorando a maneira de utilizar a energia, sem abrir mão do conforto e das vantagens que ela proporciona. Isto significa diminuir o consumo e reduzir custos, sem perder em momento algum, a eficiência e a qualidade dos serviços (www.eletrobras.gov.br, consultado em 23/06/2005).

O principal objetivo do programa¹¹ é promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, eliminando os desperdícios e reduzindo os custos e os investimentos setoriais, tanto no lado da produção como no do consumo, concorrendo para a melhoria da qualidade de produtos e serviços, reduzindo os impactos ambientais e fomentando a criação de empregos (PROCEL, 2004).

Para se ter idéia da importância do programa PROCEL, seu orçamento no ano de 1998, excluindo salários do quadro de pessoal e despesas gerais indiretas, alcançou o montante aproximando de US\$ 50 milhões (GELLER, 2003). Algumas das iniciativas desenvolvidas com esse recurso estão inseridas na Tabela 5 a seguir.

¹¹ Os recursos financeiros do PROCEL provêm da Eletrobrás, da Reserva Global de Reversão - RGR e de entidades internacionais. Uma das funções do PROCEL é financiar ou co-financiar projetos de eficiência energética executados por concessionárias estaduais ou locais, agências estaduais, empresas privadas, prefeituras, universidades e institutos de pesquisa. Segundo Geller (2003) esses projetos referem-se a: pesquisas, desenvolvimento e demonstração; educação e treinamento; testes, classificação e padronização; comercialização e promoção; apoio ao setor privado (por exemplo, apoio a empresas de serviço de energia); programas de gerenciamento de concessionárias pelo lado da demanda; implementação direta de medidas de eficiência.

A Reserva Global de Reversão é um fundo federal constituído com recursos das concessionárias proporcionais ao investimento de cada uma (PROCEL, 2004).

Tabela 5: Principais Ações do PROCEL para Melhoria de Eficiência Energética em Equipamentos no Brasil

<p>Refrigeradores e Freezers</p> <p>Programa nacional de testes de eficiência e de certificação; Metas voluntárias de eficiência energética especificando o uso máximo de energia elétrica de diferentes tipos de produtos em função do volume; Reconhecimento e recompensa para os modelos mais eficientes (selos de eficiência); Revisões dos processos de teste e certificação e um novo acordo voluntário para melhorias na eficiência.</p>
<p>Iluminação</p> <p>Substituição de mais de 1 milhão de lâmpadas de rua incandescentes ineficientes por lâmpadas a vapor de mercúrio; Demonstrações, programas específicos de incentivo a concessionárias, auditorias energéticas, certificação e propaganda na TV para promover o uso de lâmpadas fluorescentes compactas (LFCs); P&D (Programas de Pesquisa e Desenvolvimento), auditorias e atividades educativas para promover o uso de lâmpadas T8¹², reatores eletrônicos e refletores especulares para iluminação fluorescente; Padrões mínimos de eficiência para reatores eletromagnéticos.</p>
<p>Motores e Sistemas Motrizes</p> <p>Suporte técnico para melhorar o tratamento térmico do aço-carbono usado na maioria dos núcleos de motores; Estabelecimento de padrões mínimos de eficiência para motores de alta eficiência vendidos no Brasil; Testes de eficiência e programas de certificação para todos os motores de indução trifásicos; Reconhecimento e premiação para os padrões mais eficientes de motores oferecidos no mercado.</p>

Fonte: Geller (2003)

Os programas de etiquetagem PROCEL para economia de energia e desempenho energético são ações que foram desenvolvidas visando premiar fabricantes que direcionam seus equipamentos para o uso racional da energia elétrica, tanto na produção como no consumo, melhorando a qualidade, prestação de serviços e reduzindo os impactos ambientais.

Os selos PROCEL/INMETRO de Economia de Energia (Figura 8) é um prêmio concedido anualmente aos equipamentos elétricos que apresentarem os índices mais satisfatórios

¹² T8 refere-se usualmente aos tubos fluorescentes de alto rendimento que estão sendo instaladas nos edifícios de modernos escritórios em substituição às lâmpadas T12, que são tubos fluorescentes normais.

de eficiência energética dentro das suas respectivas categorias. A finalidade desta premiação é estimular a fabricação nacional de produtos eletrodomésticos mais eficientes no quesito energia economizada e orientar o consumidor, no momento da compra, a adquirir equipamentos que apresentem melhores níveis de eficiência energética (PROCEL, 2004).



Figura 8 – Selo PROCEL/INMETRO de Economia de Energia

Fonte: INMETRO (2004).

Os critérios requeridos para a obtenção do Selo PROCEL de Economia de Energia se resumem nos seguintes aspectos:

- O produto deve fazer parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo INMETRO;
- Existência de mais de um fabricante do produto. Desta forma, é possível se realizar uma comparação entre os produtos;
- O produto deve ser submetido anualmente a testes de desempenho em laboratórios de referência aprovados pelo PROCEL e pelo INMETRO; e
- De acordo com a classificação obtida pelo produto no processo de etiquetagem, recebem o selo PROCEL de Economia de Energia apenas os equipamentos que atingirem a categoria “A”. Os produtos brasileiros são classificados por categorias

de eficiência energética, variando de “A” a “G”, seguindo respectivamente a ordem dos mais eficientes para os menos eficientes. Essa classificação é representada na Etiqueta de Eficiência INMETRO-ENCE – Figura 9 (Catálogo Selo PROCEL, 2003).

Do outro lado, os equipamentos que não alcançarem o índice de eficiência necessária para receberem o selo PROCEL de Economia de Energia, ilustrado na Figura 8, receberão uma etiqueta de eficiência (Figura 9) anexada para efeito de informação ao consumidor de quão eficiente é o produto que estará sendo adquirido.

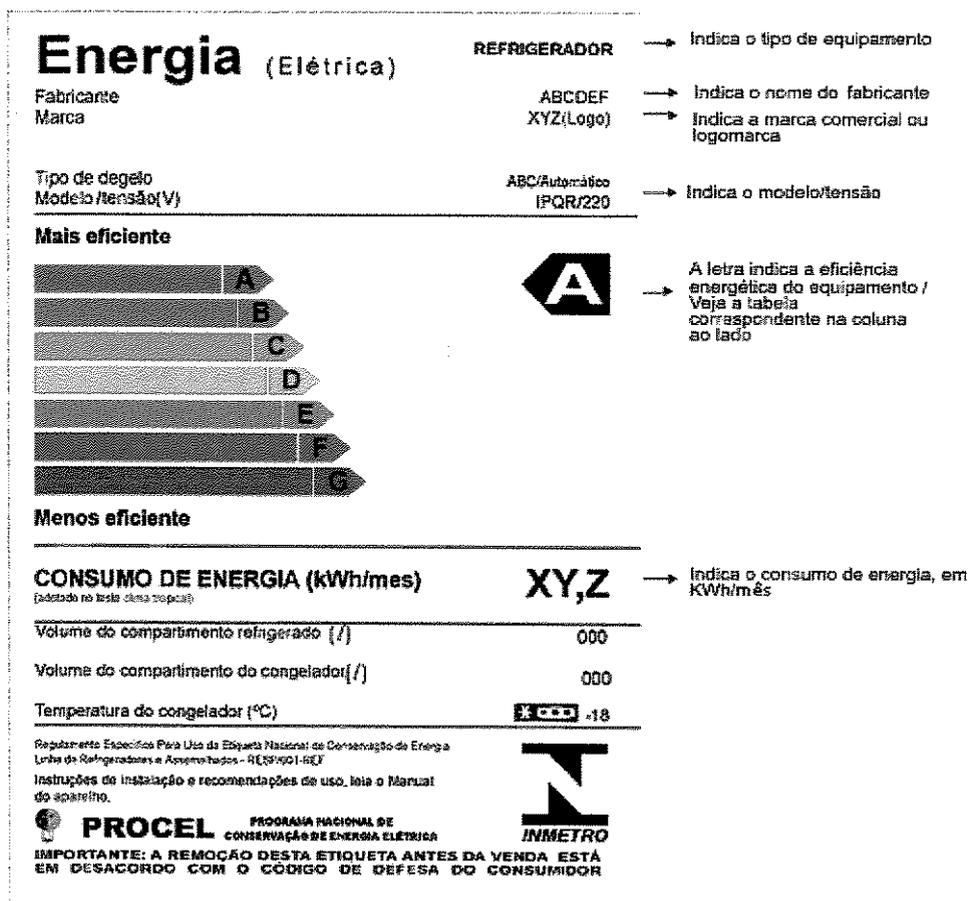


Figura 9 – Etiqueta de Eficiência do INMETRO-ENCE

Fonte: INMETRO (2004)

Para premiar os produtos de iluminação, motores, reatores e reservatórios térmicos, desenvolveu-se, também, uma etiqueta comparativa de eficiência energética (Figura 10), baseada na etiqueta já apresentada na Figura 9. Desta forma, os consumidores ao compararem um produto

de iluminação ou dentro desta relação que esteja participando do PBE e que não alcançou a categoria “A”, terá indicada de forma clara em sua embalagem o quão eficiente é este produto.

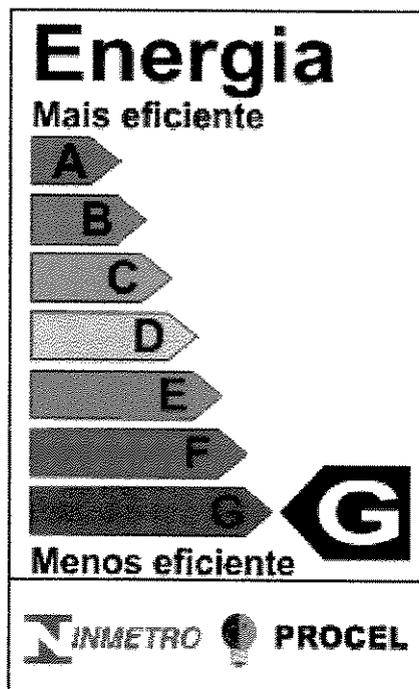


Figura 10 - Etiqueta de Eficiência do INMETRO-ENCE

Fonte: INMETRO (2004).

Os produtos listados a seguir são os que atualmente recebem os selos PROCEL/INMETRO (Catálogo Selo PROCEL, 2003 e INMETRO, 2004):

- Refrigerador compacto de uma porta;
- **Refrigeradores comuns (de uma porta)¹³**;
- Refrigeradores combinados (de duas portas);
- Refrigeradores combinados *Frost-Free*;
- *Freezers* verticais;
- *Freezers* verticais *Frost-Free*;

¹³ Esta classe de eletrodoméstico é o foco principal desta dissertação de mestrado.

- *Freezers* horizontais;
- Condicionadores de ar de janela;
- Motores de indução trifásicos padrão;
- Motores de indução trifásicos de alto rendimento;
- Coletores solares planos (aplicação banho);
- Coletores solares planos (aplicação piscina);
- Reservatórios térmicos para coletores solares;
- Reatores eletromagnéticos para lâmpadas fluorescentes tubulares;
- Reatores eletromagnéticos para lâmpadas a vapor de sódio;
- Lâmpadas fluorescentes compactas integradas e não integradas; e
- Lâmpadas fluorescentes circulares integradas e não integradas.

2.3.3 Padrões de Eficiência Energética no Brasil

Em 2001 foi sancionada a lei nº 10.295 que dispõe, que “O Poder Executivo estabelecerá níveis máximos de consumo específico de energia ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes” (BRASIL, 2001a). Essa lei teve sua regulamentação efetivada após o decreto nº 4.059, de 2001, que delega responsabilidades a um comitê gestor coordenado pelo Ministério de Minas e Energia – MME (BRASIL, 2001b).

Foi criado o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética – CGIEE, que possui as seguintes atribuições: (i) desenvolver um cronograma e um plano de trabalho visando uma melhor implementação e aplicação da lei de eficiência energética; (ii) fazer um programa de metas indicando quais aparelhos e equipamentos deverão se tornar mais eficientes energeticamente; (iii) desenvolver regulamentações específicas para cada tipo de aparelho e

equipamento consumidor de energia; (iv) acompanhar e avaliar sistematicamente o processo de regulamentação; e (v) propor um plano de fiscalização (BRASIL, 2001b).

O CGIEE é formado por membros de vários outros órgãos como, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, a Agência Nacional do Petróleo – ANP, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO e as secretarias executivas do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL e do Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural – CONPET (BRASIL, 2001b).

O motor elétrico foi o primeiro equipamento elétrico brasileiro para o qual se estabeleceu uma metodologia para padrão de eficiência energética, como dispõe o Decreto nº 4.508, de 2002, “sobre a regulamentação específica que define os padrões mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil...”. Desta forma, os padrões mínimos de eficiência energética estabelecidos para os motores elétricos são de caráter compulsório (a tabela com os padrões de eficiência dos motores está apresentada no apêndice C desta dissertação). Assim, os fabricantes de motores elétricos (tanto brasileiros quanto estrangeiros) que desejarem comercializar seus produtos no Brasil estão obrigados a se adequarem às novas exigências estabelecidas pela lei 10.295, de 2001, e pelo decreto 4.508, de 2002.

O Ministério de Minas e Energia (MME) colocou uma proposta de regulamentação de lâmpadas fluorescentes em consulta pública, com a intenção de aumentar a eficiência energética das lâmpadas e retirar as de baixa qualidade do mercado (similar ao que foi feito com os motores elétricos). Desta maneira, o MME objetiva receber contribuições sobre esta minuta de regulamentação das lâmpadas fluorescentes compactas vendidas no mercado brasileiro. A minuta estabelece padrões mínimos de eficiência energética para as lâmpadas de acordo com a faixa de potência, o decréscimo máximo admitido no fluxo luminoso após duas mil horas de funcionamento e procedimentos de ensaio. A consulta pública da minuta teve seu encerramento previsto para o dia 05 de junho de 2005 (www.mme.gov.br , consultado em 03/05/2005).

Segundo o ministério, as novas medidas permitirão a retirada do mercado de produtos de baixa qualidade e os padrões mínimos de eficiência energética acarretarão um menor gasto com energia elétrica. O ministério calcula que a economia de energia chegará a 800 GWh/ano, o

equivalente a uma usina termelétrica de 114 MW, ou uma hidrelétrica de 152 MW (www.mme.gov.br , consultado em 03/05/2005).

Segundo Leonelli (2005), o MME já está traçando diretrizes para transformar os padrões de eficiência energética voluntários em compulsórios nos seguintes produtos:

- Condicionadores de ar, em fase de interlocução com os fabricantes;
- Refrigeradores, em fase de interlocução com os fabricantes;
- Fogões e aquecedores, em fase de constituição de critérios de avaliação; e
- Veículos automotivos, iniciando estudo.

Outras pesquisas na área de eficiência energética visualizadas pelo MME (LEONELLI, 2005) são:

- Diminuição do consumo dos aparelhos em *standy by*;
- Melhoramento dos medidores eletrônicos da tarifa diferenciada;
- Melhoramento da qualidade de energia *versus* eficiência energética;
- Cenarização e potencialidade de programas de eficiência energética;
- Integração da eficiência energética ao planejamento energético; e
- Criação de procedimentos para avaliação dos resultados de programas de eficiência energética.

Mediante essas visões do Ministério de Minas e Energia, voltadas para a necessidade de desenvolvimento de mecanismos para melhoramento da eficiência energética dos produtos brasileiros, houve uma motivação ainda maior para a finalização desta dissertação de mestrado.

Para o caso específico dos refrigeradores o consumo de energia depende diretamente do volume do compartimento de refrigeração do mesmo. O Padrão Mínimo de Eficiência Energética (MEPS) varia conforme a diversidade de modelos oferecidos pelo fabricante de refrigeradores

(IEA, 2000; JANNUZZI *et al*, 2004). Os consumos máximos de energia dos refrigeradores no Brasil podem ser estabelecidos de acordo com as fórmulas da Tabela 6 obtidas a partir de Turiel (1997).

Tabela 6: Proposta de Consumo Máximo Permissível de Energia Elétrica, em kWh/mês, por Tipo de Refrigerador em Função de Seu Volume Ajustado

Produto	Fator VA ¹⁴	Consumo Máximo Permitido de Energia Elétrica (kWh/mês)
Refrigeradores de uma porta	1,42	0.039VA + 27.05 (isolamento de fibra de vidro)
		0.040VA + 24.75 (isolamento de poliuretano)
Refrigeradores e <i>freezers</i> de duas ou três portas (combinados)	1,62	0.0455VA + 60.56

Fonte: Turiel (1997).

Uma vez determinado o consumo máximo permitido de energia elétrica através da utilização das equações apresentadas como no exemplo da Tabela 6, o passo seguinte é obter a razão entre o volume ajustado VA, expresso em litros, e o consumo mensal de energia elétrica do equipamento, em kWh. Desta forma, é encontrado o Índice de Eficiência Energética - IEE (EER – *Energy Efficiency Rate*).

O IEE é utilizado para classificar os equipamentos nos níveis de eficiência energética, A, B, C, D, E, F e G, indicados no selo comparativo brasileiro (Figura 9). No Brasil, as classes de eficiência energética de refrigeradores de uma porta, *freezers* e combinados são delimitadas de acordo com os valores da Tabela 7.

¹⁴ Volume Ajustado – VA (AV - *Adjusted Volume*). A equação para o cálculo do volume ajustado é expressa da seguinte forma: AV = Volume do refrigerador + Fator VA x Volume do Congelador/*Freezer* (NBR 8888 in Turiel, 1997).

Tabela 7: Valores Limites para as Classes do Índice de Eficiência Energética (IEE) de Refrigeradores de Uma Porta, Freezers e Combinados.

Refrigeradores de 01 porta, “freezers” verticais e horizontais.		Combinados	
Índice de Eficiência Energética – I ou EER	Classe de Eficiência Energética	Índice de Eficiência Energética – I ou EER	Classe de Eficiência Energética
I > 10,9	A	I > 8,1	A
10,9 ≥ I > 10,0	B	8,1 ≥ I > 7,5	B
10,0 ≥ I > 9,1	C	7,5 ≥ I > 6,9	C
9,1 ≥ I > 8,2	D	6,9 ≥ I > 6,3	D
8,2 ≥ I > 7,3	E	6,3 ≥ I > 5,7	E
7,3 ≥ I > 6,4	F	5,7 ≥ I > 5,1	F
6,4 ≥ I	G	5,1 ≥ I	G

Fonte: INMETRO (2002).

2.4 Passos no Desenvolvimento de Programas de Etiquetagem e Padrões de Eficiência Energética

Os passos no processo de implantação de programas de etiquetagem e padrões de eficiência energética definidos pela CLASP (2001) seguem sete etapas, que estão ilustradas de forma esquemática na Figura 11.

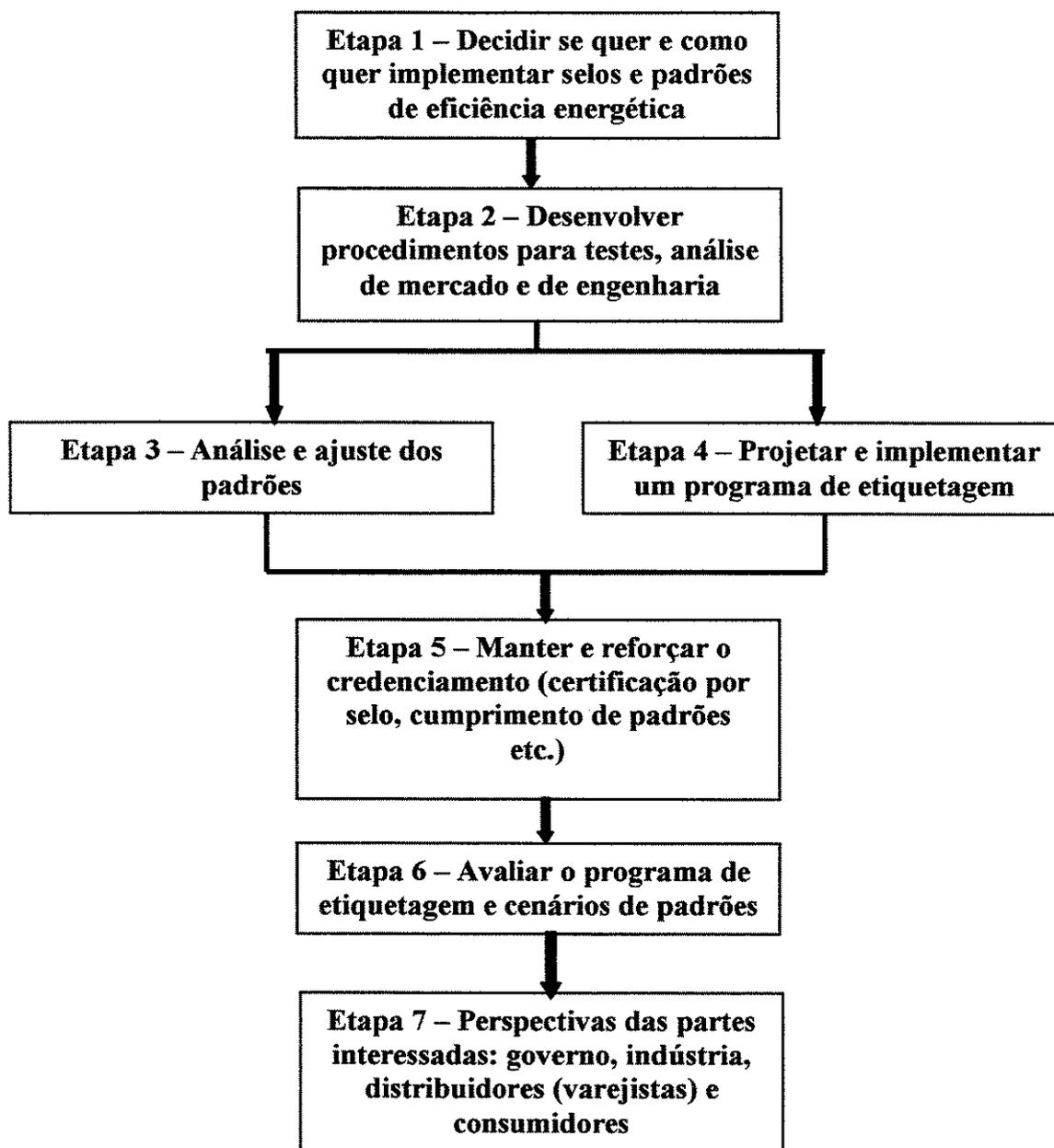


Figura 11: Etapas Típicas no Processo de Implantação de Programas de Etiquetagem e Padrões de Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria, baseada em CLASP (2001).

A legitimidade para se estabelecer uma política de selos e padrões está vinculada à primeira etapa do processo de implementação dos mesmos. O selo e padrão compulsório (obrigatório por legislação) podem gerar conflitos entre fabricantes e outros agentes, porque eles forçam os fabricantes a tomarem ações que não se realizariam em caráter voluntário. Padrões de eficiência energética mínima, por exemplo, forçam a indústria de eletrodomésticos e

equipamentos elétricos a projetar, produzir e vender produtos mais eficientes do que eles poderiam desejar (por exemplo, devido ao custo mais alto de produção). Sendo assim, se potenciais conflitos não forem tratados inicialmente no planejamento do programa, eles podem vir a complicar sua operação. Desta forma, é uma etapa importante estabelecer uma forte e clara legitimidade política para padrões. Esta legitimidade da política de eficiência energética pode ser feita de várias formas, dependendo da natureza do governo ou outras agências envolvidas no programa (CLASP, 2001).

Faz parte da segunda etapa do processo de implementação de programas de etiquetagem e padrões de eficiência energética, a coleta de dados de engenharia¹⁵, dados necessários para aperfeiçoar o projeto. Além disso, são necessárias informações sobre (CLASP, 2001; IEA, 2001; e DOE, 1995):

- O volume anual de vendas dos equipamentos;
- Os preços dos equipamentos;
- O volume da importação e exportação;
- Os canais de distribuição dos equipamentos, incluindo como o equipamento é distribuído dos fabricantes e importadores para os pontos de venda a varejo;
- A proporção do mercado que cada equipamento atinge (*Market Share*¹⁶);
- As informações sobre competição entre agentes e produtores, suas fatias do mercado, marcas, processos de produção, tipo e qualidade do produto produzido, capacidade de produção, fornecedores de componentes, distribuição da produção, suporte técnico ou manutenção, etc.

¹⁵ Os dados de engenharia referidos são todos os dados técnicos (consumo de eletricidade, potência elétrica necessária, capacidade volumétrica, tempo e frequência de uso, etc.) coletados sobre um produto (aparelho/equipamento), além de outros dados estatísticos (população de eletrodoméstico em um país, número de unidades vendidas, unidades em estoque, etc.).

¹⁶ O *market share* representa a porção (fatia, percentual) do mercado que um produto específico atinge.

- O histórico das séries de dados anuais de propriedade dos equipamentos e uso de energia ou eficiência energética, preferencialmente divididos pelas subcategorias de equipamentos;
- As estatísticas relacionadas à população, o número de eletrodomésticos, número e tamanho das residências, distribuição populacional por residência, característica sócio-econômicas desta população, etc.;
- A evolução dos estoques de equipamentos, incluindo a fração de substituição e a fração de aquisição (necessidade para previsão do mercado dos equipamentos e do seu consumo de energia); e
- Identificação dos usos finais, ou seja, como os equipamentos são usados na prática, no País como um todo e em regiões climáticas diferentes (para avaliação da sensibilidade climática dos aparelhos), incluindo consumo de energia, demanda (potência) de energia elétrica, tempo e frequência de uso (SIDLIER, 1999).

Para as Etapas 3 e 4, é necessário avaliar os padrões de custos e os impactos de um programa de eficiência energética. A seguir estão descritos os passos para essa avaliação, segundo a CLASP (2001):

- Desenvolvimento de um modelo base. A base de referência representa o desempenho energético de um modelo típico para um dado produto (por exemplo, refrigerador de uma porta) e é o ponto inicial para uma análise de engenharia. A base de referência característica determinará quais tipos de modificações no projeto podem ser feitas para o produto melhorar sua eficiência energética (consumo de energia);
- Identificação do potencial de melhoria na eficiência energética. Esta etapa envolve análise das opções técnicas para melhorias ou diminuição do consumo de energia de cada produto;
- Estimativa do custo das melhorias da eficiência energética nos equipamentos, baseada em pesquisas de mercado, em melhorias da eficiência energética e nos

custos extras de produção associada com cada opção de inovação tecnológica escolhida (alternativamente, a análise pode coletar dados de custos e desempenho referentes às unidades existentes no mercado, para determinar uma relação entre custo e eficiência);

- Cálculo do potencial de economia das melhorias de eficiência energética. Esta etapa envolve estimativas da economia de energia das opções de projeto de eficiência energética para cada produto; e
- Cálculo da viabilidade econômica das inovações propostas (efetividade dos custos). Esta etapa envolve estimativas do custo do ciclo de vida e *payback period*¹⁷ (período de retorno do investimento) para diferentes níveis de programas de padrões de eficiência energética mínima ou consumo mínimo e etiquetagem.

O desenvolvimento e implementação de selos e padrões de eficiência energética requer recursos legais, financeiros, humanos, físicos e institucionais para lhes dar suporte (CLASP, 2001).

Os Estados Unidos iniciaram seu programa de padrões compulsórios de eficiência energética em 1978 e desenvolveram padrões para 28 produtos nos setores residencial e comercial. Nos primeiros 19 anos deste programa o governo investiu US\$ 104 milhões no desenvolvimento e implementação dos padrões. Este valor significa ter um investimento médio de US\$ 5.474.000,00 por ano, nunca ultrapassando o valor de US\$ 11,3 milhões, ou tendo um investimento menor que US\$ 2,3 milhões em um único ano (CLASP, 2001).

A Agência Internacional de Energia identifica várias formas de cooperação em programas de etiquetagem e padrões de eficiência energética, incluindo colaboração no projeto de testes, elaboração dos selos e obtenção dos padrões; harmonização dos procedimentos dos testes e ajustes nos níveis de energia usados nos selos (etiquetas) e padrões; e coordenação de

¹⁷ O *Payback* (recuperação simples de investimento) é o tempo necessário para recuperar, sob forma de entrada de caixa, a quantidade inicialmente investida, geralmente em um bem de ativo (MICHAELIS UOL, 2003), não levando em conta qualquer tipo de juros. Já o *Payback Period* (recuperação diferenciada de investimento) considera a recuperação de investimento como sendo a obtenção da quantia inicialmente investida + a inserção de juros, obtendo-se assim, resultados mais precisos (QUEIROZ *et al*, 2003 e PALGRAVE, 2004).

implementação de programa e monitoramento dos resultados alcançados. Segundo a agência, a cooperação possui um potencial de cinco benefícios (IEA, 2000):

- Aumento da transparência do mercado;
- Custos menores para desenvolvimento de projetos e realização de testes;
- Aumento da perspectiva para negócios e transferência de tecnologia;
- Custos menores para desenvolver programas de eficiência governamental e bem público; e
- Aumento da mediação internacional.

Na Etapa 6 é necessário se conhecer a eficácia dos selos e dos padrões de eficiência energética. Esta efetividade é geralmente reportada como: cálculo de impactos realizados antes da implementação; evidências de experiências anteriores; e cálculos de impactos baseados no monitoramento da resposta para selos e padrões já implantados (CLASP, 2001).

Os cálculos são feitos antes ou depois da implementação e geralmente baseiam-se em dados sólidos de mercado. A importância de se ter uma boa base de dados para os cálculos é observada através dos resultados alcançados com a economia de energia, a simulação de CO₂ (dióxido de carbono) que não será emitido ao ambiente e o valor presente acumulado decorrente da economia de energia alcançada pelo setor residencial (IEA, 2000).

Portanto, os selos e padrões de eficiência energética de aparelhos, equipamentos e produtos de iluminação ajudam na promoção de campanhas de conservação de energia e na redução dos impactos no meio ambiente através da não necessidade de geração de energia extra para suprir demandas.

O processo de implementação de programas de etiquetagem e padrões de eficiência energética (Etapa 7), tem o objetivo de se fazer análises das partes interessadas na implementação de novos selos e padrões para integrar informações de diversas fontes dentro de um consistente quadro de dados, para quantificar os prováveis impactos de novas regulações e para considerar as incertezas destas estimativas. As análises podem ser úteis para todas as partes como: gestores dos

padrões que estão sendo formulados, definidores de políticas de governo voltadas para o mercado, agentes de proteção ambiental, fabricantes e consumidores.

Os principais dados de entrada das análises incluem uma diversidade de fatores que impactam os custos e benefícios para cada um dos agentes (ou partes interessadas). Os mais importantes são:

- Projeção da economia de energia e conseqüências associadas ao meio ambiente;
- Impactos econômicos (custos, economias e benefícios) na população de consumidores; e
- Investimentos e impactos nos fabricantes, nos geradores de energia e na economia em geral.

Geralmente, muitas das análises dos impactos de padrões são conduzidas sob orientação ou coordenação da agência governamental que é responsável pela regulação deste tipo de programa. O fabricante necessita ter acesso à informação para sentir-se confortável com as decisões e poder verificar os prováveis impactos da regulação nos seus negócios, no contexto de possíveis cenários futuros (CLASP, 2001).

Fabricantes e importadores são as partes diretamente afetadas por estas regulações, as quais podem aumentar os custos para realização dos negócios. Os padrões devem ser tecnologicamente executáveis e devem preservar um nível adequado de competição entre os fabricantes. Dependendo do nível de competição no mercado e das posições das estratégias de cada companhia, incluindo a estrutura da rede de distribuição, os impactos de uma dada regulação variam afetando mais alguns fabricantes que outros. Políticas devem ser aplicadas uniformemente sem favoritismo e proverem aos produtores o tempo suficiente para adaptação (CLASP, 2001).

Os padrões de eficiência energética geralmente diminuem o valor pago pela operação do aparelho, mas podem aumentar o preço para aquisição do mesmo. Assim, a metodologia de Análise Estatística do produto (GEA, 1993; QUEIROZ *et al*, 2003; JANNUZZI *et al*, 2004 e CLASP, 2001) e a metodologia de Análise do Custo do Ciclo de Vida – ACCV (DOE, 1995;

QUEIROZ *et al*, 2003; e CLASP, 2001) ajudam a verificar se o consumidor terá benefícios reais ao adquirir um aparelho ou equipamento que participa de programas de eficiência energética. Podem haver variações nos impactos para os consumidores por conta do preço da energia, do padrão de uso do aparelho, etc. (CLASP, 2001).

Padrões de eficiência energética provocam a redução no consumo de energia, o que pode reduzir a necessidade de construção de novas usinas geradoras de eletricidade. Agentes envolvidos no planejamento e/ou nos investimentos, seja do lado do suprimento ou da demanda de energia, têm uma ótima oportunidade para o uso dos padrões de eficiência energética (CLASP, 2001). A prática tem demonstrado que essa estratégia tem a vantagem de contribuir para a diminuição dos custos finais da eletricidade, devido à não necessidade de geração de energia elétrica oriunda de termelétricas que possuem custos mais altos para cada MWh gerado.

Como consequência da redução no consumo de energia elétrica, ocasionada pela eficiência mais elevada dos aparelhos e equipamentos, há uma redução na queima de combustíveis fósseis que estão associados às emissões de dióxidos de carbono (CO₂) lançados no meio ambiente (EPA, 1994). Esta emissão é oriunda do uso de gás natural e carvão vegetal em usinas termelétricas.

Capítulo 3

Metodologias Sugeridas para o Estabelecimento de Padrões de Eficiência Energética

O capítulo 3 tem o objetivo de sugerir duas metodologias para auxiliar na definição e implementação de padrões de eficiência energética em um país. Essas metodologias já foram citadas no capítulo 2 como: Análise Estatística e Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV). Neste capítulo as metodologias são descritas com mais detalhes, tanto em suas formulações matemáticas quanto com respeito às suas vantagens e desvantagens no auxílio à tomada de decisão para se implantar um padrão de eficiência energética.

Antes de essas metodologias serem descritas, apresenta-se, na seção 3.1, os passos que precisam ser seguidos para se identificar a melhor metodologia em cada caso.

3.1 A Importância da Disponibilidade dos Dados na Seleção da Metodologia Analítica

A informação necessária para se analisar um padrão depende do método usado para seu estabelecimento ou dos recursos disponíveis para seu desenvolvimento. A Figura 12 é um diagrama esquemático que mostra as etapas envolvidas na escolha do método de análise ou estabelecimento de padrões.

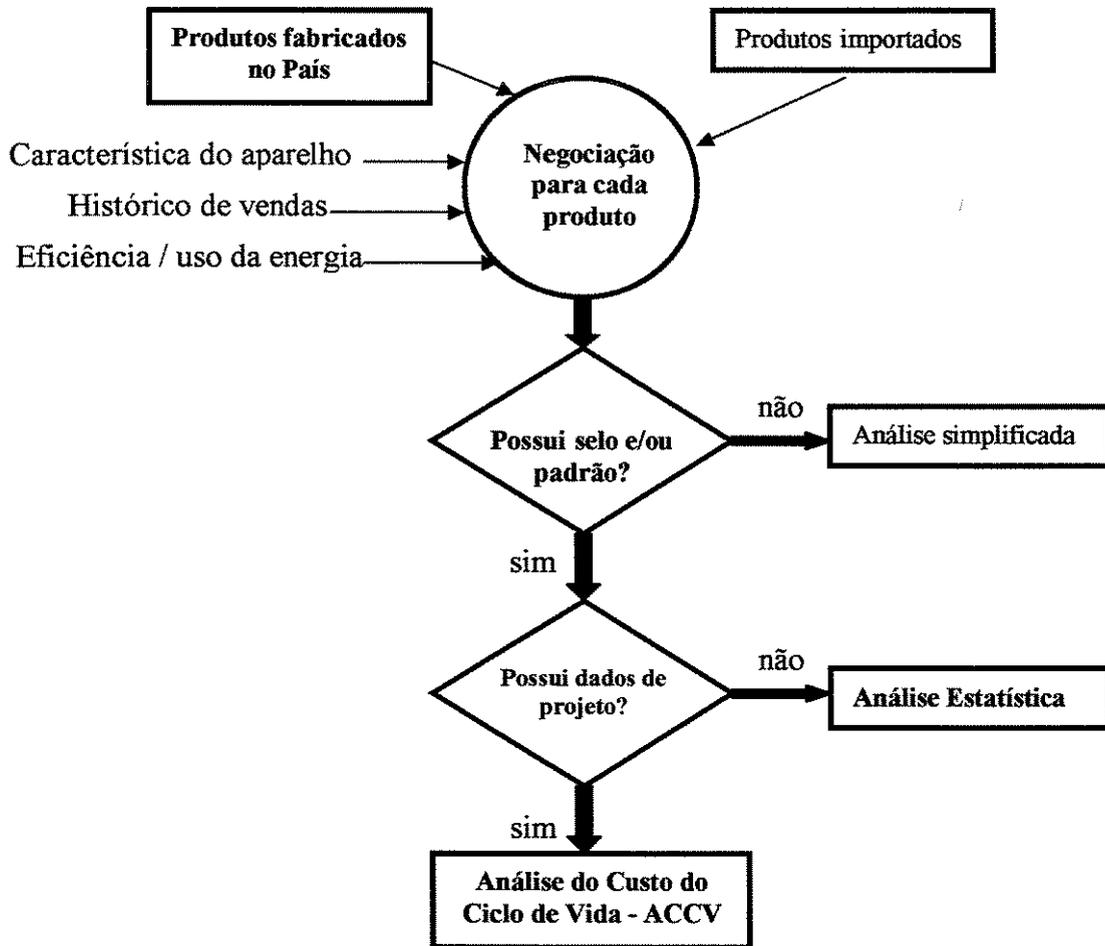


Figura 12: Etapas Envolvidas na Escolha do Método de Análise ou Estabelecimento de Padrões

Fonte: Elaboração própria, baseada em CLASP (2001).

Tais etapas são basicamente três:

- Negociação para cada produto, que envolve o levantamento de informações sobre se o produto é produzido no País, se existem importações desse produto, quais são as características técnicas dos aparelhos, etc.

- Se um determinado produto ainda não possui selo de eficiência energética e/ou padrão, é recomendado se fazer uma análise simplificada¹⁸. Caso contrário, se passa para a etapa seguinte.
- A segunda questão a ser respondida é se, dispõe-se, de dados sobre o projeto do produto. Não sendo possível se obter esses dados junto aos fabricantes, a análise estatística é escolhida para se propor o padrão. Em caso positivo, é escolhida a metodologia de Análise do Custo do Ciclo de Vida – ACCV (análise conjunta de engenharia/economia e período de retorno do investimento).

Para alguns países, pode não ser possível se utilizar todos os passos indicados na Figura 12, devido à não existência de um bom histórico de dados necessários para aplicação dos métodos de Análise Estatística e ACCV. Contudo, pelo menos a análise simplificada deve ser utilizada em qualquer situação.

Para uma boa utilização dos métodos de Análise Estatística ou ACCV e, até mesmo com o método simplificado, é de crucial importância se ter em mente quais são os dados mais importantes para serem coletados. A CLASP (2001) identificou nove categorias de dados necessários para obtenção dos melhores resultados com o uso destes métodos:

- Estrutura do mercado: fabricantes, importadores e redes de distribuição;
- Percentagem de residências que possuem produtos com maior consumo de energia;
- Consumo unitário de energia dos modelos existentes para cada classe destes produtos;
- Histórico anual de exportação destes produtos;
- Tempo de vida útil média destes produtos;

¹⁸ Esta análise consiste numa análise técnico-econômica simplificada, ou seja, coleta-se alguns modelos de um dado produto que é vendido no mercado e faz-se a comparação de desempenho energético entre eles. O próximo passo é a comparação do período de retorno do investimento dos produtos analisados. O produto que apresentar o melhor desempenho energético e o melhor período de retorno do investimento é escolhido como modelo base para a implantação do primeiro selo de eficiência e/ou padrão.

- Consumo unitário de energia dos modelos, ou tecnologias, mais eficientes para cada tipo de produto;
- Custos incrementais para os consumidores dos modelos, ou tecnologias, mais eficientes, relativos aos modelos de referência;
- Custo médio da energia consumida (por exemplo, custo da eletricidade por kWh); e
- Taxa de desconto real para o consumidor.

Depois dos vários passos terem sido completados e documentados o órgão do governo responsável pela implementação deve possuir os custos e benefícios de cada alternativa e, então, decidir qual nível de padrão será implementado. Finalmente, faz-se a publicação no diário oficial da equação geral (ou valor do índice de eficiência energética obtida através desta equação) obtida para o padrão e dos procedimentos requeridos para submissão ao programa de eficiência energética associado ao padrão.

A seguir são descritas as metodologias de Análise do Custo do Ciclo de Vida e Análise Estatística, que são posteriormente aplicadas, no capítulo 4 no estudo de caso desta dissertação.

3.2 Análise do Custo do Ciclo de Vida

O U.S. DOE (Departamento de Energia do governo Norte Americano) vem utilizando as técnicas de análise de engenharia/economia (denominada ACCV) desde 1979 para estabelecer os padrões de eficiência energética dos equipamentos e aparelhos consumidores de eletricidade no País (CLASP, 2001).

A Análise do Custo do Ciclo de Vida – ACCV de um dado produto e/ou sistema tem sido cada vez mais empregada. Ela vem auxiliando as decisões tomadas durante o planejamento de cada produto, transformando-se, desta forma, em uma parte importante do projeto deste produto. Estas decisões relacionam-se com o sistema operacional, desempenho e manutenção do produto, número de unidades a serem produzidas, fator de utilização, suporte logístico, etc. (FABRYCKY *and* BLANCHARD, 1991).

A metodologia de Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) utiliza a fusão de três técnicas distintas e conhecidas, que são: o Custo do Ciclo de Vida (DOE, 1995; CLASP, 2001; FABRYCKY *and* BLANCHARD, 1991e QUEIROZ *et al*, 2003); a Análise de Engenharia/Economia (DOE, 1995; CLASP, 2001; FABRYCKY *and* BLANCHARD, 1991; KAPLAN, 1993, QUEIROZ *et al*, 2003); e o Período de Retorno do Investimento (*Payback Period*) (DOE, 1995 e CLASP, 2001).

3.2.1 Análise de Engenharia/Economia

Antes de descrever as técnicas econômicas, é necessário primeiro se fazer uma Análise de Engenharia para cada produto que será analisado sobre a ótica da ACCV. Para ocorrer um aumento de eficiência em um produto (por exemplo, o refrigerador de uma porta, foco do estudo dessa dissertação) é indispensável conhecer cada parte e seu funcionamento (ver Anexo I – Aspectos Técnicos do Refrigerador), para que, posteriormente, sejam estimados os custos de produção, manutenção e instalação dos aparelhos mais eficientes. Segundo a CLASP (2001), a Análise de Engenharia pode ser descrita em 7 etapas:

- Seleção do tipo do aparelho ou equipamento; Neste trabalho o aparelho analisado é o refrigerador de uma porta;
- Seleção dos modelos base¹⁹;
- Seleção das opções de projeto²⁰ para cada classe;
- Cálculo do ganho de eficiência para cada opção de projeto;
- Combinação das opções de projeto e cálculo do ganho de eficiência;
- Desenvolvimento das estimativas de custos (incluindo instalação e manutenção) para cada opção de projeto; e
- Geração das curvas de custo-eficiência.

¹⁹ Os modelos base são os aparelhos que servirão de referência para a realização das comparações feitas com os modelos modificados.

²⁰ Opções de projetos são os tipos de inovações que poderão ser feitas no aparelho.

Para uma melhor compreensão, a Figura 13 é usada como exemplo de um resultado da análise de engenharia/economia (CLASP, 2001).

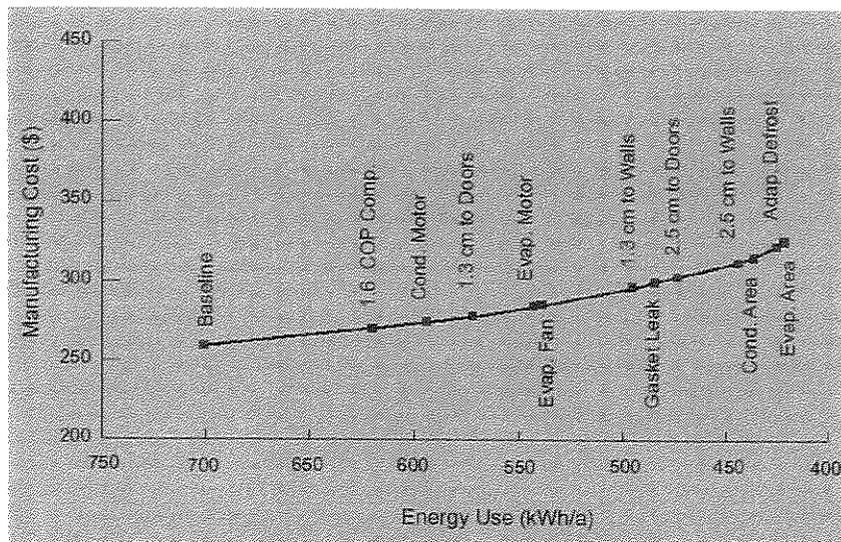


Figura 13: Exemplo de Dados para Análise de Engenharia/Economia do Refrigerador-Freezer Auto-Defrost, nos EUA

Fonte: CLASP (2001).

O aparelho usado neste exemplo é um refrigerador-freezer *auto-defrost* de 515 litros. A Análise de Engenharia feita neste aparelho foi usada como base no consenso de padrões de eficiência estabelecido pelo U.S. DOE para julho de 2001. O custo para o produtor (*Manufacturing Cost* – eixo Y, em Dólares) é traçado em função do consumo anual da energia elétrica (*Energy Use* – eixo X, em kWh/ano) do refrigerador. Note-se que, conforme a eficiência do aparelho aumenta (diminuição do consumo de energia elétrica), o seu custo de produção aumenta. Partindo do modelo base (*Baseline*), as inovações (opções de projeto) feitas neste aparelho foram:

- (i) *1.6 COP Comp* – aumento na eficiência do compressor; a eficiência é aumentada de um coeficiente de desempenho, COP – *Coefficient of Performance*, de 1,27 para 1,60, ou de uma relação energia-eficiência, EER, de 4,70 para 5,45;
- (ii) aumento da espessura do isolante térmico nas portas (*1.3 cm To Doors*) e paredes (*1.3 cm To Walls*) do refrigerador; a espessura do isolante térmico é inicialmente aumentada de 3,8 para 5,1 cm e, posteriormente de 5,1 cm para 6,3 cm;

- (iii) aumento na eficiência do motor do ventilador do evaporador (*Evap. Motor*), do próprio ventilador do evaporador (*Evap. Fan*) e do motor do ventilado do condensador (*Cond. Motor*) – todas as eficiências foram aumentadas até seus consumos de potência diminuïrem de 9,1 W e 12,0 W, respectivamente, para 4,5 W cada;
- (iv) aumento da área do condensador (*Cond. Area*) e do evaporador (*Evap. Area*);
- (v) melhoramento na vedação das portas (*gasket heat leak* – perda de calor pela vedação);
e
- (vi) adaptação do *auto-defrost* (degelo automático).

A Figura 14 apresenta um desenho esquemático das partes do refrigerador que envolvem as melhorias técnicas citadas.

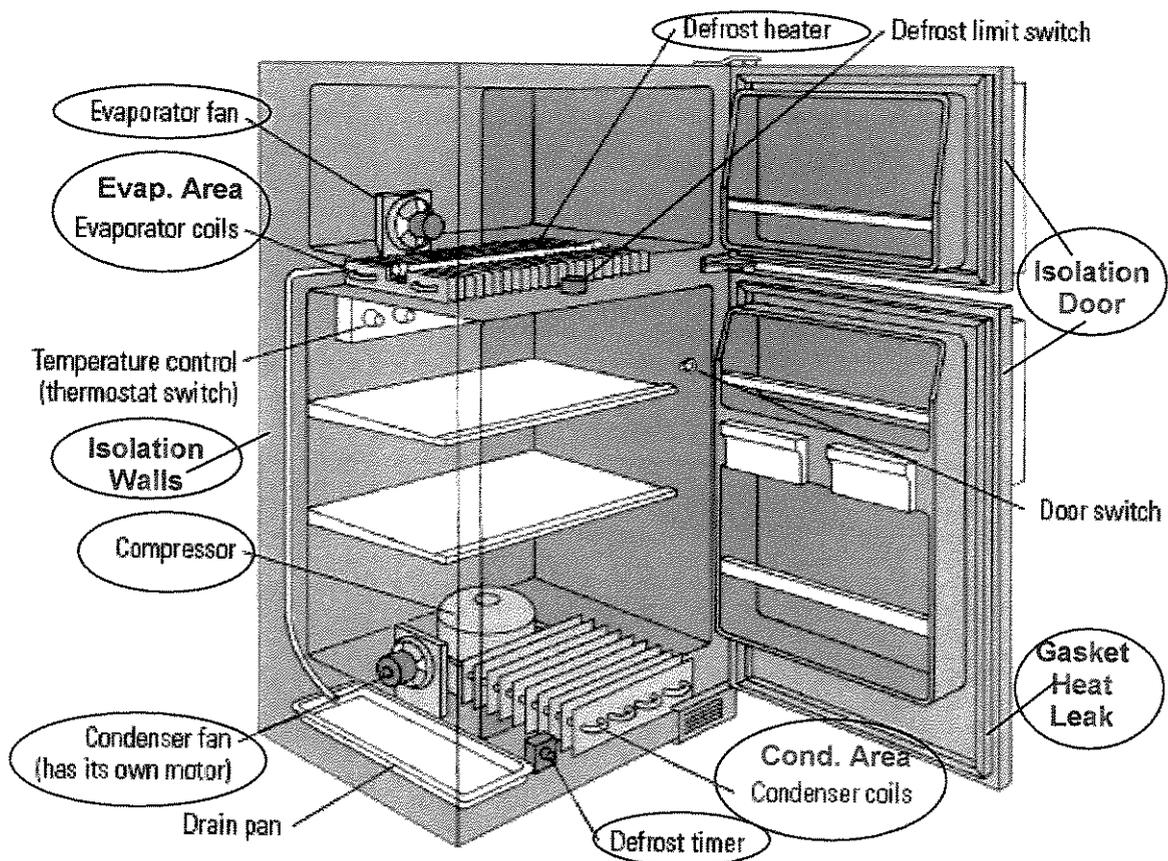


Figura 14: Desenho Esquemático de um Refrigerador-Freezer Auto-Defrost

Fonte: George *et al* (1996).

Observe-se que a Análise de Engenharia não implica em que os fabricantes atinjam o padrão estabelecido usando apenas as opções técnicas utilizadas na análise; ela simplesmente assegura que existe, pelo menos, um caminho prático para se atingir os padrões de eficiência energética fixados.

3.2.2 Custo do Ciclo de Vida - CCV

Uma recente combinação de tendências econômicas, aumento da inflação, taxa de juros, crescimento nos custos dos produtos, uma contínua redução no poder de compra, orçamentos cada vez mais limitados, aumento da competição, etc. têm despertado uma maior atenção com relação aos custos totais dos produtos. Não somente os custos de aquisição associados com melhoramentos dos produtos e linhas de produção, mas também os custos de operação e manutenção dos produtos já em uso (que devem ser inseridos nos cálculos). Segundo Fabrycky *and* Blanchard (1991), estes atributos são primariamente uma combinação de inflação e crescimento de custos causados, devidos, por exemplo:

- Ao crescimento dos custos devido à baixa qualidade energética (por exemplo, ausência de projetos de eficiência energética) dos produtos em uso;
- Ao crescimento dos custos devido às mudanças de engenharia ocorridas em todo o projeto e desenvolvimento de um produto (por exemplo, propostas de melhoramento de desempenho, no aumento de capacidade, etc.);
- Ao crescimento dos custos devido às mudanças de fornecedores de componentes utilizados na montagem do produto final;
- Ao crescimento dos custos devido às mudanças no processo produtivo e/ou construção de um novo processo de produção;
- Ao crescimento dos custos devido à mudança do suporte logístico; e
- Ao crescimento dos custos devido a problemas imprevistos.

A aplicação da metodologia ACCV no projeto e desenvolvimento de produtos proporciona o aperfeiçoamento destes produtos. A ACCV pode ser definida como uma análise

sistemática do processo de avaliação de várias alternativas em andamento e de ações cujo objetivo é selecionar o melhor caminho para empregar os recursos disponíveis (FABRYCKY and BLANCHARD, 1991).

O CCV é a somatória do preço de compra (P) e dos custos operacionais anuais (CO) descontados ao longo da vida útil (N, expresso em anos) do aparelho ou equipamento (DOE, 1995), conforme ilustrado na Figura 15.

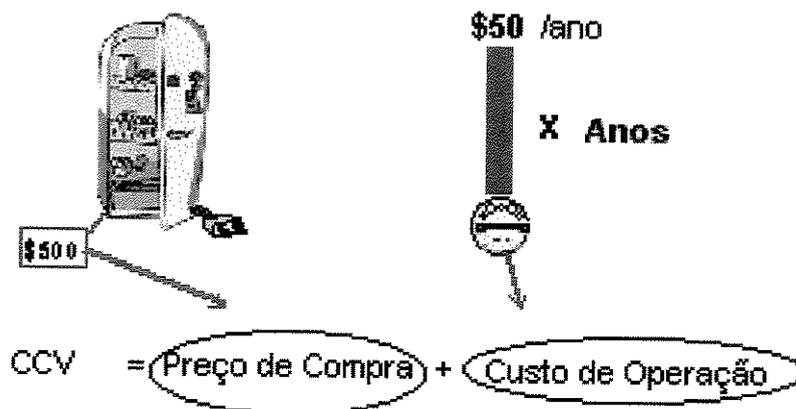


Figura 15: Custo do Ciclo de Vida – CCV

Fonte: Queiroz (2004)

O exemplo da Figura 16 mostra os resultados do CCV para dois grupos de padrões dos Estados Unidos para o refrigerador-*freezer* modelos *auto-defrost* e *top-mount* (CLASP, 2001).

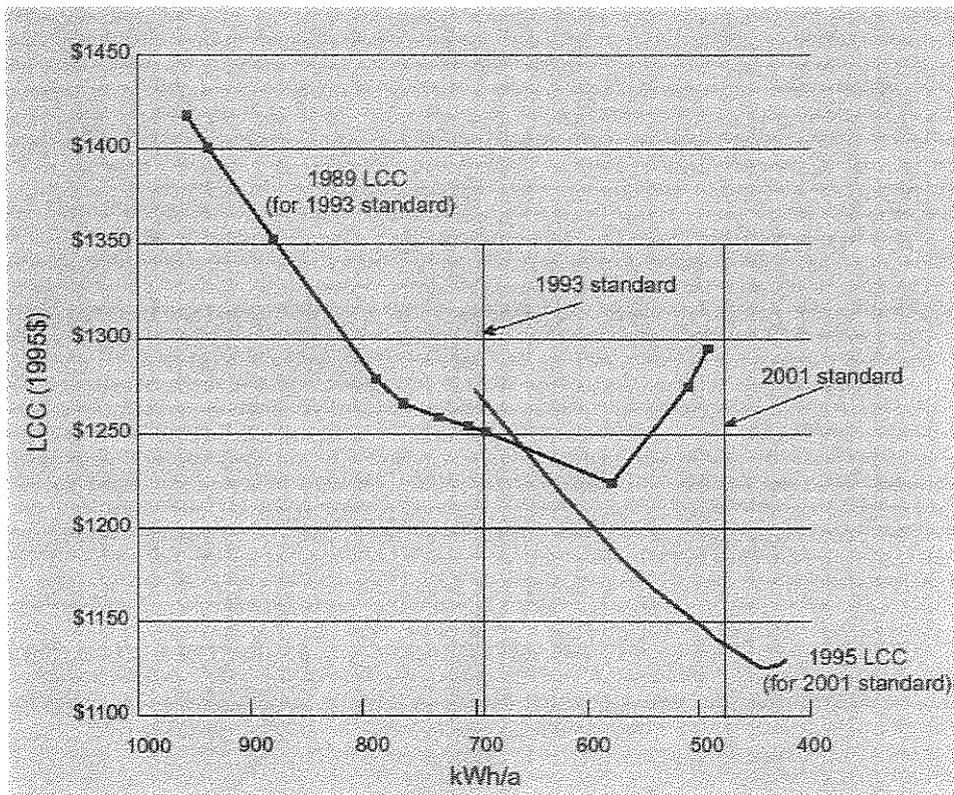


Figura 16: Curva da Análise Custo do Ciclo de Vida (*Life Cycle Cost Analysis - LCCA*) Versus Consumo Anual de Energia

Fonte: CLASP (2001)

Na Figura 16 encontra-se ilustrado também o MEPS (*Minimum Energy Performance Standards*, no MEPS o consumidor recebe o maior benefício²¹) e os padrões de eficiência energética utilizados nos Estados Unidos. A curva de 1989 foi usada pelo U.S. DOE como parte das bases para selecionar padrões efetivos para 1993. A curva de 1995 foi usada pelos negociadores para determinar padrões consensuais para 2001. No último caso, o CCV mínimo ocorre por volta de 450 kWh/ano. Porém, o mínimo CCV nem sempre é o escolhido para um novo padrão, porque muitos outros fatores devem ser considerados. Isto se verifica no caso exemplificado (Figura 16) do MEPS de 1993 que se situava em torno de 600 kWh/ano e que resultou num padrão próximo aos 700 kWh/ano. É necessário levar em consideração fatores como, por exemplo, o custo de manutenção e instalação dos equipamentos mais eficientes;

²¹ O consumidor recebe maior benefício porque o MEPS representa o ponto de mínimo na curva do CCV *versus* o consumo anual de energia. Desta forma, quando o MEPS é escolhido, o aparelho ou equipamento, apresenta o seu menor custo para o consumidor durante a sua vida útil. O MEPS é apresentado com maior detalhamento mais a frente.

inovações tecnológicas que envolvem o uso de circuitos elétricos e mecanismos (por exemplo, microprocessadores, atuadores, sensores, etc.) que aumentam mais o custo de manutenção do que inovações passivas (por exemplo, o aumento da isolamento térmica através do uso de novos materiais), tanto do refrigerador quanto de qualquer outro equipamento elétrico e/ou eletrodomésticos (JANNUZZI *et al*, 2003). As inovações que são utilizadas para o estudo de caso estão apresentadas no capítulo 4 e os aspectos técnicos do refrigerador no Anexo I.

3.2.3 Período de Retorno do Investimento

O período de retorno do investimento (*Payback Period*) possibilita calcular a quantidade de tempo necessária para se recuperar o investimento adicional do consumidor (P) em um modelo mais eficiente com menores custos operacionais (CO), devido à maior eficiência energética. Segundo a CLASP (2001), o período de retorno é a relação do aumento do preço de compra e do custo de instalação (do modelo base para os casos analisados) pela diminuição das despesas operacionais anuais (incluindo energia elétrica e manutenção).

Por exemplo, se o aumento do preço para uma unidade mais eficiente é \$30 unidades monetárias e o ganho com a economia de energia devido ao aumento dessa eficiência é de \$10 unidades monetárias por ano, o período de retorno do investimento é de 3 anos. Contudo, a vida útil de um aparelho (por exemplo, um refrigerador) pode ser de muitos anos. Desta forma, a obtenção de um período de retorno menor que o tempo de vida útil dos aparelhos significa que o aumento no preço de compra é recuperado com a redução nas despesas de operação (consumo de eletricidade) e manutenção ainda dentro do ciclo de vida do produto (DOE, 1995 e JANNUZZI *et al*, 2003).

O *payback period* é calculado para cada opção de projeto relativo ao modelo base da análise de engenharia, sendo em geral usado na avaliação da viabilidade de padrões de eficiência energética.

A Figura 17 mostra o *payback period* aplicado às várias opções de projeto apresentadas na Figura 13.

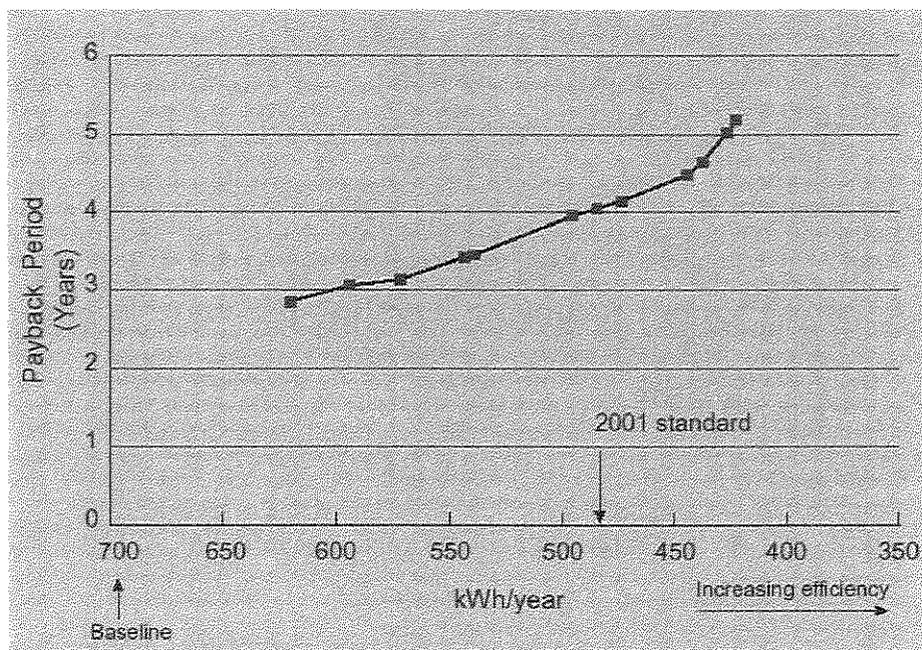


Figura 17: Período de Retorno do Investimento, em anos, Versus Aumento da Eficiência, em kWh/ano, para o Refrigerador-Freezer Auto-Defrost

Fonte: CLASP (2001)

O exemplo Figura 17 apresenta um *payback period* aproximado de 4 anos para o padrão de 2001. Este é o tempo necessário para que os investimentos realizados com a implantação do padrão de eficiência energética escolhido sejam recuperados. O próximo passo para se viabilizar o projeto é comparar o *payback period* com a vida útil do refrigerador. Se o período de retorno do investimento for menor que a vida útil do refrigerador, o projeto é viável. Contudo, um outro fator também deve ser analisado, o seu Custo do Ciclo de Vida (CCV) deve ser menor que o CCV do modelo base (refrigerador sem inovação).

3.2.4 Descrição da Metodologia da ACCV

Conforme já foi comentado anteriormente, a metodologia de Análise do Custo do Ciclo de Vida, é a fusão de três técnicas conhecidas, sendo elas a Análise de Engenharia/Economia (busca de inovações tecnológicas), o Custo do Ciclo de Vida e o *Payback Period*.

Indica-se a seguir, a seqüência de cálculos da metodologia em etapas efetuadas após a finalização da Análise de Engenharia, denominada aqui de Etapa 0, em que são simuladas as possíveis inovações tecnológicas nos equipamentos analisados.

Etapa 1 – o Custo do Ciclo de Vida (CCV) é o gasto total do consumidor ao longo da vida do equipamento, incluindo não só o preço de compra, mas também os custos operacionais (consumo de energia elétrica e manutenção) descontados pelo tempo de compra do produto (Equação 1).

$$CCV = P_{in} + \sum_{t=1}^N \frac{CO_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

Onde,

$$P_{in} = P + CI \quad (2)$$

- P_{in} = Preço de compra a varejo somado ao custo por inovação;
- P = Preço de compra a varejo do produto base (valor para o consumidor);
- CO = Custos operacionais anuais (valor pago pelo consumo de eletricidade, etc.);
- r = Taxa de desconto real para o consumidor;
- t = Período de tempo, em anos desde a compra do produto;
- N = Vida útil do produto (expresso em anos); e
- CI = Custo da inovação sendo analisada.

Assumindo que os custos de operação não variam, obtém-se a Equação 3:

$$CCV = P_{in} + \sum_{t=1}^N \frac{1}{(1+r)^t} * CO \quad (3)$$

A expressão 4 é denominada Fator de Recuperação do Capital (FRC) (KAPLAN, 1983):

$$\sum_{t=1}^N \frac{1}{(1+r)^t} = \frac{1}{r} \left(1 - \frac{1}{(1+r)^N} \right) = FRC \quad (4)$$

Substituindo, então, a Equação 4 na Equação 3, obtém-se a Equação 5.

$$CCV = P_{in} + FRC * CO \quad (5)$$

Etapa 2 – após determinar o CCV do produto (diferente para cada opção de inovação) é calculado o período de retorno do investimento (*Payback Period* = PAY). O PAY fornece o tempo necessário para que o consumidor recupere o investimento adicional decorrente do aumento de eficiência, graças aos menores custos de operação dos aparelhos e equipamentos.

O PAY é obtido através da resolução da Equação 6 (DOE, 1995).

$$CI + \sum_1^{PAY} \Delta CO_t = 0 \quad (6)$$

O ΔCO é a diferença dos custos de operação antes e após a inserção da inovação sendo analisada. Assumindo que a diferença do custo de operação (ΔCO) se mantém constante no tempo (t), a expressão passa a ter uma solução simples, do tipo:

$$PAY = - \left(\frac{CI}{\Delta CO} \right) \quad (7)$$

Finalmente, o Custo da Energia Conservada (CEC) é o custo da inovação analisada (CI), amortizado durante a vida útil do equipamento considerado dividido pela economia anual de energia (ΔE)²², conforme descrito pela Equação 8.

$$CEC = \left(\frac{FRC * CI}{\Delta E} \right) \quad (8)$$

Onde,

$$\Delta E = (E_{CasoBase} - E_{ModeloMelhorado}) \quad (9)$$

²² A economia de energia anual (ΔE) é obtida pela diferença entre o consumo de energia, em kWh/ano, do caso base (modelo sem inovação tecnológica) e o consumo de energia, em kWh/ano, do modelo melhorado (modelo com inovação tecnológica).

O Fator de Recuperação de Capital (FRC) é usado para pôr os custos de capital em uma base anual. O consumidor sempre será beneficiado quando o CEC for menor que a tarifa da energia elétrica (valor cobrado pelas distribuidoras pelo kWh).

Seqüência de Etapas para se Analisar Inovações Tecnológicas em Refrigeradores

Etapa 1 – Entrada de Dados

Esta etapa consiste em coletar todos os dados necessários para aplicação da ACCV.

- Seleção do tipo de aparelho;
- Seleção do modelo base e o seu preço no mercado. Indica-se, também, o volume (litros) do modelo;
- Seleção das opções de projeto para cada classe e do custo por opção de projeto. Esta seleção refere-se a possíveis melhorias, ocorridas no refrigerador, simuladas em *softwares* específicos e seus respectivos custos (por exemplo, em Reais);
- Seleção da taxa de retorno do investimento;
- Seleção da fatia de mercado (*Market Share*) dos fabricantes de refrigeradores;
- Definição da vida útil do aparelho; e
- Seleção da tarifa de energia elétrica.

Etapa 2 – Cálculos

Esta etapa consiste em desenvolver diversos cálculos para a obtenção, na etapa 3, dos resultados desejados.

- Cálculo do ganho de eficiência para cada opção de projeto. Simulações de melhorias tecnológicas por *softwares* específicos, como, por exemplo, o *E.R.A – EPA Refrigerator Analysis* (MERIAN *et al*, 1993);
- Combinações das opções de projeto e cálculo dos respectivos ganhos de eficiência;

- Cálculo da economia de energia elétrica, em kWh, decorrente do aumento de eficiência dos refrigeradores ao longo de sua vida útil;
- Cálculo da economia, em Reais, referente à redução do custo de operação (conta de energia elétrica);
- Cálculos das emissões de CO₂²³ evitadas (equação 10), ou melhor, não lançados ao meio ambiente decorrente da economia de energia elétrica alcançada;
- Cálculo do ganho, em Reais, de uma possível venda de crédito de carbono, através do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), associada ao aumento de eficiência dos refrigeradores;
- Análise de sensibilidade do CCV associada a possíveis variações na tarifa de energia elétrica; e
- Cálculo do período de retorno do investimento (*Payback Period*).

Os cálculos da emissão de CO₂ são feitos utilizando a seguinte equação:

$$FE = \frac{(PCI * FEC * FCC * FO)}{\eta_T} \quad (10)$$

Onde,

- FE= Fator de Emissão da Termelétrica (tCO₂/MWh);
- PCI= Poder Calorífico Inferior do Combustível;
- FEC= Fator de Emissão do Combustível (tC/TJ);
- FCC= Fator de Conversão de tC para tCO₂;
- FO= Fator de Oxidação do Combustível; e
- η_T = Eficiência da Termelétrica (%).

Fonte: IPCC (1996)

Etapa 3 – Resultados

Nesta etapa são apresentados os vários resultados que podem ser alcançados com a aplicação da ACCV.

- Curvas custo-eficiência (CCV);
- Curvas de período de retorno;
- Curvas de custos para o fabricante e para o consumidor;

²³ As emissões evitadas de CO₂ referem-se, neste trabalho, a emissões de termelétricas a gás natural que não serão construídas por conta da redução da demanda de eletricidade, ocasionada pelo aumento de eficiência dos refrigeradores de uma porta brasileiros.

- Curvas de economia de energia/ano;
- Curvas de custo operacional economizado/ano;
- Curvas de emissões de CO₂ evitadas/ano;
- Curvas de ganhos com a venda de créditos de carbono acumulado/ano;
- Obtenção do MEPS – Padrão Mínimo de Eficiência Energética; e
- Geração de tabelas com Índices de Eficiência Energética (IEE) para o MEPS encontrado.

Alternativamente, quando não se é possível coletar os dados exigidos anteriormente (dados técnicos de inovações, custos, etc.), pode-se recorrer a uma análise mais simplificada, como por exemplo, à metodologia de Análise Estatística, apresentada a seguir.

3.3 Análise Estatística

A aproximação estatística é, também, um método utilizado para indicar o nível desejável de consumo de energia elétrica em propostas de implantação de padrões de eficiência energética para eletrodomésticos e outros equipamentos. As etapas envolvidas na Análise Estatística são descritas a seguir:

3.3.1 Etapa 1 – Entrada de Dados

Esta etapa consiste em se coletar todos os dados necessários para aplicação da metodologia Análise Estatística:

- Seleção de dados dos modelos escolhidos que existem no mercado. Estes modelos podem ser os participantes do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE através dos Selos PROCEL/INMETRO. Os dados podem ser encontrados, por exemplo, no site do PROCEL/INMETRO (por exemplo, volume ajustado no caso de um refrigerador, consumo, classe de eficiência, etc.);

- Seleção das fatias de mercado de cada fabricante de refrigerador que estiverem incluídos no estudo;
- Seleção de dados referentes aos refrigeradores existentes nas residências brasileiras; e
- Seleção da tarifa de energia elétrica e dos fatores de conversão, por exemplo, do gás natural/eletricidade/emissão de CO₂ (geração de eletricidade oriunda de termelétricas).

3.3.2 Etapa 2 – Cálculo

Esta etapa consiste em desenvolver uma seqüência de cálculos para obtenção dos resultados desejados:

- Colocar em um gráfico os consumidores de energia elétrica, em kWh/ano, *versus* o volume ajustado de todos os modelos de refrigeradores coletados. Fazer regressões lineares dos pontos plotados;
- Calcular a equação da reta que representa os refrigeradores de consumo médio de eletricidade no mercado;
- Fazer simulações de melhorias de eficiência nos refrigeradores, trazendo os menos eficientes (refrigeradores que possuem um consumo, em kWh/ano, superior à média de mercado) para cima da reta do consumo médio do mercado de refrigeradores. Uma alternativa poderia ser substituir os refrigeradores menos eficientes (dispostos acima da reta plotada da média do consumo do mercado) por refrigeradores mais eficientes, dispostos abaixo da reta plotada, conforme sugerido por GEA (1993).
- Contudo, neste trabalho, é utilizada a primeira alternativa, denominada aqui de “Ajuste de Mercado”. A descrição detalhada dos cálculos para obtenção do ajuste de mercado é apresentada no capítulo 4;
- Calcular a economia de energia elétrica, em kWh/ano, decorrente do aumento de eficiência dos refrigeradores ao longo de sua vida útil;

- Calcular a economia, em Reais, associada à redução do custo de operação (conta de energia elétrica);
- Calcular as emissões de CO₂ evitadas, ou melhor, não lançados ao meio ambiente, decorrente da economia de energia elétrica alcançada; e
- Calcular o ganho, em Reais, de uma possível venda de créditos de carbono no contexto do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

3.3.3 Etapa 3 – Resultados

A etapa 3 apresenta os resultados que podem ser obtidos com a aplicação da metodologia de Análise Estatística.

- Curvas de economia de energia/ano;
- Curvas de custo operacional economizado/ano;
- Curvas de emissões de CO₂ evitadas/ano;
- Curva de ganho com a venda de créditos de carbono acumulados/ano; e,
- Geração de tabelas com os Índices de Eficiência Energética (IEE – EER) para cada padrão sugerido.

Todos estes resultados projetados pela Análise Estatística podem auxiliar na aprovação de programas de eficiência energética, quando não for possível obtê-los através da Análise do Custo do Ciclo de Vida – ACCV.

3.3.4 Um Exemplo de Aplicação

Para exemplificar, o GEA (*Group for Efficient Appliance*) utilizou, em 1992, a opção da metodologia de Análise Estatística para chegar ao nível desejado de uma proposta de padrão, na Comunidade Européia, para refrigeradores-*freezers* 3 estrelas²⁴. Foi plotado o volume ajustado (VA), contabilizaram-se os diferentes consumos de energia elétrica (proporcionais ao VA) nos compartimentos do *freezer* e de alimentos frescos nos refrigeradores, refrigeradores-*freezers* e *freezer*. A Figura 18 mostra a Análise Estatística realizada (CLASP, 2001).

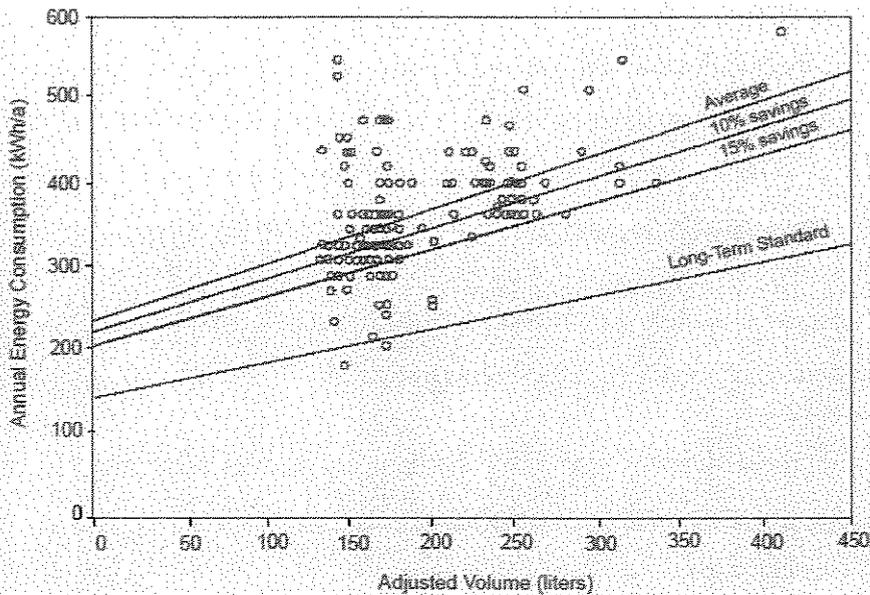


Figura 18: Modelo Estatístico Aplicado aos Refrigeradores-*Freezers* da Comunidade Européia

Fonte: CLASP (2001)

O consumo de eletricidade é plotado como função do volume ajustado. O volume ajustado é utilizado para contabilizar diferentes consumos, proporcionais às temperaturas internas dos compartimentos (*freezer* e alimentos frescos). Para esta classe de produto, foi encontrada a seguinte expressão:

$$AV = Vol.refrigerador + 2,15 * Vol.freezer \quad (\text{Volume em litros}) \quad (11)$$

²⁴ Os refrigeradores são classificados em conformidade com o padrão técnico ISO 7371, referência ISO (1998). Podem ser refrigeradores de 1, 2 ou 3 estrelas, de acordo com a temperatura dentro do gabinete do refrigerador e no compartimento de baixa temperatura (congelador). Modelos com temperaturas mais baixas recebem maiores números de estrelas. Sendo assim, os refrigeradores de 1 estrela atingem uma temperatura aproximada no evaporador de -6 °C, os de 2 estrelas -12 °C e os de 3 estrelas -18 °C.

As retas mostradas na Figura 18 representam o consumo médio de energia elétrica, obtido através de uma análise de regressão de todos os dados apontados, uma reta de economia de energia de 10%, uma reta de economia de energia de 15% e uma reta para um padrão a longo prazo (obtida pelo método da economia/engenharia). Após o cálculo da linha de regressão (*Average*), a reta que representa os modelos com eficiência energética média é encontrada. Desta forma, a economia de energia, em kWh/ano, para o modelo de maior eficiência é calculada (*10% savings*) e, portanto, as economias de energia, em kWh/ano, são agregadas até atingirem a meta total pré-estabelecida (*15% savings*).

Um Padrão de eficiência foi definido como a porcentagem pela qual o consumo de energia de cada modelo está acima ou abaixo da linha de referência (chamada aqui de “Ajuste de Mercado”). O GEA estudou quatro dos muitos caminhos possíveis para substituir os modelos menos eficientes pelos mais eficientes:

- Substituir cada modelo por uma unidade fictícia de similar volume ajustado e com o mais próximo índice de eficiência energética;
- Substituir cada modelo por uma unidade existente com o mais próximo volume ajustado e índice de eficiência energética;
- Substituir cada modelo por uma unidade fictícia com um volume ajustado e um índice de eficiência energética, ambos calculados pelas médias das outras unidades com o mesmo intervalo de volume ajustado; ou
- Substituir cada modelo por uma unidade fictícia de similar volume ajustado e com a maior eficiência energética entre todas as unidades pertencentes ao mesmo intervalo de volume (o intervalo de volume sendo arbitrário, mas não muito grande).

A análise apresentada como exemplo utilizou o quarto caminho para constatar que o mesmo representava o comportamento da indústria de aparelhos no processo de substituição de aparelhos ineficientes por unidades mais eficientes (CLASP, 2001).

3.3.5 ACCV *versus* Análise Estatística

A ACCV é uma metodologia mais complexa que a Análise Estatística, pois requer uma grande disponibilidade de dados e a participação de especialistas. Depende, também, de um histórico de dados fornecidos ao governo pelos fabricantes e a necessidade de mútuo comprometimento entre governo, fabricantes e consumidores perante o programa de padrões mínimos de eficiência energética. Usualmente resulta da ACCV um padrão mais “apertado” do que aquele obtido usando a metodologia de Análise Estatística. A metodologia de Análise Estatística pode ser usada para simplesmente estipular um acréscimo na eficiência média dos produtos para periodicamente eliminar os 10, 20 ou 50% dos produtos menos eficientes, não garantindo que o padrão de mínimo consumo de energia adotado seja, ou se aproxime do ideal. Portanto, a ACCV é uma metodologia mais vantajosa do que a Análise Estatística usada para estipular os níveis de padrões mínimos de consumo, pois permite estimar a eficiência correspondente ao custo total mínimo e, também, os benefícios aos consumidores (BIERMAYER, 2001).

Estas metodologias, Análise Estatística e ACCV, descritas neste capítulo, são aplicadas em um estudo de caso, no capítulo 4 quando são simuladas possíveis inserções de padrões mínimos de eficiência energética para refrigeradores de uma porta no Brasil.

Capítulo 4

Estudo de Caso

Este capítulo tem como principal objetivo a aplicação das metodologias descritas no capítulo anterior para exemplificar sua aplicação e auxiliar a obtenção de padrões mínimos de eficiência energética para refrigeradores brasileiros de uma porta. Como apresentado anteriormente no capítulo 3, há uma grande distinção entre as metodologias Análise Estatística e Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV). Esta diferença se dá, desde a escolha dos dados coletados para realização dos cálculos até a obtenção dos resultados finais. Dessa maneira, as duas metodologias aparecem separadas neste capítulo. O estudo de caso está dividido em cinco partes principais: É descrito como e onde foram coletados os dados para Análise Estatística; É apresentada toda a seqüência de cálculos até a obtenção dos resultados da Análise Estatística; É descrito onde e como foram coletados os dados da ACCV e sua seqüência de cálculos; São apresentados os padrões e seus respectivos Índices de Eficiência Energética (IEE) para toda a classe de refrigeradores de uma porta no Brasil, sendo, novamente, separados por sugestões de padrões propostos com base na Análise Estatística e na Análise do Custo do Ciclo de Vida.

4.1 Dados Utilizados na Análise Estatística

Os dados coletados para a realização dos cálculos estatísticos seguem a mesma seqüência da etapa 1 – Entrada de Dados já citada no capítulo 3, e apresentada a seguir.

4.1.1 Seleção dos Dados dos Modelos Escolhidos que Existem no Mercado

Os modelos de refrigeradores coletados para este estudo de caso participam do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, através dos Selos PROCEL/INMETRO. Os dados destes modelos podem ser encontrados no portal do PROCEL/INMETRO. Estes estão apresentados na Tabela 8 e nela estão somente representados os refrigeradores de uma porta comercializados no Brasil. Os outros modelos existentes foram excluídos por não fazerem parte do estudo de caso.

Tabela 8: Refrigeradores de uma Porta que Participam do PBE (Selos PROCEL/INMETRO) Ano 2004-2005

MARCA	MODELO	Volume Interno			VOLUME AJUSTADO (VA)	Consumo de Energia (kWh/mês)		Consumo de Energia (kWh/ano)		(**) Classe	
		Refrigerador	Congelador	Total		(*) 1,42	127 V	220 V	127 V		220 V
ELECTROLUX	RE29	237	26	263	274	24,80	24,80	297,60	297,60	A	
ELECTROLUX	R250	214	26	240	251	24,10	24,10	289,20	289,20	A	
ELECTROLUX	RE26	214	26	240	251	24,10	24,10	289,20	289,20	A	
ELECTROLUX	R280	237	26	263	274	24,80	24,80	297,60	297,60	A	
ELECTROLUX	RDE32	263	31	294	307	25,70	25,70	308,40	308,40	A	
ELECTROLUX	RDE34	286	31	317	330	26,50	26,50	318,00	318,00	A	
ELECTROLUX	RDE37	312	31	343	356	27,30	27,30	327,60	327,60	A	
ELECTROLUX	RE37B	312	32	344	357	29,70	29,70	356,40	356,40	B	
ELECTROLUX	R130	119	16	135	142	20,80	20,80	249,60	249,60	A	
ELECTROLUX	REP32	263	31	294	307	25,70	25,70	308,40	308,40	A	
BRASTEMP	BRF36C	330	0	330	330	26,50	26,50	318,00	318,00	A	
BRASTEMP	BRF36R	330	0	330	330	26,50	26,50	318,00	318,00	A	
BRASTEMP	BRF36T	330	0	330	330	26,50	26,50	318,00	318,00	A	
BRASTEMP	BRF36L	330	0	330	330	26,50	26,50	318,00	318,00	A	
BRASTEMP	BRF36Y	330	0	330	330	26,50	26,50	318,00	318,00	A	
BRASTEMP	BRF36Z	330	0	330	330	26,50	26,50	318,00	318,00	A	
BRASTEMP	BRA31A	253	33	286	300	32,00	32,00	384,00	384,00	D	
BRASTEMP	BRP12P	115	0	115	115	25,00	22,80	300,00	273,60	D	
BRASTEMP	BRA35B	296	33	329	343	36,00	36,00	432,00	432,00	E	
CONSUL	CRA28A	236	25	261	272	23,90	23,90	286,80	286,80	A	
CONSUL	CRA28B	236	25	261	272	23,90	23,90	286,80	286,80	A	
CONSUL	CRC28B	236	25	261	272	23,90	23,90	286,80	286,80	A	
CONSUL	CRA32B	272	30	302	315	24,90	24,90	298,80	298,80	A	
CONSUL	CRA32C	272	30	302	315	24,90	24,90	298,80	298,80	A	
CONSUL	CRP34D	272	30	302	315	24,90	24,90	298,80	298,80	A	
CONSUL	CRC32C	272	30	302	315	24,50	24,50	294,00	294,00	A	
CONSUL	CRA34D	272	30	302	315	24,50	24,50	294,00	294,00	A	
CONSUL	CRA36C	312	30	342	355	26,90	25,60	322,80	307,20	A	
CONSUL	CRP38A	312	30	342	355	26,90	25,60	322,80	307,20	A	
CONSUL	CRA31B	253	33	286	300	32,00	32,00	384,00	384,00	D	
CONSUL	CRC24C	191	22	213	222	30,50	29,10	366,00	349,20	E	
CONTINENTAL	RC27	223	29	252	264	23,70	23,70	284,40	284,40	A	
CONTINENTAL	RSG27	223	29	252	264	23,70	23,70	284,40	284,40	A	
CONTINENTAL	RC30	257	29	286	298	25,50	25,50	306,00	306,00	A	
CONTINENTAL	RSG30	257	29	286	298	25,50	25,50	306,00	306,00	A	
CONTINENTAL	RC37	324	33	357	371	32,30	32,30	387,60	387,60	C	
BOSCH	RB38	367	0	367	367	27,00	27,00	324,00	324,00	A	
BOSCH	KSR39	371	0	371	371	27,00	27,00	324,00	324,00	A	
BOSCH	RB31	297	0	297	297	24,50	24,50	294,00	294,00	A	
BOSCH	KRS31	297	0	297	297	24,50	24,50	294,00	294,00	A	

DAKO	DR320	268	30	298	311	25,90	25,90	310,80	310,80	A
DAKO	DG320	268	30	298	311	25,90	25,90	310,80	310,80	A
DAKO	DR280	224	30	254	267	31,00	31,00	372,00	372,00	D
DAKO	DU330	270	31	301	314	28,40	28,40	340,80	340,80	B
DAKO	DR325	263	30	293	306	30,00	30,00	360,00	360,00	C
DAKO	DR285	224	30	254	267	31,00	31,00	372,00	372,00	D
ESMALTEC	RUP-280	184	53	237	259	22,30	22,30	267,60	267,60	A
ESMALTEC	RUP-340	240	60	300	325	26,40	26,40	316,80	316,80	A
CCE	R280	224	30	254	267	31,00	31,00	372,00	372,00	D
CCE	R310	263	30	293	306	30,00	30,00	360,00	360,00	C
CCE	R320	268	30	298	311	28,20	28,20	338,40	338,40	B
BLUE SKY	R31L	263	30	293	306	30,00	30,00	360,00	360,00	C
SALFER	SF340	268	30	298	311	28,20	28,20	338,40	338,40	B

Fonte: Elaboração própria, baseada em (*) TURIEL²⁵ (1997), INMETRO (2005) e (**) PROCEL (2005).

O próximo passo é escolher os percentuais (estatísticos) referentes ao ganho desejado de eficiência energética dos refrigeradores.

4.1.2 Seleção dos Percentuais (Estatísticos) Referente ao Ganho de Eficiência dos Refrigeradores

Os dados selecionados nesta subseção foram escolhidos seguindo o exemplo da CLASP, já apresentado no capítulo 3 (subseção 3.3.4). Ou seja, a economia de energia para o padrão mínimo de eficiência energética é calculada traçando-se uma curva média de consumo dos modelos escolhidos dos refrigeradores no mercado. As economias de energia, em função desta curva de consumo médio, são agregadas até atingirem a meta total de, por exemplo, 10%, 15%, etc. de economia. Então, os dados resultantes são usados para conduzir novas linhas de regressão. Desta forma, obteve-se, para este estudo de caso, o valor de 12% como ganho de eficiência energética para os refrigeradores de uma porta. A planilha de cálculo para obtenção dos 12% está no Anexo II na dissertação.

O valor do ganho de eficiência energética é calculado colocando em um gráfico os consumos, em kWh/ano, *versus* os volumes ajustados, em litros, de todos os modelos de refrigeradores selecionados na subseção 4.1.1. No passo seguinte se faz a regressão linear, obtendo-se a equação da curva de consumo médio do mercado de refrigeradores de uma porta. Esta curva mostra a necessidade de um aumento médio de 12% na eficiência dos refrigeradores

²⁵ O índice utilizado 1,42 baseado em TURIEL (1997) foi apresentado no capítulo 2.

dispostos acima da curva e que, posteriormente, são trazidos para a mesma, com a implantação do padrão.

A Tabela 9 apresenta os valores propostos de padrões de eficiência energética na classe de refrigeradores de uma porta no Brasil, segundo a metodologia de Análise Estatística.

Tabela 9: Sugestões de Ganho de Eficiência Energética para o Refrigerador de 330 Litros.

Implantação do Padrão	Ganho de Eficiência Calculada para Futura Categoria “G” (Padrão Calculado)	Ganho de Eficiência Sugerida para Futura Categoria “A”
Padrão 1	12%	22%

O valor de 22% significa que o refrigerador deverá melhorar em 10% sua eficiência energética acima da faixa de 12% (média de consumo = Padrão Calculado) para receber o selo PROCEL concedido somente aos aparelhos que atingem a categoria mais alta (“A”) de eficiência.

Isto se dá porque todo o padrão que é calculado e implantado se refere à categoria mais baixa de um selo de eficiência energética de um país, ou seja, no caso brasileiro (Selo PROCEL) esta categoria está referenciada com a letra “G”, como apresentado anteriormente. Por isso, que o Padrão encontrado é chamado de Padrão Mínimo de Eficiência Energética, ou melhor, o aparelho tem que atingir ao menos o mínimo de eficiência estabelecida pelo padrão para ser comercializado em um país que detém de um padrão compulsório.

Seguindo com o processo de escolha dos dados para a realização da Análise Estatística, o próximo passo está diretamente relacionado com as empresas que produzem o refrigerador. Este dado refere-se ao percentual que estas empresas detêm do mercado brasileiro de refrigeradores (*Market Share*).

4.1.3 Seleção das Fatias de Mercado de Cada Fabricante de Refrigerador que Estiverem Incluídos no Estudo

A obtenção da fatia de mercado (*Market Share*²⁶) auxilia no cálculo da média ponderada das médias de consumo (kWh/ano) por marca de refrigerador. A média ponderada é utilizada

²⁶ O *Market Share* apresentado refere-se a todo o universo de refrigeradores produzidos pelos fabricantes, ou seja, não foi possível obter o *market share* somente para o modelo de refrigeradores de uma porta que este estudo considera.

para o cálculo de consumo total (TWh) dos refrigeradores avaliados e considerados como existentes no mercado. Segundo DATAMARK (2005), as fatias do mercado de refrigeradores no Brasil estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10: Fatias de Mercado dos Fabricantes de Refrigeradores no Brasil, no ano 2000

Fabricantes	Fatia do Mercado (<i>Market Share</i>)
Electrolux	29,00%
Multibrás	53,00%
BSH Continental	7,00%
Mabe	11,00%
Total =>	100,00%

Fonte: Elaboração própria, baseada em DATAMARK (12/04/2005)

As fatias de mercado na Tabela 10 são compostas pelas empresas e marcas Electrolux, Multibrás, que é responsável pelas marcas Cònsul e Brastemp, BSH Continental, que é a união das marcas Bosch e Continental e Mabe que é formada pelas marcas CCE, Blue SKY, Salfer, Dako e Esmaltec.

O passo seguinte é se obter o percentual de refrigeradores existentes nas residências brasileiras. Este dado e a descrição de sua utilização são apresentadas na subseção 4.1.4.

4.1.4 Seleção dos Dados Referentes ao Percentual de Refrigeradores Existentes nas Residências Brasileiras

A Tabela 11 apresenta valores referentes à porcentagem de refrigeradores existentes nas residências brasileiras. Estes valores foram obtidos pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, através de sua Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD.

Tabela 11: Porcentagem de Refrigeradores Existentes nas Residências Brasileiras

Séries Históricas do Percentual de Refrigeradores Existentes nas Residências Brasileiras	
Ano	(%) de Refrigeradores/Residência
1992	71,50%
1993	71,80%
1995	82,40%
1996	86,40%
1997	80,30%
1998	81,90%
1999	82,90%
2000	83,20%
2001	85,10%
2002	86,70%
2003	87,30%

Fonte: Elaboração própria, baseada em PNAD (1992, 1993, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2002 e 2003) e CENSO (2000).

A projeção desses dados, juntamente com a projeção do número de residências existentes no Brasil, possibilita estimar o número de refrigeradores em funcionamento existentes no País até 2038. Esta é a data escolhida como horizonte de projeção neste estudo. Este horizonte representa exatamente 30 anos após a data sugerida para a implantação do padrão proposto nesta dissertação, ou seja, 2008. Dessa forma, obtém-se uma perspectiva de longo prazo dos impactos decorrentes da implantação de padrões de eficiência energética no Brasil. Estes valores são mais detalhados mais à frente.

Os últimos dados selecionados são: a tarifa de eletricidade aplicada ao setor residencial no Brasil, os fatores de conversão e de emissão de CO₂ de usinas termelétricas a gás natural, projeções do número de habitantes no Brasil de 2004 a 2038 e o número médio estimado de habitantes por residência brasileira. Estes são dados apresentados a seguir.

4.1.5 Seleção da Tarifa de Energia Elétrica, dos Fatores de Conversão do Gás Natural, de Emissão de CO₂ e de Projeções de Crescimento da População Brasileira

Como, nesta dissertação, as metodologias discutidas objetivam, também, conhecer a economia de energia elétrica, a quantidade de CO₂ não emitida ao ambiente e a possibilidade de ganhos com a venda de créditos de carbono, se torna necessário à obtenção de dados como o valor da tarifa da energia elétrica (acrescida do impostos ICMS de 18%, média) e os fatores de

conversão do gás natural e de emissão de CO₂. A emissão de CO₂ aqui considerada é baseada numa proposta de substituição das termelétricas que queimam gás natural para geração de eletricidade, previstas na expansão do sistema elétrico brasileiro. Valores e fatores de conversão estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Tarifa de Eletricidade e Fatores de Conversão e de Emissão de CO₂

Tarifa de Energia Elétrica em R\$/MWh com ICMS médio de 18% =>				(*) R\$ 316,59 ²⁷	(**) 1 Dólar = R\$ 2,76
COMBUSTÍVEL	FATOR DE CONVERSÃO (TWh p/ T.J)	FATOR DE CONVERSÃO (tCO ₂ / T.J)	Custos do tCO ₂ no Mercado (US\$/tCO ₂)	Custos do tCO ₂ no Mercado (R\$/tCO ₂)	Emissão tCO ₂ /TWh
GÁS NATURAL	3.600,00	55,781	(***) 5,00 15,00 30,00	13,80 41,40 82,80	401.623,50
EFICIÊNCIA ELÉTRICA CICLO COMBINADO	Foi Utilizado para os Cálculos			(****) 50%	de Eficiência Elétrica

Fonte: Elaboração própria, baseada em (*) ANEEL (08/03/2005), BEN (2004), (**) BC (16/03/2005), (***) HAITES and SERES (2004) e (****) SEVA (2002).

O valor da tonelada de gás carbônico (Tabela 12) que está sendo praticado no mercado de crédito de carbono situa-se em torno de US\$ 5,00 (HAITES and SERES, 2004). Contudo, são sugeridos por este estudo mais dois valores, US\$ 15,00 e US\$ 30,00, com o intuito de se estimar a sensibilidade dos possíveis ganhos com a redução do CO₂ evitados ao meio ambiente, devido a uma possível valorização deste mercado.

Adota-se, agora, a estatística do número médio de habitantes por residência e projeções do número de habitantes no Brasil de 2004 a 2038. Estes dados, juntamente com a porcentagem de refrigeradores encontrados nas residências brasileiras (subseção 4.1.4), são necessárias nos cálculos para obtenção do número de residências e do número de refrigeradores existentes no País. Os valores adotados estão apresentados na Tabela 13.

²⁷ Este valor está acrescido do valor médio de 18% de ICMS, ou se, tarifa ANEEL + imposto.

Tabela 13: Projeção do Número de Habitantes no Brasil de 2004 a 2038 e o Número Médio de Habitantes por Residência

Número Médio de Habitante / Residência		4,00	
Projeção da População Brasileira de 2004 a 2038			
Ano	Número de Habitantes no Brasil	Ano	Número de Habitantes no Brasil
2004	181.586.030	2022	223.089.661
2005	184.184.264	2023	225.050.475
2006	186.770.562	2024	226.979.194
2007	189.335.118	2025	228.873.717
2008	191.869.683	2026	230.731.063
2009	194.370.095	2027	232.547.226
2010	196.834.086	2028	234.321.464
2011	199.254.414	2029	236.052.867
2012	201.625.492	2030	237.737.676
2013	203.950.099	2031	239.371.493
2014	206.230.807	2032	240.949.947
2015	208.468.035	2033	242.469.695
2016	210.663.930	2034	243.928.059
2017	212.820.814	2035	245.323.136
2018	214.941.017	2036	246.652.529
2019	217.025.858	2037	247.922.296
2020	219.077.729	2038	249.139.880
2021	221.098.714		

Fonte: Elaboração própria, baseada em OLIVEIRA *et al* (2004).

4.2 Resultados Alcançados Aplicando Análise Estatística

Nesta seção são apresentadas as etapas de cálculo e os resultados alcançados empregando a metodologia de Análise Estatística.

A seqüência de cálculos se encontra resumida a seguir:

- Projeção do número de refrigeradores existentes nas residências no período 2004 – 2038;
- Cálculo da média ponderada do consumo (kWh/ano), por fatia de mercado dos refrigeradores de uma porta no Brasil;
- Cálculo da equação do índice mínimo de eficiência energética dos futuros padrões (Ajuste de Mercado);

- Implantação dos padrões de eficiência energética obtidos segundo a análise estatística; e
- Possíveis economias alcançadas com a implantação dos padrões de eficiência energética obtidos segundo a Análise Estatística.

4.2.1 Cálculo da Projeção do Número de Refrigeradores Existentes nas Residências Brasileiras no Período 2004 – 2038

Para a realização desta projeção foram colocados em um gráfico os dados apresentados na subseção 4.1.4 (Tabela 11), efetuando-se, a seguir, uma regressão linear²⁸. Obtendo-se, deste modo, a equação geral para a projeção do percentual de refrigeradores existentes nas residências até 2038. O gráfico e a equação de regressão estão ilustrados na Figura 19.

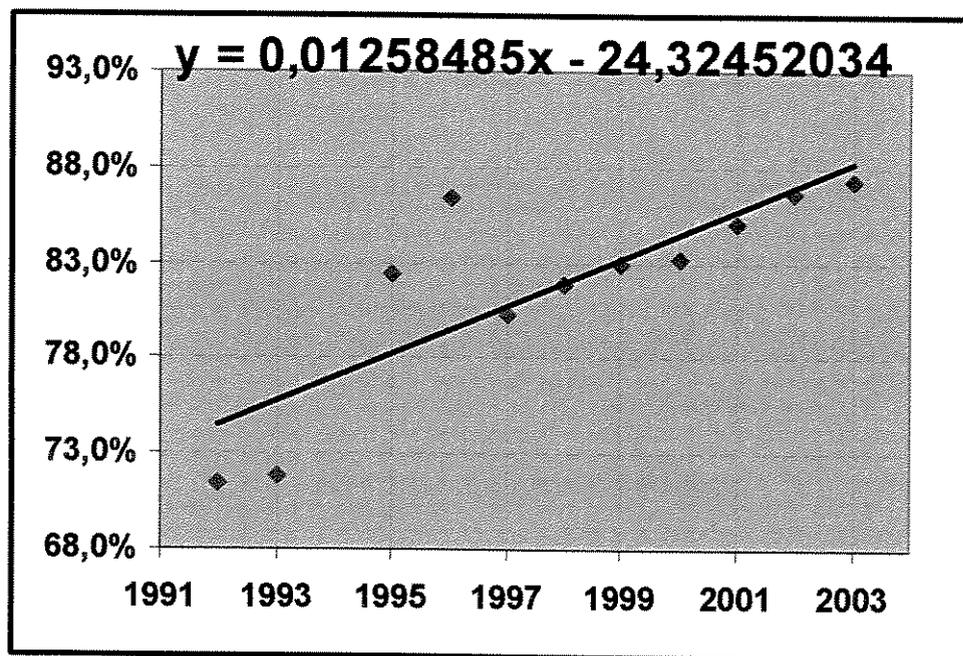


Figura 19: Regressão Linear do Percentual do Número de Refrigeradores nas Residências

Fonte: Elaboração própria, baseada no Censo (2000) e PNADs (1992, 1993, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2002, 2003).

²⁸ A regressão linear foi utilizada por este estudo, contudo, poderia ser também utilizada a curva logística para obtenção dos resultados.

No passo seguinte utiliza-se a equação da reta encontrada para projetar os percentuais do número de refrigeradores nas residências até 2038. Os percentuais alcançados com a projeção, multiplicados pelo número de residências no Brasil, dão origem à projeção do número de refrigeradores existentes nas residências brasileiras até 2038. A Tabela 14 apresenta as relações citadas acima.

Tabela 14: Projeção do Número de Refrigeradores nas Residências Brasileiras até 2038

Ano	Percentual de Refrigeradores / Residência	Número de Residências (em milhões)	Refri. / Resid. Acumulado (milhões)	Novos Refrigeradores / Residência (milhões/ano)
2004	89,55%	45,397	40,653	1,145
2005	90,81%	46,046	41,815	1,161
2006	92,07%	46,693	42,989	1,175
2007	93,33%	47,334	44,175	1,186
2008	94,59%	47,967	45,370	1,195
2009	95,84%	48,593	46,573	1,203
2010	97,10%	49,209	47,783	1,210
2011	98,36%	49,814	48,997	1,214
2012	99,62%	50,406	50,215	1,217
2013	100,88%	50,988	51,435	1,221
2014	102,14%	51,558	52,659	1,224
2015	103,40%	52,117	53,887	1,227
2016	104,65%	52,666	55,117	1,230
2017	105,91%	53,205	56,351	1,234
2018	107,17%	53,735	57,588	1,238
2019	108,43%	54,256	58,830	1,241
2020	109,69%	54,769	60,075	1,245
2021	110,95%	55,275	61,325	1,250
2022	112,20%	55,772	62,579	1,254
2023	113,46%	56,263	63,837	1,258
2024	114,72%	56,745	65,099	1,261
2025	115,98%	57,218	66,362	1,263
2026	117,24%	57,683	67,626	1,264
2027	118,50%	58,137	68,890	1,264
2028	119,76%	58,580	70,153	1,263
2029	121,01%	59,013	71,414	1,261
2030	122,27%	59,434	72,672	1,258
2031	123,53%	59,843	73,925	1,253
2032	124,79%	60,237	75,170	1,246
2033	126,05%	60,617	76,407	1,237
2034	127,31%	60,982	77,634	1,227
2035	128,56%	61,331	78,850	1,216
2036	129,82%	61,663	80,053	1,203

2037	131,08%	61,981	81,245	1,192
2038	132,34%	62,285	82,428	1,183

A coluna que representa o “Percentual de Refrigeradores/Residência” na Tabela 14 foi obtida através da equação de regressão já apresentada na Figura 19. Analisando os resultados obtidos nesta coluna verifica-se a tendência de saturação do mercado como apresentado anteriormente. A partir de 2014 o mercado brasileiro de refrigeradores tende a saturação, mas isto pode ser visto como oportunidade de negócio para o fabricante de refrigerador e oportunidade para o governo em utilizar as técnicas de eficiência energética e/ou conservação de energia. O governo, juntamente com os fabricantes, poderia promover uma campanha para estimular a substituição dos refrigeradores antigos e ineficientes por refrigeradores novos e mais eficientes. Desta forma, o governo e os fabricantes inverteriam estes percentuais, a princípio interpretados como negativos, para percentuais de substituição de refrigeradores nas residências brasileiras. Tendo assim, resultados como: redução de consumo, redução de emissão de CO₂ oriunda das termelétricas (a Gás Natural) não construídas, população com maior acesso às novas tecnologias aumentando a sua qualidade de vida, etc. Este trabalho não trata desta taxa de substituição, estuda apenas a inserção de novos refrigeradores (mais eficientes), mas não descarta essa possibilidade.

A coluna que representa o “Número de Residências” foi gerada através de um estudo realizado pelo IBGE em 2004 sobre a projeção do crescimento populacional no Brasil e a média de habitantes por residência.

Com o percentual de refrigeradores por residências e o número de residências calculado, obtém-se através da multiplicação destes resultados, o número de refrigeradores por residência. Fazendo-se a diferença (delta) entre o número de refrigeradores por residência de um ano para o outro, é obtido o número dos novos refrigeradores inseridos por ano nas residências no Brasil até 2038. Mais uma vez comprovando a saturação do mercado de refrigeradores.

Se for observado que a partir de 2027 o número de novos refrigeradores por residência começa a diminuir, isto pode parecer incoerente. Contudo, os cálculos realizados aqui tomaram como base o crescimento populacional e, a tendência apresentada pelo IBGE sobre este crescimento é de desaceleração, fazendo com que o aumento de residências também desacelere, ocasionando uma variação menor no delta de novos refrigeradores inseridos por ano.

4.2.2 Cálculo da Média Ponderada do Consumo por Fatia de Mercado dos Refrigeradores de Uma Porta no Brasil

Este passo refere-se ao cálculo da média do consumo (kWh/ano) de cada marca participante do PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem, Tabela 8). Posteriormente, realiza-se o cálculo da média ponderada destas médias de consumo por marca, multiplicando-as pela porcentagem da fatia de mercado (*Market Share*, Tabela 10) dos fabricantes de refrigeradores. A Tabela 15 apresenta estas médias de consumo (kWh/ano) por marca e a média ponderada por fatia de mercado.

Tabela 15: Médias de Consumo/Marca e Média Ponderada/Fatia de Mercado (em kWh/ano)

Cálculo da Média Ponderada do Consumo das Marcas de Refrigeradores Produzidos no Brasil			
Marca	Fatia do Mercado	Média Consumo/Marca (kWh/ano)	Média Ponderada do Consumo/marca/fatia do mercado (kWh/ano)
Electrolux	29,00%	304	318
Multibrás	53,00%	322	
BSH Continental	7,00%	312	
Mabe	11,00%	340	
Total =>	100,00%	<<<<<>>>>	

4.2.3 Cálculo da Equação do Índice Mínimo de Eficiência Energética dos Futuros Padrões (Ajuste de Mercado)

Este passo consiste em se colocar em um gráfico os consumos (kWh/ano) em função dos volumes ajustados (em litros) apresentados anteriormente na Tabela 8 (subseção 4.1.1). A seguir, encontra-se a equação de regressão linear e o padrão com os novos valores de consumo para o padrão mínimo de eficiência energética (consumo médio mercado), conforme explicado anteriormente.

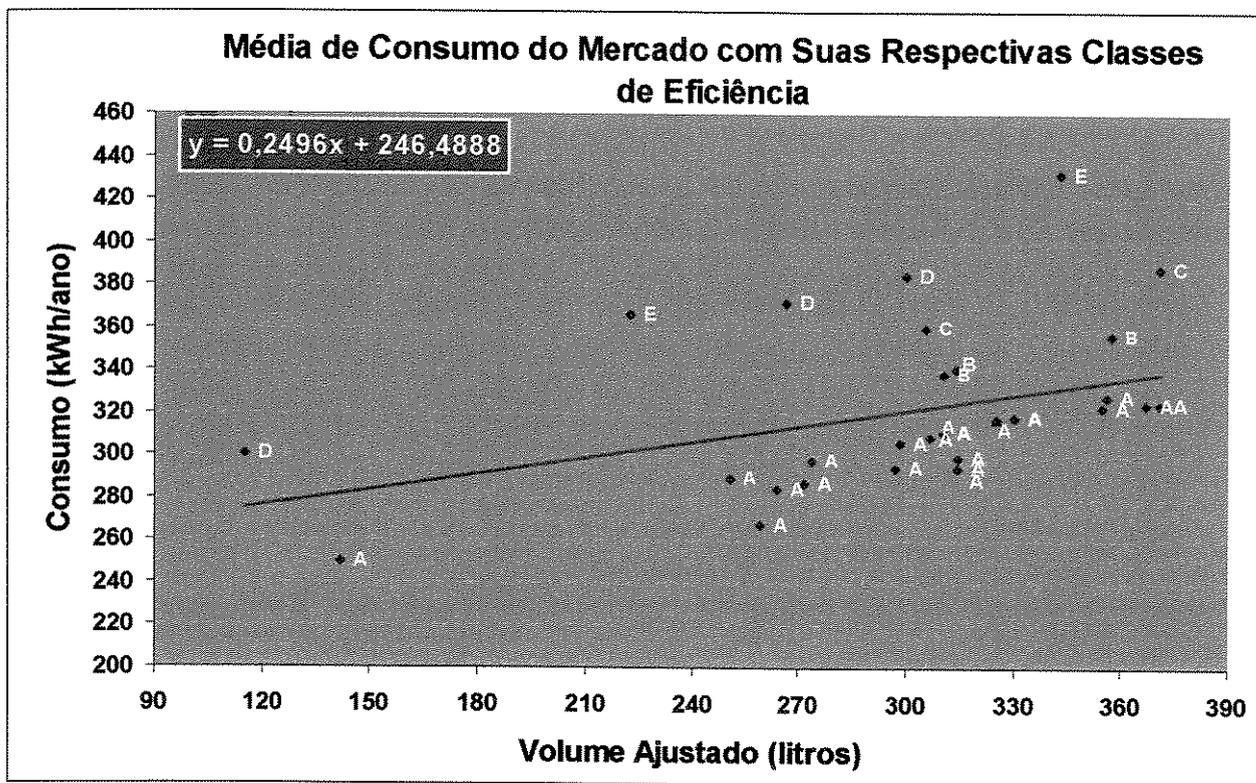


Figura 20: Regressão Linear e Obtenção da Equação da Média de Consumo do Mercado de Refrigeradores

Observando a Figura 20, o padrão 1 (de 12%), proposto na subseção 4.1.2 significa trazer o consumo de todos os modelos de refrigeradores que estão acima da reta para a média de consumo (kWh/ano) do mercado. Desta forma, com o mercado de refrigeradores nivelado (inserção do padrão 1) através do consumo máximo permitido (categoria “G”, 12%), o próximo passo é se inserir o índice mínimo de eficiência energética (categoria “A”, 12% + 10% = 22%), também sugerido anteriormente na subseção 4.1.2.

4.2.4 Implantação do Padrão de Eficiência Energética Segundo a Análise Estatística

O padrão de eficiência proposto na subseção 4.1.2 (Tabela 9) é utilizado da seguinte forma na metodologia de Análise Estatística:

- Padrão 1, em 2008 de 12%, conforme apresentado na Tabela 9. Este padrão considera o valor percentual médio de consumo de eletricidade do mercado de refrigeradores de uma porta (Figura 20) como referência para o ganho de eficiência energética para a categoria “G” do selo comparativo PROCEL. É sugerido com a

implantação do padrão 1, que o refrigerador somente irá atingir a categoria “A” do selo PROCEL se melhorar sua eficiência em 10% ($12\% + 10\% = 22\%$) superando o percentual de 12% calculado para a média do mercado (Padrão 1, categoria “G”).

As equações do máximo consumo permitido, para o padrão 1 e categoria “A”, apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16: Equações do Padrão 1 e na Categoria “A” obtidas com a Análise Estatística

	Máximo Consumo Permitted (kWh/ano)
Padrão 1 =>	$0,2496*VA + 246,4888$
Categoria “A” =>	$0,2247*VA + 221,8399$

A Figura 21 ilustra as equações da Tabela 16, junto com os pontos de consumo das geladeiras selecionadas.

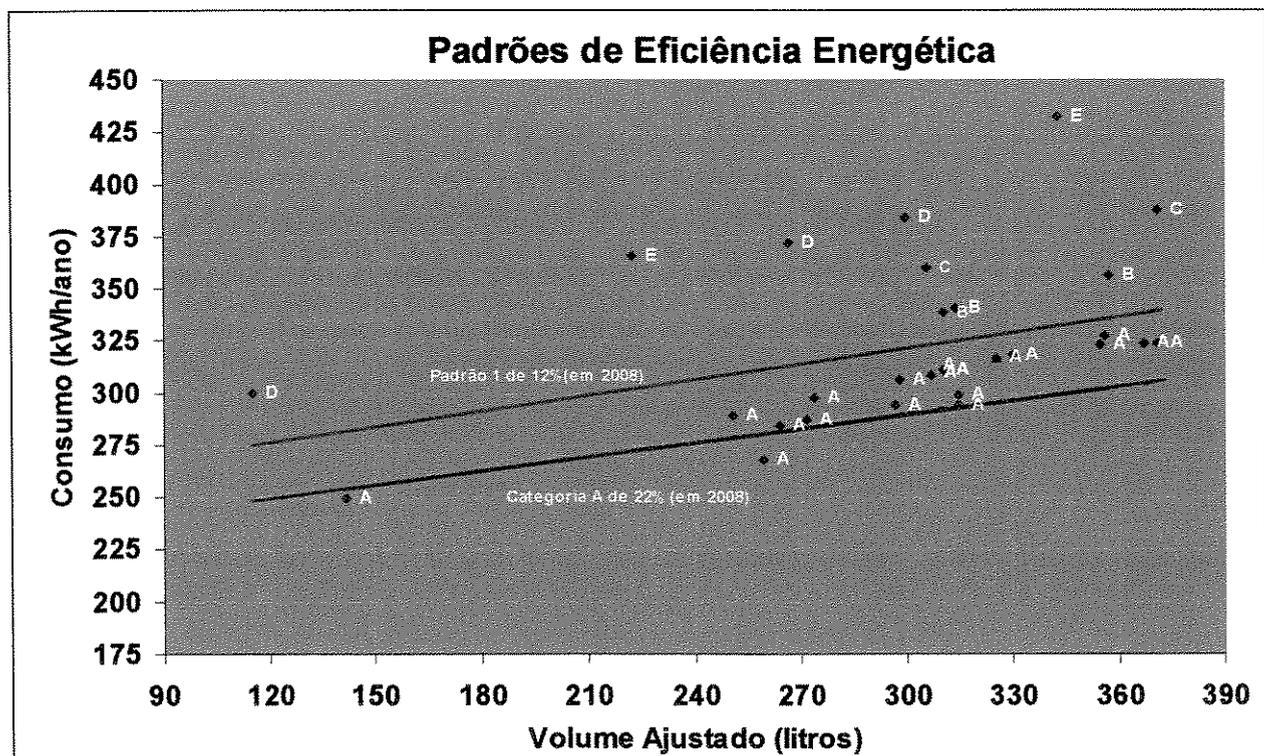


Figura 21: Padrão Mínimo de Eficiência Energética Sugerido pela Análise Estatística

O padrão de eficiência sugerido, tendo o consumo médio do mercado como referência, é perfeitamente aceitável, visto que, uma grande parte dos refrigeradores analisados do mercado já

está abaixo da reta do máximo consumo permitido, restando para os refrigeradores localizados acima da reta, o uso de tecnologias já conhecidas para nivelarem-se ao grupo de refrigeradores mais eficientes. A segunda curva ilustrada na Figura 21 sugere um ganho de mais 10% na eficiência energética, em relação aos 12% calculados para o padrão 1 (categoria “G”), para se atingir a categoria dos refrigeradores mais eficientes (categoria “A”), podendo, desta maneira, receber o selo PROCEL de eficiência energética.

4.2.5 Possíveis Economias Alcançadas com a Implantação dos Padrões de Eficiência Energética, Segundo a Análise Estatística

A implantação do primeiro padrão é sugerida para o ano de 2008 e o limite da projeção de economias alcançadas estende-se até o ano de 2038, cujo objetivo é tentar identificar os impactos da implantação de padrões de eficiência energética no longo prazo, como já foi explicado anteriormente. As grandezas calculadas foram:

- Economia no consumo de energia elétrica (TWh);
- Redução do custo operacional (diminuição da conta de energia elétrica em Reais);
- Principal gás de efeito estufa, o CO₂, não lançado ao ambiente, oriundo de termelétricas (queimando gás natural) não construídas por causa da redução da demanda no consumo de energia elétrica, ocasionada pelo aumento de eficiência energética dos refrigeradores; e
- Possível ganho com a venda de créditos de carbono (MDL), decorrentes da redução na emissão de CO₂ no ambiente (R\$).

A Figura 22 ilustra três curvas que representam o consumo (TWh/ano) do refrigerador, onde, uma das curvas mostra o consumo antes dos padrões de eficiência energética, a outra curva apresenta o consumo após a implantação dos padrões e a última curva representa a economia (diferença entre o consumo antes e depois dos padrões) de consumo por ano.

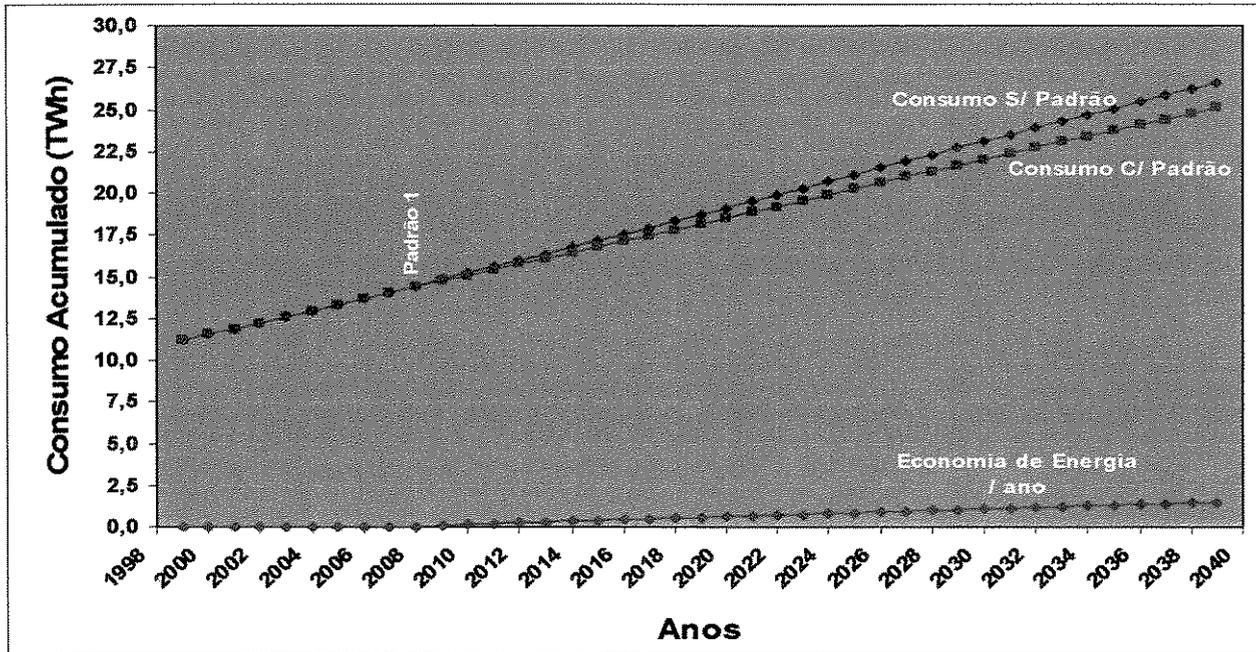


Figura 22: Consumo da População dos Refrigeradores Antes e Após a Implantação do Padrão 1

A Figura 23 apresenta a economia de energia elétrica acumulada por ano até 2038. Esta economia representa o somatório das economias obtidas ano a ano (Figura 22) decorrente do aumento na eficiência dos refrigeradores.

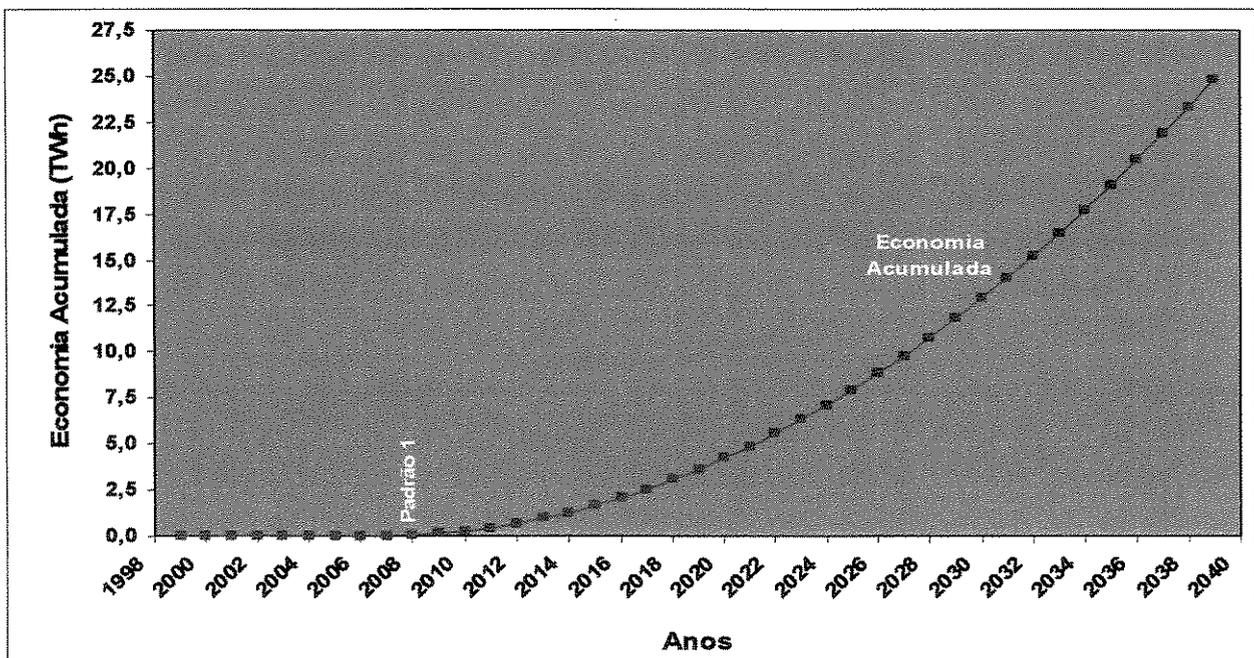


Figura 23: Economia Acumulada de Eletricidade (TWh/ano) com a Implantação do Padrão 1

A Figura 23 apresenta uma economia acumulada no consumo de eletricidade de aproximadamente 0,05 TWh (50 GWh) no ano 2008 (padrão 1), 1 TWh de 2008 a 2013 (5 anos após a implantação do padrão 1) e 3 TWh de 2008 a 2018 (10 anos após a implantação do Padrão 1). O resultado na redução do consumo ficou próximo dos 23 TWh de 2008 a 2038. Estes valores de consumo economizado equivalem, respectivamente, a 6,7 MW, 22 MW, 35 MW e 89 MW de redução da potência instalada no parque elétrico brasileiro.

A seguir, é apresentada a Figura 24, o custo operacional (custo com a conta de energia elétrica) antes e após ocorrer o aumento de eficiência nos refrigeradores de uma porta. Ela mostra, também, a curva de economia por ano na conta de energia elétrica da população brasileira.

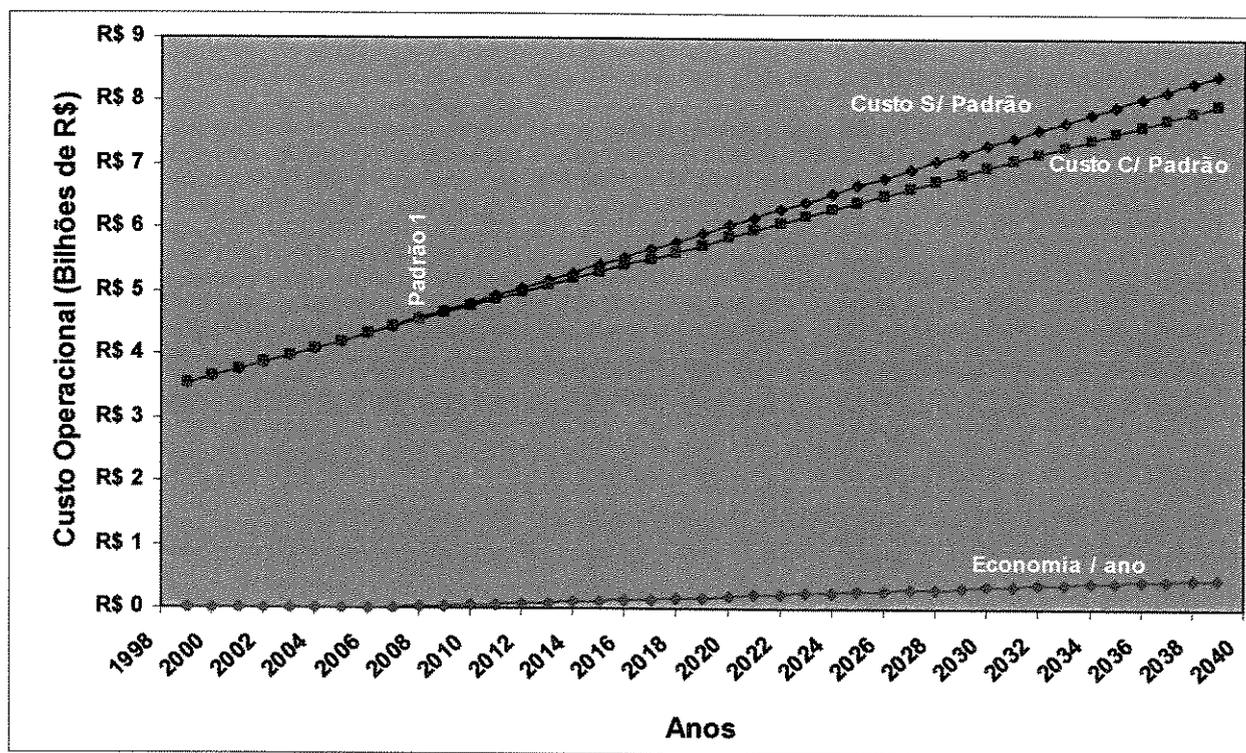


Figura 24: Custo Operacional Antes e Após a Implantação do Padrão 1

Para uma melhor visualização das economias apresentadas na Figura 24, a Figura 25 apresenta a economia acumulada ao longo dos anos.

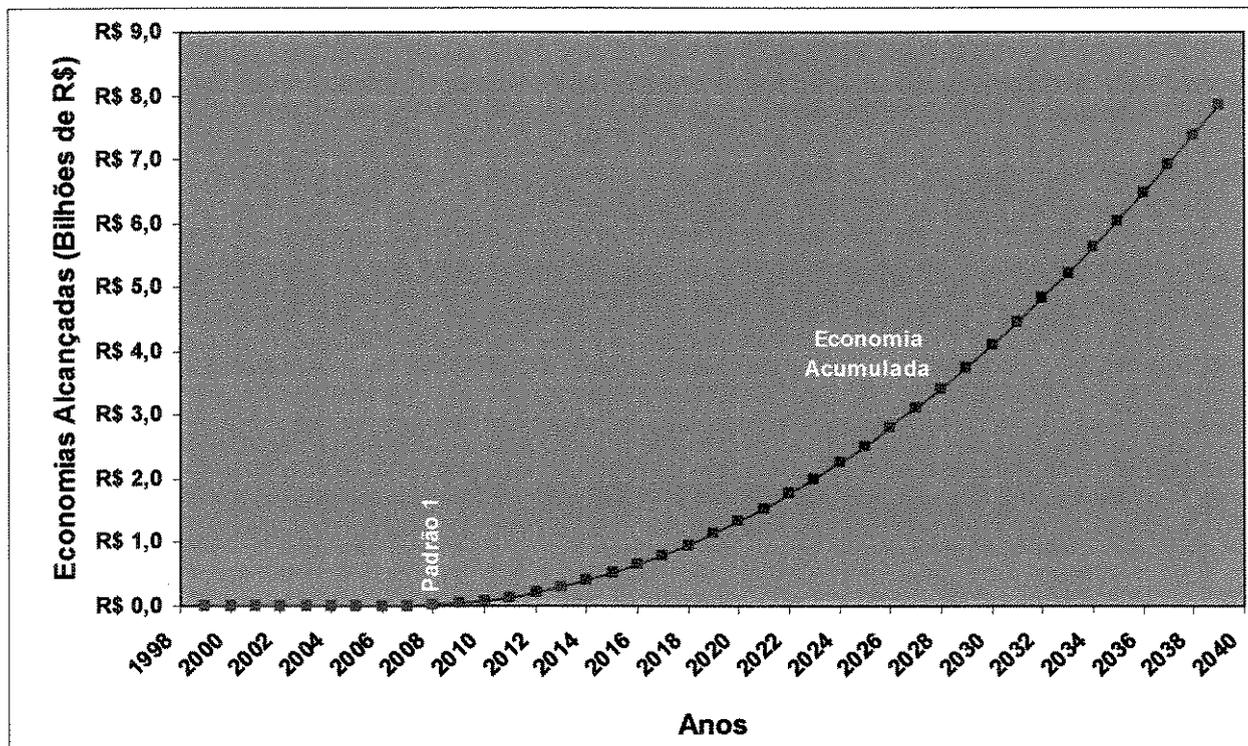


Figura 25: Economia Acumulada com a implantação do Padrão 1

A economia líquida sentida pelo País (consumidores brasileiros) chega aos expressivos montantes de R\$ 14 milhões já em 2008 (ano da implantação do padrão 1), de R\$ 306 milhões de 2008 a 2013, de R\$ 968 milhões de 2008 a 2018 (10 anos após a implantação do padrão 1) e de R\$ 7,4 bilhões de 2008 à 2038.

Dando seqüência na apresentação dos resultados alcançados com a metodologia de Análise Estatística, encontra-se ilustradas na Figura 26 as emissões do gás de efeito estufa (CO₂) oriundos da queima do gás natural para geração de eletricidade em termelétricas, antes e após se ter implantando o padrão de eficiência nos refrigeradores de uma porta no Brasil.

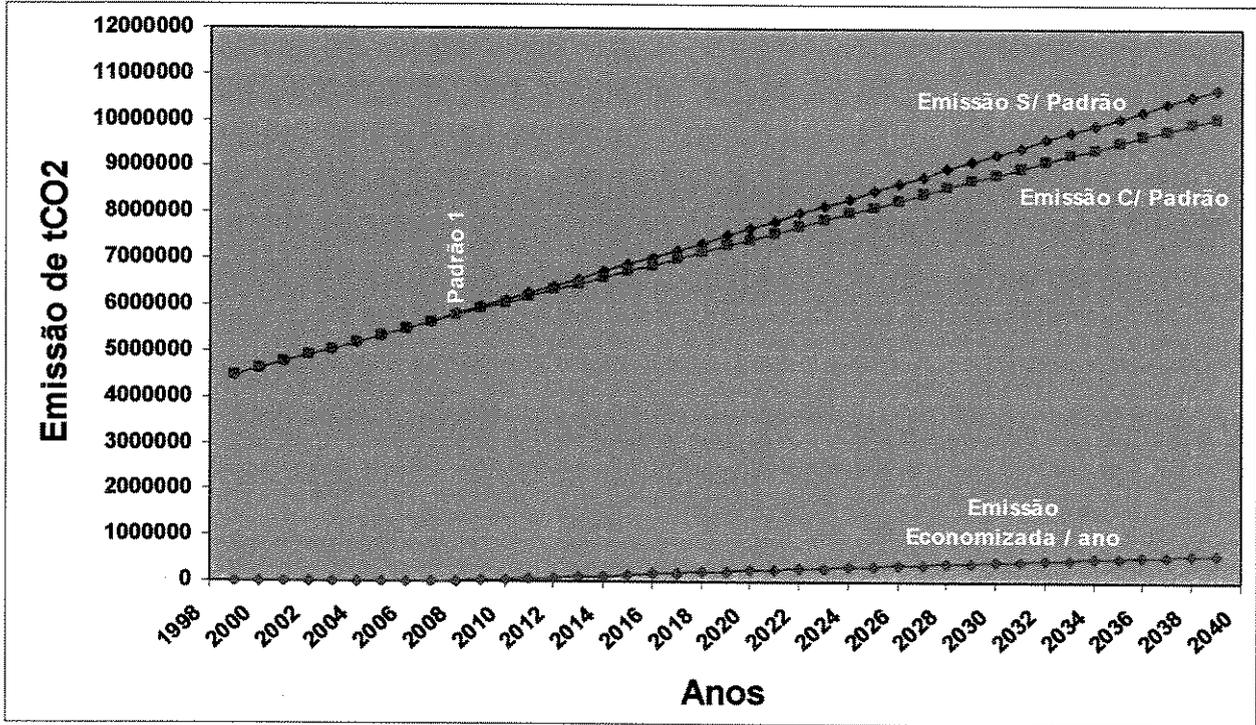


Figura 26: Emissão de CO₂ Antes e Após a Implantação do Padrão 1

A Figura 27 mostra a redução acumulada ao longo dos anos.

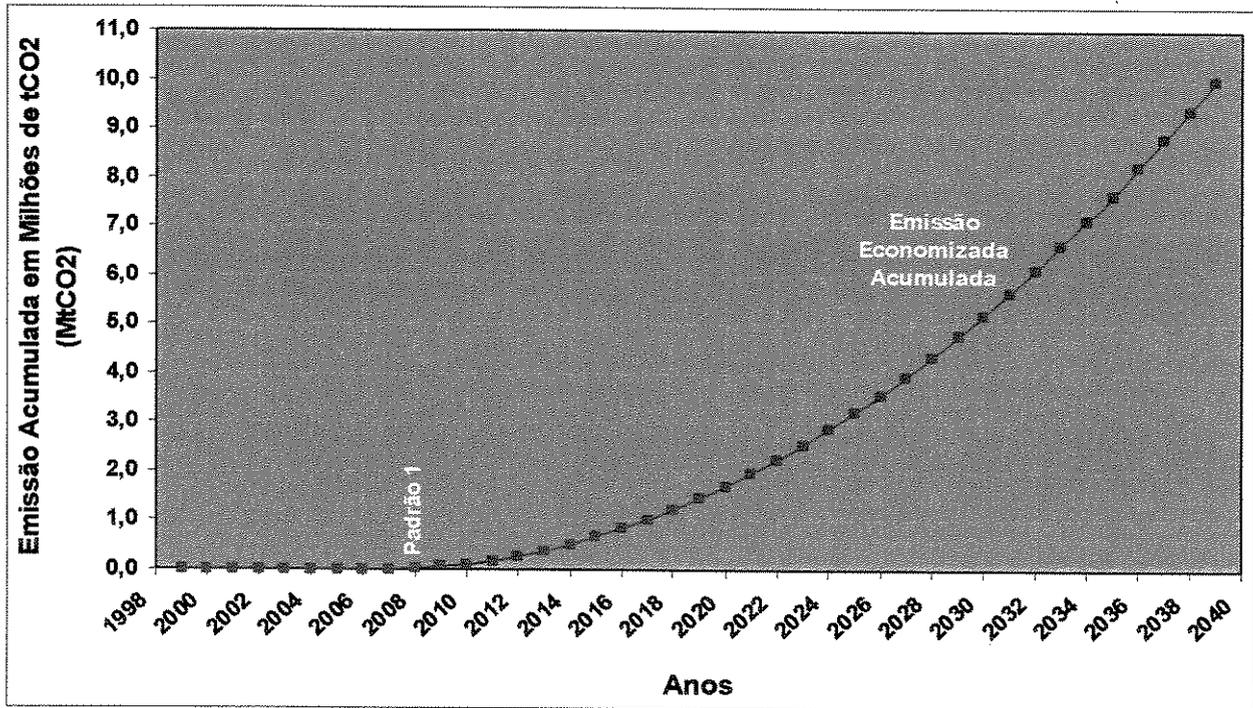


Figura 27: Redução Acumulada na Emissão de CO₂ ao Ambiente

Analisando a Figura 27, observa-se valores acumulados com a redução na emissão do gás de efeito estufa em torno de 20 ktCO₂ em 2008, de 390 ktCO₂ de 2008 a 2013, de 1,23 MtCO₂ (milhões de tCO₂) de 2008 a 2018 e de 9,37 MtCO₂ de 2008 a 2038.

A Figura 28 ilustra uma projeção feita de possíveis ganhos com a venda de crédito de carbono considerando o valor de US\$ 5,00 a tonelada de carbono (HAITES *and* SERES, 2004) e uma análise de sensibilidade simulando acréscimos no valor da tCO₂ para US\$ 15,00 e US\$ 35,00.

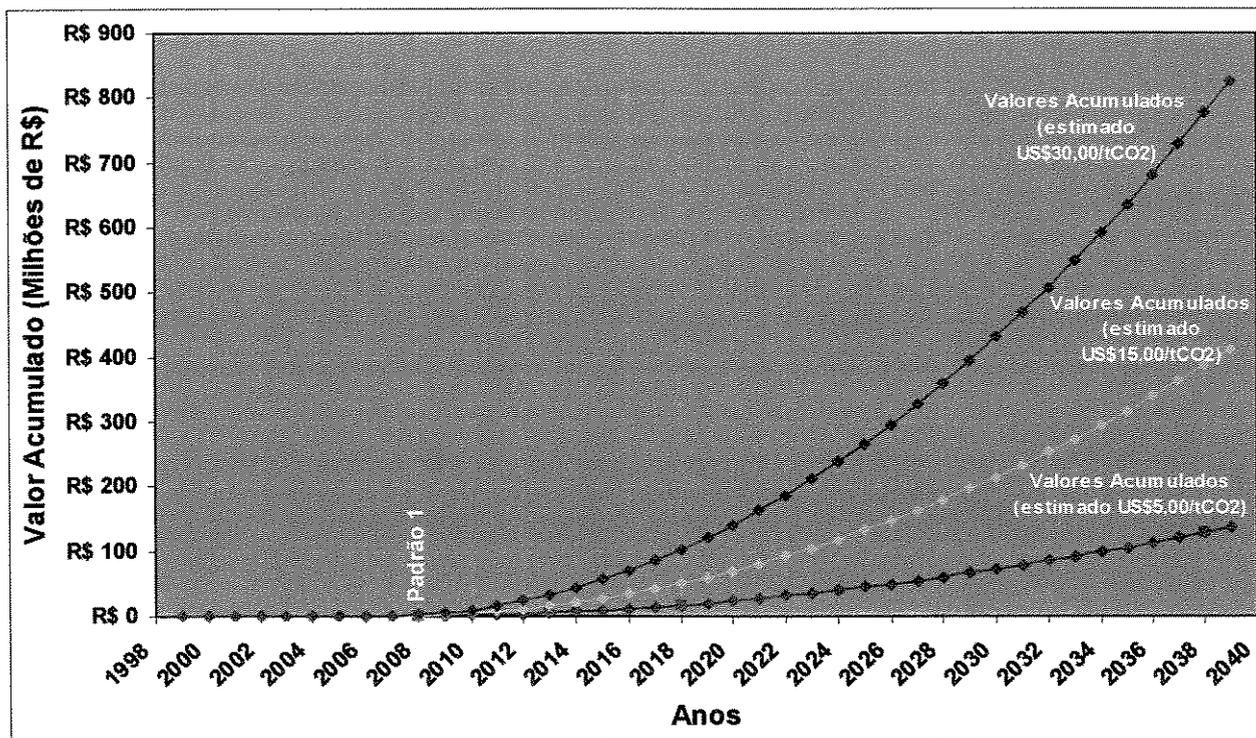


Figura 28: Valor Acumulado Estimado para a Redução na Emissão da tCO₂ com a Implantação do Padrão 1

Os ganhos, ilustrados acima, com a venda de crédito de carbono estão estimados nos montantes de R\$ 0,25 milhão em 2008 (Padrão 1), R\$ 5,36 milhões de 2008 a 2013, R\$ 16,94 milhões de 2008 a 2018 e R\$ 129,31 milhões de 2008 a 2038 para o valor de US\$ 5,00/tCO₂. Caso o valor da tonelada de carbono aumente para US\$ 15,00 os montantes chegariam a R\$ 0,76 milhão em 2008, R\$ 16,07 milhões de 2008 a 2013, R\$ 50,81 milhões de 2008 a 2018 e R\$ 387,93 milhões de 2008 a 2038. Da mesma forma, simulando um aumento no mercado de crédito de carbono de US\$ 5,00 para US\$ 30,00 por tonelada de CO₂ não emitida ao ambiente, chega-se

aos expressivos montantes de R\$ 1,52 milhão em 2008, R\$ 32,15 milhões de 2008 a 2013, R\$ 101,63 milhões de 2008 a 2018 e R\$ 775,86 milhões de 2008 a 2038.

4.2.6 Resumo dos Resultados Alcançados com a Análise Estatística

O objetivo do resumo dos resultados já apresentados anteriormente, é mostrar os valores de forma sequencial e agrupada para facilitar sua interpretação, pois este resumo será confrontado, posteriormente, com o resumo dos resultados alcançados com a aplicação da ACCV (Seção 4.4).

Tabela 17: Resumo dos Resultados Alcançados com a Aplicação da Análise Estatística (Padrão 1)

Ano	Economia Acumulada de Energia (TWh)	Potência Respectiva (MW)	Economia Acumulada (Milhões R\$)	Redução Acumulada na Emissão de CO2 (MtCO2)	Base US\$ 5,00	Base US\$ 15,00	Base US\$ 30,00
					Possível Ganho com Crédito de Carbono (Milhões R\$)	Possível Ganho com Crédito de Carbono (Milhões R\$)	Possível Ganho com Crédito de Carbono (Milhões R\$)
2008	0,05	5,7	R\$ 14,00	0,02	R\$ 0,25	R\$ 0,76	R\$ 1,57
2013	0,97	22,1	R\$ 306,00	0,39	R\$ 5,36	R\$ 16,07	R\$ 32,15
2018	3,06	35,0	R\$ 968,00	1,23	R\$ 16,94	R\$ 50,81	R\$ 101,63
2038	23,33	89,0	R\$ 7.386,00	9,37	R\$ 129,31	R\$ 387,93	R\$ 775,86

Assumindo uma hipótese que todos os refrigeradores (estimulados pela procura do consumidor por refrigeradores mais eficientes) chegassem à categoria “A” em 2010, os valores da Tabela 17 aumentariam consideravelmente, como apresentado na Tabela 18. Isto não quer dizer que o padrão 1 migraria para o percentual da categoria “A”, mas sim, os fabricantes aumentariam voluntariamente a eficiência do refrigerador para atender uma possível exigência dos consumidores.

Tabela 18: Resumo dos Resultados Alcançados com a Aplicação da Análise Estatística (Categoria “A”)

Ano	Economia Acumulada (TWh)	Potência Respectiva (MW)	Economia Acumulada (Milhões R\$)	Redução Acumulada na Emissão de CO2 (MtCO2)	Base US\$ 5,00	Base US\$ 15,00	Base US\$ 30,00
					Possível Ganho com Crédito de Carbono (Milhões R\$)	Possível Ganho com Crédito de Carbono (Milhões R\$)	Possível Ganho com Crédito de Carbono (Milhões R\$)
2010	0,31	17,7	R\$ 100,00	0,13	R\$ 1,74	R\$ 5,21	R\$ 10,42
2013	1,35	30,8	R\$ 428,00	0,54	R\$ 7,50	R\$ 22,49	R\$ 44,99
2018	4,80	54,8	R\$ 1.520,00	1,93	R\$ 26,61	R\$ 79,84	R\$ 159,68
2038	40,45	154,0	R\$ 12.805,00	16,24	R\$ 224,17	R\$ 672,52	R\$ 1.345,04

Posteriormente, na subseção 4.5.1, apresenta-se tabelas dos Índices de Eficiência Energética (IEE) desenvolvidos para o momento da implantação do padrão sugerido pela metodologia de Análise Estatística.

4.3 Dados Utilizados na Análise do Custo do Ciclo de Vida

Da mesma maneira que são apresentados na Seção 4.1 os passos para seleção dos dados necessários à aplicação da metodologia de Análise Estatística, aqui são mostrados os passos e a seleção dos dados para aplicação da Metodologia de Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV). Posteriormente são descritos todos os passos dos cálculos realizados na ACCV. Muitos dos dados utilizados na aplicação estatística são usados também na ACCV. Desta forma, não serão reproduzidos, mas somente citados. Os dados oriundos da seleção da classe de aparelhos, seleção da fatia de mercado (*Market Share*) dos fabricantes de aparelhos, seleção da tarifa de energia elétrica e os fatores de conversão do gás natural e emissão de CO₂ já foram apresentados anteriormente (subseções 4.1.1 a 4.1.5.). Desta forma, os dados que efetivamente são apresentados nesta seção são: seleção do modelo base e o preço (para o consumidor) no mercado deste tipo de aparelho; a seleção das opções de projeto para cada classe (sugestões de inovações) e do custo por opção de projeto; a seleção da taxa de retorno do investimento e a definição da vida útil do aparelho (refrigerador de uma porta).

4.3.1 Escolha de um Modelo de Refrigerador para Coletar Seu Preço

Este passo refere-se à escolha e especificação do aparelho que é utilizado no estudo. O objetivo aqui é utilizar o preço no mercado a varejo (valor para o consumidor) do refrigerador de uma porta de R\$ 1.799,00, com um volume de 330 Litros (LOJA AMBIENTAR, 01/03/2005), para auxiliar nos cálculos de economia líquida acumulado ao longo dos anos (em Reais) em função do aumento de eficiência ocorrido com a inserção das melhorias no refrigerador de 330 litros, simulado no *software ERA* (JANNUZZI *et al*, 2004). Assim, com o intuito de utilizar os mesmos ganhos de eficiência, são mantidas as mesmas características para o modelo estudado por Jannuzzi *et al* (2004) em estudo nessa dissertação. O ganho de eficiência sugerido na aplicação da ACCV para o refrigerador de 330 litros é apresentado a seguir, na subseção 4.3.2.

4.3.2 Seleção dos Dados Referente ao Ganho de Eficiência por Inovação e os Respectivos Custos (em Reais R\$)

Os dados de inovações (ou melhorias tecnológicas) apresentados nessa seção foram obtidos por JANNUZZI *et al* (2004) e são utilizados como base para obtenção dos padrões de eficiência energética dos refrigeradores de uma porta. Conforme discutido anteriormente no capítulo 3 (subseção 3.2.1), a Análise de Engenharia não exige que os fabricantes atinjam o padrão estabelecido pela ACCV usando apenas as opções técnicas utilizadas para esta análise. Ela simplesmente assegura que existe pelo menos um caminho prático para atingir os padrões de eficiência energética. Optou-se pela utilização destes dados, porque o objetivo central deste trabalho é demonstrar a aplicação das metodologias de cálculos sugeridas para definição dos padrões mínimos de eficiência energética e, não, discutir formas específicas de inovações em refrigeradores. A Tabela 19 apresenta as inovações estudadas com seus respectivos ganhos de eficiência e seu acréscimo no preço final do refrigerador.

Tabela 19: Melhorias Tecnológicas Simuladas nos Refrigeradores “X” e “Y” de 330 litros

Inovação	Refrigerador “X” Eficiência / Inovação	Refrigerador “Y” Eficiência / Inovação	Eficiência Média Ponderada pela Fatia de Mercado / Inovação	Eficiência Acumulada / Inovação	Custos / Inovação para o Fabricante (em Reais) ano 2005
Compressor + efic (C1)	12,1%	20,7%	16,1%	16,1%	R\$ 66,78
Isolam ½" porta (C2)	3,9%	3,8%	3,9%	20,0%	R\$ 22,25
Isolam ½" parede (C3)	10,2%	14,1%	12,0%	32,0%	R\$ 74,00
Isolam 1" porta (C4)	2,9%	2,9%	2,9%	34,9%	R\$ 19,61
Isolam 1" parede (C5)	8,4%	10,0%	9,2%	44,1%	R\$ 59,34

Fonte: Elaboração própria, baseada em DOE (1995), JANNUZZI *et al* (2004) e BC (23/03/2005).

4.3.3 Seleção da Taxa de Retorno do Investimento

Neste Estudo de Caso são usadas três hipóteses para o valor da taxa de retorno, cujo objetivo principal é conhecer a sensibilidade dos resultados fornecidos pela ACCV perante variações destas taxas. Estes valores foram escolhidos baseando-se na Resolução ANEEL n° 492, de 3 de setembro de 2002, que dispõe, em seu art. 2º, parágrafo II, que “o valor da taxa de retorno anual, a ser utilizada na avaliação econômica de projetos de eficiência energética, deve ser, no mínimo, igual a 12% a.a.” (ANEEL, 2004). Neste estudo, a taxa de retorno é considerada

fixa ao longo de toda vida útil do refrigerador (de 16 anos). A Tabela 20 contém os valores da taxa de retorno do investimento utilizados como hipóteses no estudo.

Tabela 20: Valores Sugeridos para Taxa de Retorno do Investimento

Taxas de Retorno do Investimento	
Taxa 1	12,00%
Taxa 2	14,00%
Taxa 3	16,00%

Fonte: Elaboração própria baseada em ANEEL (13/04/2004).

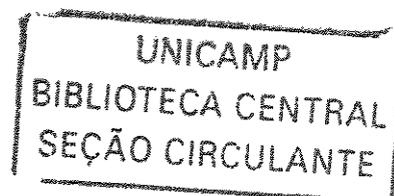
4.3.4 Vida Útil do Aparelho

A vida útil de um refrigerador de uma porta foi retirada de QUEIROZ *et al* (2003), onde está estimada em 16 anos. Saber a vida útil do refrigerador auxilia na análise dos resultados alcançados com o cálculo do *Payback Period*. Assim, por exemplo, todo retorno de investimento que ficar acima dos 16 anos poderá inviabilizar o projeto. Esta análise é melhor detalhada e explicada na subseção 4.4.5. Este dado é também utilizado para a geração das curvas de CCV, influenciando diretamente sua inclinação.

4.4 Resultados Alcançados Aplicando a Análise do Custo do Ciclo de Vida

A seguir, é aplicada a metodologia de ACCV, que envolve a seqüência de cálculos resumida abaixo:

- Escolha do cenário para o estudo da ACCV;
- Cálculo do custo do Ciclo de Vida (CCV), para implantação dos padrões;
- Cálculo do período de retorno do investimento (*Payback Period*);
- Implantação dos padrões de eficiência energética obtidos segundo a ACCV; e
- Cálculo das possíveis economias alcançadas com a implantação dos padrões de eficiência energética obtidos segundo a ACCV.



4.4.1 Escolha do Cenário para o Estudo da ACCV

No cenário escolhido para este estudo, retirado de JANNUZZI *et al* (2003), são selecionados os refrigeradores modelos X e Y, de 330 litros, com as respectivas fatias de mercado assumidas de 53% e 47% (sendo 29% detida pela marca Y, mais 18% por todas as marcas restantes). Hipoteticamente neste cenário, denominado aqui de “H”, 53% representam o mercado de refrigeradores mais eficientes e 47% representam os refrigeradores de eficiência média encontrados no mercado (percentuais do mercado de refrigeradores brasileiros baseados em www.datamark.com, consultado em 12/04/2005). No cenário “H” é simulada a implantação do padrão de eficiência energética a partir do Padrão Mínimo de Eficiência Energética (MEPS – *Minimum Energy Performance Standards*). Neste cenário também é feita uma análise de sensibilidade, com fins de identificação, dos efeitos causados pela variação da tarifa de energia elétrica nos resultados alcançados na metodologia de Análise do Custo do Ciclo de Vida. Foi definida uma variação de 10% para mais e para menos na tarifa de eletricidade e, como citado anteriormente, a variável “Taxa de Retorno” para o consumidor é simulada com três valores distintos, 12%, 14% e 16%, também com objetivo de análise de sensibilidade. Depois de escolhido o cenário do estudo de caso, o próximo passo é se calcular a média ponderada do consumo (kWh/ano) por fatia de mercado do cenário “H”.

4.4.2 Cálculo da Média Ponderada do Consumo por Divisão de Mercado do Cenário “H” Escolhido para a Análise do Custo do Ciclo de Vida

Calcula-se a média ponderada dos consumos dos dois refrigeradores escolhidos (X e Y), com suas fatias de mercado (53% e 47% respectivamente), em kWh/ano. A Tabela 21 apresenta os consumos (kWh/ano) obtidos com as inovações sugeridas (simulado no *software ERA* por JANNUZZI *et al*, 2004) nos dois modelos de refrigeradores, mais a média ponderada do consumo, pelas fatias de mercado de X e Y, de cada inovação.

Tabela 21: Consumos Específicos e a Média Ponderada (X * 53% e Y * 47%) Destes Consumos (em kWh/ano)

Inovação	Consumo (kWh/ano)		Média Ponderada do Consumo (kWh/ano)
	Modelo X	Modelo Y	
Sem inovação (C0)	330	330	330
compressor (C1)	290	262	277
Isol. ½" porta (C2)	279	252	266
Isol ½" parede (C3)	250	216	234
Isolam. 1" porta (C4)	243	210	228
Isol 1" parede (C5)	223	189	207

4.4.3 Cálculo do Custo Operacional, da Economia de Energia Alcançada e da Economia no Custo Operacional para o Consumidor

O custo operacional foi calculado multiplicando a média ponderada dos consumos dos modelos de refrigeradores (X e Y) pelas tarifas de eletricidade com imposto (ICMS médio de 18%), e, também, pelas tarifas com acréscimo no seu valor de 10% e com decréscimo no seu valor de 10%. A economia de energia foi obtida dividindo-se o consumo ponderado com inovação pelo consumo ponderado coletado dos modelos antes da inserção de inovações. Por último, a economia alcançada com a redução do consumo, conseqüentemente com a redução do custo operacional, foi calculada multiplicando a economia de energia obtida (kWh/ano) pelas tarifas de eletricidade citadas acima. Na Tabela 22 são apresentados os resultados alcançados com os cálculos descritos acima.

Tabela 22: Custo Operacional, Economia de Energia e Economia/Redução de Consumo

Inovação	Custo Operacional Consumo X tarifas (R\$/ano)			Economia Energia (kWh/ano)	Economia (R\$/ano) / Redução do Consumo (kWh/ano)		
	Tarifa + ICMS	Sensibilid. (+10 %)	Sensibilid. (-10 %)		Tarifa+ICMS	Sensibilidade (+ 10%)	Sensibilidade (-10 %)
Sem inovação (C0)	104,48	114,92	94,03	0	0,00	0,00	0,00
I- compressor (C1) + C0	87,60	96,36	78,84	53	16,87	18,56	15,19
II- Isol. ½" porta (C2) + I	84,20	92,62	75,78	64	20,27	22,30	18,24
III- Isol. ½" parede (C3) + II	74,16	81,57	66,74	96	30,32	33,35	27,29
IV- Isol. 1" porta (C4) + III	72,04	79,25	64,84	102	32,43	35,68	29,19
V- Isol. 1" parede (C5) + IV	65,48	72,02	58,93	123	39,00	42,90	35,10

Os valores apresentados na Tabela 22 são a base para realização do cálculo do Custo do Ciclo de Vida, do período de retorno do investimento (*Payback Period*) e da engenharia

econômica (custo para o fabricante e custo para o consumidor). A análise de sensibilidade da ACCV associada à variação da tarifa de eletricidade é melhor visualizada na subseção 4.4.4, onde encontram-se figuras que ilustram a análise de viabilidade econômica de cada inovação sugerida no refrigerador.

4.4.4 Custo do Ciclo de Vida (CCV) para Implantação dos Padrões

Com os dados coletados e aplicando a metodologia da ACCV descrita no capítulo 3, obtêm-se os resultados indicados na Tabela 23, que incluem as duas análises de sensibilidade já mencionadas, a da tarifa de energia elétrica e a da taxa de retorno.

Tabela 23: Custo do Ciclo de Vida - CCV

Custo do Ciclo de Vida - CCV (em Reais R\$)									
Vida Útil Estimada em 16 anos									
Inovação	Tafira + ICMS (R\$)			Sensibilidade (+10%) em R\$			Sensibilidade (-10%) em R\$		
	12,00%	14,00%	16,00%	12,00%	14,00%	16,00%	12,00%	14,00%	16,00%
Sem inovação (C0)	2.527,61	2.453,55	2.391,22	2.600,48	2.519,00	2.450,44	2.454,75	2.388,09	2.332,00
I- compressor (C1) + C0	2.476,72	2.414,62	2.362,35	2.537,81	2.469,50	2.412,01	2.415,62	2.359,73	2.312,70
II- Isol. ½" porta (C2) + I	2.475,27	2.415,57	2.365,34	2.533,99	2.468,33	2.413,07	2.416,55	2.362,82	2.317,61
III- Isol. ½" parede (C3) + II	2.479,19	2.426,62	2.382,38	2.530,91	2.473,08	2.424,42	2.427,48	2.380,16	2.340,35
IV- Isol. 1" porta (C4) + III	2.484,06	2.432,99	2.390,01	2.534,30	2.478,12	2.430,85	2.433,82	2.387,86	2.349,18
V- Isol. 1" parede (C5) + IV	2.497,62	2.451,20	2.412,14	2.543,28	2.492,22	2.449,25	2.451,96	2.410,18	2.375,02

Os resultados mostrados na Tabela 23 estão ilustrados na Figura 29.

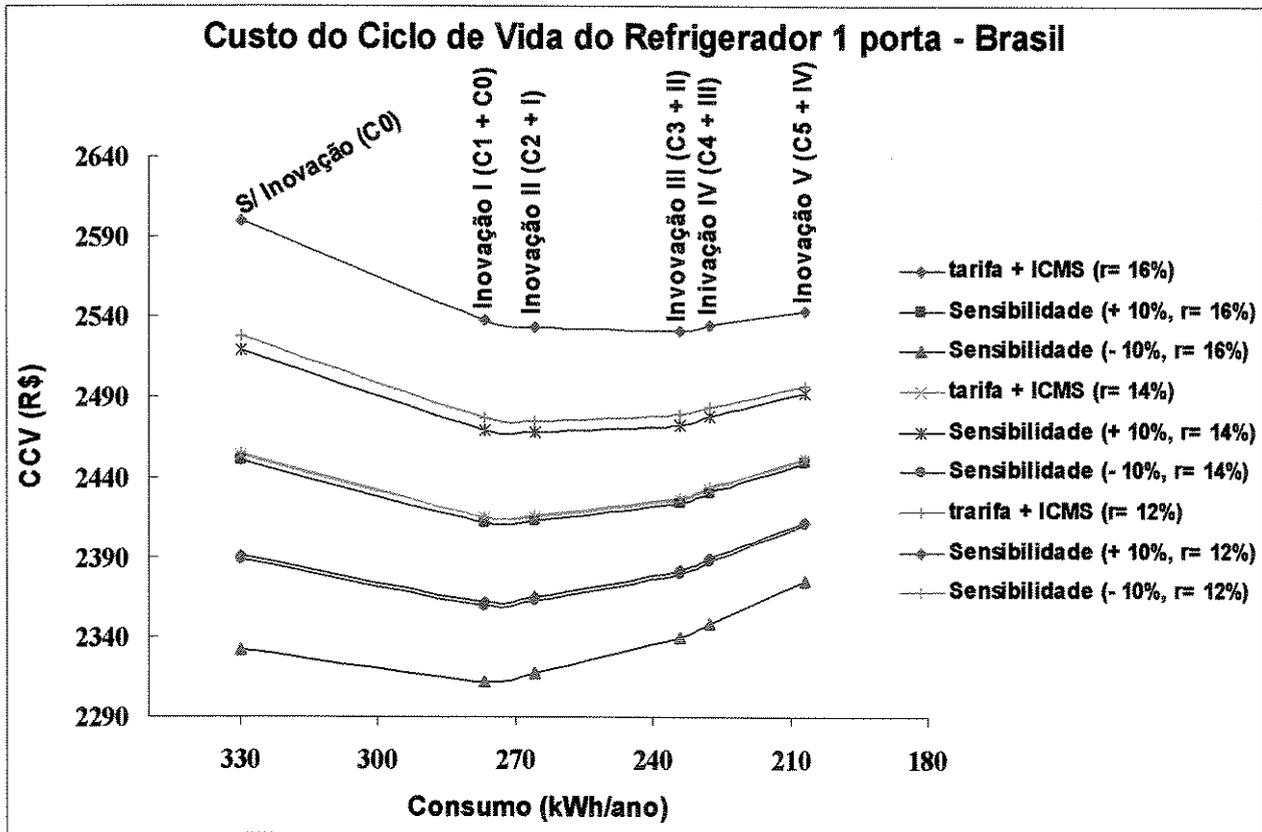


Figura 29: Custo do Ciclo de Vida do Refrigerador de uma Porta no Brasil

Note na Figura 29, que o Custo do Ciclo de Vida decresce em um primeiro momento, com o aumento da eficiência (inovações acumuladas) no refrigerador. Isto ocorre porque o ganho (R\$) com a economia de energia alcançada é maior do que o custo das inovações somadas aos seus respectivos custos operacionais (está diferença é denominada aqui de economia líquida, posteriormente ilustrada na subseção 4.4.7). Contudo, observe que reduzindo progressivamente o consumo (aumento de eficiência) do refrigerador a curva do CCV aumenta. Ocorre um efeito contrário ao explicado acima, pois, o ganho (R\$) com a economia de energia alcançada torna-se menor que o custo das inovações somadas aos seus respectivos custos operacionais. Neste momento, as variáveis: taxa de retorno (r), vida útil (N) e tarifa de eletricidade influenciam diretamente a inclinação e a amplitude da curva. Analisando a Figura 29, nota-se isto claramente que quando são observadas as curvas “Sensibilidade (-10%, r= 16%)”, com seus pontos mínimo e máximo, respectivamente, entre R\$ 2.312,70 e R\$ 2.375,02, “Sensibilidade (+10%, r= 12%)”, com seus pontos mínimo e máximo, respectivamente, entre R\$ 2.530,91 e R\$ 2.600,48. Estas

duas curvas ocupam, respectivamente, os extremos inferior e superior da Figura 29 mostrando claramente a influência e a importância destas variáveis, pois, na medida em que a taxa de retorno para o consumidor cai e a tarifa de energia elétrica aumenta, o Custo do Ciclo de Vida do refrigerador aumenta, podendo inviabilizar o projeto, dependendo da inclinação da curva.

Após a análise feita da influência das principais variáveis envolvidas no cálculo do CCV, na Figura 30 apresentam-se as curvas selecionadas para realização da Análise do Custo do Ciclo de Vida – ACCV, encontrando o Padrão Mínimo de Eficiência Energética (MEPS – *Minimum Energy Performance Standards*), cálculo do Período de Retorno do Investimento (*Payback Period*) e cálculo da Engenharia Econômica (custo para o fabricante e preço para o consumidor).

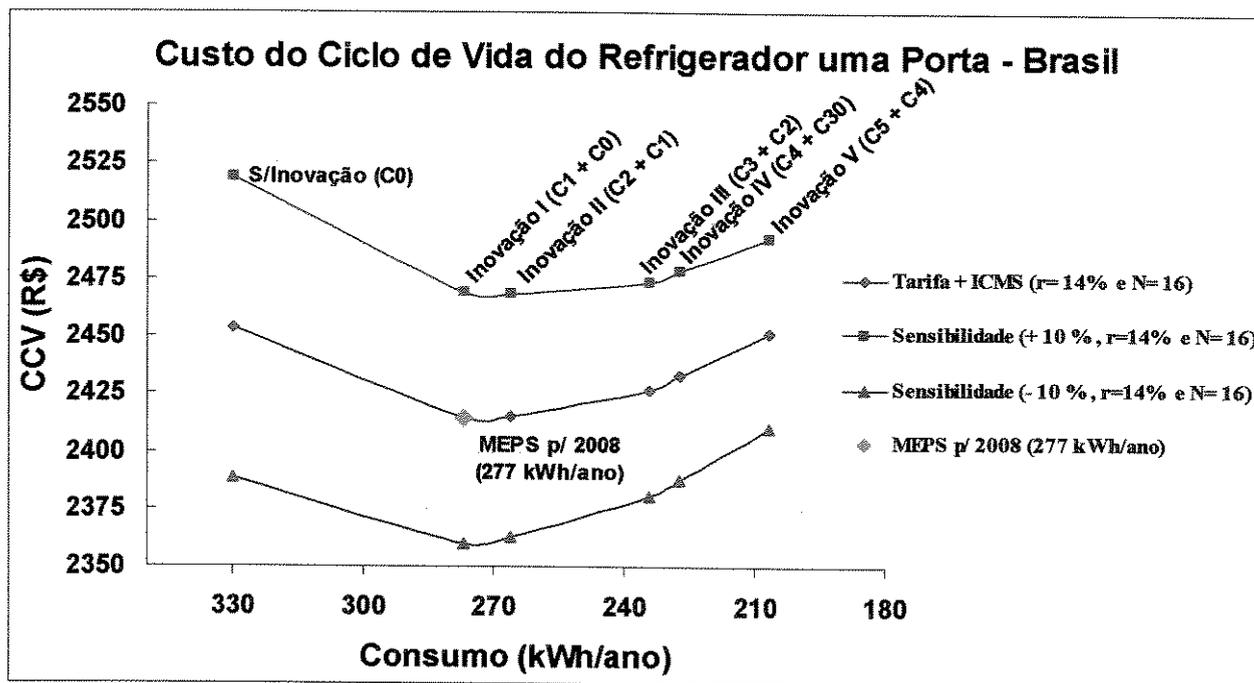


Figura 30: Custo do Ciclo de Vida - Escolha do MEPS

A ACCV possibilita se escolher do MEPS analisando-se qual conjunto de inovações possui melhor retorno para o consumidor. A Figura 30 mostra a curva “Tarifa + ICMS (r= 14% e N=16)”, ou seja, a tarifa foi acrescida de impostos para uma taxa de retorno de 14% ao ano e vida útil de 16 anos. Note que o ponto de menor CCV para o consumidor está na inovação I (preço do refrigerador no mercado “C0” + custo do compressor mais eficiente sugerido na inovação I “C1”). Desta forma, utilizando-se dos princípios da ACCV é escolhido o MEPS (16,10%) com base no menor ponto plotado na curva. O MEPS encontrado foi de 277 kWh/ano (23,08

kWh/mês), para ser implantado como padrão mínimo de eficiência energética nos refrigeradores de uma porta em 2008 no Brasil.

Com a variação no preço da tarifa de energia elétrica o MEPS pode ser deslocado na curva como mostrado na análise feita a seguir. Na curva que representa um acréscimo de 10% na tarifa de eletricidade, o MEPS é encontrado na inovação II (Inovação I + aumento de ½” no isolante da porta do refrigerador), que corresponde a um índice de eficiência energética de 266 kWh/ano, ou seja, a eficiência alcançada, em 2008, seria de 20%. Na curva em que a tarifa de eletricidade é reduzida 10%, o MEPS novamente retorna para a inovação I (Caso base “C0” + inserção de compressor mais eficiente “C1”), mantendo os mesmos ganhos de eficiência do MEPS da curva “Tarifa + ICMS (r= 14% e N=16)”.

Desta forma, adota-se na seqüência do estudo uma proposta de padrão via ACCV de 16,10% (MEPS encontrado) + 12% (consumo médio ponderador do mercado de refrigeradores de 1 porta no Brasil) calculado na subseção 4.2.4 (Análise Estatística). É adotado nesta dissertação que o padrão 1 deva ter o seu ponto de referência partindo da média de consumo dos refrigeradores de uma porta do mercado brasileiro, obtida nos cálculos da Análise Estatística. Esta escolha foi feita porque a tecnologia para se atingir a média do mercado é conhecida e utilizada em muitos refrigeradores. Portanto, a ACCV exige um maior esforço por parte dos fabricantes resultando em melhores ganhos de eficiência energética.

A Figura 31 ilustra a variação do custo para o fabricante e do preço para o consumidor das diversas inovações analisadas neste trabalho.

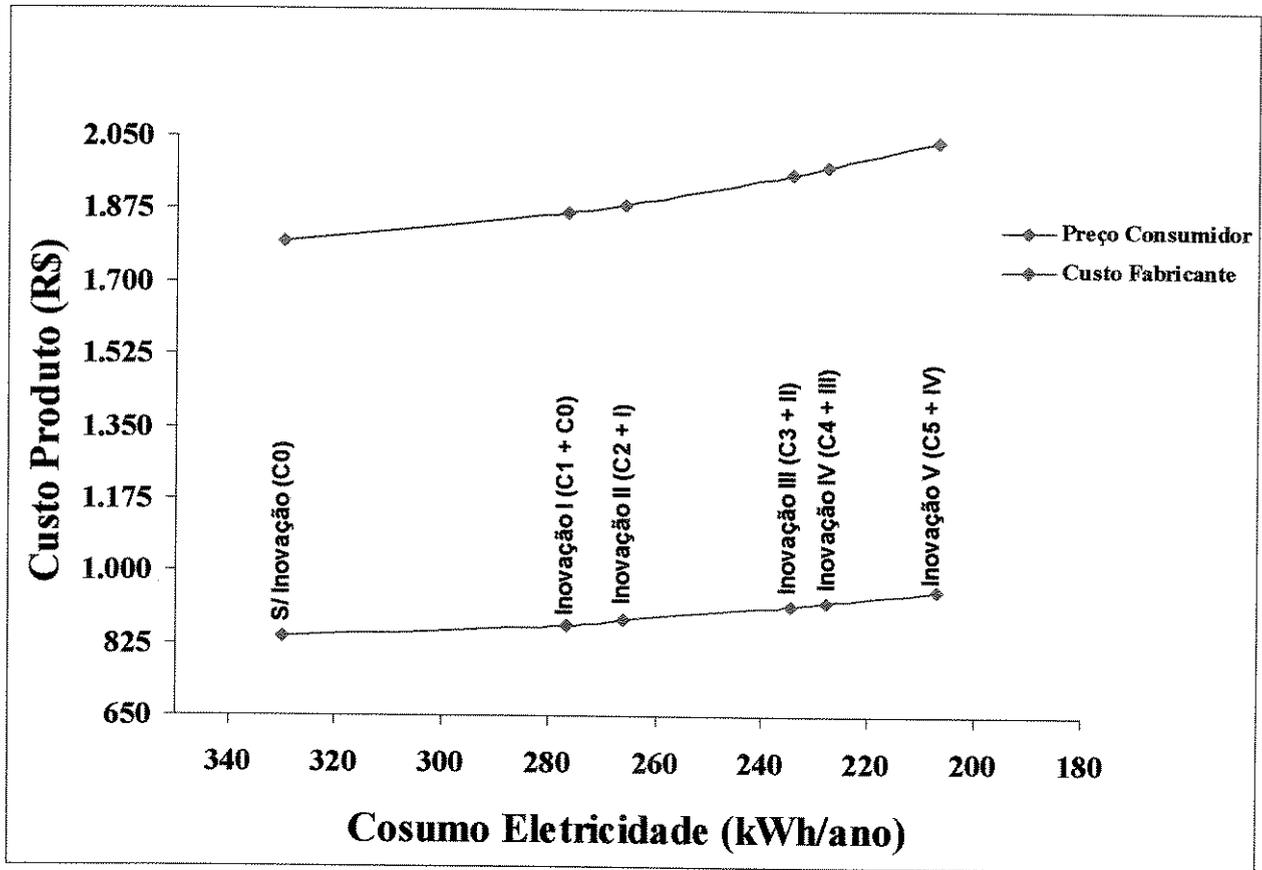


Figura 31: Custo do Refrigerador para o Fabricante e Preço para o Consumidor, para as Diversas Inovações Analisadas

Na elaboração da Figura 31 foi utilizado o preço de R\$ 1799,00 para o refrigerador de uma porta de 330 litros encontrado no mercado (em 2005), os custos das inovações acumulados e um fator de conversão de 2,14 (DOE, 1995), do preço do refrigerador para o consumidor em relação ao custo do fabricante.

4.4.5 Período de Retorno do Investimento

O cálculo do Período de Retorno do Investimento auxilia na tomada da decisão sobre a viabilidade, ou não, das inovações analisadas. O *Payback Period* foi calculado considerando também a taxa de retorno do investimento. A Figura 32 ilustra o Período de Retorno do Investimento das inovações sugeridas para o refrigerador brasileiro de uma porta.

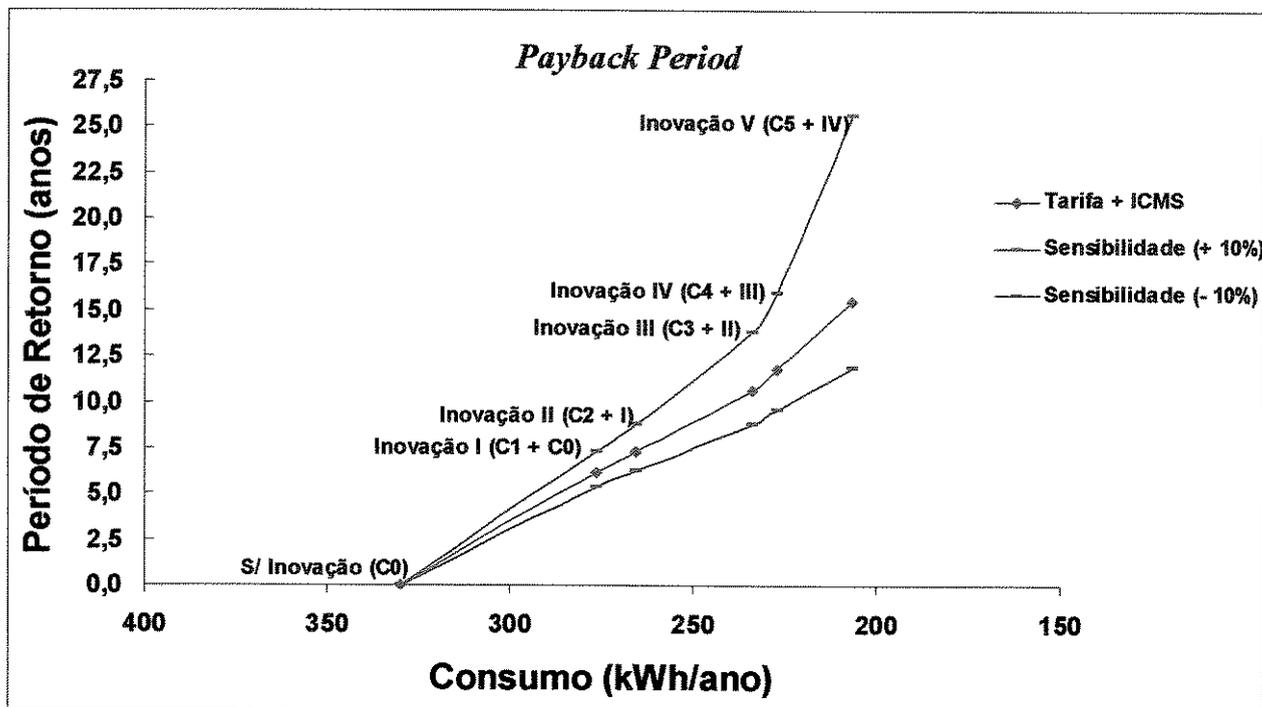


Figura 32: Período de Retorno do Investimento para $r = 14\%$ ao ano

Com a vida útil de 16 anos para o refrigerador e o MEPS (inovação I) já definido, o próximo passo é a análise do *Payback Period* da curva “Tarifa + ICMS” (Figura 32). Para que o projeto possa ser viabilizado, as inovações escolhidas precisam ser pagas antes do fim da vida útil do refrigerador. Observando a curva do *Payback Period* (“Tarifa + ICMS”) nota-se que ao se implantar o MEPS com a inovação I, os investimentos feitos são pagos em aproximadamente 6 anos (6,2 anos), restando para o consumidor 10 anos (dos 16 anos de vida útil) de economia líquida na conta de eletricidade (“conta de luz”). Isto sem considerar os 16 anos de economia de energia e de redução de CO_2 emitido ao ambiente oriundo de termelétricas que estariam queimando gás natural para geração de eletricidade no Brasil e que seriam evitadas. A mensuração destas economias é apresentada na subseção 4.4.7.

Analisando, ainda, a Figura 32, nota-se que quaisquer das inovações sugeridas neste estudo possuem um retorno do investimento abaixo da vida útil do refrigerador (curva *Payback Period* - “Tarifa + ICMS”).

4.4.6 Implantação dos Padrões de Eficiência Energética Segundo a ACCV

Na aplicação da metodologia ACCV, propõe-se a implantação de dois padrões de eficiência selecionados da seguinte forma:

- Padrão 1, em 2008, com um ganho de eficiência energética de 28,10%. Este padrão é obtido com o valor do ganho de eficiência de 16,10% (MEPS) com a inovação I (compressor mais eficiente) + 12% da média de consumo do mercado de refrigeradores brasileiros de uma porta no ano de 2005 (média de consumo obtida através da Análise Estatística). Como apresentado anteriormente, foi definido iniciar o padrão 1 da ACCV a partir da média de consumo do mercado de refrigeradores, pois, a maioria dos refrigeradores estudados os seus fabricantes possuem conhecimento tecnológico suficiente para atingir a média do mercado. Portanto, não seria um desafio para os fabricantes de refrigeradores. Este percentual de 28,10% faz parte do padrão mínimo de eficiência energética representando a categoria “G” (de uma variação de categoria “A” para “G” do selo PROCEL de eficiência energética apresentado no capítulo 2 desta dissertação). Desta forma, foi estipulado para que o refrigerador chegue à categoria “A”, ele terá que aumentar sua eficiência energética em 40%, ou seja, 11,90% mais eficientes que o exigido pelo Padrão 1 para participar do programa de eficiência energética nacional e receber o selo de aprovação do PROCEL. O percentual de 11,90% pode ser atingido utilizando outras inovações tecnológicas no refrigerador.

Na prática, a ACCV e a obtenção do MEPS devem ser refeitas a cada implantação de padrão. Assim, passando-se o período de tempo (*por exemplo*, 3, 5, 8, etc. anos após a implantação do padrão), pré-determinado pelos agentes responsáveis pelo programa de padrões e selos de eficiência no Brasil, uma nova ACCV e um novo cálculo de MEPS deverão ser realizados.

A Figura 33 ilustra o padrão 1 sugerido, a média de consumo do mercado hoje e a sugestão de ganho de eficiência energética para a categoria “A” do Selo PROCEL. O objetivo é facilitar a visualização das reduções ocorridas no consumo do refrigerador *versus* seu volume ajustado.

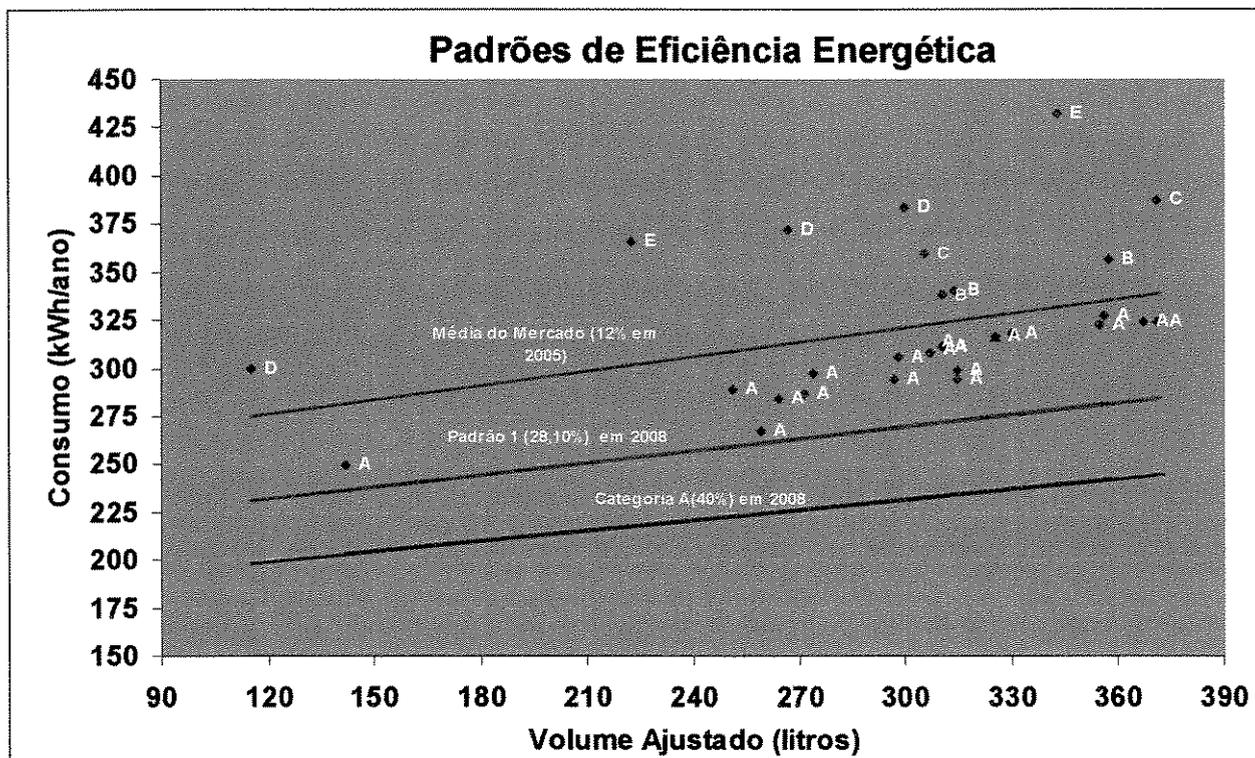


Figura 33: Ilustração do Padrão de Eficiência Energética Sugerido na ACCV

Na Tabela 24 são apresentadas as respectivas equações de reta de cada padrão sugerido pela ACCV e da média do mercado.

Tabela 24: Equações da Média do Mercado, Padrão 1 e Categoria “A” do PROCEL

	Máximo Consumo Permitido (kWh/ano)
Média do Mercado ²⁹ =>	$0,2496*VA + 246,4888$
Padrão 1 (“G”)=>	$0,2094*VA + 206,8041$
Categoria “A” =>	$0,1797*VA + 177,4719$

4.4.7 Possíveis Economias Alcançadas com a Implantação do Padrão de Eficiência Energética Segundo a Análise do Custo do Ciclo de Vida

São estimadas, nesta seção, as economias alcançadas com a implantação do padrão de eficiência energética. As grandezas calculadas novamente foram:

²⁹ A equação da média do mercado (Padrão 1) é a mesma sugerida pela metodologia de Análise Estatística, como explicado anteriormente.

- Economia Acumulada ao longo dos anos com a redução do consumo de energia elétrica (TWh);
- Redução do custo operacional (diminuição da conta de energia elétrica - R\$/ano);
- Gás de efeito estufa (CO₂) não lançado ao ambiente oriundo de termelétricas (queimando gás natural) não construídas por causa da redução da demanda no consumo de energia elétrica, ocasionada pelo aumento de eficiência energética dos refrigeradores; e
- Possível ganho com a venda de projetos de crédito de carbono (MDL) decorrente da redução na emissão de CO₂ no ambiente (R\$).

A Figura 34 apresenta a economia de energia elétrica acumulada, por ano, até 2038, decorrente do aumento na eficiência dos refrigeradores.

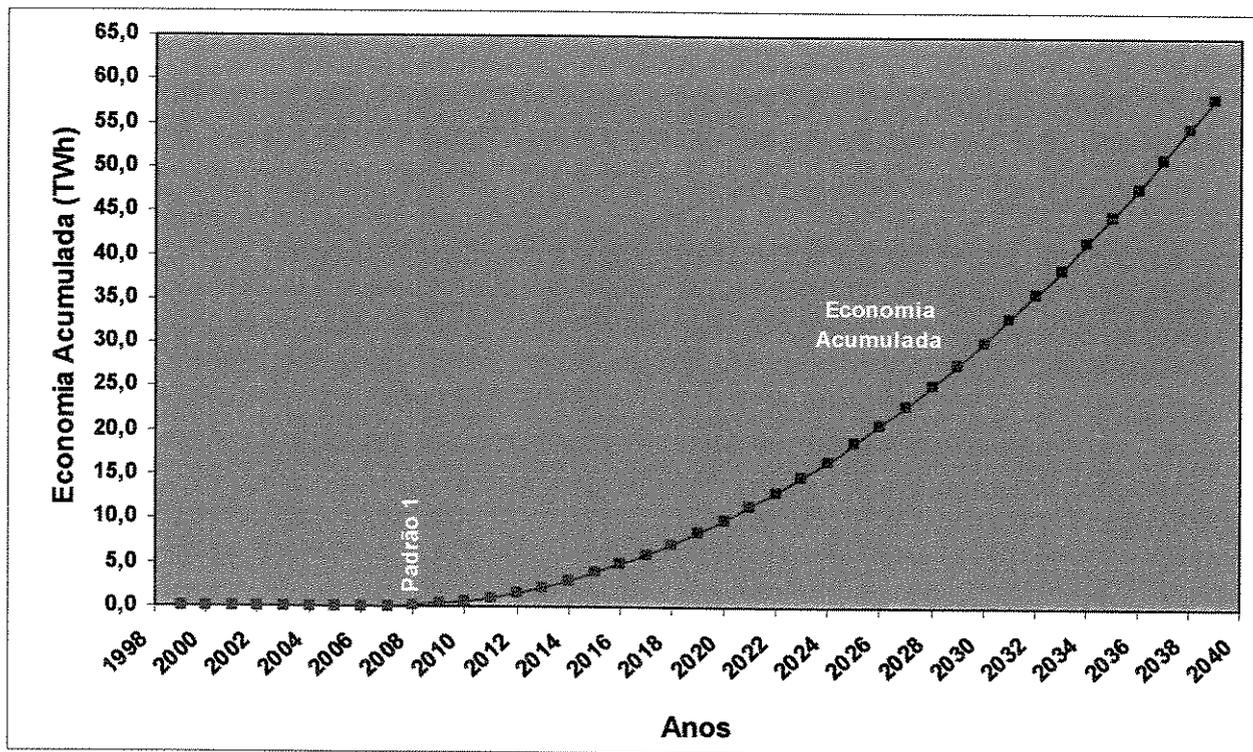


Figura 34: Economia Acumulada de Eletricidade (TWh/ano) com a Implantação do Padrão 1

Esta figura apresenta uma economia acumulada no consumo de eletricidade de aproximadamente 0,11 TWh (110 GWh) já em 2008 com a implantação do Padrão 1 encontrado

pela ACCV, de 2,26 TWh de 2008 a 2013 e de 7,16 TWh de 2008 a 2018. O resultado na redução do consumo ficou próximo dos 54,6 TWh de 2008 a 2038 (30 anos após a implantação do primeiro padrão). Estes valores de economia de consumo equivalem a, respectivamente, 12,6 MW, 51,6 MW, 81,7 MW e 208 MW de redução da potência instalada no parque elétrico brasileiro, ou seja, termelétricas com estas respectivas potências que deixariam de ser construídas e deixariam de emitir gás de efeito estufa ao meio ambiente.

Na Figura 35 é apresentada a economia líquida acumulada, alcançada com a diferença entre a economia acumulada (somatório das economias obtidas por ano) e o custo das inovações (responsáveis pela redução no consumo de eletricidade) inseridas em cada refrigerador.

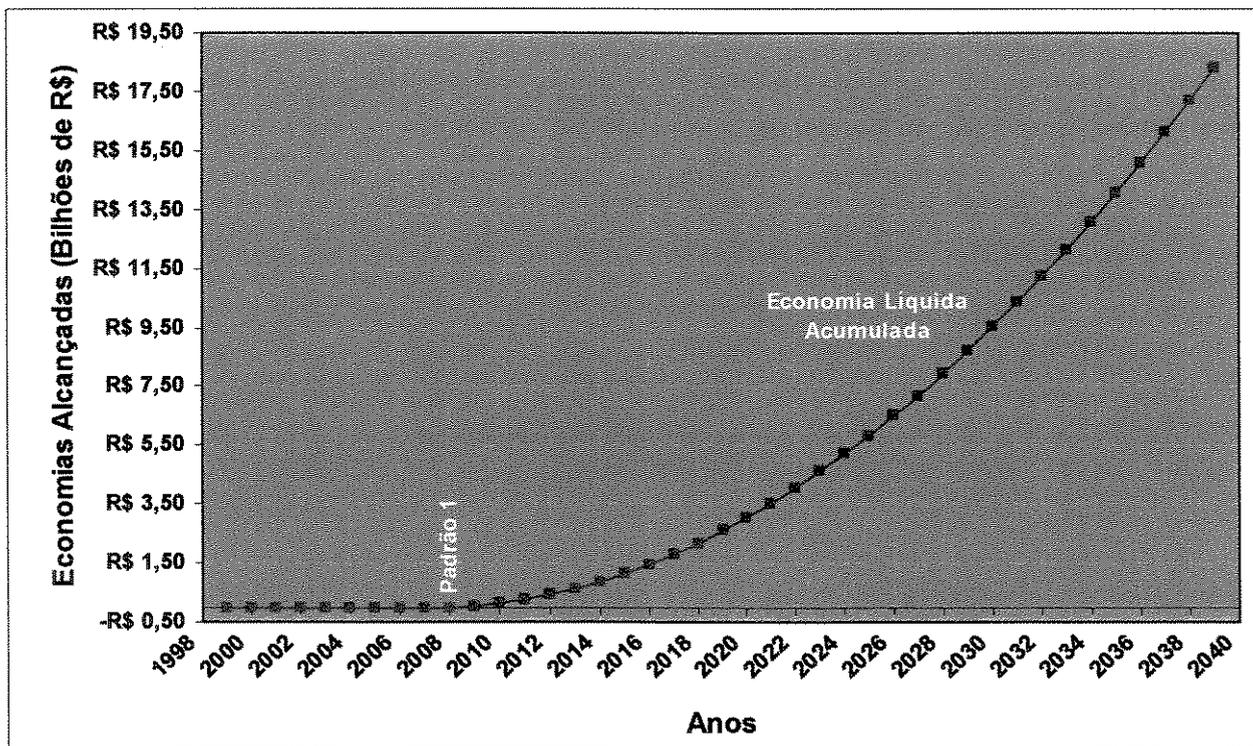


Figura 35: Economia Líquida Acumulada com a Implantação do Padrão 1

Após serem descontados os valores referentes aos custos por inovação, a economia líquida obtida em 2008 sofre um *déficit* de aproximadamente R\$ 46 milhões, mas, já no primeiro ano após a implantação do Padrão 1, 2009, a economia de energia decorrente do aumento de eficiência supera os custos das inovações e de operação voltando a um saldo positivo de R\$ 21 milhões. Chega-se aos expressivos montantes de R\$ 457 milhões de 2008 a 2013, de R\$ 2,18 bilhões de 2008 a 2018 e de R\$ 17,22 bilhões de 2008 a 2038.

A redução na emissão do gás de efeito estufa (CO₂) também é calculada pela ACCV e encontra-se ilustrada na Figura 36.

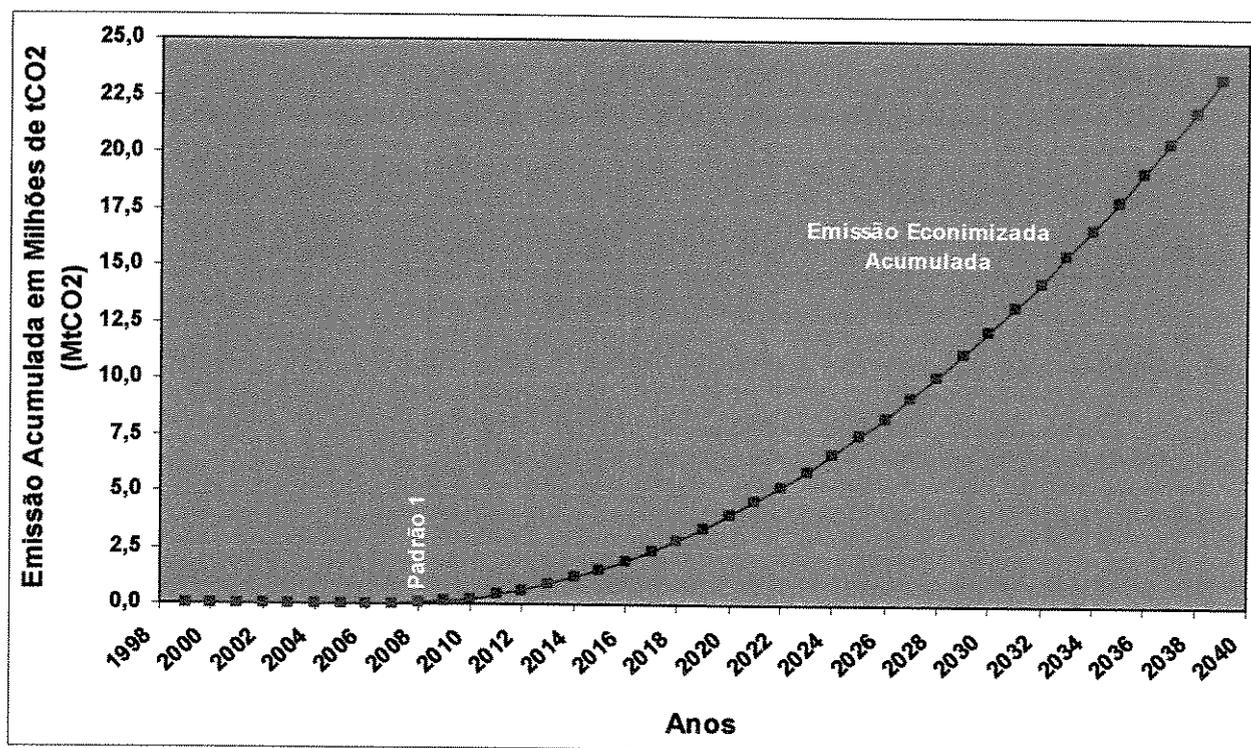


Figura 36: Redução Acumulada na Emissão de CO₂ ao Ambiente

Analisando a Figura 36, chega-se há valores acumulados, ano a ano, com a redução na emissão do gás de efeito estufa, em torno de 40 ktCO₂ em 2008, 910 ktCO₂ de 2008 a 2013, de 2,87 MtCO₂ de 2008 a 2018 (milhões de tCO₂) e de 21,94 MtCO₂ de 2008 a 2038. Como já comentado anteriormente, o Brasil está na categoria dos países em desenvolvimento, e, como tal, ele não é obrigado pelo Protocolo de *Kyoto*, a reduzir emissões de carbono no ambiente. Contudo, o Brasil pode se beneficiar com projetos de redução das emissões de carbono no ambiente através da venda de créditos de carbono, aumentando suas reservas financeiras e, ainda, desfrutando de uma participação pró-ativa para um desenvolvimento sustentável. A Figura 37 ilustra uma projeção dos ganhos alcançados com a venda de crédito de carbono, feita considerando o valor de US\$ 5,00 a tonelada de carbono (HAITES *and* SERES, 2004), juntamente com os valores sugeridos de US\$ 15,00 e US\$ 30,00 para avaliar a sensibilidade destes ganhos com a variação destes preços no mercado.

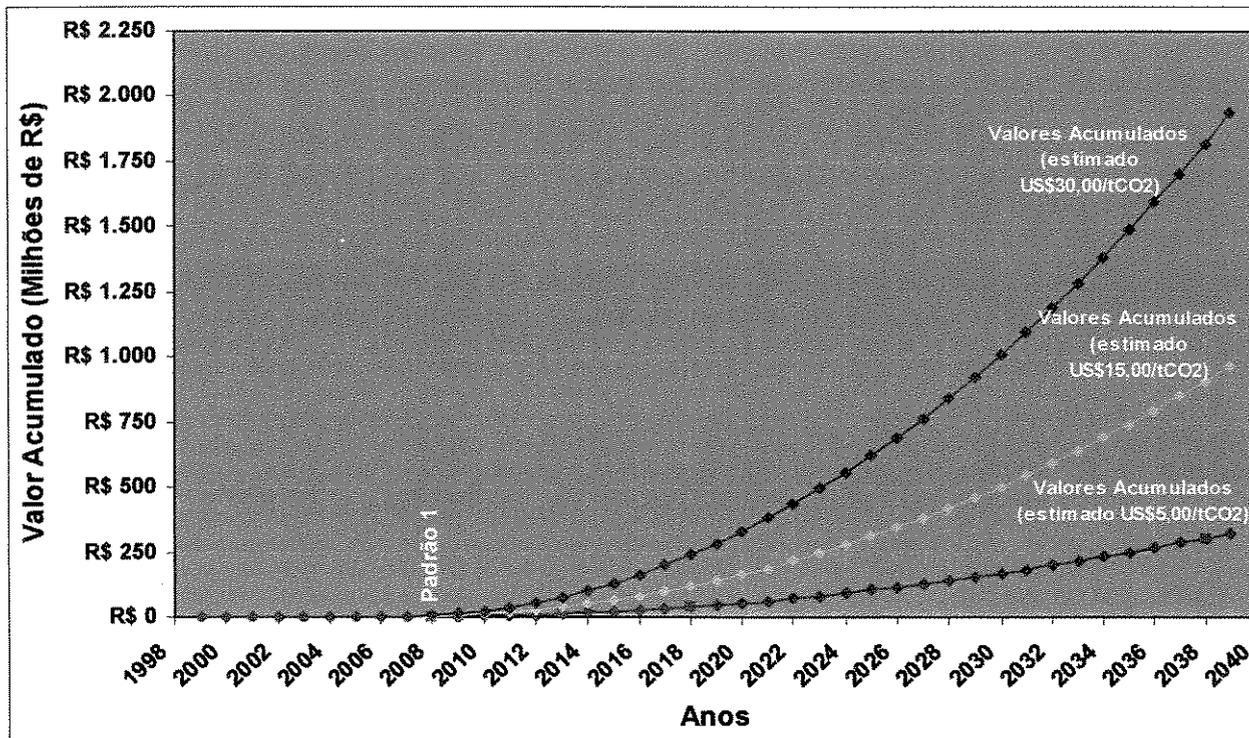


Figura 37: Valor Acumulado Estimado para a Redução na Emissão da tCO₂ com a Implantação do Padrão 1

Os ganhos, ilustrados na Figura 37, com a venda de crédito de carbono estão estimados nos montantes de R\$ 0,59 milhão em 2008 (padrão 1), R\$ 12,55 milhões de 2008 a 2013, R\$ 39,66 milhões de 2008 a 2018 e R\$ 302,8 milhões de 2008 a 2038 (limite da projeção), para o valor de US\$ 5,00/tCO₂. Caso o valor da tonelada de carbono aumente para US\$ 15,00 os montantes chegariam a R\$ 1,78 milhão em 2008, R\$ 37,64 milhões de 2008 a 2013, R\$ 119,00 milhões de 2008 a 2018 e R\$ 908,4 milhões de 2008 a 2038. Da mesma forma, simulando uma valorização do mercado de crédito de carbono de US\$ 5,00 para US\$ 30,00 por tonelada de CO₂ não emitida ao ambiente, chega-se aos expressivos montantes de R\$ 3,55 milhões em 2008, R\$ 75,28 milhões de 2008 a 2013, R\$ 237,97 milhões de 2008 a 2018 e R\$ 1.816,80 milhões de 2008 a 2038.

4.4.8 Resumo dos Resultados Alcançados com a ACCV

O objetivo da apresentação dos resumos, sob forma de tabelas, dos resultados já ilustrados anteriormente em toda Seção 4.4, é mostrar os valores de forma seqüencial e agrupada, para facilitar sua interpretação, como já explicado antes. Este resumo é confrontado com o resumo dos

resultados alcançados com a aplicação da metodologia de Análise Estatística (Seção 4.2) nas conclusões do capítulo 4.

Tabela 25: Resultados Alcançados com a ACCV (Padrão 1)

Ano	Economia Acumulada (TWh)	Potência Respectiva (MW)	Economia Acumulada (Milhões R\$)	Redução Acumulada na Emissão de CO ₂ (MtCO ₂)	Base US\$ 5,00	Base US\$ 15,00	Base US\$ 30,00
					Possível Ganho com Crédito de Carbono (Milhões R\$)	Possível Ganho com Crédito de Carbono (Milhões R\$)	Possível Ganho com Crédito de Carbono (Milhões R\$)
2008	0,11	12,6	- R\$ 46,00	0,04	R\$ 0,59	R\$ 1,78	R\$ 3,55
2013	2,26	51,6	R\$ 635,00	0,91	R\$ 12,55	R\$ 37,64	R\$ 75,28
2018	7,16	81,7	R\$ 2.183,00	2,87	R\$ 39,66	R\$ 119,00	R\$ 237,97
2038	54,63	208	R\$ 17.218,00	21,94	R\$ 302,80	R\$ 908,40	R\$ 1.816,80

Novamente, fazendo-se uma hipótese de que todos os refrigeradores (estimulados pela procura do consumidor por refrigeradores mais eficientes) chegassem à categoria “A” em 2010, os valores da Tabela 25 aumentariam consideravelmente, como apresentado na Tabela 26.

Tabela 26: Resultados Alcançados com a ACCV (Categoria “A”)

Ano	Economia Acumulada (TWh)	Potência Respectiva (MW)	Economia Acumulada (Milhões R\$)	Redução Acumulada na Emissão de CO ₂ (MtCO ₂)	Base US\$ 5,00	Base US\$ 15,00	Base US\$ 30,00
					Possível Ganho com Crédito de Carbono (Milhões R\$)	Possível Ganho com Crédito de Carbono (Milhões R\$)	Possível Ganho com Crédito de Carbono (Milhões R\$)
2010	0,69	39,4	- R\$ 45,00	0,28	R\$ 3,82	R\$ 11,47	R\$ 22,93
2013	2,72	62,1	R\$ 596,00	1,10	R\$ 15,09	R\$ 45,28	R\$ 90,56
2018	9,23	105,4	R\$ 2.654,00	3,71	R\$ 51,18	R\$ 153,53	R\$ 307,06
2038	75,00	285,4	R\$ 23.487,00	30,12	R\$ 415,69	R\$ 1.247,06	R\$ 2.494,12

Posteriormente, na subseção 4.5.2, são apresentadas tabelas do Índices de Eficiência Energética (IEE) desenvolvidos para cada momento de implantação dos padrões sugeridos pela ACCV.

4.5 Índices de Eficiência Energética (IEE) Sugeridos por esta Dissertação

O objetivo desta Seção é apresentar os Índices de Eficiência Energética (IEE) para os refrigeradores brasileiros de uma porta e propostos por esta dissertação.

4.5.1 Índices de Eficiência Energética Obtidos Através da Análise Estatística

Através da utilização da metodologia de Análise Estatística calculou-se o IEE para o Selo de Eficiência Energética. Desta maneira, com a implantação do Padrão 1, em 2008, este índice pode ser atualizado como indicado na Tabela 27.

Tabela 27: Proposta de Índice de Eficiência Energética para o Padrão 1 (+ 12%) em 2008

Classe	IEE		
A	12,45	<	IEE
B	12,32	< ou ≤	12,45
C	12,17	< ou ≤	12,32
D	12,03	< ou ≤	12,17
E	11,67	< ou ≤	12,03
F	11,20	< ou ≤	11,67
G	IEE	≤	11,20

O exercício realizado objetiva facilitar a interpretação dos Índices de Eficiência Energética acima. Desta forma, pegando-se o volume ajustado do refrigerador (por exemplo, 330 litros) dividindo-o pelo seu consumo mensal (por exemplo, 25,39 kWh/mês) é obtido o IEE = 13,00. Comparando o IEE = 13,00 com a Tabela 27 (Padrão 1 no ano de 2008) o refrigerador encontra-se na categoria “A”.

4.5.2 Índices de Eficiência Energética Sugeridos Pela Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV)

O índice que é sugerido pela ACCV está ilustrado na Tabela 28 para o padrão 1 (28,10% no ano de 2008).

Tabela 28: Proposta de Índice de Eficiência Energética para o Padrão 1 (28,10%) em 2008

Classe	IEE		
A	18,44	<	IEE
B	18,29	< ou ≤	18,44
C	18,07	< ou ≤	18,29
D	17,68	< ou ≤	18,07
E	17,11	< ou ≤	17,68
F	16,25	< ou ≤	17,11
G	IEE	≤	16,25

Utilizando o mesmo tipo de exercício realizado na subseção 4.5.1, como exemplo, é utilizado um refrigerador de 300 litros de volume ajustado com um consumo de 17,54 KWh por mês. Ao se obter a razão entre o VA e o Consumo do refrigerador é encontrado seu IEE = 17,10. Desta forma, em 2008 quando for implantado o padrão de eficiência energética, este refrigerador estará na categoria “F” do selo de eficiência energética.

4.6 Conclusões do Estudo de Caso

Após a realização do estudo de caso, envolvendo as metodologias de Análise Estatística e de Análise do Custo do Ciclo de Vida, foram identificadas diferenças nos resultados obtidos, causadas pelos diferentes focos de cada metodologia.

A metodologia da Análise Estatística permite avaliar os impactos da inserção de sugestões de padrões de eficiência energética sem embasamentos técnicos, diferenciando-se, assim, da ACCV, que tem um embasamento técnico oriundo de simulações de melhorias técnicas no refrigerador. Desta maneira, a metodologia de Análise Estatística pode fornecer resultados de economia, mas despreza cálculos econômicos que levam em consideração a vida útil do refrigerador, o tempo de retorno do investimento (*Payback Period*) para o consumidor, o custo por inovação sugerida e o Custo do Ciclo de Vida (CCV), podendo obter, desta forma, a economia líquida do investimento que é a diferença entre a economia total obtida e os custos do projeto de eficiência (custos de operação somados aos custos das inovações). Estes cálculos econômicos são importantes para auxiliar na viabilização ou não do projeto de eficiência energética.

Então, quando analisadas as economias alcançadas no capítulo 4 (Tabela 17 – subseção 4.2.6 e Tabela 25 – subseção 4.4.8) com as metodologias de Análise Estatística e ACCV, os valores obtidos apresentam-se bem diferentes. Isto se dá, como dito anteriormente, porque a metodologia de Análise Estatística não considera variáveis econômicas importantes, deixando menos precisos os resultados obtidos com a economia na conta de energia elétrica, decorrente do aumento de eficiência energética dos refrigeradores. Desta forma, a ACCV fornece dados mais próximos da realidade, porque são descontados das economias totais obtidas todos os custos necessários para implantação de um padrão de eficiência energética.

Desta maneira, é proposto pelo estudo de caso que a eficiência energética do refrigerador de uma porta poderia aumentar em 40% (categoria “A”) caso o padrão 1 de 28,1% no ano de 2008 seja adotado. Estes ganhos de eficiência podem ser alcançados através de inovações tecnológicas como a utilização de compressores mais eficientes e outras inovações, já existentes no mercado, como: aumento inicial de ½” e posteriormente de 1” nas espessuras do isolamento térmico das paredes, porta do refrigerador, etc. O padrão 1 proposto pela ACCV mostra-se viável economicamente, com um tempo de retorno do investimento de 6 anos, pois a média da vida útil de uma geladeira é estimada em 16 anos. No período de 2008 a 2038, a quantidade de energia economizada pode atingir o montante de 54,6 TWh, a quantidade de emissão evitada de CO₂ pode atingir os 11 milhões de tCO₂ e os consumidores brasileiros podem economizar aproximadamente R\$ 17,22 bilhões de Reais nas suas contas de eletricidade.

Para efeito comparativo³⁰ dos resultados da metodologia ACCV, utilizou-se os dados já apresentados no capítulo 1 referente ao consumo de um refrigerador (Electrolux ERC 2735 de 255 litros de uma porta) europeu da categoria “A++” com o consumo de eletricidade anual de 157 kWh (ENERGY-PLUS, 2004) e pegou-se um refrigerador (também Electrolux RE 26 de 240 litros de uma porta) brasileiro da categoria “A” com o consumo anual de 289,20 kWh (PROCEL, 2005). Em primeiro lugar, não foi possível coletar dados de um refrigerador brasileiro com exatamente 255 litros, mas foi encontrado este de 240 litros, que é muito similar. Em segundo lugar, nota-se que o refrigerador brasileiro consome 45,7% mais eletricidade do que o modelo europeu de similar volume e marca, mostrando mais uma vez que é possível reduzir os consumos dos refrigeradores no Brasil. Desta forma, com as reduções sugeridas pela ACCV, de 28,1%, no índice máximo de consumo permitido e de 40% no consumo da categoria “A”, os consumos estariam respectivamente nos patamares de 208,2 kWh/ano e 173,5 kWh/ano. Estes valores ainda estão muito aquém do encontrado no refrigerador europeu, porém seria um grande avanço para a indústria de eletrodomésticos brasileira. Finalmente, através desta comparação pode ser notado que os valores calculados no estudo de caso são perfeitamente possíveis de serem alcançados e, ao mesmo tempo, obtendo um melhor retorno econômico para o consumidor.

³⁰ A mesma comparação pode ser feita com a metodologia de Análise Estatística; basta usar os percentuais de redução de consumo sugeridos e analisá-los. Não foi realizada essa comparação porque se optou em comparar o cenário mais exigente (ACCV) encontrados neste estudo.

A metodologia de Análise Estatística propõe que o padrão 1 poderia atingir um ganho de eficiência energética de 12% no ano de 2008 e um ganho de eficiência para a categoria “A” do selo PROCEL poderia chegar ao percentual de 22%. No mesmo período de 2008 a 2038, a quantidade de energia economizada poderia atingir 23,3 TWh, a redução na emissão de CO₂ poderia atingir os 4,7 milhões de tCO₂ e a economia nas contas de energia elétrica dos consumidores brasileiros seria de aproximadamente de R\$ 7,4 bilhões de Reais.

Para ilustrar melhor as sugestões de evolução da inserção dos novos padrões de eficiência energética tanto para a Análise Estatística quanto para a ACCV foi gerada a Figura 38 que reúne todas as propostas de padrões obtidos neste trabalho.

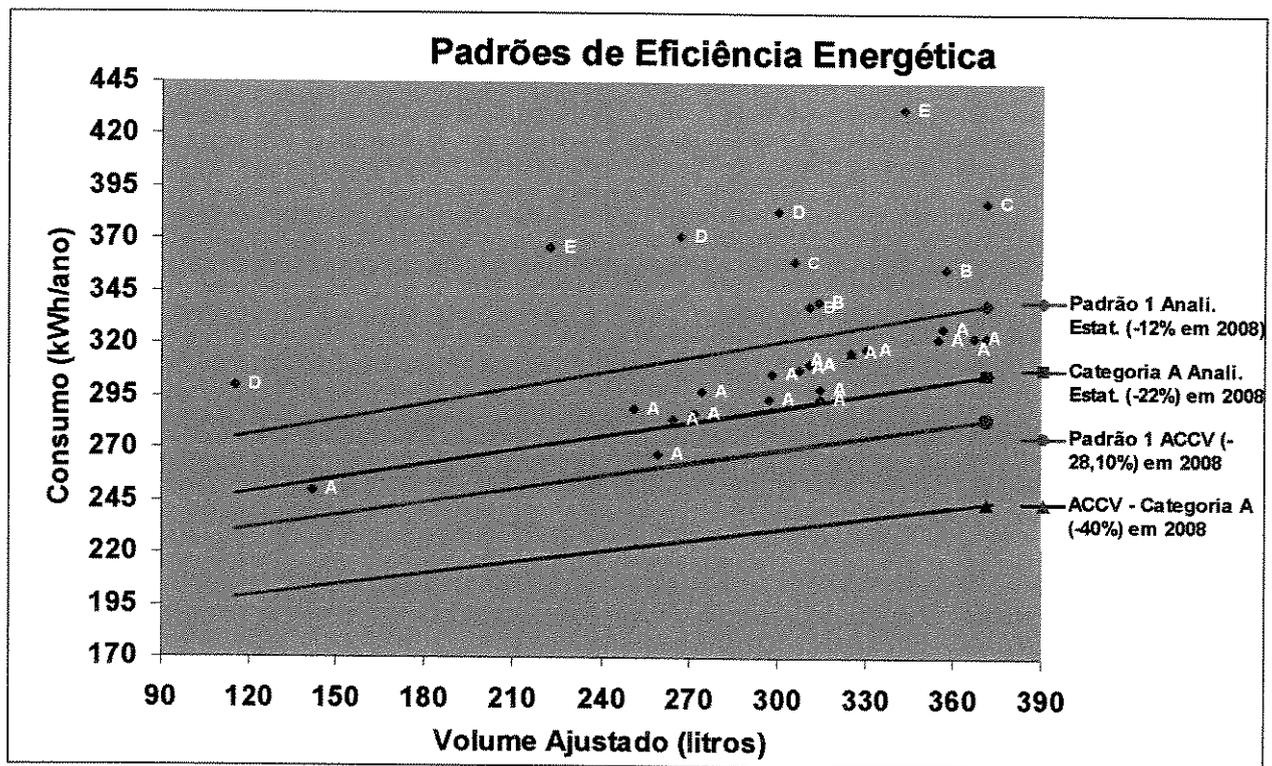


Figura 38: Resumo da Evolução dos Padrões Sugeridos Neste Trabalho

Com já foi dito anteriormente, os valores de eficiência apresentados nesta dissertação, são valores ótimos encontrados pelo MEPS. Desta forma, há espaço para negociação, entre governo e fabricantes, dos padrões de eficiência energética que poderão ser adotados no início do programa de eficiência energética, sendo ele, compulsório ou voluntário. Esta flexibilização foi adotado por vários países (por exemplo, EUA, Figura 16, capítulo 3) no início de seus programas de

eficiência energética, assumindo, desta maneira, uma postura mais conservadora, porém, perseguindo ganhos de eficiência maiores que os adotados na metodologia de Análise Estatística.

Capítulo 5

Conclusões e Recomendações

O uso de ferramentas e métodos que simulam o desempenho do refrigerador para propor inovações técnicas e o uso das metodologias ACCV e de Análise Estatística mostram que é possível se obter reduções significativas no consumo de eletricidade dos refrigeradores brasileiros. A grande vantagem da análise apresentada através da aplicação da metodologia ACCV é permitir avaliação do impacto de inovações (melhorias tecnológicas) economicamente viáveis (*cost-effective*) em refrigeradores (por exemplo, de uma porta), resultando em economias importantes para os consumidores brasileiros e para o País e para estimular a disputa de um mercado de qualidade para o setor (eletrodomésticos).

Contudo, quando não for possível coletar os dados exigidos para aplicação da ACCV (dados técnicos de inovações, custos, etc.), pode-se recorrer à metodologia de Análise Estatística, apresentada neste trabalho. Esta é uma alternativa para indicar o nível desejável de consumo de energia elétrica nas propostas de implantação dos padrões de eficiência energética para eletrodomésticos e equipamentos consumidores de eletricidade.

Uma alternativa inicial seria a criação de um banco nacional de dados padrões como foi feito para os cálculos de revisão tarifária do setor elétrico brasileiro. Esta alternativa viabilizaria a utilização da ACCV e poderia minimizar algumas possíveis distorções durante o fornecimento dos dados via fabricantes e governo. Com a criação da cultura da troca de informações entre fabricantes e governo, torna-se mais fácil a implantação de padrões e selos de eficiência energética em caráter compulsório como já são utilizados em vários países (por exemplo, *USA*, países da *EU*, etc.).

Os capítulos 3 e 4 cumprem os objetivos principais desta dissertação propostos inicialmente como: utilização das metodologias Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) e Análise Estatística, como ferramentas para propor padrões de eficiência energética

complementares aos selos voluntários já existentes para os refrigeradores brasileiros de uma porta. No Brasil, a utilização de metodologias para obtenção de padrões de eficiência energética não está clara. No País se encontra implantado, em caráter compulsório, os padrões de eficiência energética para motores elétricos industriais, Decreto nº 4.508, de 2002 (BRASIL, 2002). Contudo, não é explícita qual foi a metodologia utilizada, e se foi utilizada alguma metodologia por que não é divulgada? As metodologias para a obtenção dos padrões voluntários praticados hoje no Brasil para refrigeradores também não são claras.

O outro objetivo, que era estudar o papel dos padrões de eficiência energética para fornecer subsídios técnicos para o estabelecimento de níveis máximos de consumo de energia elétrica para aparelhos consumidores de eletricidade comercializados no Brasil foi alcançado através dos dados encontrados com o estudo de caso (capítulo 4).

Os resultados alcançados neste trabalho trazem importantes contribuições para subsidiar discussões mais aprofundadas com os fabricantes e o governo num processo para se definir padrões mínimos de eficiência energética para os refrigeradores brasileiros. Nesta dissertação desenvolveram-se propostas para duas metodologias distintas, Análise Estatística e ACCV, focalizando a ACCV que é uma metodologia mais completa comparando à Análise Estatística. A apresentação destas duas alternativas de metodologia vem contribuir como um fator facilitador para o caso do Brasil, porque, como já foi dito anteriormente, não existem históricos de dados técnico-econômicos, ou, uma cultura de fornecimento desses dados por parte dos fabricantes, aos órgãos do governo responsáveis por estipular os padrões mínimos de eficiência energética no País.

Outro diferencial é a metodologia de cálculo utilizada para as projeções de redução de CO₂ lançado no meio ambiente, seguidas de análise de sensibilidade e possibilidades do País ganhar com a venda de créditos de carbono. Os trabalhos anteriores não trataram deste assunto com tanta ênfase e detalhamento. Todos os resultados quantitativos referentes à economia de energia, economia da conta de energia elétrica do consumidor, perspectiva de redução de demanda no País, perspectiva de redução de emissão de CO₂ e possíveis ganhos com a venda de créditos de carbono (caso os padrões de eficiência energética continuem em caráter voluntário) estão evidenciados nas conclusões do capítulo 4 (seção 4.6).

Fica então, a recomendação da implantação do padrão obtido com a ACCV de 28,10% (categoria “G” do selo PROCEL) de aumento de eficiência energética e da proposta do índice de eficiência energética (Tabela 28) para o ano de 2008. Com a implantação deste padrão poderá se atingir economias consideráveis analisando uma projeção de 30 anos (longo prazo) sem alteração do padrão implantado em 2008. Estas economias podem chegar aos montantes de 54,63 TWh (com redução respectiva da potência demandada de 208 MW), de R\$ 17,2 Bilhões de Reais de redução nas contas de energia elétrica para a população e de aproximadamente 22 Bilhões de toneladas de CO₂ não lançadas no meio ambiente. Caso os refrigeradores atinjam a categoria “A” do índice de eficiência sugerido, os valores de economias aumentarão consideravelmente (Tabela 26).

Se for utilizado o padrão obtido com a Análise Estatística de 12% (categoria “G” do selo PROCEL) de aumento de eficiência energética e o índice de eficiência energética (Tabela 27) sugerido para o ano de 2008, as economias poderão alcançar os montantes de 23,33 TWh (com redução respectiva da potência demanda de 89 MW), de R\$ 7,4 Bilhões de Reais de redução nas contas de energia elétrica e de aproximadamente 9,4 Bilhões de toneladas de CO₂ não lançadas no meio ambiente. Da mesma maneira, se os refrigeradores atingirem a categoria “A” do índice de eficiência sugerido, os valores de economias aumentarão consideravelmente (Tabela 18).

A partir de 2014 (Tabela 14) o mercado brasileiro de refrigeradores tende a saturação, mas isto pode ser visto como oportunidade de negócio para o fabricante de refrigerador e oportunidade para o governo em utilizar as técnicas de eficiência energética e/ou conservação de energia. O governo juntamente com os fabricantes poderia promover uma campanha para estimular a substituição dos refrigeradores antigos e ineficientes por refrigeradores novos e mais eficientes. Desta forma, o governo e os fabricantes inverteriam estes percentuais, a princípio interpretados como negativos, para percentuais de substituição de refrigeradores nas residências brasileiras. Tendo assim, resultados como: redução de consumo, redução de emissão de CO₂ oriunda das termelétricas não construídas, população com maior acesso às novas tecnologias aumentando a sua qualidade de vida, etc. Este trabalho não trata desta taxa de substituição, estuda apenas a inserção de novos refrigeradores (mais eficientes) no mercado, mas não descarta essa possibilidade.

Outra recomendação é que a periódica revisão dos parâmetros técnicos que caracterizam cada padrão de eficiência energética deve ser baseada em programas de desenvolvimento tecnológico, para garantir que fabricantes persigam rotas que maximizem os benefícios sociais advindos de menores consumos de energia.

Este estudo recomenda também, o desenvolvimento de uma etiqueta ambiental (brevemente citados no capítulo 2) para os refrigeradores brasileiros. Estes selos já estão sendo utilizados por vários países no mundo, obrigando todos os fabricantes a adequarem-se em suas normas para poderem comercializar seus produtos (por exemplo, refrigeradores) nestes países. O Brasil ainda não possui este tipo de etiqueta ambiental para refrigeradores, mas se nada for feito para que esta situação possa mudar, os fabricantes de refrigeradores brasileiros fatalmente serão proibidos, pelos países que exigirem a etiqueta ambiental, de exportar seus produtos (barreiras não tarifárias), os consumidores brasileiros continuarão adquirindo produtos com tecnologias inferiores e possivelmente com maiores impactos ambientais e o País continuará, por exemplo, sofrendo impactos ambientais decorrentes do aumento da demanda no consumo de eletricidade oriundo de aparelhos ineficientes energeticamente e ambientalmente.

Portanto, fica a recomendação, para próximos trabalhos, de um estudo sobre etiqueta ambiental, que complementa a análise aqui apresentada. Serão necessárias, novas simulações, utilizando *softwares* específicos, novas considerações sobre inovações tecnológicas, estudo de melhoria de eficiência energética e de impacto ambiental também para outros equipamentos consumidores de eletricidade.

Referências Bibliográficas

- AKASHI, Yukio, LESLIE, Russel, NOVELLO, Michael, NAKAMURA, Yoshikia, Comparing Lighting Energy Conservation Measures in the United States And Japan, the Japan Foundation Center for Global Partnership, **Lighting Research Center**, Troy – NY, 2003, 16 p.
- ALMEIDA, M. S. V., **Modelamento matemático de um sistema de refrigeração por compressão em regime permanente, com análise de dois tipos de controle de temperatura**, Campinas: Publicação FEC, 1982, 176 p.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução 492, de 3 de setembro de 2002 – Que Estabelece os Critérios para Aplicação dos Recursos em Programas de Eficiência Energética, www.aneel.gov.br/, acesso em 13/04/2004.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, *Tarifa de Energia Elétrica Residencial em R\$ / MWh*, www.aneel.gov.br/, acesso em 08/03/2005.
- AVASOO, Diana, Energy Transparency For Energy Efficiency, WSP Environmental (Sweden), Paper presented at the **Future Buildings Forum Event Cooling Buildings in a Warning Climate**, Sophia Antipolis, France, June 2004, 17 p.
- BC, Banco Central do Brasil, Conversão do Dólar de 2002 para o Real de 2002. [Http://www.bcb.gov.br/?TXCONVERSAO](http://www.bcb.gov.br/?TXCONVERSAO), acesso em 08/03/2005.
- BC, Banco Central do Brasil, Taxa Cambial – Dólar, www.bcb.gov.br/?TXDOLAR, acesso em 16/03/2005.
- BC, Banco Central do Brasil, V.31 - Índices de taxas reais de câmbio (IPC-FIPE - Deflator interno), <http://www.bcb.gov.br/pec/indeco/port/ie5-31.xls>, acesso em 23/03/2005.
- BEN 2003, Balanço Energético Nacional – ano base 2002, MME – Ministério de Minas e Energia, 2003, www.mme.gov.br, acesso em 10/05/2004.
- BEN 2004, Balanço Energético Nacional – ano base 2003, MME – Ministério de Minas e Energia, 2004, www.mme.gov.br, acesso em 15/03/2005.

- BIERMAYER, P. J. Life-Cycle Cost Analysis: Refrigerators. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), **Second Regional Workshop on Energy Efficiency Standards and Labels**, IRAM, Buenos Aires, 23 march, 2001.
- BRANCO, F. C., LOPES, S. S., VELLOSO, E., HADDAD, M., Efeito do Racionamento de Energia Elétrica na Indústria, Rio de Janeiro: CNI – **Confederação Nacional das Indústrias**, junho/2001.
- BRASIL, **Decreto Nº 4.059**, Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências, Subchefia para Assuntos Jurídicos da Casa Civil da Presidência da República, 19 de dezembro de 2001b.
- BRASIL, **Lei Nº 10.295**, Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências, Subsecretaria de Informações do Senado Federal, 17 de outubro de 2001a.
- BUENO, Francisco da Silveira, **Minidicionário da Língua Portuguesa**, Rena Singer, São Paulo: FTD: LISA, ed. rev. Atual., 1996.
- CARMEIS, Dean William M., **Os Efeitos da Diversidade de Tensões de Distribuição no Setor Elétrico Brasileiro. Estudo de Caso do Refrigerador Doméstico**, Faculdade de Engenharia Elétrica (FEE/DMCSI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2002, 108 p. Tese (Mestrado)
- ÇENGEL, Y. A., BOLES, M. A., **Thermodynamics: an engineering approach**, Boston: McGraw-Hill, 1998, 1010 p.
- CENSO 2000, **Censo Demográfico Brasileiro**, IBGE, 2000, www.ibge.gov.br, acesso em 17/03/2005.
- CHADE, Juliana Ferrari, Estudos do Sistema de Gerenciamento pelo Lado da Demanda para Consumidores e Distribuidores de Energia Elétrica, XVI Seminário Nacional de Distribuidores de Energia Elétrica, In **Anais do XVI SENDI 2004**, cód. 583, CBE: Brasília. Versão eletrônica em www.sendibrasilia.com.br, 2004.
- CLASP. Energy-Efficiency Labels and Standards, www.clasponline.org, acesso em 15/12/2003.
- CLASP, **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), February, 2001, 205 p.
- CLASPOLINE, <http://www.clasponline.org> , acesso em 15/06/2004.
- CLASPOLINE, <http://www.clasponline.org/standard-label/development/labeling/label-design2.php3>, acesso em 17/09/2004.
- CONPET, Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural, www.conpet.gov.br/ , acesso em 23/06/2005.
- COPOM/BC, Taxa Básica de Juros (SELIC), www.bcb.gov.br/pec/copom/port/taxaselic.asp#notas , acesso em 17/03/2005.
- COSTA, Heitor Scalabrini, Quem Ganha e Quem Perde com a Crise Energética, Recife: **Universidade Federal de Pernambuco**, março/2002.
- CUNHA, Adriana M., **As Novas Cores da Linha Branca: os Efeitos da Desnacionalização da Indústria Brasileira de Eletrodomésticos nos Anos 1990**, Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003, 229 p. Tese (Doutorado)
- DATAMARK, Brasil Data Service, Relatório de Refrigeradores ano 2000, <http://www.datamark.com.br> , acesso em 12/04/2005.
- DOE, U.S. Department of Energy, **Technical Support Document: Energy Efficiency Standards for consumer products: Refrigerators, Refrigerators-Freezers, & Freezers**, July 1995, 391 p.
- DOSSAT, R. J., **Princípios de Refrigeração: teoria, prática, exemplos, problemas, soluções**, São Paulo: Hemus Editora Ltda, 1977, 884 p.
- DUNNING, J. H., **Explaining International Production**, London: Unwin Hyman, 1988.
- ELETROPAULO, Consumo Inteligente na Sua Casa: tudo o que você precisa saber para aproveitar o conforto da energia elétrica de um jeito mais consciente e seguro, Cartilha Educativa, Eletropaulo, XVI Seminário Nacional de Distribuidores de Energia Elétrica, In **XVI SENDI 2004**, 2004, 14 p.
- ELETROS, www.eletros.org.br, acesso em 01/03/2005.
- ENERGY-PLUS, Europe's Most Energy-Efficient Refrigerators and Freezers (catalog), www.energy-plus.org, acesso em 16/08/ 2004.
- ENERGY STAR, www.energystar.gov, acesso em 04/02/2005.

- EPA, Environmental Protection Agency, Determinants of Effectiveness for Environmental Certification and Labeling Programs, **Office of Pollution Prevention and Toxics**, Washington – DC, 1994, 98 p.
- EPA, Environmental Protection Agency, Status Report on the Use Environmental Labels Worldwide, **Office of Pollution Prevention and Toxics**, Washington – DC, 1993, 215 p.
- EUROMONITOR, Global Market Information Database: large kitchen appliances in Brazil, www.euromonitor.com, acesso em 07/04/ 2004.
- FABRYCKY, Wolter J., BLANCHARD, Benjamin S., **Life-cycle cost and economic analysis**, Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1991, 384 p.
- GEA, **Group for Efficient Appliances**, Study on Energy Efficiency Standards For Domestic Refrigeration Appliances, prepared for the commission of the European communities on energy efficiency standards for domestic refrigeration appliances, March 1993.
- GELLER, Howard S., LEONELLI, Paulo, ABREU, Regiane M., ARAÚJO, Ione, Energy-Efficient Lighting in Brazil: Market Evolution, Electricity Savings, and Public Policies, **American Council for an Energy-Efficient Economy – ACEEE**, Washington D.C., 1997, 18 p.
- GELLER, Howard S., **Revolução Energética: políticas para um futuro sustentável**, Versão traduzida, Editora Dumará Distribuidora de Publicações Ltda, Rio de Janeiro, 2003, 299 p.
- GEORGE, Karen L., GREGERSON, Joan, SHEPARD, Michael, WEBSTER, Lia, DAVIA, Debbie, Residential Appliances: Technology Atlas, **E. Source**, Inc., Boulder, Colorado-USA, 1996, pp 31-63.
- GONÇALVES, J. R., **Desempenho de um refrigerador doméstico na rotina caseira**, Publicação FEA, Campinas, 1989, 109 p.
- GOSNEY, W. B., **Principles of Refrigeration**, Cambridge University Press, New York, 1982, 1ª ed, 666 p.
- HAITES, Erik; SERES, Stephen, Estimating the Market Potential for the Clean Development Mechanism: Review of Models and Lessons Learned, IETA –

- International Emissions Trading Association, **PCFplus Report 19**, Washington DC, 2004, 102 p.
- HIRSCHFELD, H., **Engenharia Econômica e Análise de Custos**, Editora Atlas, São Paulo, 1998, 6ª edição, 407 p.
- IEA, International Energy Agency, **Emission Reductions in the Natural Gas Sector Through Project – Based mechanisms**, 2003, 135 p.
- IEA, International Energy Agency, **Energy Labels & Standards: energy efficiency policy profile**, OECD (Organization for Economic Co-operation and Development), 2000, 194 p.
- INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P., **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**, LTC – Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., Rio de Janeiro, 2003, 5ª edição, 698 p.
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/prodEtiquetados.asp>, 2002.
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, <http://www.inmetro.gov.br>, acesso em 16/04/2004.
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>, acesso em 13/03/2005.
- INVESTOPEDIA, www.investopedia.com/terms/f/fob.asp, acesso em 29/04/2005.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, **Climate Change 1995: Second Assessment**, 1995, 73 p.
- IPCC, Panel on Climate Change/National Greenhouse Gas Inventories Programme (IPCC/NGGIP). **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook** (Volume 2). 1996, See also: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1wb1.pdf>
- ISO, International Standardizing Organization, **ISO 7371 “Household refrigerating appliance – Refrigerators with or without low-temperature compartment – Characteristics and test methods”**, Switzerland, 1998.
- JANNUZZI, Gilberto de Martino, QUEIROZ, Guilherme de Castilho, VENDRUSCULO, Edson Adriano, MENDES, Nathan, POMILIO, José Antônio, SILVA Jr., Herculano Xavier, **Melhoramento Técnico de Refrigeradores Domésticos no Brasil: Análise de**

Eficiência Energética, CBPE – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, In **Anais do CBPE 2004**, UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – Minas Gerais, CD-ROM, 2004, pp 1-11.

JANNUZZI, Gilberto de Martino, QUEIROZ, Guilherme de Castilho, VENDRUSCULO, Edson Adriano, BORGES, Thomaz, Metodologia de Análise de Custo de Ciclo de Vida como Suporte Técnico à Lei de Eficiência Energética: Um Estudo de Caso para Refrigeradores Domésticos no Brasil, Relatório final para **IEA - International Energy Agency**, Campinas – São Paulo, 2003, 54 p.

JANNUZZI, Gilberto M., QUEIROZ, Guilherme de Castilho, VENDRUSCULO, Edson Adriano, SILVA Jr., Herculano Xavier, Padrões de Eficiência e Qualidade de Energia: Instrumentos para Política Pública de Inovação Tecnológica e Eficiência Energética, Primeiro relatório parcial – ano 1, **FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2003, 44 p.

JANNUZZI, Gilberto M., QUEIROZ, Guilherme de Castilho, VENDRUSCULO, Edson Adriano, SILVA Jr., Herculano Xavier, Padrões de Eficiência e Qualidade de Energia: Instrumentos para Política Pública de Inovação Tecnológica e Eficiência Energética, Relatório Final, **FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2004, 89 p.

KAPLAN, Seymour, **Energy Economics: Quantitative Methods for Energy and Environmental Decisions**, McGraw-Hill, New York, 1983, 347 p.

LEONELLI, Paulo Augusto, Eficiência Energética e Ampliação de Equipamentos, 1º Encontro Sul-Americano Sobre Pesquisa e Desenvolvimento na Área de Energia, In **Anais do 1º PRONERG**, UNICAMP: Campinas, CR-ROM, 2005.

LOJA AMBIENTAR, Refrigerador 330 Litros Brastemp BRF 36C 1 Porta Branco, <http://compare.buscape.com.br/>, acesso em 01/03/2005.

MAGAZINE LUIZA, Grandes Redes Planejam Amortecer Juros, http://www.magazineluiza.com.br/institucional/artigo_ler.asp?artigo=167, acesso em 21/03/2005.

MCMAHON, J. and TURIEL, I., Introduction to Special Issue Devoted to appliance and lighting standards, **Energy and Buildings** 26 (1).

- MEIER, A. K., Hill, J. E., **Energy Test Procedures for Appliances**, **Energy and Buildings Journal**, vol 26, ed. 1. Elsevier Sciences, 1997, pp 23-33.
- MERIAN, R.; VERONE, A.; FENG, H. **EPA refrigerator Analysis (ERA) program: User's manual, version 1.2E**, Cambridge, Mass: Arthur D. Little, Inc, 1993.
- MICHAELIS UOL, Dicionário eletrônico Inglês-Português, **Dic Michaelis UOL**, CD-ROM, 2003.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente, Políticas para o desenvolvimento sustentável: Guia de boas práticas para o consumo sustentável, www.mma.gov.br/port/sds/guia.html, acesso em 28/04/2005.
- OECD/IEA – Organisation For Economic Co-operation And Development / International Energy Agency, **Energy Labels & Standards**, France, 2000, 194 p.
- OLIVEIRA, Juarez C.; ALBURQUERQUE, Fernando R. P. C.; LINS, Ivan B., **Projeção da População do Brasil por Sexo e Idade para o Período 1980-2050 – Revisão 2004**, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, www.ibge.gov.br, acesso em 15/03/2005.
- PAMPLONA, Edson de Oliveira, MONTEVECHI, José Arnaldo Barra, Engenharia Econômica I, apostila do curso de engenharia econômica I da Faculdade de Engenharia Mecânica, FEM/UNICAMP, Campinas, 2001, 105 p.
- PNAD 1992, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1992, www.ibge.gov.br, acesso em 17/03/2005.
- PNAD 1993, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1993, www.ibge.gov.br, acesso em 17/03/2005.
- PNAD 1995, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1995, www.ibge.gov.br, acesso em 17/03/2005.
- PNAD 1996, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1996, www.ibge.gov.br, acesso em 17/03/2005.
- PNAD 1997, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1997, www.ibge.gov.br, acesso em 17/03/2005.
- PNAD 1998, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1998, www.ibge.gov.br, acesso em 17/03/2005.

- PNAD 1999, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1999, www.ibge.gov.br, acesso em 17/03/2005.
- PNAD 2001, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2001, www.ibge.gov.br, acesso em 17/03/2005.
- PNAD 2002, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002, www.ibge.gov.br, acesso em 17/03/2005.
- PNAD 2003, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2003, www.ibge.gov.br, acesso em 17/03/2005.
- PORTASIO, J. M., **Manual Prático de Refrigeração: doméstica, comercial, industrial e para automóveis**, Editora Aurora, Rio de Janeiro, 1982, 244 p.
- PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL/Eletróbras), <http://www.eletrabras.gov.br/procel/1.htm>, acesso em 04/03/2004.
- PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL/Eletróbras), <http://www.eletrabras.gov.br/procel/site/seloprocel/apresentacao.asp>, acesso em 29/04/2005.
- PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, **Catálogo PROCEL 2003**, Ministério de Minas e Energia – MME, Rio de Janeiro, 2003, 55 p.
- PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, Eletróbras, <http://www.eletrabras.gov.br/procel/site/home/index.asp>, acesso em 13/03/2005.
- QUEIROZ, Guilherme de Castilho, **Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV), Seminário Internacional Sobre Aplicações da Avaliação do Ciclo de Vida**, Centro de Tecnologia de Embalagem – CETEA/ITAL, Campinas, CD-ROM, 2004.
- QUEIROZ, Guilherme de Castilho, JANNUZZI, Gilberto De Martino, VENDRUSCULO, Edson Adriano, POMILIO, José Antônio, BORGES, Thomaz, **A life-cycle cost analysis (LCCA) for setting energy-efficiency standards in Brazil: The case of residential refrigerators**, **American Council for an Energy-Efficient Economy - ACEEE**, New York, 2003, 12 p.
- ROSA, Luiz Pinguelli, **Acrise de Energia Elétrica: causas e medidas de mitigação**, In Branco, A. M. Política energética e Crise Desenvolvimento: a antevisão de Castulho Branco, Ed. Paz e Terra, São Paulo e Rio de Janeiro, 2002.

- SEVA, A., **Capítulo 1. Revisão didática: a eletricidade, os combustíveis e as usinas elétricas**, 2002, 57p. www.fem.unicamp.br/~seva/cap1livro.pdf , acesso em 06/07/2005.
- SIDLER, Olivier, An electrical End-Use Measurement Campaign in the French Domestic Sector, Translation into English from the original French of the report by Cabinet **Conseil SIDLER** for the SAVE Programme of DG-XVII of the European Commission, Contract No. 4.1031/93.58, Brussels, Belgium. June 1999.
- PALGRAVE, <http://www.palgrave.com/science/computing/beynon-davies2/students/docs/Chapter%2027%20Systems%20Conception.doc>, acesso em 17/09/2004.
- TURIEL, I., Present status of residential appliance energy efficiency standards - an international review, **Energy and Building Journal**, vol. 26, ed. 1. Elsevier Sciences, 1997, pp 5-15.
- UOLONLINE, Emissão de CO₂ Pode Aumentar 50% até 2020, <http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u10603.shtml>, acesso em 28/03/2005.
- VENDRUSCULO, Edson Adriano, QUIROZ, Guilherme de Castilho, JANNUZZI, Gilberto De Martinho, POMILIO, José Antônio, BORGES, Thomaz, Technical improvement of residential refrigerator in Brazil: energy efficiency analysis, In **Anais do EEDAL 2003**, Torino, CD-ROM, 2003, pp 1-7.
- VIEIRA, Enio; OLIVEIRA, Flávia; RICARDO, Vagner; NOVO, Aguinaldo, A Ameaça dos Juros, <http://clipping.planejamento.gov.br/Noticias.asp?NOTCod=137869> , acesso em 21/03/2005.

Anexo I

Aspectos Técnicos do Refrigerador

Esta seção irá abordar o conceito do ciclo de refrigeração, o aspecto técnico de cada parte do refrigerador e seu funcionamento. Essa informação será necessária para melhor compreensão das análises desenvolvidas no “Estudo de Caso” desta dissertação, quando são sugeridas algumas inovações (melhorias) para o modelo de refrigerador escolhido no estudo.

I.1 Leis Térmicas da Refrigeração

O método de congelamento e refrigeração de alimentos como carnes, frutas, verduras, bebidas, cereais, derivados de leite, etc., é amplamente utilizado porque este processo ajuda na conservação do produto causando pouco efeito sobre a textura ou gosto dos alimentos (CARMEIS, 2002). Esse fator é um dos maiores responsáveis pelo sucesso do refrigerador. Em alguns casos, a técnica de conservação dos alimentos por resfriamento pode adiar enzimas³¹, naturalmente encontradas em um alimento, que podem causar sua deterioração ou perda de cor (GONÇALVES, 1989). Diante destas considerações tem-se a necessidade da descrição de conceitos da termodinâmica.

I.1.1 Calor

Toda matéria tem sua vibração natural, ou seja, os átomos possuem uma movimentação permanente. Aumentando a temperatura de uma substância, os átomos movem-se mais rapidamente, no entanto, se ocorrer queda de temperatura eles passam a vibrar com menos intensidade e se todo o calor for removido (zero absoluto, 0 Kelvin = -273,15 °C) todo o movimento atômico cessará. Assim, teoricamente, o envelhecimento das células seria interrompido. A quantidade de calor em uma substância é proporcional à massa da substância

³¹ Uma enzima é uma proteína especial que atua como um catalisador de reações químicas (BUENO, 1996) e, algumas enzimas podem ser muito frágeis às baixas temperaturas (CARMEIS, 2002).

multiplicada por sua temperatura (ÇENGEL *and* BOLES, 1998). Portanto, calor é uma forma de energia que se traduz por variação da temperatura de um corpo.

A maioria das substâncias muda seu estado físico com a adição ou remoção de calor. Podemos utilizar a água para exemplificar bem este fenômeno físico, ou seja, o gelo é um sólido (sob pressão atmosférica em uma temperatura abaixo de 0 °C). Adicionando calor ao gelo, ele derreterá e se transformará em água (um líquido). Uma adição maior de calor levará a água ao estado gasoso (vapor). Então, se o calor faz com que alguns sólidos transformem-se em líquidos ou gases, ou líquidos transformem-se em gases, a refrigeração inverterá esse processo, isto ocorre porque os átomos que constituem as moléculas das substâncias comportam-se de maneira diferenciada (algumas se movem mais rapidamente que as outras) com a variação da temperatura facilitando a troca de calor (esse fenômeno será mais bem detalhado no decorrer deste anexo). A unidade convencional para medida de calor mais usado pelos especialistas do setor de refrigeração é o BTU (*British Thermal Unit*), sendo que 1 Watt = 3,41 BTU/h. No Brasil, a unidade convencional para a medida de calor é a caloria, sendo que 1 Watt = 0,86 kcal/h (ALMEIDA, 1982).

I.1.2 Transferência de Calor/Fluxo de Calor.

“A transferência de calor é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura. Sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes, ocorre, necessariamente, transferência de calor. Quando existe um gradiente de temperatura em um meio estacionário, que pode ser um sólido ou um fluido, usa-se o termo *condução* para se referir à transferência de calor que irá ocorrer através desse meio. Por outro lado, o termo *convecção* refere-se à transferência de calor que irá ocorrer entre uma superfície e um fluido em movimento quando eles se encontram em temperaturas diferentes. Um terceiro modo de transferência de calor é conhecido por *radiação térmica*. Todas as superfícies a uma temperatura finita emitem energia na forma de ondas eletromagnéticas, assim, na ausência de um meio que se interponha entre duas superfícies, a diferentes temperaturas, existe transferência de calor por radiação” (INCROPERA *and* DEWITT, 2003). Portanto, o calor flui sempre de uma substância mais quente para uma substância mais fria e nunca ocorrendo o inverso (GOSNEY, 1982).

I.1.3 Frio

O frio significa temperatura baixa ou a falta do calor. O frio é o resultado da remoção do calor, um refrigerador elétrico produz o “frio” através da retirada de calor do interior de seu gabinete. O refrigerador não destrói o calor, mas, bombeia-o do interior do gabinete à parte externa (ex: coloque a mão atrás de um refrigerador para confirmar como é quente). De acordo com a segunda lei da Termodinâmica o calor não pode fluir de um corpo frio para um corpo quente, mais flui sempre de uma substância em uma temperatura mais alta para uma substância em uma temperatura mais baixa (GOSNEY, 1982). Na Figura 39, está representado, em um diagrama esquemático, o funcionamento de um refrigerador elétrico (ÇENGEL and BOLES, 1988).

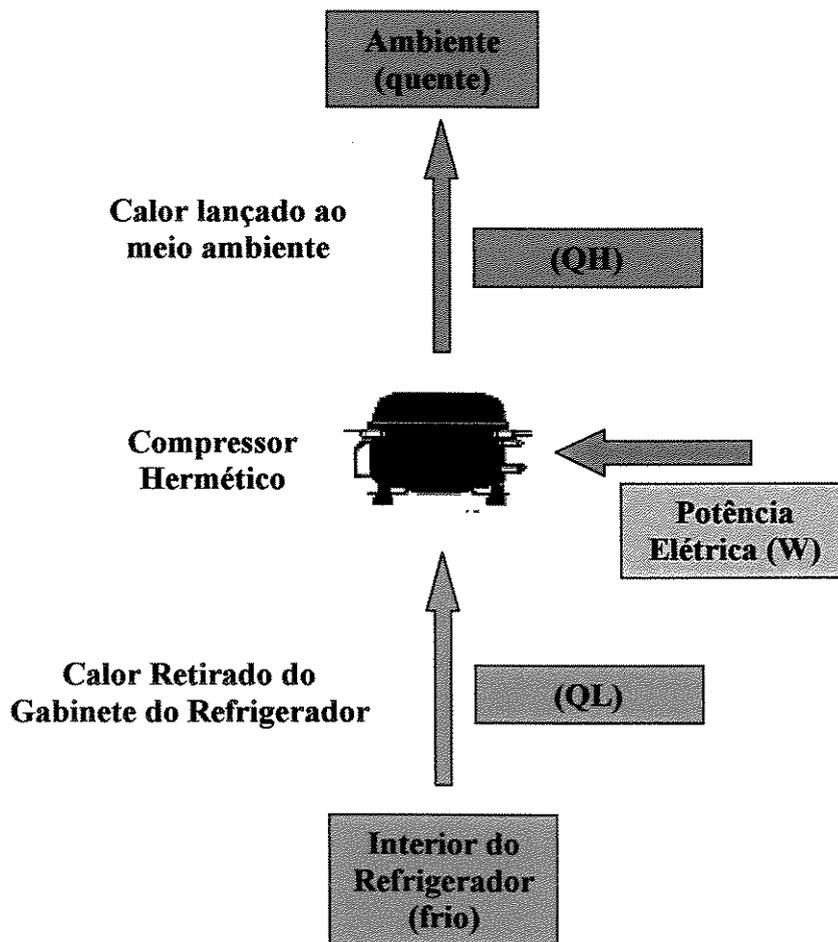


Figura 39: Diagrama simplificado do funcionamento de um refrigerador elétrico

Fonte: Elaboração própria, baseado em ÇENGEL and BOLES (1988).

I.1.4 Funcionamento do Refrigerador

No mecanismo de refrigeração, o calor é absorvido pela evaporação do líquido refrigerante no evaporador (unidade de refrigeração/congelador). Isto ocorre enquanto o refrigerante muda do estado líquido para o estado de vapor (gás). Após o refrigerante ter absorvido calor e mudado de estado (líquido pra gás), ele é bombeado para a unidade de condensação (semelhante a um radiador de automóvel) na parte externa atrás do refrigerador (DOSSAT, 1977).

O condensador trabalha em oposição ao evaporador. No evaporador, o refrigerante líquido entra em uma extremidade e absorve o calor enquanto passa através do mesmo, chegando a forma de gás na outra extremidade do condensador, o refrigerante entra em estado gasoso e durante esse percurso perde calor para o ambiente, chegando em estado líquido na extremidade final.

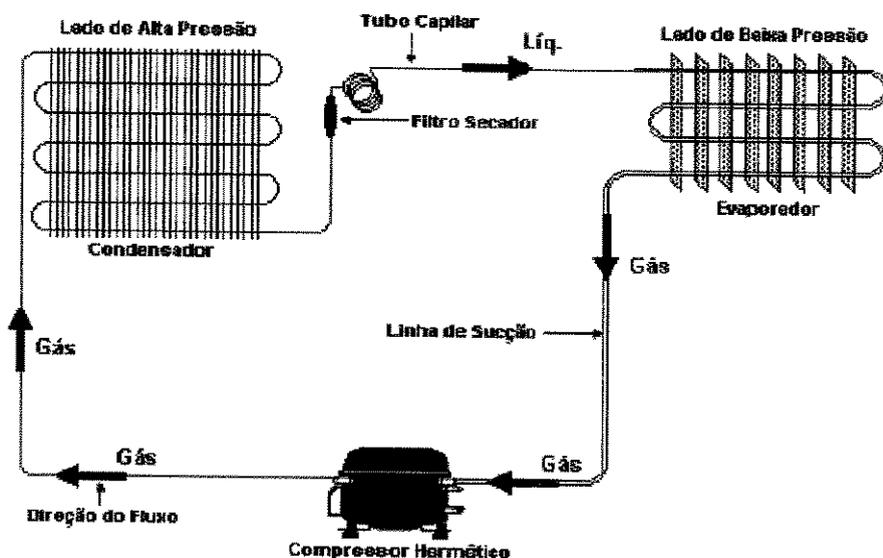


Figura 40: Diagrama do Ciclo de Refrigeração e seus Componentes

Fonte: CARMEIS (2002).

A seguir será descrito, embasado em CARMEIS (2002) os principais componentes e funções de um refrigerador comum, necessário para realização de seu ciclo de refrigeração (estes componentes estão ilustrados na Figura 40 e Figura 41).

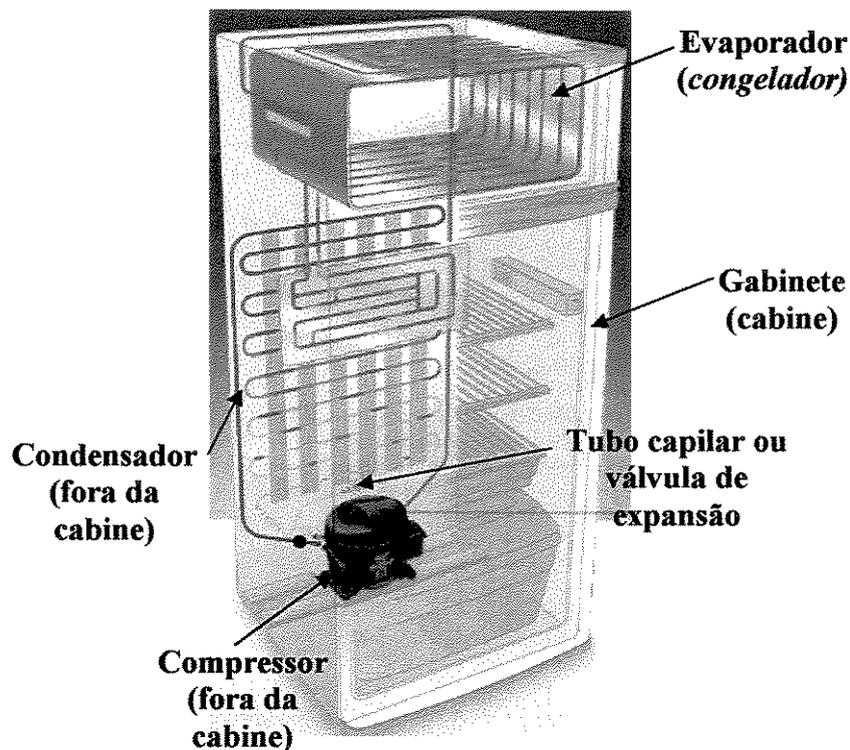


Figura 41: Desenho esquemático do refrigerador comum

Fonte: VENDRUSCULO *et al* (2003).

I.1.5 O Gabinete

O gabinete forma e dá sustentação à estrutura do refrigerador e estão disponíveis em vários volumes. A profundidade e a largura são praticamente padronizadas (exceto os refrigeradores *slims*³²). Entretanto, a altura variará com a capacidade (volume) do refrigerador.

I.1.6 A Estrutura

Uma estrutura típica contém ao menos dois ambientes com temperaturas distintas no interior do refrigerador sendo, um para o compartimento de alimentos congelados (congelador / freezer), um compartimento para alimentos frescos (o espaço maior do refrigerador) e, em alguns

³² Refrigeradores *Slims* são modelos que possuem dimensões bem diferentes dos modelos padrões. São dimensões menores dando origem a um modelo de refrigerador mais estreito e às vezes mais alongado no seu comprimento.

casos, um terceiro compartimento (em forma de gaveta) para acondicionamento de legumes, verduras e frutas (CARMEIS, 2002).

I.1.7 O Líquido Refrigerante

O refrigerante é o fluido responsável pela troca de calor da geladeira. O refrigerante utilizado deve condensar durante a rejeição de calor (troca de calor com o ambiente externo – temperatura ambiente), e evaporar o líquido refrigerante [por exemplo, R134A (VENDRUSCULO *et al*, 2003; CUNHA, 2003), o refrigerante R12³³ (CARMEIS, 2002), etc.] durante a retirada de calor do interior do refrigerador. Logo o refrigerante deve apresentar como propriedade um alto valor da entalpia de vaporização para que ocorra maior troca de calor nas mudanças de estado (o que estará diretamente relacionado com a eficiência energética do refrigerador).

I.1.8 O Evaporador

Localiza-se no alto do “gabinete” (ver Figura 41), separando o comportamento dos alimentos congelados do compartimento dos alimentos frescos. A evaporação do refrigerante proporciona a absorção de calor requerida pelo gabinete (refrigeração). Através das correntes de convecção (ver Figura 42, o ar mais frio desce enquanto que o mais quente sobe), o calor é retirado de todos os compartimentos do refrigerador (CARMEIS, 2002). Ao entrar no evaporador a partir do controle de fluxo, o refrigerante líquido é bruscamente submetido a pressões baixas, isto o faz vaporizar (ferver) e absorve calor (PORTASIO, 1982). O fluido em forma de vapor move-se para a linha de sucção e, se o refrigerante não vaporizar totalmente no evaporador, há geralmente um cilindro (acumulador) para impedir que o refrigerante líquido flua para linha de sucção.

³³ Os refrigerantes R12 e R 22 apresentados por Carmeis (2002) foram os tipos mais utilizados principalmente em refrigeradores e ar condicionados respectivamente. Contudo, eles possuem em sua estrutura molecular os compostos Cloro-Fluorados (CFC) que afetam diretamente a camada de ozônio e, que hoje, não está sendo mais utilizado no Brasil e em muitos lugares do mundo (países desenvolvidos). Já existem leis proibindo sua utilização (CUNHA, 2003).

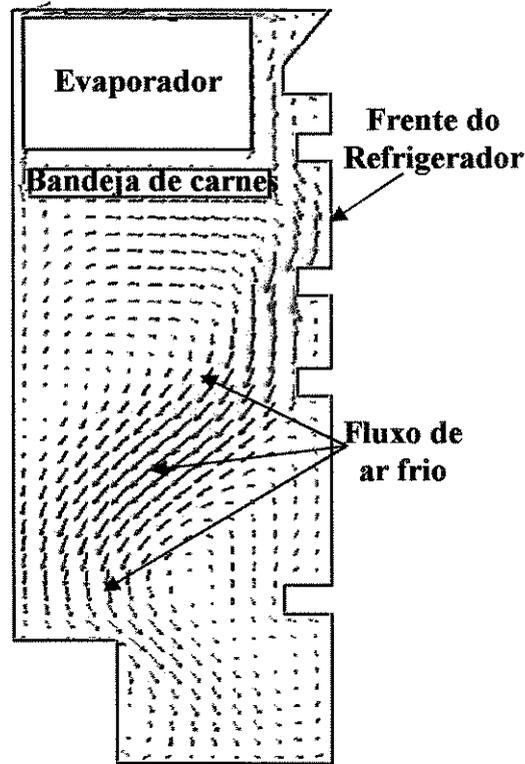


Figura 42: Desenho esquemático da circulação do ar no refrigerador

Fonte: VENDRUSCULO *et al*, 2003.

I.1.9 O Acumulador

É um dispositivo de segurança para impedir que o refrigerante líquido flua para a linha de sucção e para o compressor. Se o refrigerante líquido tem a entrada no alto do evaporador, assim, todo o refrigerante líquido que flui para dentro do acumulador será evaporado. Então, somente o vapor fluirá para a linha de sucção, fornecendo também alguma refrigeração (CARMEIS, 2002).

I.1.10 A Linha de Sucção

Localiza-se atrás do gabinete do refrigerador, saindo da parte inferior do evaporador e estendendo-se até a parte lateral do compressor hermético, na base do gabinete (CARMEIS, 2002). A linha de sucção conduz o refrigerante vaporizado do evaporador ao compressor (Figura 40). A linha deve ser grande o bastante para transportar o refrigerante vaporizado com resistência

mínima ao fluxo (PORTASIO, 1982). Esta linha funciona como um trocador de calor para evitar que ocorram danos ao compressor.

I.1.11 O Condensador

O condensador é composto de tubos finos de metal (serpentina) e está localizado na parte de trás do refrigerador (Figura 41). A circulação forçada de ar é proporcionada pelo contato direto com o meio ambiente. Funciona como um radiador de carro. O refrigerante circula por ele no intuito de trocar calor com o ambiente e resfriar-se (VENDRUSCULO *et al*, 2003). Esse sistema apesar de apresentar uma baixa eficiência na troca de calor, possui um baixo custo (praticamente nulo) de manutenção e operação (CARMEIS, 2002).

I.1.12 O Filtro Secador

É um acessório em formato de tanque quem retém a umidade, a sujeira, os metais e as partículas estranhas, impedindo-as de incorporarem-se ao fluxo do refrigerante. A umidade é também prejudicial quando misturada ao óleo em um sistema, pois, forma uma espécie de lama ácida que corrói as unidades herméticas (PORTASIO, 1982).

I.1.13 O Tubo Capilar (Válvula de Expansão)

Após passar pelo condensador, o refrigerante é submetido a um filtro secador (remove toda a umidade ou impureza) com seção transversal maior e daí flui por um tubo capilar (Figura 40 – diâmetro bem menor, como válvula de expansão), a qual tem o objetivo de fazer baixar a pressão do líquido pelo oferecimento de resistência à sua passagem (CARMEIS, 2002). A pressão de chegada do refrigerante à válvula é em torno de $17,3 \text{ kg/cm}^2$ e a válvula libera-o para o evaporador numa pressão de aproximadamente $1,4 \text{ kg/cm}^2$ (PORTASIO, 1982). O refrigerante do tubo capilar é aspirado para dentro do evaporador, sob a forma de minúsculas gotas, através de um pequeno orifício. No evaporador, não mais sob pressão, o refrigerante volta ao estado gasoso, absorvendo o calor ali existente (VENDRUSCULO *et al*, 2003).

O tubo capilar é cuidadosamente calibrado no comprimento e no diâmetro interno para dosar a exata quantidade de líquido refrigerante exigido para cada unidade. Um comprimento prévio do tubo capilar é usualmente soldado ao longo da parte externa da linha de sucção (Figura 40), formando um trocador de calor que auxilia no resfriamento do líquido refrigerante aquecido

no tubo capilar (CARMEIS, 2002). A função secundária dessa válvula é controlar a vazão do líquido refrigerante ao evaporador do modo que o gás que sai esteja ligeiramente superaquecido. Isto é necessário porque o compressor é projetado para bombear apenas gás, e não líquido. Como dito anteriormente, se o líquido entrar no compressor podem ocorrer danos ao mesmo.

I.1.14 O Compressor Hermético

O compressor é um dispositivo, acionado por um motor elétrico, que puxa o refrigerante vaporizado do evaporador e o comprime em um volume pequeno a uma alta temperatura. Os compressores agem como bombas no ciclo de refrigeração (VENDRUSCULO *et al*, 2003) para fornecerem a energia necessária ao transporte do refrigerante por todo sistema (PORTASIO, 1982). O compressor fornece também a separação entre os lados de alta e baixa pressão do ciclo (CARMEIS, 2002). O motor de um compressor hermético é inserido e lacrado dentro de uma abóbada ou carcaça juntamente com o compressor e, conectado diretamente a esse (GOSNEY, 1982). A unidade é geralmente montada sobre um sistema de amortecimento (ex: mola) dentro da carcaça hermética para abrandar as vibrações do compressor, evitando que estas, sejam sentidas externamente de acordo com a ilustração da Figura 43.

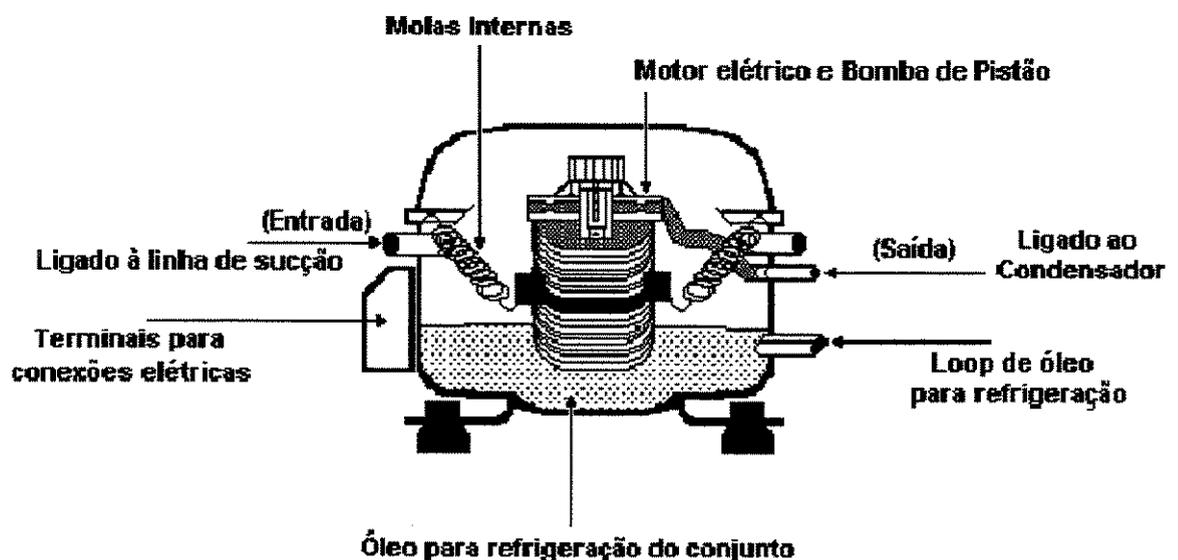


Figura 43: Estrutura do compressor hermético

Fonte: Carmeis (2002), baseado em DOSSAT (1977).

Através das descrições feitas anteriormente de cada componente do refrigerador, já se torna possível descrever alguns tipos de inovações em refrigeradores para melhorar seu desempenho energético (redução do consumo de energia). Assim, de acordo com DOE, 1995:

Aumento da espessura do isolamento das paredes e porta do refrigerador pode ser muito significativo para a economia de energia. Pois, cerca de 75% – 90% da energia consumida por um refrigerador pode ser atribuído ao desempenho térmico da camada de isolante. Entretanto, os fabricantes indicam que este não é o primeiro melhoramento de eficiência que seria considerado por causa dos grandes investimentos que seriam necessários para o aumento da espuma isolante. Pois, para se aumentar a camada de isolamento térmico de um refrigerador, isso significará na mudança na linha de produção da fábrica como: projetar e fabricar novas matrizes para moldar o novo gabinete e seus acessórios para que seja possível acomodar a nova espessura do isolante térmico.

Uma porção significativa do ganho de calor para os refrigeradores ocorre ao redor das extremidades da porta diretamente pela gaxeta. Desta forma, se a dimensão da gaxeta for aumentada ou se utilizar um material isolante com condutividade térmica muito baixa, a troca de calor através da gaxeta reduzirá, ocorrendo dessa maneira, um crescimento de eficiência no refrigerador. Um artigo escrito pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA – *Environmental Protection Agency*) descrevendo uma pesquisa com modelo teórico e experimental colocando cargas de calor na gaxeta, foi observado que substituindo cerca da metade do flange de metal da porta ou do gabinete por um de plástico, poderia implicar na redução do fluxo de calor na região da gaxeta de 25% (DOE, 1995).

Uma alternativa seria usar a gaxeta dupla para o isolamento, mas isso não é utilizada por muitos fabricantes por causa de problemas de desempenho, facilidade de formação de gelo entre as gaxetas reduzindo sua efetividade e aumento dos custos. Adicionamento das gaxetas duplas tende a se tornarem visualmente não atrativas e, elas dificultam também encontrar a força mínima de abertura da porta requerida para segurança das crianças. Por outro lado, o fabricante tem direcionado seus esforços na produção e melhoramento das características térmicas da gaxeta simples como o aumento do potencial de isolação e aprimoramento do selamento.

Outra inovação considerável é a substituição do compressor hermético padrão para um compressor hermético de alto rendimento (maior eficiência). Embasando-se em DOE (1995) a eficiência do compressor tem melhorado significativamente ao passar dos anos e ainda hoje, avanços continuam ocorrendo. Como o compressor é o maior componente consumidor de energia do refrigerador, os avanços na eficiência do compressor têm efeitos significantes na eficiência global do refrigerador (VENDRUSCULO *et al*, 2003). Contudo, a conversão total para compressores de alto rendimento só poderá ser realizada em regime contínuo pelos fabricantes de refrigeradores, no momento que, ocorrer maior oferta desse dispositivo no mercado atingindo preços mais competitivos.

Um afastamento do condensador poderá facilitar a troca de calor do refrigerante superaquecido com o meio ambiente. Uma vez que o condensador resfria o fluido superaquecido e promove a mudança de fase através da liberação de calor por radiação e convecção natural com o ar ambiente (VENDRUSCULO *et al*, 2003). O ar poderá circular com maior grau de liberdade através do condensador e, entre o mesmo e a parte de trás do refrigerador. Portanto, será necessário utilizar menos energia elétrica no ciclo de refrigeração e ao mesmo tempo aumentar a eficiência do refrigerador. Contudo, deve ser levando em consideração o tamanho das cozinhas brasileiras, etc.

Anexo II

Tabelas de Cálculo

Esta seção apresenta a tabela de cálculo para obtenção do padrão 1 com a aplicação da metodologia de Análise Estatística.

L2 Cálculo do Padrão de Eficiência Energética (Metodologia de Análise Estatística)

VOLUME AJUSTADO (VA)	Consumo (kWh/ano)	Valor de $a * x$ (VA) =>	0,2496	Dif. Cons. médio do mercado e consumo / refrig.	Índice de redução de consumo por refrigerador	Número de refrigeradores
		Valor da Cte =>	246,4888			
1,42		Equação Geral do Consumo Calculado (kWh/ano) = y	Número de refrig.			
274	297,60	314,86	1	17,26		
251	289,20	309,12	1	19,92		
251	289,20	309,12	1	19,92		
274	297,60	314,86	1	17,26		
307	308,40	323,12	1	14,72		
330	318,00	328,86	1	10,86		
356	327,60	335,35	1	7,75		
357	356,40	335,71	1	-20,69	-5,81%	1
142	249,60	281,86	1	32,26		
307	308,40	323,12	1	14,72		
330	318,00	328,86	1	10,86		
330	318,00	328,86	1	10,86		
330	318,00	328,86	1	10,86		
330	318,00	328,86	1	10,86		
330	318,00	328,86	1	10,86		
330	318,00	328,86	1	10,86		
300	384,00	321,33	1	-62,67	-16,32%	1
115	300,00	275,19	1	-24,81	-8,27%	1
343	432,00	332,07	1	-99,93	-23,13%	1
272	286,80	314,26	1	27,46		

272	286,80	314,26	1	27,46		
272	286,80	314,26	1	27,46		
315	298,80	325,01	1	26,21		
315	298,80	325,01	1	26,21		
315	298,80	325,01	1	26,21		
315	294,00	325,01	1	31,01		
315	294,00	325,01	1	31,01		
355	322,80	335,00	1	12,20		
355	322,80	335,00	1	12,20		
300	384,00	321,33	1	-62,67	-16,32%	1
222	366,00	301,96	1	-64,04	-17,50%	1
264	284,40	312,43	1	28,03		
264	284,40	312,43	1	28,03		
298	306,00	320,91	1	14,91		
298	306,00	320,91	1	14,91		
371	387,60	339,06	1	-48,54	-12,52%	1
367	324,00	338,09	1	14,09		
371	324,00	339,09	1	15,09		
297	294,00	320,62	1	26,62		
297	294,00	320,62	1	26,62		
311	310,80	324,01	1	13,21		
311	310,80	324,01	1	13,21		
267	372,00	313,03	1	-58,97	-15,85%	1
314	340,80	324,87	1	-15,93	-4,67%	1
306	360,00	322,77	1	-37,23	-10,34%	1
267	372,00	313,03	1	-58,97	-15,85%	1
259	267,60	311,20	1	43,60		
325	316,80	327,66	1	10,86		
267	372,00	313,03	1	-58,97	-15,85%	1
306	360,00	322,77	1	-37,23	-10,34%	1
311	338,40	324,01	1	-14,39	-4,25%	1
306	360,00	322,77	1	-37,23	-10,34%	1
311	338,40	324,01	1	-14,39	-4,25%	1
TOTAL =>		17030,18	53	TOTAL =>	-191,63%	16
Consumo Médio da Eq. Geral(kwh/ano) =>			321,32	Média =>	-11,98%	
Consumo Médio da Eq. Geral(kwh/mês) =>			26,78			
Volume Ajustado médio =>			300			

A primeira coluna “Volume ajustado” é obtida dos dados de volume do refrigerador (dos compartimentos do congelador e alimentos frescos) coletados do INMETRO/PROCEL. O volume ajustado é obtido pela fórmula:

$$VA = V_{ref.} + Cte * V_{cong.}$$

Onde, VA = Volume Ajustado; $V_{ref.}$ = Volume do Refrigerador; Cte = Constante retirada de Turiel (1997); e $V_{cong.}$ = Volume do Congelador.

Depois de obtidos os volumes ajustados das amostras coletadas, o passo seguinte foi fazer uma curva de regressão linear (Volume Ajustado X Consumo, coluna “Consumo em kWh/ano”) para obtenção da equação geral da média de consumo de eletricidade do mercado atual de refrigeradores de uma porta. A equação encontrada foi:

$$\text{Consumo médio} = 0,2496 * VA + 246,4888$$

Através da equação do consumo médio foram calculados os consumos futuros, (coluna “Equação Geral do Consumo Calculado, kWh/ano”). O passo seguinte foi calcular a diferença do consumo médio do mercado (consumo calculado – consumo atual). Desta forma, quando esta diferença apresentou-se negativa, se fez a razão entre a diferença de consumo (calculado e atual) obtendo-se o índice de redução do consumo por refrigerador. Com os índices de redução do consumo encontrados, calculou-se a média aritmética da redução de consumo.

Com a obtenção da média da redução de consumo de aproximadamente de 12% (11,98%), foi definido por este trabalho que o valor de 12% (média do mercado) será a proposta do novo padrão de eficiência energética (categoria “G” do selo PROCEL) obtido pela aplicação da metodologia de Análise Estatística para os refrigeradores de uma porta no Brasil.

Apêndice A

Lei nº 10.295, de 17 de Outubro de 2001

Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA

Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Art. 1ª A Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia visa a alocação eficiente de recursos energéticos e a preservação do meio ambiente.

Art. 2º O Poder Executivo estabelecerá níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, com base em indicadores técnicos pertinentes.

§ 1º Os níveis a que se refere o caput serão estabelecidos com base em valores técnica e economicamente viáveis, considerando a vida útil das máquinas e aparelhos consumidores de energia.

§ 2º Em até 1 (um) ano a partir da publicação destes níveis, será estabelecido um Programa de Metas para sua progressiva evolução.

Art. 3º Os fabricantes e os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar as medidas necessárias para que sejam obedecidos os níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, constantes da regulamentação específica estabelecida para cada tipo de máquina e aparelho.

§ 1º Os importadores devem comprovar o atendimento aos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, durante o processo de importação.

§ 2º As máquinas e aparelhos consumidores de energia encontrados no mercado sem as especificações legais, quando da vigência da regulamentação específica, deverão ser recolhidos, no prazo máximo de 30 (trinta) dias, pelos respectivos fabricantes e importadores.

§ 3º Findo o prazo fixado no § 2, os fabricantes e importadores estarão sujeitos às multas por unidade, a serem estabelecidas em regulamento, de até 100% (cem por cento) do preço de venda por eles praticados.

Art. 4º O Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País.

Art. 5º Previamente ao estabelecimento dos indicadores de consumo específico de energia, ou de eficiência energética, de que trata esta Lei, deverão ser ouvidas em audiência pública, com divulgação antecipada das propostas, entidades representativas de fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia, projetistas e construtores de edificações, consumidores, instituições de ensino e pesquisa e demais entidades interessadas.

Art. 6º Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 17 de outubro de 2001; 180º da Independência e 113º da República.

FERNANDO HENRIQUE CARDOSO

José Jorge

Pedro Parente

Este texto não substitui o publicado no D.O.U. de 18/10/2001 - Seção I-E

Apêndice B

Decreto nº 4.059, de 19 de Dezembro de 2001

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA, no uso das atribuições que lhe confere o art. 84, incisos IV e VI, alínea "a", da Constituição,

DECRETA:

Art. 1º Os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País, bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica a ser fixada nos termos deste Decreto, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia.

Art. 2º Fica instituído Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE, composto por representantes dos seguintes órgãos e entidades:

I - Ministério de Minas e Energia, que o presidirá;

II - Ministério da Ciência e Tecnologia;

III - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior;

IV - Agência Nacional de Energia Elétrica;

V - Agência Nacional do Petróleo; e

VI - um representante de universidade brasileira e um cidadão brasileiro, ambos especialistas em matéria de energia, a serem designados pelo Ministro de Estado de Minas e Energia, para mandatos de dois anos, podendo ser renovados por mais um período.

Parágrafo único. Os membros do CGIEE referidos nos incisos I, II, III, IV e V serão indicados pelos titulares dos respectivos órgãos e designados pelo Ministro de Estado de Minas e Energia.

Art. 3º Compete ao CGIEE:

I - elaborar plano de trabalho e cronograma, visando implementar a aplicação da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001;

II - elaborar regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia;

III - estabelecer Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado;

IV - constituir Comitês Técnicos para analisar e opinar sobre matérias específicas sob apreciação do CGIEE, inclusive com a participação de representantes da sociedade civil;

V - acompanhar e avaliar sistematicamente o processo de regulamentação e propor plano de fiscalização; e

VI - deliberar sobre as proposições do Grupo Técnico para Eficientização de Energia em Edificações.

Parágrafo único. A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, a Agência Nacional do Petróleo - ANP, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO e as Secretarias Executivas do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL e do Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural - CONPET, fornecerão apoio técnico ao CGIEE e aos Comitês Técnicos que vierem a ser constituídos.

Art. 4º São atribuições do Presidente do CGIEE:

I - convocar e presidir as reuniões do Comitê Gestor;

II - manifestar voto próprio e de qualidade, em caso de empate, nas deliberações do Comitê Gestor;

III - organizar e presidir audiências públicas, divulgando antecipadamente as propostas; e

IV - encaminhar periodicamente ao Conselho Nacional de Política Energética - CNPE relatórios de acompanhamento.

Art. 5º A regulamentação específica para adoção dos níveis máximo de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética de cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia, elaborada pelo respectivo Comitê Técnico, será aprovada pelo Comitê Gestor após processo de audiência pública.

§ 1º A audiência pública deverá ser convocada com antecedência mínima de trinta dias, com divulgação antecipada das propostas por meio eletrônico, imprensa escrita de circulação nacional e facultativamente comunicada aos órgãos representativos dos consumidores, fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia, projetistas e construtores de edificações, instituições de ensino e pesquisa e demais entidades interessadas.

§ 2º O edital de convocação da audiência pública deverá conter o objetivo, a data, a hora, o local, prazos para recebimento das contribuições e regras para as manifestações verbais e escritas.

Art. 6º A regulamentação de que trata o artigo anterior, deverá conter, no mínimo, as seguintes especificações:

I - normas com procedimentos e indicadores utilizados nos ensaios para comprovação do atendimento dos níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética;

II - indicação dos laboratórios responsáveis pelos ensaios mencionados no inciso anterior;

III - o mecanismo de avaliação da conformidade a ser implantado;

IV - os procedimentos para comprovação dos níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética a serem observados durante o processo de importação; e

V - o prazo para entrada em vigor.

Art. 7º Deverão ser credenciados pelo INMETRO os laboratórios responsáveis pelos ensaios que comprovarão o atendimento dos níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no País.

§ 1º No caso de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados no exterior e comercializados no País, os ensaios e procedimentos definidos na regulamentação específica, poderão ser realizados por laboratórios internacionais, desde que reconhecidos pelo INMETRO, por meio de acordos de reconhecimento mútuo.

§ 2º Caso os laboratórios não possam atender às solicitações, o Comitê Gestor, ouvido o INMETRO, poderá indicar outros laboratórios, previamente auditados, para realizar os ensaios pertinentes.

Art. 8º Durante o processo de importação, os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia deverão comprovar o atendimento dos níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética estabelecidos em regulamentação específica.

Parágrafo único. Para a concessão da Licença de Importação, deverá ser obtida a anuência do INMETRO, previamente ao embarque no exterior.

Art. 9º O INMETRO será responsável pela fiscalização e pelo acompanhamento dos programas de avaliação da conformidade das máquinas e aparelhos consumidores de energia a serem regulamentados.

Art. 10. As despesas relativas ao funcionamento do CGIEE, inclusive de seus comitês técnicos, correrão à conta de dotações orçamentárias dos órgãos envolvidos.

Art. 11. A participação no CGIEE e nos Comitês Técnicos, será considerada prestação de serviço público relevante e não será remunerada.

Art. 12. Os recursos financeiros necessários à fiscalização, pelo INMETRO, correrão à conta de dotações orçamentárias dos Ministérios de Minas e Energia e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

Parágrafo único. Cabe ao Ministério da Ciência e Tecnologia a disponibilização de recursos financeiros para a capacitação dos laboratórios, quando recomendado pelo CGIEE.

Art. 13. O CGIEE deverá constituir, no prazo de até trinta dias, contado da designação de seus integrantes, Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País.

Art. 14. O Grupo Técnico será composto por um representante dos seguintes órgãos e entidades:

I - Ministério de Minas e Energia, que o coordenará;

II - Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão;

III - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior;

IV - Ministério da Integração Nacional;

V - Ministério da Ciência e Tecnologia;

VI - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL;

VII - Programa Nacional de Racionalização do Uso de Derivados de Petróleo e do Gás Natural - CONPET;

Parágrafo único. Integram, ainda, o Grupo Técnico um representante de universidade brasileira especialista em matéria de edificação e energia; um representante do Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CONFEA; um representante do Instituto dos Arquitetos do Brasil - IAB; e um representante da Câmara Brasileira da Indústria da Construção.

Art. 15. Compete ao Grupo Técnico propor ao CGIEE:

I - a adoção procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações;

II - indicadores técnicos referenciais do consumo de energia das edificações para certificação de sua conformidade em relação à eficiência energética; e

III - requisitos técnicos para que os projetos de edificações a serem construídas no país atendam os indicadores mencionados no item anterior.

Art. 16. Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 19 de dezembro de 2001; 180º da Independência e 113º da República.

FERNANDO HENRIQUE CARDOSO

Sérgio Silva do Amaral

José Jorge

Ronaldo Mota Sardenberg

Este texto não substitui o publicado no D.O.U. de 20/12/2001 - Seção I-E

Apêndice C

Padrão Compulsório para Motores Elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, Decreto nº4.508 de 11 de Dezembro de 2002

Tabela 29: Rendimentos Nominais Mínimos

cv ou hp	Kw	PADRÃO				ALTO RENDIMENTO			
		Pólos				Pólos			
		2	4	6	8	2	4	6	8
1,0	0,75	77,0	78,0	73,0	66,0	80,0	80,5	80,0	70,0
1,5	1,1	78,5	79,0	75,0	73,5	82,5	81,5	77,0	77,0
2,0	1,5	81,0	81,5	77,0	77,0	83,5	84,0	83,0	82,5
3,0	2,2	81,5	83,0	78,5	78,0	85,0	85,0	83,0	84,0
4,0	3,0	82,5	83,0	81,0	79,0	85,0	86,0	85,0	84,5
5,0	3,7	84,5	85,0	83,5	80,0	87,5	87,5	87,5	85,5
6,0	4,5	85,0	85,5	84,0	82,0	88,0	88,5	87,5	85,5
7,5	5,5	86,0	87,0	85,0	84,0	88,5	89,5	88,0	85,5
10	7,5	87,5	87,5	86,0	85,0	89,5	89,5	88,5	88,5
12,5	9,2	87,5	87,5	87,5	86,0	89,5	90,0	88,5	88,5
15	11	87,5	88,5	89,0	87,5	90,2	91,0	90,2	88,5
20	15	88,5	89,5	89,5	88,5	90,2	91,0	90,2	89,5
25	18,5	89,5	90,5	90,2	88,5	91,0	92,4	91,7	89,5
30	22	89,5	91,0	91,0	90,2	91,0	92,4	91,7	91,0
40	30	90,2	91,7	91,7	90,2	91,7	93,0	93,0	91,0
50	37	91,5	92,4	91,7	91,0	92,4	93,0	93,0	91,7
60	45	91,7	93,0	91,7	91,0	93,0	93,6	93,6	91,7
75	55	92,4	93,0	92,1	91,5	93,0	94,1	93,6	93,0
100	75	93,0	93,2	93,0	92,0	93,6	94,5	94,1	93,0

125	90	93,0	93,2	93,0	92,5	94,5	94,5	94,1	93,6
150	110	93,0	93,5	94,1	92,5	94,5	95,0	95,0	93,6
175	132	93,5	94,1	94,1		94,7	95,0	95,0	
200	150	94,1	94,5	94,1		95,0	95,0	95,0	
250	185	94,1	94,5			95,4	95,0		