**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP-FEA-IEE-IF**

ARTHUR HENRIQUE CURSINO DOS SANTOS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A CONTRIBUIÇÃO DOS GASES
COMBUSTÍVEIS: ANÁLISE DE CASO DAS POLÍTICAS DE
AVALIAÇÃO DE EDIFICAÇÕES**

**SÃO PAULO
2011**

ARTHUR HENRIQUE CURSINO DOS SANTOS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A CONTRIBUIÇÃO DOS GASES COMBUSTÍVEIS:
ANÁLISE DE CASO DAS POLÍTICAS DE AVALIAÇÃO DE EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Eletrotécnica e Energia / Instituto de Física) para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá

SÃO PAULO
2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Cursino dos Santos, Arthur Henrique

Eficiência energética e a contribuição dos gases combustíveis: análise de caso das políticas de avaliação de edificações / Arthur Henrique Cursino dos Santos; orientador Murilo Tadeu Werneck Fagá – São Paulo, 2011.

175 f.: il.; 30cm.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Energia – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo

1. Políticas públicas 2. Eficiência energética 3. Edificações. 4. Energia primária 5. Gases combustíveis I. Título

DEDICATÓRIA

“Dedicado a pequena grande companheira
que sempre me apoiou durante a
elaboração desse trabalho”

“Dedicado a minha querida avó,
pelo exemplo de coragem e
determinação”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família e a família Camargo pelo suporte e apoio na realização desse trabalho e na confiança que em mim depositaram. Agradeço meu pai, Waldemar, pela companhia e carinho e minha mãe, Wanda, por ter lutado muito para garantir as bases que me permitiram chegar até esse momento.

Ao meu irmão, Fausto, pela presença inspiradora e aos amigos mais próximos pela compreensão em entender minha ausência em determinados momentos durante a realização da pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Murilo Fagá, por demonstrar que ainda é possível viver nesse mundo com um sorriso no rosto e um espírito alegre.

Ao Prof. Edmilson Moutinho pela oportunidade e pelo tom desafiador de seus comentários, que sempre me forçaram a repensar o que eu já imaginava estar solucionado.

Ao amigo Jorge Chaguri Júnior pelas pacientes explicações dos termos do mundo da engenharia, que muitas vezes escapavam da minha área de conhecimento.

Aos amigos que fiz durante o curso, que são, sem dúvidas, o que de mais importante recebi no mestrado.

Aos colegas, professores e funcionários do IEE, pela convivência e pela ajuda oferecida no entendimento de temas e conceitos distantes da minha área de formação.

Aos meus bichanos, Catú, Nina e Serena, que silenciosamente ofereceram companhia durante os solitários dias passados em casa, na frente da tela do computador, compilando dados, elaborando diagramas e redigindo textos.

Ao apoio da Agência Nacional do Petróleo - ANP, da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP e do Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás - PRH-ANP/MCT.

Que saudade, da maloca onde eu morava
Tinha tudo que *adifício* não tem
Água na fonte, não *fartava* não
Nossa luz a querosene
Não apagava também

A noite tinha sempre serenata
O *terrero* da Maria
Em frente ao botequim do Zé
Cada qual com seu amor
Bem agarrado
Ponha sentido no caso
E diga se é *bão* ou não é

Desde que mudei pra cidade
Me *adescurpe*, essa verdade
Não me sinto bem
Cada vez que uma maloca é derrubada
Seu *dotor* tem a palavra
É o *pogresso* que vem

Ai que saudade meus senhores
Da maloca dos meus amores”

Interpretação de Demônios da Garoa
Letra de Aluísio Ferreira Gomes (Canarinho)

RESUMO

CURSINO, Arthur Henrique Santos. **Eficiência Energética e a Contribuição dos Gases Combustíveis: Análise de Caso das Políticas de Avaliação de Edificações**. 2011. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

A *Organização das Nações Unidas* (ONU) elegeu a eficiência energética como a ação mais significativa para garantir o suprimento de energia das economias em desenvolvimento e minimizar os impactos do aquecimento global. No Brasil, o *Programa Brasileiro de Etiquetagem* (PBE) de eficiência energética foi iniciado em 1984 pelo Inmetro. Fazem parte do PBE duas Portarias, aprovadas em 2010, para avaliação da eficiência energética das edificações comerciais e residenciais. O objetivo dessa pesquisa é contribuir com a racionalização energética no país através da análise dessas Portarias frente a um panorama internacional, assim como avaliar as contribuições que os gases combustíveis podem oferecer na melhoria da eficiência das edificações e na substituição da eletrotermia para aquecimento de água no sistema energético nacional. Para isso foram identificados padrões comuns nas regulamentações internacionais e calculados os fatores de conversão da energia final em primária no Brasil, tanto da eletricidade, quanto dos gases combustíveis. A aplicação dos fatores de conversão, assim como dos fatores de emissões de CO_{2-E} nos usos finais da energia comprovou que os gases possuem um papel importante para redução do consumo de energia primária nos processos de aquecimento de água e cogeração. Verificaram-se ainda como esses fatores poderão evoluir nas próximas décadas, de acordo com as previsões oficiais da *Empresa de Pesquisa Energética* (EPE), demonstrando que a importância do uso direto dos gases combustíveis tende a crescer.

Palavras-chave: Políticas Públicas. Eficiência Energética. Edificações. Energia Primária. Gases Combustíveis.

ABSTRACT

CURSINO, Arthur Henrique Santos. **Energy Efficiency and the Contribution of Fuel Gases: Case Study of Building Evaluation Policies.** 2011. 175 f. Master's Dissertation – Graduate Program on Energy, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

The United Nations (UN) has chosen energy efficiency as the most significant action to ensure energy supply in developing economies and mitigate the impacts of global warming. In Brazil, the Brazilian Energy Efficiency Labeling Program (PBE) was launched in 1984 by Inmetro. Two Regulations, adopted in 2010, to evaluate the energy efficiency of commercial and residential buildings, are part of PBE. The objective of this research is to contribute to the National Energy Efficiency Program through the analysis of these Regulations against an international outlook and through the evaluation of the contributions that the fuel gases can offer in improving the efficiency of buildings and replacing electrical heating in the national energy system. To achieve this, common patterns in the international regulations were identified and the primary energy conversion factors were calculated to the electricity and gas fuels produced in Brazil. The application of the conversion factors and the emission factors of CO_{2-E} in the final uses of energy in buildings showed that the fuel gases have an important role in reducing the consumption of primary energy in the process of water heating and cogeneration. The evolution of these factors in the next decades were also estimated, according to official forecasts of the Energy Research Company (EPE), demonstrating that the importance of the direct use of the fuel gases will increase.

Keywords: Public Policies. Energy Efficiency. Buildings. Primary Energy. Fuel Gases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição setorial do consumo de eletricidade.....	25
Figura 2 - Consumo de eletricidade pelos setores comercial, público e residencial de 1970 a 2009	26
Figura 3 - Consumo e perdas de gás natural por setor em 2009.....	27
Figura 4 - Consumo de eletricidade por processo nos setores residencial, comercial e público em 2004	29
Figura 5 - Gráfico comparativo entre o fator de emissões de CO _{2-E} e a média mensal de geração térmica.....	44
Figura 6 - Diferentes níveis de avaliação da eficiência energética de uma edificação	46
Figura 7 - Análise da eficiência na transformação de energia primária em útil.....	47
Figura 8 - Análise da eficiência na transformação de energia final em energia útil	48
Figura 9 - Ponderação da média nacional de eficiência dos edifícios americanos.....	60
Figura 10 - Escala de avaliação da eficiência energética de edificações não-residenciais.....	72
Figura 11 - Níveis de ação envolvidos no processo de aprovação de regulamentos de eficiência energética	86
Figura 12 - Estrutura organizacional do processo de aprovação de regulamentos de eficiência energética para edificações.....	87
Figura 13 - Modelo da ENCE para o projeto da edificação	90
Figura 14 - Zoneamento bioclimático brasileiro	95
Figura 15 - ENCE de Projeto da Unidade Habitacional Autônoma para as Zonas Bioclimáticas 1 a 4	100
Figura 16 - ENCE de Projeto da Edificação Multifamiliar	100
Figura 17 - ENCE de Projeto das Áreas de Uso Comum de edificações com áreas comuns de uso frequente e áreas comuns de uso eventual	101

Figura 18 - Restrição do Nível de eficiência da edificação em função dos pré-requisitos da envoltória	102
Figura 19 - Contribuição percentual de cada sistema em edificações comerciais e residenciais	108
Figura 20 - Geração de eletricidade por fonte no Brasil, Alemanha, França e Estados Unidos em 2008	111
Figura 21 - Evolução do fator de conversão da eletricidade gerada pelas centrais de serviço público entre 1970 e 2009	112
Figura 22 - Evolução da eficiência da matriz de geração de eletricidade pelas centrais elétricas de serviço público entre 1970 e 2009	113
Figura 23 - Média do fator de emissões de CO _{2-E} entre 2006 e 2010	116
Figura 24 - Evolução do fator de emissões de CO _{2-E} da eletricidade gerada pelas centrais de serviço público entre 1970 e 2010	116
Figura 25 - Fatores de Emissões de CO _{2-E} por país e energético	118
Figura 26 - Comparação do fluxo luminoso de uma lâmpada incandescente e de uma fluorescente de potências similares	121
Figura 27 - Comparação do consumo de energia por dois sistemas para condicionamento de ar	122
Figura 28 - Comparação do consumo de energia por diferentes sistemas para aquecimento de água.....	123
Figura 29 - Redução do consumo de eletricidade e gases combustíveis através do uso de sistemas de aquecimento complementares	125
Figura 30 - Comparação do consumo de energia por um sistema de cogeração e um sistema elétrico	126
Figura 31 - Consumo de energia primária para aquecimento de água – média internacional	128
Figura 32 - Consumo de energia primária para condicionamento de ar – média internacional	129
Figura 33 - Consumo de energia primária para condicionamento de ar com cogeração – média internacional	129

Figura 34 - Consumo de energia primária para aquecimento de água – cenário brasileiro ...	130
Figura 35 - Consumo de energia primária para condicionamento de ar – cenário brasileiro.	131
Figura 36 - Consumo de energia primária para condicionamento de ar com cogeração – cenário brasileiro	131
Figura 37 - Emissões de CO _{2-E} por tipo de equipamento nos países analisados	136
Figura 38 - Percentual de participação das centrais de serviço público por fonte em 2009...	140
Figura 39 - Percentual de participação das centrais de serviço público por fonte em 2030...	141
Figura 40 - Projeção de posse de chuveiros elétricos para 2030 nos cenários macroeconômicos elaborados pela EPE	143
Figura 41 - Projeção de posse de chuveiros elétricos para 2030 nos cenários macroeconômicos elaborados pela EPE	144
Figura 42 - Cenários de evolução do fator de conversão da eletricidade no Brasil para os cenários elaborados.....	146
Figura 43 - Cenários de evolução do fator de emissões de CO _{2-E} da eletricidade no Brasil para os cenários elaborados	147
Figura 44 – Curva de carga diária média no Brasil	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dez países mais populosos do mundo no ano de 2010 em ordem decrescente.....	31
Tabela 2 - Dez maiores países consumidores de energia primária em ordem decrescente	33
Tabela 3 - Dez maiores países consumidores de eletricidade de origem nuclear em ordem decrescente.....	34
Tabela 4 - Dez maiores consumidores de gás natural em 2008.....	35
Tabela 5 - Dez maiores consumidores de gás LP em 2004	35
Tabela 6 - Programa <i>Energy Star</i> : fatores de conversão por energético	38
Tabela 7 - Eficiências utilizadas para o cálculo do fator de conversão do gás natural	39
Tabela 8 - Eficiências utilizadas para o cálculo do fator de conversão da eletricidade	39
Tabela 9 - Eficiências acumuladas para geração de eletricidade por tipo de fonte	41
Tabela 10 - Eficiências acumuladas do gás natural e do gás LP	42
Tabela 11 - Fatores de emissões de CO _{2-E} nos países analisados.....	44
Tabela 12- Pré-requisitos mínimos do Programa R-2000	54
Tabela 13 - Requisitos de eficiência por tipo de edificação comercial	63
Tabela 14 - Variação percentual das emissões de CO ₂ entre 1990 e 2006.....	64
Tabela 15 - Níveis de eficiência energética nas edificações	66
Tabela 16 - Fatores de conversão de energia final em primária por energético	70
Tabela 17 - Classificação geral do nível de eficiência pelo consumo de energia primária e pelo tipo de edificação.....	73
Tabela 18 - Classificação geral do nível de emissões de CO ₂ pela quantidade emitida e pelo tipo de edificação.....	74
Tabela 19 - Fatores de emissões de CO _{2-E} por energético e uso final	74
Tabela 20 - Fator de correção para conversão dos rendimentos em PCS para PCI	77
Tabela 21 - Indicadores de eficiência adotados pelas regulamentações analisadas	80

Tabela 22 - Principais características das regulamentações analisadas.....	82
Tabela 23 - Classificação geral do nível de eficiência da edificação de acordo com a Pontuação Total.....	88
Tabela 24 - Limite máximo aceitável de DPI para o nível de eficiência pretendido	96
Tabela 25 – Resumo das principais características dos regulamentos técnicos brasileiros....	109
Tabela 26 - Fator de conversão da eletricidade calculado para a matriz elétrica brasileira ...	114
Tabela 27 - Fator de conversão dos gases combustíveis	115
Tabela 28 - Fatores de emissões de CO _{2-E} em diferentes países analisados.....	117
Tabela 29 – Contribuição dos GEE ao efeito estufa em comparação ao CO ₂	118
Tabela 30 - Média internacional dos fatores de conversão da energia final em primária	127
Tabela 31 - Eficiências mínimas e acumuladas dos equipamentos condicionadores de ar	133
Tabela 32 - Eficiências mínimas e acumuladas das churrasqueiras para edifícios residenciais	134
Tabela 33 - Eficiências mínimas e acumuladas dos equipamentos residenciais para aquecimento de água	134
Tabela 34 - Emissões de CO _{2-E} por tipo de equipamento nos países analisados.....	137
Tabela 35 - Principais indicadores de consumo e produção de eletricidade em 2030	139
Tabela 36 - Geração de eletricidade pelas centrais de serviço público por fonte segundo o PNE 2030.....	140
Tabela 37 - Consumo de eletricidade para aquecimento de água no setor residencial em 2030	145

LISTA DE SIGLAS

ABEGAS – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Natural

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADEME – Agência de Meio Ambiente e Gestão de Energia

AGA – American Gas Association

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

BCA – Código de Obras da Austrália

BEE – Bureau of Energy Efficiency

BEN – Balanço de Energia Nacional

BEU – Balanço de Energia Útil

CASBEE – Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency

CEN – The European Committee for Standardization

CGIEE – Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética

CONPET – Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural

COP – Coefficient Of Performance

DOE – Department Of Energy

ECBC – Energy Conservation Building Code

EIA – U.S. Energy Information Administration

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EnEV – Lei de Conservação de Energia Alemã (Energieeinsparverordnung)

EPA – Environmental Protection Agency

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GaGBC – Canada Green Building Council

GEE – Gases de Efeito Estufa

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GN – Gás Natural

GT – Grupo Técnico

IEA – International Energy Agency

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

MME – Ministério de Minas e Energia

MNECB – Model National Energy Code of Canada for Buildings

MOHURD – Ministry of Housing and Urban–Rural Development

NatHERS – Programa Nacional de Avaliação de Energia em Edificações Residenciais

NBR – Norma Brasileira aprovada pela ABNT

NFEE – National Framework for Energy Efficiency

OCDE – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OEE – Office of Energy Efficiency

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

ONU – Organização das Nações Unidas

ONU – Organização das Nações Unidas

OR – Operational Rating

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

PIB – Produto Interno Bruto

PNE – Plano Nacional de Energia

PPT – Programa Prioritário de Termoelétricas

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

QUALISOL – Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar

SIN – Sistema Interligado Nacional

SNiP – Russia Codes and Standards

T&D – Transporte e Distribuição

UE – União Européia

UPGN – Unidade de Processamento de Gás Natural

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development

LISTA DE SÍMBOLOS

a – coeficiente adotado de acordo com a região geográfica na qual a edificação está localizada

AC – Área útil dos ambientes condicionados

ANC – Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método de simulação

APT – Área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados

AU – Área útil

b – Pontuação obtida pelas bonificações (varia de zero a 1)

CO₂ – Dióxido de Carbono

CO_{2-E} – Dióxido de Carbono Equivalente

DPI – Densidade de Potência de Iluminação (W/m²)

E – Eletricidade Gerada Total (TWh)

E_n – Eletricidade Gerada por cada Tipo de Fonte (TWh)

EqNum – Equivalente Numérico

EqNumAA – Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água

EqNumCA – Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar

EqNumDPI – Equivalente numérico do sistema de iluminação

EqNumEnv – Equivalente numérico da envoltória

EqNumEnv – Equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma ventilada naturalmente

EqNumV – Equivalente numérico de ambientes de permanência prolongada não condicionados e/ou condicionados naturalmente

F_{co2} – Fator de emissões de CO_{2-E} (tCO₂/MWh)

F_e – Fator de Conversão da Eletricidade

F_g – Fator de Conversão dos Gases Combustíveis

G_t – Geração Termoelétrica anual de origem fóssil (MWh)

P – Perdas nas redes de transporte e distribuição da eletricidade (fator)

PT_{uh} – Pontuação Total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma

tCO_2 – Toneladas de CO_2

η_{glp} – Eficiência Acumulada do Gás LP (fator)

η_{gn} – Eficiência Acumulada do Gás Natural (fator)

η_n – Eficiência Acumulada por Tipo de Fonte (fator)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
1.1 Objetivos	23
1.1.1 Objetivo geral	23
1.1.2 Objetivos específicos	24
1.2 Relevância e motivação	24
1.3 Estrutura capitular	29
2. METODOLOGIA	31
2.1 Metodologia de seleção dos países a serem pesquisados	31
2.1.1 População	31
2.1.2 Consumo de energia	32
2.1.3 Particularidades da matriz energética	36
2.2 Metodologias para cálculo dos fatores de conversão da energia final em primária ..	37
2.2.1 Metodologia para cálculo dos fatores de conversão no Brasil	40
2.2.2 Cenários de evolução do fator de conversão da eletricidade.....	43
2.3 Metodologia para cálculo do fator de emissões de CO _{2-E} no Brasil	43
2.3.1 Cenários de evolução do fator de emissões de CO _{2-E}	44
3. REGULAMENTAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	45
3.1 Abordagens ampliada e simplificada da eficiência energética em edificações	45
3.1.1 A abordagem ampliada: consideração da energia primária na avaliação da eficiência energética	46
3.1.2 A abordagem simplificada: conceituação da eficiência a partir da transformação da energia final em energia útil	48
3.2 Considerações teóricas sobre o conceito de eficiência energética.....	48
3.3 Panorama internacional.....	49
3.3.1 Austrália	50
3.3.2 Canadá	52
3.3.3 China.....	55
3.3.4 Estados Unidos	56
3.3.5 Índia	60
3.3.6 Japão	62
3.3.7 Rússia	65

3.3.8	União Européia	67
3.4	Análise do panorama internacional	80
4.	REGULAMENTAÇÕES BRASILEIRAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	85
4.1	Portaria n.º 373/2010 para edificações comerciais, de serviços e públicas	88
4.1.1	Pré-requisitos e bonificações	90
4.1.2	Procedimentos para determinação da eficiência energética: método prescritivo	93
4.1.3	Procedimentos para determinação da eficiência energética: simulação	98
4.2	Portaria n.º 449/2010 para edificações residenciais	98
4.2.1	Pré-requisitos e bonificações	101
4.2.2	Procedimentos para determinação da eficiência energética das unidades habitacionais autônomas	103
4.2.3	Procedimentos para determinação da eficiência energética das edificações multifamiliares	106
4.2.4	Procedimentos para determinação da eficiência energética das áreas comuns	106
4.3	Análise do modelo brasileiro frente o panorama internacional	108
5.	CÁLCULO DOS FATORES DE CONVERSÃO E DE EMISSÕES DE CO_{2-E} NO BRASIL	111
5.1	Fator de conversão da energia final em primária da eletricidade	111
5.2	Fator de conversão da energia final em primária dos gases combustíveis	115
5.3	Fator de emissões de CO _{2-E}	115
6.	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS USOS FINAIS DA ENERGIA EM EDIFICAÇÕES	120
6.1	Avaliação através da abordagem simplificada	120
6.2	Avaliação através da abordagem ampliada	127
6.2.1	Análise do consumo de energia primária nos usos finais da energia em edificações – Panorama internacional	127
6.2.2	Análise do consumo de energia primária nos usos finais da energia em edificações – Cenário brasileiro	130
6.3	Estratégias de incorporação do consumo de energia primária nas regulamentações brasileiras	132
7.	AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO_{2-E} NOS USOS FINAIS DA ENERGIA EM EDIFICAÇÕES	136
8.	CENÁRIOS DE EVOLUÇÃO DOS FATORES DE CONVERSÃO E DE EMISSÕES DE CO_{2-E} DA ELETRICIDADE GERADA NO BRASIL	138
8.1	Fator de conversão da energia final em primária	138
8.1.1	Cenário do Plano Nacional de Energia 2030	138
8.1.2	Cenários de redução da participação hídrica	141

8.1.3	Cenários de redução da eletrotermia para aquecimento de água.....	142
8.2	Resultados para o fator de conversão da energia	145
8.3	Fator de emissões de CO ₂ -E.....	147
8.4	Resultados para o fator de emissões de CO ₂ -E	147
9.	CONCLUSÕES	149
	REFERÊNCIAS	153
	ANEXOS	163
	APÊNDICES.....	168

1. INTRODUÇÃO

A *Organização das Nações Unidas* (ONU) elegeu a eficiência energética como a ação mais significativa para garantir o suprimento de energia das economias em desenvolvimento e minimizar os impactos do aquecimento global (ONU, 2007). Esse tópico vem sendo discutido há mais de vinte anos e tem recebido muita atenção na última década (Brookes, 2000; Cullen & Allwood, 2010; Goldemberg et al., 1994; Haas & Schipper, 1998; Herring, 2006; Iwaro & Mwasha, 2010; Maruyama & Eckelman, 2009; Patterson, 1996; Sorrell, 2009; Strapasson & Fagá, 2007; Sun, 2008; Varone & Aebischer, 2001; WBCSD, 2007; Yanti & Mahlia, 2009).

No Brasil a eficiência energética começou a ser oficialmente tratada em 1984, através do programa de eficiência do *Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial* (INMETRO) para a área automotiva, que se expandiu rapidamente dando origem ao *Programa Brasileiro de Etiquetagem* (PBE) (Inmetro, 2011). Fazem parte do PBE, o *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica* (PROCEL), através da parceria Inmetro – Eletrobrás, e o *Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural* (CONPET), através da parceria Inmetro – Petrobras. O Procel tem como principal objetivo contribuir para a racionalização do uso da eletricidade, enquanto o Conpet busca racionalizar o uso de derivados do petróleo e do gás natural. Ambos participam do *Grupo Técnico* (GT) para elaboração do regulamento técnico para avaliação da eficiência energética das edificações, fruto da Lei n.º 10.295 de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia.

O primeiro regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética foi promulgado através da Portaria n.º 163 de 08 de junho de 2009 e estabelecia os parâmetros e requisitos para a etiquetagem voluntária de edificações comerciais, de serviços e públicas (Inmetro, 2009). A primeira versão do regulamento possuía um foco quase exclusivo na avaliação da envoltória e dos equipamentos elétricos utilizados nas edificações e foi posteriormente substituída pela Portaria n.º 373 de 17 de setembro de 2010, que além de propor uma nova metodologia menos restritiva para avaliação do sistema de iluminação artificial, também incluiu a possibilidade de uso dos ciclos de absorção para condicionamento ambiental, assim como uma análise mais abrangente do aquecimento de água e dos equipamentos a gás utilizados para esse fim (Inmetro, 2010a).

Após a aprovação do regulamento técnico para edificações comerciais, foi aprovado o regulamento técnico para avaliação das edificações residenciais, através da Portaria n.º 449 de 25 de novembro de 2010 (Inmetro, 2010b).

Os regulamentos técnicos buscam criar condições para etiquetagem da eficiência das edificações, estabelecendo requisitos mínimos de conforto térmico e desempenho energético, de acordo com as características climáticas das regiões onde as edificações estão inseridas.

De acordo com Patterson (1996, p.377), o conceito de eficiência energética pode ser definido como:

$$\text{Eficiência Energética} = \frac{\text{Energia útil}}{\text{Energia consumida pelo processo}}$$

Para avaliar a eficiência energética a fórmula considera a energia consumida pelo processo e a energia útil gerada por esse processo. Como as unidades de ambas as variáveis são iguais, a eficiência energética é demonstrada como um índice percentual, que representa a qualidade do processo na transformação da energia.

A partir desse princípio, o conceito pode incluir outros aspectos metodológicos, classificados em quatro categorias de indicadores: (1) termodinâmicos; (2) físico-termodinâmicos; (3) econômico-termodinâmicos e (4) econômicos (Patterson, 1996, p.378).

A primeira categoria é representada pela fórmula genérica acima, que consiste na análise do consumo de energia de um determinado processo pela quantidade de calor obtido ou na quantidade de trabalho realizado. Essa análise não permite considerar as necessidades dos consumidores, que normalmente necessitam quantificar o trabalho realizado de maneira objetiva, para preencher essa lacuna, o indicador físico-termodinâmico foi elaborado, permitindo análises, como por exemplo, a quantidade de lumens gerados por kWh de energia gasta, ou o total de carga transporta (em toneladas) pela energia consumida no sistema de transporte. Apesar de mais abrangente, a segunda categoria também possui limitações e não é capaz de analisar os resultados econômicos advindos do consumo da energia. O indicador econômico-termodinâmico busca realizar essas avaliações, utilizando para o cálculo os investimentos necessários, ou o retorno de capital obtido por determinado processo. A terceira categoria também é utilizada para avaliações mais amplas, como, por exemplo, o cálculo da

intensidade energética de um país, que considera o *Produto Interno Bruto* (PIB) gerado, pelo total de energia consumida no mesmo período. Por fim, o último indicador, baseado apenas em variáveis econômicas, considera o consumo energético através do preço da energia, informando de maneira direta quanto capital foi realmente empregado ou economizado com as melhorias de eficiência.

O objetivo desta dissertação é realizar uma análise crítica das políticas brasileiras para avaliação da eficiência energética das edificações, partindo do princípio apresentado de que não existe um conceito único de eficiência. A pesquisa parte da construção de um panorama internacional, através da identificação das principais características das regulamentações adotadas em dez países: Alemanha; Austrália; Canadá; China; Estados Unidos; França; Índia; Japão; Reino Unido e Rússia. Selecionados através da metodologia proposta no Capítulo 2.

A pesquisa considera particularmente a contribuição que os gases combustíveis podem oferecer para a segurança energética, demonstrando que a elaboração de uma política de eficiência deve estar vinculada ao planejamento energético nacional.

1.1 Objetivos

O objetivo geral e os objetivos específicos dessa dissertação são apresentados nos Itens 1.1.1 e 1.1.2

1.1.1 Objetivo geral

Contribuir para a racionalização energética no Brasil através da sugestão de uma abordagem mais abrangente do conceito de eficiência energética para edificações.

1.1.2 Objetivos específicos

- Descrever, com base em um panorama internacional, como é realizada a avaliação da eficiência energética das edificações;
- Identificar propostas de aprimoramento da regulamentação brasileira, de forma a determinar as contribuições que o uso dos gases combustíveis pode oferecer;
- Elaborar uma metodologia de cálculo para o fator de conversão da energia final em primária para o Brasil.
- Estimar como os fatores de conversão e emissões de CO_{2-E} poderão variar nas próximas décadas, de acordo com previsões oficiais do governo brasileiro.

1.2 Relevância e motivação

As políticas de eficiência energética são uma ferramenta importante para conter o rápido crescimento do consumo de energia no mundo, contribuindo para a segurança de suprimento e atenuando o esgotamento dos recursos energéticos (Lombard et al, 2008), assim como para reduzir as emissões de CO₂ e o impacto do setor energético nas mudanças climáticas (Varone & Aebischer, 2001).

Apesar de muitos países membros da *Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico* (OCDE) possuírem políticas maduras de eficiência energética para edificações, a grande maioria dos países em desenvolvimento ainda está em fase de implantação de códigos, normas e regulamentações para esse fim. A posição desses países sobre o tema ainda não está documentada, ou não se possui informações suficientes, o que dificulta a análise da efetividade dessas políticas (Iwaro & Mwasha, 2010).

Diversos autores apontam as edificações como o segmento com maior participação no consumo mundial de energia, o que em alguns países pode representar até 40% do consumo de energia primária (Diakaki et al, 2008; Iwaro & Mwasha, 2010; Lombard et al, 2008; European Parliament, 2003; WBCSD, 2007). Essa situação se agrava ainda mais devido ao rápido crescimento no número de edificações, inseridas em ambientes que nem sempre encorajam o uso de tecnologias eficientes (Hui, 2000).

No Brasil o consumo de energia primária pelos setores residencial, comercial e público representa apenas 16% do total de energia primária consumida (MME, 2010), no entanto, quando apenas o consumo de eletricidade é considerado, esses setores juntos são responsáveis por 47,6% do consumo total, possuindo assim uma participação expressiva no país, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Composição setorial do consumo de eletricidade

Fonte: (MME, 2010)

Além de representarem o maior consumidor de eletricidade no Brasil, a demanda dos setores comercial, público e residencial, também vêm aumentando progressivamente a cada ano, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Consumo de eletricidade pelos setores comercial, público e residencial de 1970 a 2009

Fonte: elaboração própria a partir de (MME, 2010)

No ano de 2001 o consumo de eletricidade se reduziu pela primeira e única vez no período analisado. Essa redução deu-se por conta dos efeitos da crise energética conhecida como “apagão”, que tornou mandatória a redução do consumo de eletricidade mediante penalidades financeiras impostas aos consumidores. Essa crise, entre outras ações, acelerou a aprovação da Lei n.º 10.295/2001, que tem como principal ação atribuir ao Poder Executivo a responsabilidade de estipular níveis de consumo de energia para equipamentos fabricados e comercializados no Brasil.

As Portarias para avaliação da eficiência energética das edificações são consequência dessa Política. O Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edifícios do Procel, conhecido como Procel Edifica, foi publicado primeiramente através da Portaria 163 de 08 de junho de 2009, que define o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. A Portaria 163 foi revisada e substituída pela Portaria n.º 372 de 17 de setembro de 2010, em vigência até o término dessa pesquisa. Cerca de dois meses após o lançamento da Portaria 372 foi promulgada a Portaria n.º 449 de 25 de novembro de 2010, que definiu o Regulamento Técnico da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética das Edificações Residenciais.

Em relação aos gases combustíveis, esta pesquisa busca agregar valor à sua utilização, através do reconhecimento dos ganhos de eficiência energética que essa fonte pode oferecer. Entende-se que essa pode ser uma forma de propiciar um ambiente econômico favorável a

novos investimentos na exploração e produção do gás natural, principalmente nas plataformas *offshore*, onde ainda existe um grande volume de perdas.

Em 2009 foram queimados e perdidos 3,4 trilhões de m³ de gás natural nos campos de produção monitorados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), esse valor representa 24,8% do total de gás natural consumido no país. Considerando a média dos anos de 2000 a 2009, são perdidos por ano 2,2 trilhões de m³ de gás natural (ABEGAS, 2010; ANP, 2010). A Figura 3 apresenta o que essas perdas representam frente ao volume consumido de gás natural nos demais setores da economia.

Figura 3 - Consumo e perdas de gás natural por setor em 2009

Fonte: (ABEGAS, 2010; ANP, 2010)

Um percentual dessas perdas está associado à natureza de operação das próprias plataformas *offshore* e mesmo que investimentos sejam feitos para recuperar parte desse gás, ainda é de se esperar que mesmo no longo prazo os volumes perdidos não se reduzam a zero. Ainda assim, o que a Figura 3 demonstra é que existe espaço para uma maior penetração do gás natural, principalmente nos setores residencial e comercial, e que o uso mais eficiente desse gás deve ser estimulado.

A *Empresa de Pesquisa Energética* (EPE) estima que as reservas provadas de gás natural no Brasil terão um crescimento médio de 6,3% ao ano até 2030. Isso representa uma elevação da produção nacional para cerca de 250 milhões de m³/dia. O gás natural deverá aumentar sua participação na matriz energética nacional de 8,7% em 2009 (MME, 2010, p.14), para mais de 15% em 2030¹ (EPE, 2007a, p.4). A evolução das reservas provadas entre os anos de 2000 a 2009 corrobora a estimativa da EPE; nesse período as reservas apresentaram uma taxa de crescimento anual de 6,53%, passando de 220.999 milhões de m³ em 2000 para 366.467 milhões de m³ em 2009 (MME, 2010, p.110).

A Petrobras projeta um crescimento no consumo dos gases combustíveis no setor residencial de 1,7% a.a. para o gás LP e de 5,4% para o gás natural (Lima, 2009). Observa-se que apenas disponibilizar esse energético não será suficiente para desenvolver um mercado consumidor e alterar hábitos de consumo. Para isso é necessário uma estratégia que permita ao mercado incorporar o uso dos gases combustíveis de forma eficaz, criando e fortalecendo toda a cadeia de fornecedores que envolvem essa atividade, como construtores, instaladores, fabricantes, projetistas e é claro, os próprios consumidores (Moutinho et al, 2002).

A adoção de uma abordagem ampliada do conceito de eficiência nas Portarias de eficiência energética para edificações pode criar incentivos que permitam uma maior participação dos gases na realidade energética brasileira, reduzindo seu desperdício e aliviando a demanda pela eletricidade. Com base na Figura 4, que apresenta o consumo de eletricidade por tipo de processo nos setores residencial, comercial e público, observa-se que existe espaço para os gases combustíveis nas edificações residenciais, principalmente para produção de calor de processo (que representa 28% do consumo do setor) e nas edificações comerciais e públicas para força motriz, principalmente aquela destinada ao acionamento de ciclos de compressão para produção de frio (que representa 20% do consumo do setor).

¹ Com a inauguração de cinco novas refinarias até 2020, a Petrobras prevê que a oferta de gás LP também deverá crescer no mercado interno, de 215 mil barris por dia para 257 mil barris por dia (Lima, 2009).

Figura 4 - Consumo de eletricidade por processo nos setores residencial, comercial e público em 2004

Fonte: (MME, 2005)

1.3 Estrutura capitular

Essa dissertação está estruturada em nove capítulos; neste primeiro, introdutório, apresentou-se o conceito de eficiência energética, os objetivos da pesquisa, sua relevância e motivação. No segundo apresenta-se à metodologia adotada para seleção dos países pesquisados, assim como as equações e bases de dados usadas para cálculo do fator de conversão da energia final em primária no Brasil e para realização das estimativas de variação desse fator e do fator de emissões de CO_{2-E} até 2030.

Nos Capítulos 3 e 4 apresentam-se as regulamentações que compõe o panorama internacional e os regulamentos técnicos brasileiros, respectivamente. No Capítulo 5 calculam-se os fatores de conversão, para nos capítulos seguintes avaliar suas aplicações no panorama internacional e no Brasil, através das avaliações do consumo de energia final e primária (Capítulo 6) e das emissões de CO_{2-E} (Capítulo 7), vinculados aos usos finais da energia nas edificações.

No Capítulo 8 realizam-se estimativas de evolução dos fatores de conversão e emissões de CO_{2-E}, de forma a demonstrar a contribuição dos gases combustíveis e a importância da aplicação de um conceito mais abrangente de eficiência, que inclua também a

avaliação do consumo de energia primária e a substituição da eletrotermia para aquecimento de água. As conclusões do trabalho são apresentadas no Capítulo 9.

Os certificados de eficiência energética da Alemanha, Estados Unidos, França e Reino Unido são ilustrados nos Anexos A, B, C e D, enquanto nos Apêndices foram colocadas as tabelas com os cálculos dos fatores de conversão e de emissões de CO_{2-E} no Brasil.

2. METODOLOGIA

2.1 Metodologia de seleção dos países a serem pesquisados

Esta pesquisa consiste de um estudo analítico fundamentado na construção de um panorama internacional e na identificação de padrões comuns aos regulamentos analisados. A seleção dos países está baseada nos critérios do *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD, 2008), através da avaliação de dois parâmetros quantitativos: população e consumo de energia (energia primária; gases combustíveis e eletricidade de origem nuclear), além de um terceiro parâmetro qualitativo, que considera particularidades específicas das matrizes energéticas de alguns países, de forma a avaliar se essas particularidades influenciam os regulamentos de eficiência energética para edificações.

A elaboração do panorama internacional procura definir as principais características desses regulamentos, de forma a posicionar o regulamento técnico brasileiro frente ao mundo e assim definir estratégias de inclusão de novas medidas, dentro da realidade energética do país.

2.1.1 População

O número de habitantes dos dez países mais populosos do mundo em 2010 foi levantado no *U.S. Census Bureau* e é apresentado na Tabela 1 em ordem decrescente.

Tabela 1 - Dez países mais populosos do mundo no ano de 2010 em ordem decrescente

País	População
China	1.336.718.015
Índia	1.189.172.906

continua...

continuação

Tabela 1 - Dez países mais populosos do mundo no ano de 2010 em ordem decrescente

País	População
Estados Unidos	313.232.044
Indonésia	245.613.043
Brasil	203.429.773
Paquistão	187.342.721
Bangladesh	158.570.535
Nigéria	155.215.573
Rússia	138.739.892
Japão	126.475.664

Fonte: (Bureau, 2011)

Esses países juntos possuem 58,5% da população mundial. Nota-se que China e Índia juntos correspondem com 62,3% da população total dos dez países selecionados, seguidos por Estados Unidos com 7,7%, Indonésia com 6,1% e Brasil com 5,0%.

2.1.2 Consumo de energia

2.1.2.1 Consumo de energia primária

O consumo de energia primária por país foi obtido através das estatísticas internacionais publicadas pela *U.S. Energy Information Administration* (EIA) para o ano de 2008. Os dez maiores consumidores são apresentados na Tabela 2 em ordem decrescente.

Tabela 2 - Dez maiores países consumidores de energia primária em ordem decrescente

País	Consumo de energia primária (10^3 J)
Estados Unidos	104,94
China	89,68
Rússia	32,08
Japão	23,51
Índia	21,04
Alemanha	15,14
Canadá	14,79
França	11,90
Brasil	11,21
Coréia do Sul	10,42

Fonte: (EIA, 2008)

Somados os dez países consomem 64,4% da energia primária consumida no mundo em 2008. Os Estados Unidos correspondem com 32,9% desse consumo, China com 24,3%, Rússia com 10,0%, Japão com 7,5% e Índia com 5,8%.

2.1.2.2 Consumo de eletricidade de origem nuclear

O consumo de eletricidade de origem nuclear por país foi obtido através das estatísticas internacionais publicadas pela EIA para o ano de 2009. Os dez maiores consumidores são apresentados na Tabela 3 em ordem decrescente.

Tabela 3 - Dez maiores países consumidores de eletricidade de origem nuclear em ordem decrescente

País	Consumo de eletricidade de origem nuclear (TWh)
Estados Unidos	798,75
França	389,25
Japão	265,76
Rússia	154,95
Coreia do Sul	140,38
Alemanha	128,19
Canadá	85,91
Ucrânia	78,78
China	66,60
Reino Unido	65,73

Fonte: (EIA, 2010a)

Juntos esses países representam 84,7% do consumo total de eletricidade de origem nuclear no mundo. Destes, os Estados Unidos aparecem em primeiro com 36,7% do consumo, seguido de França com 17,9%, Japão com 12,2% e Rússia com 7,1%.

O consumo de eletricidade de origem nuclear é um importante parâmetro de análise, pois busca identificar se as regulamentações de eficiência fazem concessões à utilização da eletricidade de origem nuclear frente às emissões de GEE.

2.1.2.3 Consumo de gases combustíveis

2.1.2.3.1 Consumo de gás natural

Em relação ao consumo de gás natural, os dez maiores consumidores mundiais no ano de 2008 são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dez maiores consumidores de gás natural em 2008

País	Consumo de gás natural (10 ⁹ m ³)
Estados Unidos	805.763,53
Rússia	548.258,02
Irã	164.199,29
Japão	124.890,83
Alemanha	115.545,75
Reino Unido	109.813,74
China	108.612,71
Canadá	106.445,12
Arábia Saudita	97.840,86
Itália	97.343,24

Fonte: (EIA, 2009)

Juntos esses países representam 60,4% do consumo mundial de gás natural, sendo que os Estados Unidos representam 21,4% desse percentual, seguido por Rússia com 14,5%, Irã com 4,4%, Japão com 3,3% e Alemanha com 3,1%.

2.1.2.3.2 Consumo de gás LP

Em relação ao consumo de gás LP, os dez maiores consumidores em 2004 são apresentados na Tabela 5 em ordem decrescente.

Tabela 5 - Dez maiores consumidores de gás LP em 2004

País	Consumo de Gás LP (10 ⁶ m ³)
Estados Unidos	20,79

continua...

continuação

Tabela 5 - Dez maiores consumidores de gás LP em 2004

País	Consumo de Gás LP (10^6 m^3)
China	6,29
Japão	5,79
México	4,32
Canadá	3,62
Índia	3,26
Arábia Saudita	3,04
Rússia	2,62
Brasil	2,31
Coréia do Sul	2,31

Fonte: (EIA, 2005)

Os dez maiores consumidores de gás LP representam 71% do consumo total. Considerando apenas os dez países listados, os Estados Unidos consomem 38,3%, a China 11,6% e o Japão 10,7%.

2.1.3 Particularidades da matriz energética

Os critérios utilizados permitiram selecionar oito países: Alemanha, Canadá, China, Estados Unidos, França, Índia, Japão e Rússia. Além desses, foram incluídos mais dois países para compor o panorama internacional, devido a algumas particularidades de suas matrizes energéticas:

- Austrália: apresenta semelhanças ao Brasil em relação à extensão territorial e aos aspectos climáticos, variáveis fundamentais nas políticas de eficiência em edificações.
- Reino Unido: além de apresentar papel relevante na geopolítica da União Européia (UE), é um importador de energia e apresenta uma metodologia de avaliação de eficiência diferente, identificada em uma análise preliminar das regulamentações.

2.2 Metodologias para cálculo dos fatores de conversão da energia final em primária

À metodologia usada para calcular o fator de conversão da energia final em primária da eletricidade e dos gases combustíveis foi baseada nas metodologias do *European Committee for Standardization* (CEN), do Programa *Energy Star* e da *American Gas Association* (AGA).

O CEN define o fator de conversão como sendo “a energia primária necessária para suprir uma unidade de energia entregue ao consumidor” (CEN, 2008, p.10). Para seu cálculo são consideradas as perdas na extração, processamento, armazenamento, transporte, geração, transformação, transmissão e distribuição. A Equação 1 define o valor do fator de conversão.

$$\text{Fator de Conversão} = \frac{\text{Energia Primária Renovável} + \text{Energia Primária Não-renovável}}{\text{Energia entregue ao Consumidor}} \quad (1)$$

O CEN não estabelece uma unidade para as variáveis, de forma que cada país membro da UE tem liberdade para adotar os valores e unidades mais próximos as suas realidades. É interessante observar que à metodologia separa a energia primária em renovável e não-renovável, permitindo assim bonificar ou punir os diferentes tipos de energia, de acordo com sua fonte.

Além dos processos descritos anteriormente, o CEN também prevê a contabilização da energia embutida nas usinas e a energia utilizada para disposição de resíduos (quando aplicável).

O programa *Energy Star* define o fator de conversão como “o total de energia primária necessária para operação de um edifício” (Energy Star, 2009, p.2). Os fatores calculados para cada energético buscam estimar quanto de energia primária é perdida nos processos de geração, transmissão e distribuição da eletricidade, bem como nos processos de transmissão e distribuição de outros combustíveis, como o gás natural.

A Equação 2 é usada para calcular o fator de conversão.

$$\text{Fator de Energia Primária} = \frac{\text{Energia Primária Gasta na Geração}}{\text{Energia Gerada} - \text{Perdas em T\&D}} \quad (2)$$

A unidade dos valores utilizados para cada variável é expressa em 10^{15} Btu. Os valores utilizados constam do Diagrama de Fluxo da Eletricidade publicado pela EIA no *Annual*

Energy Review (EIA, 2010, p.225). De acordo com a *Energy Star*, o consumo de energia primária é utilizado para comparar os diferentes energéticos através de uma unidade comum.

Os fatores de conversão mais recentes divulgados pelo programa são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Programa *Energy Star*: fatores de conversão por energético

Energético	Fator de Conversão
Eletricidade (distribuída na rede)	3,340
Eletricidade (gerada na edificação por painéis fotovoltaicos ou turbinas eólicas)	1,0
Gás natural	1,047
Óleo combustível e óleo diesel	1,01
Propano (gás e líquido)	1,01
Vapor	1,45
Água quente	1,35
Água fria	1,05
Lenha	1,0
Carvão	1,0
Outros	1,0

Fonte: (Energy Star, 2009, p.3)

Por fim, a AGA define o fator de conversão como sendo “o inverso da eficiência acumulada na cadeia do combustível, o que inclui as perdas desde a extração, processamento, transporte, geração, transmissão e distribuição” (Czachorski & Leslie, 2009, p.1). A Equação 3 apresenta o princípio utilizado para cálculo do fator de conversão.

$$Fator\ de\ Conversão = \frac{1}{Eficiência\ acumulada\ na\ cadeia\ do\ combustível} \quad (3)$$

A eficiência acumulada é obtida através da multiplicação das eficiências de cada processo da cadeia de disponibilização dos combustíveis aos consumidores. A Tabela 7 apresenta as eficiências utilizadas para cálculo do fator de conversão do gás natural.

Tabela 7 - Eficiência utilizadas para o cálculo do fator de conversão do gás natural

Energético	Eficiência por Processo (%)					Eficiência Acumulada	Fator de Conversão
	Extração	Processamento	Transporte	Distribuição	Conversão		
Gás Natural	97,0	96,9	99,0	98,8	100	91,9	1,09

Fonte: (Czachorski & Leslie, 2009, p.13)

Como mostra a Tabela 8, as eficiências utilizadas para o cálculo do fator de conversão da eletricidade seguem a mesma lógica, porém incluem diferentes processos e um maior número de energéticos, no entanto a lógica aplicada é a mesma.

Tabela 8 - Eficiências utilizadas para o cálculo do fator de conversão da eletricidade

Energético	Eficiência por Processo (%)					Eficiência Acumulada	Fator de Conversão
	Energia Primária			Conversão	Eletricidade		
	Extração	Processamento	Transporte		T&D		
Carvão	98,0	98,6	99,0	32,7	93,8	29,3	3,41
Gás Natural	97,0	96,9	99,0	42,1	93,8	36,7	2,72
Óleo Combustível	96,3	93,8	98,8	31,7	93,8	26,5	3,77
Nuclear	99,0	96,2	99,9	32,7	93,8	29,2	3,43
Hídrica	100	100	100	85,0	93,8	79,7	1,25
Biomassa	99,4	95,0	97,5	32,1	93,8	27,7	3,61

Fonte: (Czachorski & Leslie, 2009, p.11)

2.2.1 Metodologia para cálculo dos fatores de conversão no Brasil

2.2.1.1 Fator de conversão da eletricidade

Partindo das equações apresentadas no Item 1.2 e das tabelas de eficiência acumulada da AGA, foram elaboradas duas equações para cálculo dos fatores brasileiros. O fator de conversão da eletricidade é calculado através da Equação 4.

$$F_e = \sum_{n=1}^8 \left(\frac{E_n}{\eta_n} \right) / E \times (1 - P) \quad (4)$$

Onde,

F_e = Fator de Conversão da Eletricidade

E_n = Eletricidade Gerada por cada Tipo de Fonte (TWh)

η_n = Eficiência Acumulada por Tipo de Fonte (fator)

E = Eletricidade Gerada Total (TWh)

P = Perdas nas redes de transporte e distribuição da eletricidade (fator)

O fator foi calculado através de uma média dos anos de 2005 a 2009, de forma a diminuir o impacto das variações sazonais dos regimes hidrológicos. A Eletricidade Gerada (E) e a Eletricidade Gerada por cada Tipo de Fonte (E_n) foram obtidas no *Balanço de Energia Nacional* (BEN) (MME, 2010), enquanto as Perdas no T&D (P) e as Eficiências Acumuladas por Tipo de Fonte (η_n) são apresentadas na Tabela 9. As Perdas no T&D (P) são descontadas da Eletricidade Gerada (E), pois são contabilizadas nas Eficiências Acumuladas (η_n).

Tabela 9 - Eficiências acumuladas para geração de eletricidade por tipo de fonte

Tipo de Fonte (n)	Eficiência por Processo (%)					Eficiência Acumulada (η_n)
	Energia Primária			Conversão*	Eletricidade	
	Extração	Processamento	Transporte		T&D**	
Termoeletricidade: Carvão	98,0	98,6	99,0	36,1	84,4	29,1
Termo: Gás Natural	97,0	96,9	99,0	36,1	84,4	28,4
Termo: Óleo Combustível / Diesel	96,3	93,8	98,8	36,1	84,4	27,2
Termo: biomassa	100	100	100	100	84,4	84,4
Termo: resíduos urbanos	100	100	100	32,1	84,4	27,1
Termo: Nuclear	99,0	96,2	99,9	32,7	84,4	26,3
Hídrica	100	100	100	100	84,4	84,4
Eólica	100	100	100	100	84,4	84,4

Fonte: elaboração própria a partir de (Czachorski & Leslie, 2009, p.11)

* Fonte: Média da eficiência do parque termoeletrico entre 2005 e 2009 (MME, 2010)

** Fonte: (MME, 2009, p.76)

As eficiências do processo de conversão da energia para as fontes hídricas, eólicas e a biomassa com bagaço de cana foram consideradas 100%, dessa forma as perdas são desprezadas devido à característica renovável desses tipos de fonte. O rendimento da conversão utilizado para as usinas termoeletricas foi obtido através da média dos rendimentos dos anos de 2005 a 2009 apresentados no BEN 2010, com exceção das usinas que operam com resíduos urbanos, que possuem eficiência menor devido ao poder calorífico reduzido que o lixo apresenta em relação aos demais combustíveis. Para as perdas no T&D foi considerado o valor de 15,6%, referente ao ano de 2008 (MME, 2009). As eficiências dos demais processos foram mantidas, de acordo com a Tabela 8.

2.2.1.2 Fator de conversão dos gases combustíveis

Para o cálculo do fator de conversão dos gases combustíveis, foi utilizada a Equação 5.

$$F_g = 2/(\eta_{gn} + \eta_{glp}) \quad (5)$$

Onde,

F_g = Fator de Conversão dos Gases Combustíveis

η_{gn} = Eficiência Acumulada do Gás Natural (fator)

η_{glp} = Eficiência Acumulada do Gás LP (fator)

Nas regulamentações analisadas o gás natural e o gás LP possuem fatores individuais, não existe o fator médio dos gases combustíveis. Esse valor médio será determinado apenas para facilitar a preparação dos Diagramas de Sankey com o consumo de energia primária nos usos finais nas edificações (apresentados no Capítulo 6).

As eficiências acumuladas do gás natural (η_{gn}) e do gás LP (η_{glp}) são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Eficiências acumuladas do gás natural e do gás LP

Energético	Eficiência por Processo (%)				Eficiência Acumulada (η_a)
	Extração	Processamento	Transporte	Distribuição	
Gás Natural	97,0	96,9	99,0	98,8	91,9
Gás LP	96,3	96,9	99,0	98,8	91,3

Fonte: elaboração própria a partir de (Czachorski & Leslie, 2009, p.13)

Os valores das eficiências dos processos foram obtidos na Tabela 8. O valor da eficiência considerado para o processo de extração do gás LP é o mesmo da extração do óleo combustível, enquanto para os demais processos foram consideradas as eficiências do processamento, transporte e distribuição do gás natural.

2.2.2 Cenários de evolução do fator de conversão da eletricidade

Para avaliar como o fator de conversão brasileiro da eletricidade poderá evoluir nas próximas décadas foram usados os dados do Plano Nacional de Energia (PNE) 2030, produzido pela EPE, e alguns cenários alternativos baseados nesse Plano. Os cenários alternativos são divididos em duas categorias: (1) redução da participação hídrica; que avalia o comportamento do fator de conversão proporcionado por reduções de 10%, 15% e 20% na participação da hidroeletricidade na matriz brasileira e (2) substituição da eletrotermia para aquecimento de água; que avalia a substituição gradativa da eletricidade pela utilização direta dos gases combustíveis no aquecimento de água no setor residencial, os cenários consideram reduções de 80% (cenário agressivo); 50% (moderado) e 25% (conservador).

2.3 Metodologia para cálculo do fator de emissões de CO_{2-E} no Brasil

O fator de emissões de CO_{2-E} da eletricidade é calculado e divulgado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Para estimar como os fatores de emissão poderão variar nas próximas décadas foi utilizada a Equação 6.

$$F_{co2} = [6,39 \times 10^{-3} + (1,43 \times 10^{-8} \times G_t)]/12 \quad (6)$$

Onde,

F_{co2} = Fator de emissões de CO_{2-E} (tCO₂/MWh)

G_t = Geração Termoelétrica anual de origem fóssil (MWh)

A Equação 6 foi obtida através da equação da reta da Figura 5, que possui um fator de correlação de cerca de 98%, e relaciona o fator de emissões de CO₂ mensal em tCO₂/MWh com a geração térmica mensal no *Sistema Interligado Nacional* (SIN) em TWh. Os valores das variáveis para cada mês estão disponíveis nos Apêndices C e D.

Figura 5 - Gráfico comparativo entre o fator de emissões de CO_{2-E} e a média mensal de geração térmica

Fonte: (MCT, 2011; ONS, 2011)

Para cálculo do fator de emissões de CO_{2-E} dos gases combustíveis adotou-se a média dos fatores utilizados nas regulamentações analisadas, de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 - Fatores de emissões de CO_{2-E} nos países analisados

País	Gás natural (tCO_{2-E}/MWh)	Gás LP (tCO_{2-E}/MWh)
Estados Unidos	0,182	0,217
Japão	0,182	-
Reino Unido	0,185	0,214
Média	0,183	0,216

Fonte: elaboração própria a partir de (Carbon Trust, 2010; Energy Star, 2008; IBEC, 2008)

2.3.1 Cenários de evolução do fator de emissões de CO_{2-E}

A evolução do fator de emissões de CO_{2-E} foi avaliada sobre as projeções da EPE para a matriz elétrica brasileira no PNE 2030 e sobre os mesmos cenários definidos no Item 2.2.2 para avaliação do comportamento do fator de conversão da eletricidade.

3. REGULAMENTAÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

Uma regulamentação de eficiência energética para edificações utiliza para análise do uso da energia um ou mais dos seguintes aspectos: localização geográfica; níveis de conforto térmico; características construtivas; avaliação da potência instalada; análise da eficiência dos equipamentos na transformação de energia final em útil; estimativas de consumo de energia final e primária; medição do consumo da edificação comparado com o consumo padrão de uma edificação similar de referência; emissões de CO₂-E.

A abrangência do conceito de eficiência pode ser classificada em três categorias: ampliada quantitativa, ampliada qualitativa e simplificada. De forma geral, observa-se que a ponderação de como diferentes equipamentos e processos consomem energia primária só é possível através de abordagens ampliadas, que permitem estabelecer bases comuns para comparação de diferentes energéticos. No Item 3.1 cada categoria é descrita em detalhes.

3.1 Abordagens ampliada e simplificada da eficiência energética em edificações

Identificam-se quatro níveis para avaliação da eficiência energética das edificações: (1) eficiência dos equipamentos na conversão da energia final em útil; (2) eficiência dos sistemas, o que considera as perdas no transporte, distribuição e estocagem da energia útil; (3) eficiência da edificação como um todo, representada pela ponderação das eficiências de cada sistema em relação ao consumo total de energia final e (4) eficiência da edificação dentro da realidade energética na qual ela está inserida, o que implica no cálculo do consumo de energia primária. A Figura 6 ilustra esses níveis e os classifica em macro e micro, de acordo com a abrangência do conceito de eficiência.

Figura 6 - Diferentes níveis de avaliação da eficiência energética de uma edificação

Fonte: elaboração própria

Dentro dos quatro níveis apresentados, o ambiente micro considera as eficiências dos equipamentos, sistemas e da edificação como um todo, analisando a transformação da energia final em útil. A abordagem simplificada resume-se a essa avaliação. O ambiente macro considera também a eficiência contida nos processos de disponibilização dos diferentes energéticos, analisando a transformação da energia final em primária. Essa análise, que considera a eficiência da matriz energética do país, é possível através da abordagem ampliada.

3.1.1 A abordagem ampliada: consideração da energia primária na avaliação da eficiência energética

A transformação da energia primária em energia útil, com suas respectivas perdas é ilustrada na Figura 7. Essa abordagem permite avaliar diferentes rotas tecnológicas existentes para obtenção de energia útil. Por exemplo: (i) a transformação de uma matriz de energias primárias em eletricidade que será suprida e utilizada para produção de energia útil; e (ii) a transformação (em *Unidades de Processamento do Gás Natural* (UPGN) e/ou refinarias) de energias primárias (como petróleo ou gás natural bruto) em gases combustíveis (gás LP ou gás natural).

Figura 7 - Análise da eficiência na transformação de energia primária em útil

Fonte: elaboração própria

A consideração da transformação completa da energia primária em energia final e desta em energia útil conduz a uma abordagem ampliada da eficiência energética. Pode-se privilegiar (ou penalizar) determinados equipamentos, processos, sistemas e até mesmo fontes de energia, adequando o conceito de eficiência a outros elementos do planejamento energético.

Fumo & Chamra (2010), por exemplo, utilizaram o conceito de abordagem ampliada para analisar o consumo de energia primária de diferentes sistemas de cogeração. Os autores procuraram determinar qual sistema operacional é mais eficiente, dentro da realidade energética dos Estados Unidos.

Entende-se que a não consideração do consumo de energia primária associada ao consumo de energia útil pode fazer com que a avaliação da eficiência gere distorções sobre quais tecnologias são realmente mais eficientes, principalmente quando diferentes rotas tecnológicas, operando com diferentes energéticos, são comparadas. As análises realizadas no Capítulo 6 demonstram essa questão.

Na pesquisa foram identificados dois tipos de abordagens ampliadas: quantitativas e qualitativas. As abordagens ampliadas quantitativas determinam o consumo de energia primária por cada equipamento e/ou processo, através dos fatores de conversão de energia final em primária, a fim de identificar quais alternativas são realmente mais eficientes. As abordagens ampliadas qualitativas não adotam os fatores de conversão, mas bonificam ou punem determinados tipos de equipamentos ou energéticos, de acordo com os objetivos da regulamentação.

3.1.2 A abordagem simplificada: conceituação da eficiência a partir da transformação da energia final em energia útil

Na Figura 8 ilustra-se a transformação da energia final em energia útil com as respectivas perdas na transformação, transporte e estocagem da energia útil, quando aplicável. As abordagens simplificadas utilizam esse tipo de análise para avaliar a eficiência energética dos sistemas energéticos que compõe uma edificação.

Através dessa abordagem é possível identificar quais equipamentos e/ou processos consomem menos energia e assim determinar quais os requisitos mínimos de eficiência para cada sistema, no entanto, essa análise é pouco eficaz quando diferentes energéticos são utilizados (como será demonstrado no Capítulo 6).

Figura 8 - Análise da eficiência na transformação de energia final em energia útil

Fonte: elaboração própria

Essa abordagem foi classificada como “simplificada”, pois parte do princípio de que o aumento da eficiência dos equipamentos é suficiente para garantir o melhor uso da energia.

Ao assumir que a qualidade da energia final é constante, as regulamentações simplificadas desprezam a origem da energia, automaticamente atribuindo peso 1 (um) aos fatores de conversão.

3.2 Considerações teóricas sobre o conceito de eficiência energética

O papel das políticas de eficiência energética para a redução do consumo total de energia não pode ser facilmente mensurado, para Brookes (2000), Herring (2006) Sorrell

(2009), o aumento da eficiência pode aumentar, ao invés de reduzir o consumo de energia, devido ao chamado “efeito-rebote” (*rebound effects*), ocasionado pela redução do custo marginal da energia que as melhorias promovem. No entanto, esse aumento de consumo pode não ser tão expressivo, devido às chamadas melhorias irreversíveis da eficiência (Haas & Schipper, 1998). Apesar dessa questão ainda não estar completamente elucidada, sugere-se que o aumento da eficiência energética pode liberar recursos para o desenvolvimento social e econômico, principalmente nos países em desenvolvimento (Goldemberg et al, 1994).

Esses recursos têm origem na economia que o aumento da eficiência energética propicia ao poupar o poder público de realizar novos investimentos para geração (Geller, 1994). Lamberts et al (1997), em seu livro *Eficiência Energética na Arquitetura*, apresenta os passos necessários para se obter ganhos de eficiência energética nas edificações, partindo de diferentes variáveis que compõe o desenvolvimento de um projeto. Essas variáveis são divididas em: climáticas, humanas e arquitetônicas. Nota-se que a região onde a edificação está localizada, assim como o padrão de conforto necessário a atividade humana, são itens primordiais e devem ser estudados antes de se considerar os aspectos construtivos de um edifício.

Os regulamentos de avaliação da eficiência energética das edificações partem dessas variáveis e as abordam com diferentes níveis de profundidade, de acordo com as realidades política e energética de cada país.

3.3 Panorama internacional

Foram identificadas as principais regulamentações e os órgãos públicos responsáveis pelas políticas de eficiência energética para edificações nos países selecionados. Os princípios básicos de cada regulamentação são apresentados nos Itens 3.3.1 a 3.3.8.

3.3.1 Austrália

O responsável pelos programas de eficiência energética na Austrália é o Departamento de Recursos, Energia e Turismo, através do Conselho Ministerial de Energia, cujo principal programa sobre o tema é o *National Framework for Energy Efficiency* (NFEE).

A primeira fase do NFEE foi iniciada em agosto de 2004, através de uma série de políticas que tratavam sobre a eficiência energética das edificações e equipamentos e buscavam sensibilizar os consumidores e instituições de financiamento sobre o tema (Australian Government, 2011a).

A segunda fase do programa data de 13 de dezembro de 2007 e acrescentou mais algumas medidas à lista anterior, buscando expandir e melhorar os padrões mínimos para consumo de energia, a eficiência energética dos sistemas de condicionamento ambiental, a eliminação progressiva das lâmpadas incandescentes e a estratégia nacional para o desenvolvimento de uma política para aquecimento de água (Australian Government, 2011a).

Em 2 de julho de 2009 foi assinado o Acordo Nacional de Parceria em Eficiência Energética, pelo Conselho de Governos da Austrália, visando, entre outras medidas, aumentar os padrões de eficiência energética das edificações e fornecer um roteiro de adaptação para o setor. Esse acordo também previa a liberação de 88 milhões de dólares australianos para auxiliar as medidas de eficiência no setor de edificações (Australian Government, 2011b).

Do pacote de medidas previsto para a melhoria da eficiência energética das edificações, a principal foi à atualização do Código de Obras da Austrália (BCA), em 2010, com a inclusão de requisitos de eficiência energética mais severos (Australian Government, 2011b).

A primeira versão do BCA a tratar sobre a eficiência energética de edificações residenciais data de 01 de janeiro de 2003 e dispõe sobre a envoltória, a ventilação e o isolamento térmico dos sistemas de condicionamento de ar e aquecimento de água. As disposições foram consideradas relativamente simples e tinham como objetivo alcançar um nível de eficiência de 3,5 a 4 estrelas, de acordo com a escala do Programa Nacional de Avaliação de Energia em Edificações Residenciais (NatHERS) (ABCB, 2011a).

Atualizado em 2006, o BCA aumentou a complexidade da avaliação da eficiência energética, através do cálculo das necessidades térmicas da edificação e da elevação do nível de eficiência para 5 estrelas. Também foram detalhadas mais opções construtivas, de forma a

oferecer uma maior flexibilidade de escolha de materiais e projetos aos construtores e projetistas (ABCB, 2011a).

Com a última atualização de 2010, o BCA passou a dispor também da eficiência do sistema de aquecimento de água e do sistema de iluminação em casas e apartamentos novos. Elevando o nível de eficiência para 6 estrelas (ABCB, 2011). O principal objetivo do BCA em relação à eficiência energética passou a ser a redução das emissões dos gases de efeito estufa (GEE), para isso, além de buscar o uso eficiente da energia, a revisão do Código de Obras incluiu a possibilidade da edificação optar por fontes energéticas de menor intensidade de carbono², assim como pelo uso de energia renovável produzida localmente (Kearsley & McLennan, 2010).

Observa-se que para atingir o objetivo previsto de redução das emissões de GEE, o BCA define quais equipamentos ou processos podem ser utilizados na edificação. Para os sistemas de aquecimento e resfriamento, por exemplo, a utilização de *boilers* a gás é requerida, além de um sistema complementar de aquecimento, que pode ser solar, com biomassa, rejeitos térmicos, ou óleo combustível (esse último apenas em áreas com ausência de distribuição de gás) (Kearsley & McLennan, 2010, p.32).

No item aquecimento de piscinas o uso de determinados equipamentos e processos também é controlado, só podem ser utilizados sistemas solares, rejeitos térmicos, gás ou bomba de calor, sendo que os dois últimos requerem ainda a utilização de cobertura (para piscinas ao ar livre) e temporizadores para desligamento automático (Kearsley & McLennan, 2010, p.43).

Sobre o Programa NatHERS e a escala de estrelas, o Programa define os limites máximos de consumo de energia por unidade de área (MJ/m^2) para cada nível de eficiência, de acordo com zona bioclimática onde a edificação está localizada. É analisado para isso, o conforto térmico que a edificação oferece, de acordo com as características construtivas, da envoltória e do isolamento térmico. Define-se 20 níveis de eficiência, que variam em uma escala de 0 a 10, com intervalos de meio ponto (MCE, 2011). Apenas como exemplo, uma residência na cidade de Melbourne que consome 676 MJ/m^2 é classificada como 0,5 estrelas, enquanto uma que consome apenas 2 MJ/m^2 é classificada como 10 estrelas (MCE, 2011b).

² Uma fonte energética é considerada de baixa intensidade de carbono quando emite menos de $100 \text{ g CO}_{2-\text{E}}/\text{MJ}$ de carga de energia térmica (Kearsley & McLennan, 2010, p.14).

Ou seja, mantido o nível de conforto térmico exigido, quanto menor o consumo de energia mais eficiente a edificação.

Em relação às edificações comerciais, as disposições sobre eficiência energética foram incluídas no BCA em duas fases, nos anos de 2005 e 2006. A primeira fase contemplou as classes de edifícios 2, 3 e 4 (escolas, hotéis, motéis e outros meios de hospedagem), enquanto a segunda fase incluiu também as classes 5, 6, 7, 8 e 9 (escritórios, *shoppings*, depósitos, prédios de serviço, hospitais, estádios etc). As versões de 2005 e 2006 do BCA dispunham sobre a envoltória, o isolamento térmico, a ventilação, os sistemas de condicionamento de ar e aquecimento de água, assim como a iluminação e os sistemas elétricos em geral. O cálculo do consumo térmico foi definido na primeira versão, assim como o procedimento para simulação energética (ABCB, 2011c).

As edificações comerciais não são avaliadas de acordo com o Programa NatHERS, para sua avaliação são definidos parâmetros mínimos a serem observados em cada item, o que inclui os materiais a serem utilizados na construção, os tipos de vidro externos, as características técnicas dos sistemas de condicionamento de ar e os requerimentos do sistema de iluminação e dos sistemas elétricos. A revisão de 2010 apenas aumentou os níveis de exigência e criou parâmetros para mais alguns processos, como aquecimento de piscinas e monitoramento do consumo (ABCB, 2011c).

As políticas australianas não fazem uso dos fatores de conversão, mas indicam qualitativamente o uso de determinados energéticos em relação a outros. Para o aquecimento de água em residências, por exemplo, o uso de sistemas solares, geotérmicos, a gás natural ou a bomba de calor são recomendados em relação aos equipamentos com resistências elétricas, devido às reduções nas emissões de CO₂ que proporcionam (Australian Government, 2010).

3.3.2 Canadá

O órgão responsável pela eficiência energética no Canadá é o *Office of Energy Efficiency* (OEE), que têm como principal função gerenciar a iniciativa do governo na busca em reduzir o consumo de energia e aumentar a eficiência de diversos tipos de equipamentos e sistemas, de automóveis a geladeiras, passando pelas edificações.

O modelo de eficiência energética para edificações foi regulamentado em 1997 e é chamado de *Model National Energy Code of Canada for Buildings* (MNECB). Esse modelo foi em grande parte baseado nas especificações da ASHRAE, considerando os seguintes sistemas parciais: envoltória; iluminação e sistemas elétricos; climatização de ambientes e produção de água quente.

O MNECB não foi atualizado desde sua criação em 1997 e não foi efetivamente adotado pelas províncias do país, o que abriu margem para o surgimento de outras iniciativas (CEA, 2007).

Uma dessas novas iniciativas foi desenvolvida pelo *Canada Green Building Council* (GaGBC), que possui um programa de certificação de eficiência baseado no modelo *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED).

Para edificações residenciais existe também um programa voluntário chamado de R-2000. Esse programa busca garantir a eficiência energética em novas construções, sem comprometer a qualidade interna e externa do ambiente. Para isso, avalia em sua metodologia a envoltória, os sistemas mecânicos, a qualidade do ar interno, medidas de conservação de água e metas de consumo de energia para sistemas de aquecimento de água e ambientes (NRCAN, 2005).

O consumo de energia é avaliado através da Equação 7:

$$\text{Annual Energy Target} = Q_s + Q_w \quad (7)$$

Onde,

Q_s = Meta de consumo de energia para o sistema de aquecimento de ambientes

Q_w = Meta de consumo de energia para o sistema de aquecimento de água

A meta de consumo para aquecimento de ambientes é calculada através da Equação 8.

$$Q_s = S * \left(49 * \frac{DD}{6000} \right) * \left(40 + \frac{V}{2.5} \right) \quad (8)$$

Onde,

$S = 4.5$ MJ para sistemas não-elétricos ou 1.0 kWh ou 3.6 MJ para sistemas elétricos;

DD = Graus dia de aquecimento em função da zona bioclimática ($^{\circ}\text{C}$);

V = Volume interior aquecido (m^3).

A meta de consumo para aquecimento de água é calculada através da Equação 9.

$$Q_w = 4745 * W * (55 - T_w) / (55 - 9.5) \quad (9)$$

Onde,

T_w = Temperatura de entrada da água fria, de acordo com a zona bioclimática ($^{\circ}\text{C}$);

$W = 1.72$ kWh ou 6.19 MJ para sistemas não-elétricos ou 1.075 kWh ou 3.87 MJ para sistemas elétricos.

O programa R-2000 também define pré-requisitos mínimos para diversos parâmetros, como observado na Tabela 12.

Tabela 12- Pré-requisitos mínimos do Programa R-2000

Pré-requisito	Valor máximo
Temperatura do ar no andar principal	21.0 $^{\circ}\text{C}$
Temperatura do ar nos porões	19.0 $^{\circ}\text{C}$
Consumo máximo dos sistemas de iluminação	3.0 kWh/dia
Consumo máximo de outros equipamentos elétricos	14.0 kWh/dia
Consumo máximo de água	225.0 L/dia
Temperatura da água quente	55.0 $^{\circ}\text{C}$

Fonte: (NRCAN, 2005)

3.3.3 China

A Lei de Conservação de Energia da China passou a vigorar a partir de primeiro de janeiro de 1998 e faz referência as edificações em seu artigo 37, que diz que as edificações devem adotar medidas de redução de consumo de energia no projeto e na construção de edificações, através de medidas que aumentem o isolamento térmico e reduzam o consumo dos processos de aquecimento, resfriamento e iluminação (Richerzhagen et al., 2008).

Em 2007 a Lei foi revista com a inclusão de penalidades para o não cumprimento das ações de eficiência. O Ministério responsável por sua aplicação passou a ser o *Ministry of Housing and Urban-Rural Development* (MOHURD) (Richerzhagen et al., 2008).

Atualmente os padrões para eficiência energética em edificações são definidos pelo Código Civil de Energia, que data de 23 de julho de 2008 (China, 2008). A Portaria determina que edificações públicas devam ser etiquetadas quanto a sua eficiência, porém até o término da pesquisa o programa de certificação ainda se encontra em fase piloto (Mo et al., 2010).

O programa de etiquetagem é composto por três categorias: parâmetros básicos; obrigatórios e opcionais. Os parâmetros básicos regulamentam o consumo de energia por metro quadrado, obtido através de medição ou simulação. Os parâmetros obrigatórios tratam sobre as eficiências mínimas da envoltória e do sistema de condicionamento ambiental. Por fim, os parâmetros opcionais referem-se à utilização de energias renováveis, tecnologias inovadoras de eficiência energética, ou qualquer outro sistema de gestão de energia que exceda os parâmetros requeridos pela norma (Mo et al., 2010).

Um detalhe particular da regulamentação chinesa é a existência de duas etiquetas. A primeira é chamada de “teórica”, pois os padrões de consumo de energia são obtidos através de simulação, essa etiqueta possui validade de um ano e pode ser substituída pela segunda etiqueta, chamada de “medida”, obtida através de medições do consumo de energia durante o período mínimo de um ano. A etiqueta “medida” possui validade de cinco anos (Mo et al., 2010).

Em relação aos aspectos bioclimáticos, o território chinês é dividido em cinco zonas: frio intenso (SC); frio (C); verão quente e inverno frio (HSCW); verão quente e inverno ameno (HSWW) e moderado (M). O consumo de energia pelas edificações residenciais nas zonas SC e C é fixado através de um limite de perda de calor calculado em função da

temperatura externa no inverno em W/m^2 . As edificações residenciais localizadas nas zonas HSCW e HSWW seguem um procedimento diferente, sendo classificadas de acordo o consumo de edificações similares de referência. A zona M não possui regulamentação nacional. (Mo et al., 2010).

A meta de redução de consumo de energia na China é bastante agressiva, uma vez que todas as regulamentações nacionais exigem uma redução de 50% no consumo. Os governos locais podem estipular limites ainda maiores, como o caso de *Beijing*, que exige uma redução de 65% (Mo et al., 2010). No geral, nas zonas SC e C a meta é atingida através de melhorias na envoltória, capazes de gerar uma economia de até 30% e melhorias no sistema de aquecimento, capazes de atender os 20% restantes. Nas zonas HSCW e HSWW a meta é alcançada através da redução de 50% do consumo dos sistemas de condicionamento ambiental, divididos sem peso entre a envoltória, o sistema de aquecimento e o sistema de resfriamento.

A Lei de Conservação de Energia não define fatores de conversão para os diferentes energéticos, no entanto define que o Estado tem poder para promover, restringir ou proibir a utilização de determinados equipamentos, materiais ou processos, de acordo com o consumo de energia que os mesmos apresentam (China, 2008, capítulo 2).

3.3.4 Estados Unidos

Norma ASHRAE 90.1

Uma das principais referências sobre eficiência energética para edificações nos Estados Unidos é a Norma 90.1 da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE). Publicada pela primeira vez em 1975 e atualizada frequentemente desde então, a Norma, cuja última versão data de 2010³, aborda o consumo de energia através da criação de requisitos mínimos de eficiência para a envoltória e para os

³ A primeira versão da Norma 90.1 foi publicada em 1975 com o nome de Norma 90. Essa versão foi atualizada em 1980; 1989 e em 1999 foi totalmente reformulada, dando origem a Norma 90.1, posteriormente revista em 2001, 2004, 2007 e 2010 (Gowri, 2010).

sistemas de: condicionamento de ar, ventilação, aquecimento de água, iluminação, motores elétricos e distribuição de eletricidade (ASHRAE, 2010).

A Norma 90.1 é informativa e deve ser adotada por cada Estado em particular. Enquanto alguns Estados Americanos adotam seu texto integralmente, outros possuem políticas de eficiência energética para edificações baseadas nos requisitos da Norma 90.1, mas com exigências diferentes (NAIMA, 2004).

Os equipamentos a gás são tratados nos capítulos 6 e 7, condicionamento de ar e aquecimento de água, respectivamente. O consumo de energia primária não é abordado, uma vez que o objetivo da Norma não é avaliar o consumo energético das edificações, mas sim determinar quais as melhores práticas para dimensionamento dos sistemas e quais os parâmetros mínimos de eficiência de cada processo/equipamento em particular, assim como quais os critérios a serem utilizados para avaliação desses parâmetros (ASHRAE, 2010).

Para exemplificar os requisitos que a Norma trás para cada sistema, as eficiências mínimas dos equipamentos para aquecimento de água são tabeladas de acordo com o tipo de equipamento (instantâneo, de acumulação, bomba de calor etc), o energético utilizado (eletricidade, a gás, a óleo etc), a potência e o procedimento para teste adotado. Por exemplo, aquecedores de passagem a gás com potência inferior a 75.000 Btu/h, devem possuir eficiência de pelo menos 0.62-0.0019V EF, de acordo com o teste do *Department of Energy* (DOE) 10 CFR (ASHRAE, 2007).

A Norma 90.1 ainda apresenta os critérios para identificação da zona bioclimática da edificação. O território americano é dividido em sete zonas, de acordo com os seguintes aspectos do clima:

- (1) muito quente e úmido;
- (2) quente e úmido;
- (3) quente e: (A) úmido ou (B) seco;
- (4) temperado e: (A) úmido; (B) seco ou (C) marinho;
- (5) frio e: (A) úmido; (B) seco ou (C) marinho;

(6) frio⁴ e: (A) úmido ou (B) seco;

(7) muito frio;

(8) subártico.

Os parâmetros e requisitos estabelecidos pela Norma 90.1 também são utilizados como referência de outras regulamentações internacionais de eficiência energética para edificações, como as adotadas no Brasil, Canadá, Índia e Japão (BEE, 2009; IBEC, 2008; Inmetro, 2009; OEE, 1997).

Programa Building Energy Quotient

O *Building Energy Quotient* é um programa da ASHRAE para avaliação do consumo de energia das edificações e das medidas que podem ser implantadas para melhoria da eficiência energética. O programa está em fase piloto desde 2009, com previsão de lançamento para 2010, o que não ocorreu. Até o término da pesquisa não existem novas previsões para o lançamento (ASHRAE, 2009).

Uma vez aprovado, o programa oferecerá como resultado da avaliação do edifício uma etiqueta com o nível de eficiência, assim como um certificado com o consumo dos diferentes sistemas e uma análise econômica dos custos dos possíveis investimentos para melhorias.

O programa realiza a avaliação da eficiência com base na Norma ASHRAE 90.1 e adota o consumo de energia primária, assim como a contabilização das emissões de CO₂, como metodologias para comparação do nível de eficiência de edificações diferentes (ASHRAE, 2008, p.9). Apesar de adotar o método, a ASHRAE faz críticas à metodologia do Programa *Energy Stars* para cálculo do fator de conversão (apresentada no Item 2.2), afirmando apenas que uma nova metodologia deve ser definida para ser consistente também com outros países, que podem vir a adotar o Programa *Building EQ* (ASHRAE, 2008, p.10).

⁴ A diferença das zonas (5) e (6) são os critérios para avaliação da temperatura. Apesar das duas zonas serem classificadas como clima frio, a zona (6) apresenta temperaturas inferiores a zona (5).

Programa Energy Star

O Programa *Energy Stars* é de responsabilidade conjunta da *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) e do DOE. Inicialmente desenvolvido para avaliar e certificar a eficiência energética de equipamentos, o Programa também possui uma metodologia para certificação do consumo de energia das edificações, através da concessão de uma etiqueta anual para edifícios com níveis de eficiência superiores a 75 (em uma escala de 0 a 100) (Energy Star, 2009b).

Para avaliar o consumo de energia são utilizadas as medições faturadas no último ano antes da certificação. Não são estabelecidos requisitos de eficiência energética para os diferentes sistemas, uma vez obtida a quantidade faturada dos diferentes energéticos aplicam-se os fatores de conversão e emissões para cálculo do consumo de energia primária e das emissões de CO_{2-E}. O consumo é então comparado a uma escala nacional, divulgada pelo DOE, com o consumo padrão de diferentes tipos de edificações (hotéis; escolas; escritórios; supermercados; hospitais etc).

Os fatores de conversão adotados nacionalmente para cada energético estão listados na Tabela 6 do Item 2.2. O certificado fornecido ao edifício⁵ também apresenta as emissões de CO₂, que ao contrário dos fatores de conversão são calculados regionalmente de acordo com a companhia de distribuição de energia. De forma ilustrativa, a média dos fatores de emissões nos Estados Unidos é: eletricidade, 0,589 tCO₂/kWh; gás natural, 0,182 tCO₂/kWh e gás LP, 0,217 tCO₂/kWh (Energy Star, 2008).

A escala nacional divulgada pelo DOE é estabelecida por uma pesquisa do consumo de energia de 6.000 edifícios, realizada a cada quatro anos. Os resultados obtidos permitem estimar o quanto um edifício consome, de acordo com a sua utilização, e quanto cada edifício consome em relação a outro edifício semelhante. Através dos dados é obtida uma equação de regressão, utilizada para determinar se o consumo de um edifício é maior ou menor que a média prevista (Energy Star, 2009b, p.10-11).

A Figura 9 apresenta os resultados obtidos para a amostra da pesquisa, posicionando cada edifício em relação ao consumo médio. Uma taxa de eficiência de 3,0 significa que a

⁵ Uma cópia de um certificado do Programa está disponível para consulta no Anexo B.

edificação consome três vezes mais energia que a média, enquanto uma taxa de 0,5 significa que a edificação consome metade (Energy Star, 2009b, p.10-11).

Figura 9 - Ponderação da média nacional de eficiência dos edifícios americanos

Fonte: (Energy Star, 2009)

Através da escala nacional e do uso dos fatores de conversão é possível estabelecer uma escala comum de comparação entre diferentes edificações instaladas em diferentes regiões do país.

3.3.5 Índia

O órgão responsável pela avaliação da eficiência energética das edificações é o *Bureau of Energy Efficiency* (BEE), sendo a principal regulamentação o *Energy Conservation Building Code* (ECBC). O ECBC foi criado em 2001 pelo *Energy Conservation Act*, e tem como objetivo principal definir parâmetros e requisitos para aumentar a eficiência energética das edificações e de seus componentes, de acordo com a zona bioclimática onde a edificação está inserida. Existem cinco zonas bioclimáticas, de acordo com o tipo de clima: muito quente e seco; quente e úmido; composto; temperado e frio.

A primeira versão do ECBC foi concluída em 2007 e seu lançamento, realizado pelo *Ministry of Power*, foi realizado no mesmo ano, em caráter voluntário, para edificações com

potência instalada mínima de 500 kW, ou contrato de demanda superior a 600 kVA (BEE, 2009, p.2).

A avaliação é realizada através de dois métodos distintos: prescritivo ou simulação. O método prescritivo define parâmetros para os sistemas de condicionamento ambiental, aquecimento de água, iluminação, equipamentos elétricos e envoltória. O método simulado permite uma maior flexibilidade aos projetistas, que não necessariamente precisam seguir os parâmetros definidos pelo método anterior, desde que o consumo anual de energia seja comprovadamente compatível com o consumo anual de referência, de acordo com cálculo de *software* computacional reconhecido (BEE, 2009, p.3).

Os parâmetros estabelecidos para o condicionamento ambiental prevêm a utilização da ventilação natural, de acordo com especificações mínimas. Os equipamentos e instalações responsáveis pelo condicionamento artificial devem possuir uma eficiência mínima, de acordo com o tipo do equipamento. As eficiências mínimas são tabeladas e tem como fonte a Norma ASHRAE 90.1-2004, também existem parâmetros mínimos para isolamento das tubulações e controle/regulagem do sistema. Os parâmetros visam garantir o conforto térmico dos ocupantes e ao mesmo tempo reduzir o consumo de energia, principalmente elétrica (BEE, 2009, p.33).

O EBCB reconhece o aquecimento de água como um uso final com consumo representativo em alguns tipos de edificação, como hospitais e hotéis, as medidas de eficiência energética buscam reduzir o consumo de energia, assim como o consumo específico da eletricidade, através da utilização de sistemas solares térmicos, equipamentos mais eficientes, isolamento nos reservatórios e tubulações e redução das perdas em *stand by* (BEE, 2009, p.52).

Há um esforço do código de obras em reduzir o consumo de eletricidade para aquecimento de água através da determinação de quais sistemas podem ser adotados em determinadas condições. O aproveitamento de rejeitos térmicos e/ou o uso de sistemas solares térmicos são obrigatórios e devem garantir um fornecimento de no mínimo 20% da demanda anual, o restante deve ser fornecido por sistemas a gás⁶ (BEE, 2009, p.57).

⁶ Mesmo nas regiões sem acesso ao gás natural os sistemas elétricos podem atender no máximo 20% da demanda (BEE, 2009, p.57).

Por fim, o método simulado estima o consumo de eletricidade por ano em kWh⁷, de forma a estabelecer o consumo de uma edificação de referência, que atende os requisitos mínimos exigidos pelo EBCB. O consumo da edificação projetada é então comparado ao valor de referência (BEE, 2009, anexo B, p.1).

3.3.6 Japão

As políticas de eficiência energética no Japão são baseadas na Lei de Conservação da Energia, cuja primeira versão data de 1979. A Lei trata sobre a eficiência energética e a gestão da energia nos setores industrial, comercial, residencial e de transportes. As metas para ganho de eficiência são medidas através da redução da intensidade energética, que deve ser de no mínimo 1% ao ano⁸ (IEA, 2006).

A Lei de 1979 previa que os construtores de edifícios deveriam tomar medidas para prevenir a perda de calor através do isolamento térmico, assim como garantir que os equipamentos de condicionamento de ar respeitassem padrões mínimos de eficiência, de acordo com Portarias específicas do governo (Japan Government, 1979, capítulo 3, artigo 13).

A última revisão, que data de 2008, não aumentou o escopo da Lei em relação à eficiência energética das edificações, porém atribuiu a normatização das diretrizes e parâmetros a dois ministérios: Ministério de Economia, Comércio e Indústria e Ministério da Terra, Infraestrutura, Transporte e Turismo (Japan Government, 2008, p.57). A revisão ainda incluiu a necessidade de se buscar a eficiência nas edificações residenciais (a Lei anterior aplicava-se apenas as edificações comerciais).

Surpreendentemente, a regulamentação japonesa é mais simples e vaga que os demais países analisados. Nas edificações residenciais são analisados apenas dois requisitos: isolamento térmico e condicionamento ambiental, através da definição de valores mínimos para transmitância térmica dos materiais construtivos e limite de consumo de energia para aquecimento ou refrigeração, de acordo com seis zonas climáticas. Para as edificações

⁷ O consumo dos demais energéticos, como os gases combustíveis, deve ser convertido para kWh utilizando-se para conversão o valor de 0,75 kWh/MJ.

⁸ A revisão da Lei de 2008 definiu metas setoriais, de forma que empresas mineradoras, cimenteiras e distribuidoras de eletricidade possuem metas superiores a 1%.

comerciais a regulamentação japonesa estabelece valores mínimos para rendimento da envoltória e consumo de energia pelos equipamentos utilizados para condicionamento ambiental, iluminação, aquecimento de água e elevadores (ABC, 2008).

Os valores mínimos de eficiência são determinados em função do consumo de energia, através das Equações 10 e 11:

$$PAL = \frac{\text{Carga do sistema de condicionamento de ar por zona} \left(\frac{\text{MJ/ano}}{\text{m}^2} \right)}{\text{Área da zona condicionada}} \quad (10)$$

Onde,

PAL = Carga térmica anual (MJ/m².ano).

$$CEC = \frac{\text{Consumo de Energia da Edificação} \left(\frac{\text{MJ/ano}}{\text{MJ/ano}} \right)}{\text{Consumo de Energia de Referência} \left(\frac{\text{MJ/ano}}{\text{MJ/ano}} \right)} \quad (11)$$

Onde,

CEC = Coeficiente de consumo de energia.

Os valores de referência para o PAL e para o CEC são definidos em função do tipo da edificação. Os valores do CEC também variam em função do tipo do sistema avaliado, como mostra a Tabela 13.

Tabela 13 - Requisitos de eficiência por tipo de edificação comercial

Tipo de Edificação / Requisitos de Eficiência	Hotel	Hospital ou clínica	Varejo	Escritório	Escola	Restaurante
PAL (MJ/m ² .ano)	420	340	380	300	320	550
CEC - Condicionamento ambiental	2,5	2,5	1,7	1,5	1,5	2,2
CEC – Ventilação	1,0	1,0	0,9	1,0	0,8	1,5
CEC - Iluminação	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
CEC – Aquecimento de água	1,5	1,7	1,7	-	-	-
CEC - Elevadores	1,0	-	-	1,0	-	-

Fonte: (ABC, 2008, p.5)

Apesar do programa de etiquetagem de equipamentos ser bastante efetivo no Japão, ainda não existe um programa oficial para certificação de edifícios (METI, 2011). Programas voluntários existem tanto para edificações residenciais, como o *The House Quality Assurance Law*, quanto para edificações comerciais, como o *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* (CASBEE). O primeiro extrapola a avaliação energética, analisando também a estabilidade da estrutura, a segurança contra incêndios e a qualidade acústica e térmica do edifício, enquanto o segundo estabelece padrões para a construção de prédios sustentáveis⁹ (conhecidos como *Green Buildings*), considerando não apenas o consumo de energia, mas os impactos ambientais em geral, o consumo de água e a origem dos materiais empregados na construção (ABC, 2008, p.6).

A falta de uma política mandatória para eficiência energética em edificações gerou resultados negativos ao país, que ficam claros quando se analisam as emissões de CO₂ entre os anos de 1990 e 2006. De acordo com a Tabela 14, as edificações foram às maiores responsáveis pelo fracasso japonês em atingir sua meta de redução de GEE estabelecida no Protocolo de Kyoto.

Tabela 14 - Variação percentual das emissões de CO₂ entre 1990 e 2006

Setor	Variação percentual das emissões de CO ₂ entre 1990 e 2006
Comercial	+40%
Residencial	+31%
Transportes	+17%
Energético	+14%
Industrial	- 5%
TOTAL	+12%

Fonte: (Cooperation, 2008, p.12)

⁹ No Programa CASBEE a eficiência é um, dentre outros, parâmetros avaliados e é calculada através da avaliação do consumo de energia primária e das emissões de CO₂ (IBEC, 2008).

Segundo Lienart (2008), a razão pela qual as políticas de eficiência energética para edificações apresentarem resultados pífios até o momento são os padrões culturais da sociedade japonesa, que consideram melhorias no isolamento térmico, por exemplo, como um conforto adicional ao indivíduo, enquanto a sociedade reconhece como valor maior a busca pela austeridade para fortalecimento do corpo e da mente (Cooperation, 2008, p.36).

3.3.7 Rússia

A principal regulamentação russa sobre eficiência energética é o Código Federal sobre o Desempenho Térmico das Edificações (SNiP 23-02) de 2003. O Código tem como objetivo principal reduzir o consumo de energia para aquecimento de ambientes, através de melhorias no isolamento térmico das novas construções. Para isso utiliza dois métodos: prescritivo e funcional.

O método prescritivo estabelecido pelo SNiP 23-02 define valores mínimos para a transmitância térmica dos materiais da envoltória, enquanto o método funcional estabelece os valores de referência para o consumo de energia para aquecimento, permitindo assim concessões nos valores da transmitância térmica, desde que outras medidas reconhecidas de aumento de eficiência energética sejam aplicadas (Matrosov et al., 2004, p.3).

Apesar de apenas o processo de aquecimento ambiental ser avaliado, existe uma etiquetagem de eficiência, de acordo com o consumo percentual de energia em relação ao padrão de referência, como mostra a Tabela 15.

Tabela 15 - Níveis de eficiência energética nas edificações¹⁰

Nível de Eficiência	Classificação	Consumo relativo em relação ao padrão de referência	Recomendações
A	Muito alta	Abaixo de -51%	Oferecer incentivos econômicos
B	Alta	De -10 a -50%	
C	Normal	De -9 a +5%	-
D	Baixa	De +6 a +75%	Renovação desejável
E	Muito Baixa	Acima de 76%	Melhorias necessárias urgentemente

Fonte: (Matrosov et al., 2004, p.4)

O padrão de referência é calculado através de uma equação regressiva, obtida através de medições do consumo de energia, da temperatura interna, da temperatura externa e da incidência solar no período do ano quando o aquecimento ambiental é necessário. A equação considera a taxa de transferência de calor da envoltória e o consumo específico de energia para manter a temperatura interna no nível adequado (Matrosov et al., 2004, p.6).

Os valores de referência são adaptados regionalmente, porém, ao contrário dos demais países analisados, o zoneamento é realizado através de códigos estaduais e não por zonas bioclimáticas. Até 2004 já haviam sido estabelecidos 53 códigos regionais (Matrosov et al., 2004, p.7).

Existem três diferentes certificados de eficiência energética, estabelecidos para as fases de projeto, construção e operação do edifício. Também são previstas revisões regulares dos certificados, de forma a garantir que o nível de eficiência esteja sendo mantido (Matrosov et al., 2004, p.7).

A principal equação para cálculo do consumo de energia térmica para aquecimento é apresentada na Equação 12 (Russian Federation, 2003). Nota-se que a energia primária não é considerada.

¹⁰ Os níveis A, B e C aplicam-se a edificações novas ou reformadas, enquanto os níveis D e E aplicam-se somente a edificações existentes.

$$q_h = 10^3 \times Q_h / (A_h \times D_d) \quad (12)$$

Onde,

q_h = Consumo específico de energia térmica para aquecimento da edificação (MJ/m^2);

Q_h = Consumo de energia necessário para aquecer a edificação (MJ);

A_h = Área útil aquecida (m^2);

D_d = Graus-dia da estação de aquecimento ($^{\circ}\text{C}$);

Sendo que o Q_h é calculado a partir do consumo de energia térmica menos os ganhos de calor interno e solar, ponderado pela eficiência do processo de aquecimento, que varia de acordo com o tipo de equipamento e controles instalados (Russian Federation, 2003).

3.3.8 União Européia

Em dezembro de 2002 a UE, através da Diretiva Comunitária 2002/91/CE impôs aos seus membros a emissão de certificados de eficiência energética para edifícios novos, ou que passarão por reformas com custo superior a 25% do total da construção. São incluídas nessas categorias as edificações residenciais, comerciais e públicas (The European Parliament, 2003).

A Diretiva tem por objetivo estabelecer requisitos mínimos, de forma a nortear as políticas públicas de cada país-membro. Não é estabelecida uma metodologia para cálculo do nível de eficiência, apenas exige que as metodologias adotadas considerem determinados aspectos, como: as condições bioclimáticas regionais; o nível de conforto térmico do espaço interior e a rentabilidade econômica das medidas propostas (The European Parliament, 2003, p.1).

Também é obrigatório que as metodologias avaliem no mínimo os seguintes sistemas e características construtivas: posição e orientação do edifício; insolação; envoltória; produção de água quente; condicionamento ambiental; ventilação e iluminação (The European Parliament, 2003, p.7).

Além da eficiência energética, a Diretiva ainda estabelece que programas de inspeção de caldeiras e equipamentos de condicionamento de ar sejam criados para avaliar as condições dos sistemas de aquecimento de água e condicionamento de ar em operação (The European Parliament, 2003, p.4-5).

Por fim, fica estabelecido que o desempenho energético de cada edificação deva ser apresentado de forma transparente, sendo o cálculo das emissões de CO₂ opcional (The European Parliament, 2003, p.3).

A Diretiva Comunitária 2002/91/CE foi atualizada pela Diretiva 2010/31/UE, que, entre outras modificações, estabeleceu a obrigatoriedade do cálculo do consumo de energia primária em kWh/m², através do uso de fatores de conversão baseados nas realidades energéticas de cada país/região (The European Parliament, 2010, p.21).

3.3.8.1 Alemanha

A Lei de Conservação de Energia, *Energieeinsparverordnung* (EnEV), cuja versão mais recente data de 29 de abril de 2009, trata sobre a eficiência energética e o conforto técnico das edificações. A origem da discussão sobre eficiência energética na Alemanha, no entanto, iniciou-se décadas antes, com a primeira Lei de Conservação de Energia de 1976, que definia o desempenho térmico das edificações através do coeficiente máximo global de transmissão térmica da envoltória (Cunha et al., 2008).

Com o passar dos anos novas revisões aumentaram as exigências normativas, assim como o grau de complexidade da avaliação. A revisão de 1982 passou a analisar o consumo da energia necessária para o aquecimento, tanto da água, quanto dos ambientes. Também surgiram parâmetros para dimensionamento dos equipamentos, isolamento térmico do sistema de aquecimento e regulação térmica (de forma a adequar o consumo estimado ao consumo real).

A revisão da Lei de 2002 regulou pela primeira vez um limite anual para o consumo de energia primária, através do cálculo da demanda por energia primária determinada através de um fator de conversão atribuído a eletricidade (República Federal da Alemanha, 2002).

A avaliação da eficiência energética das edificações (residenciais e não-residenciais) é realizada na Alemanha através da determinação do consumo máximo de energia primária por

unidade de área. Sendo a energia primária definida como a energia necessária para manter o conforto interno, somada à energia perdida em sua disponibilização, seja no funcionamento dos sistemas, seja na conversão e transporte (Cunha et al., 2008). Para determinar a demanda por energia primária, é necessário primeiramente se calcular a necessidade por calor da edificação, através da Equação 13.

$$Q_h = F_{GT}(H_T + H_V) - \eta_{HP}(Q_s + Q_i) \quad (13)$$

Onde,

Q_h = Necessidade de calor para aquecimento (kWh/a);

F_{GT} = Fator grau-dia;

H_T = Perdas de calor específicas por transmissão (W/K);

H_V = Perdas de calor específicas pela ventilação (W/K);

η_{HP} = Eficiência na transmissão do calor (0,95);

Q_s = Ganho térmico solar (kWh/a);

Q_i = Ganho térmico interno (kWh/a).

Nota-se que a necessidade de calor para aquecimento varia em função do fator grau-dia (F_{GT}), das perdas envolvidas no sistema de aquecimento ($H_T + H_V$) e do calor recebido pelo ambiente, seja através da irradiação solar (Q_s), seja através de outras fontes internas (Q_i).

A EnEV estabelece diversas equações para cálculo das perdas e ganhos de calor, optou-se por não descrever detalhadamente as fórmulas, pois as mesmas não agregam informações relevantes ao objetivo da pesquisa.

Depois de calculada a necessidade de calor para aquecimento na edificação e as perdas envolvidas no processo, calcula-se a necessidade de energia primária, através da Equação 14.

$$Q_p = (Q_h + Q_{tw})e_p \quad (14)$$

Onde,

Q_p = Necessidade de energia primária (kWh/m²a);

Q_h = Necessidade de calor para aquecimento (kWh/a);

Q_{tw} = Necessidade de calor para aquecimento de água (12,5 kWh/m²a);

e_p = fator de conversão da energia final em primária.

Observa-se que a necessidade de energia primária varia em função das necessidades de calor para aquecimento (Q_h+Q_{tw}) e do fator de conversão da energia.

O fator de conversão da energia é definido pela Norma DIN V 18599-1 de fevereiro de 2007, de acordo com o anexo normativo A. Os valores para cada energético estão dispostos na Tabela 16.

Tabela 16 - Fatores de conversão de energia final em primária por energético

Energético		Fator de Conversão (e_p)	
		Total	Proporção de não-renováveis
Combustíveis	Óleo combustível	1,1	1,1
	Gás natural	1,1	1,1
	Gás LP	1,1	1,1
	Carvão antracito	1,1	1,1
	Carvão linhito	1,2	1,2
	Madeira	1,2	0,2

continua...

continuação

Tabela 16 - Fatores de conversão de energia final em primária por energético

Energético		Fator de Conversão (e_p)	
		Total	Proporção de não-renováveis
<i>District Heating</i> por cogeração	Combustíveis fósseis	0,7	0,7
	Combustíveis renováveis	0,7	0,0
<i>District Heating</i> por usinas de geração de calor	Combustíveis fósseis	1,3	1,3
	Combustíveis renováveis	1,3	0,1
Eletricidade	Eletricidade da rede de distribuição (considera os diferentes tipos de fontes)	3,0	2,6 ¹¹
Energias renováveis	Energia solar, calor ambiente	1,0	0,0

Fonte: (CEN, 2007, p.59)

O fator de conversão é apresentado em duas colunas, a primeira considera o consumo de energia primária total, envolvido nos processos de extração, geração, processamento, transporte e distribuição da energia, enquanto a segunda coluna considera apenas a parcela de energias não-renováveis envolvidas nesses processos, de forma a incentivar o uso de energéticos com parcelas mais significativas de fontes renováveis (CEN, 2007). À metodologia para cálculo desses fatores foi apresentada no Item 2.2.

A EnEV também considera as emissões de CO₂ oriundas do consumo de energia primária (kg/m²a) no certificado de eficiência que, juntamente com a demanda de energia primária, é chamado de “Desempenho Energético Global”. A avaliação da eficiência energética é realizada através da comparação da demanda de energia primária da edificação com o valor de referência estipulado pela EnEV, como mostra a Figura 10.

¹¹ A EnEV 2009 alterou o fator de conversão da eletricidade de 2,7 para 2,6 (EnEV, 2009, p.962).

Figura 10 - Escala de avaliação da eficiência energética de edificações não-residenciais

Fonte: (Alemanha, 2009)

Uma cópia de um certificado de eficiência alemão está disponível para consulta no Anexo A.

3.3.8.2 França

Na França a regulamentação de eficiência energética em edificações é de responsabilidade da Agência de Meio Ambiente e Gestão de Energia (ADEME), uma agência pública sob a autoridade conjunta do Ministério da Ecologia, Desenvolvimento Sustentável, Transportes e Habitação, do Ministério do Ensino Superior e da Investigação e do Ministério da Economia, Finanças e Indústria.

A eficiência energética das edificações residenciais e comerciais é avaliada através do certificado de desempenho energético¹², obrigatório para imóveis novos ou imóveis construídos que serão alugados ou colocados à venda. Os parâmetros para avaliação são definidos pelo decreto de 15 de setembro de 2006, alterado posteriormente pelos decretos de 04 de maio de 2009, 11 de outubro de 2010 e 21 de março de 2011.

As principais informações disponíveis no certificado de desempenho energético são: o consumo anual de energia primária (kWh/m²/ano); as emissões de CO₂ (kgCO₂-E/m²/ano); as principais características térmicas e construtivas da edificação e as quantidades e custos anuais referentes ao consumo de energia final de cada processo.

¹² Uma cópia de um certificado de eficiência está disponível para consulta no Anexo C.

A classificação geral do nível de eficiência energética da edificação varia em função do consumo de energia primária por unidade de área e pelo tipo de edificação, de acordo com a Tabela 17.

Tabela 17 - Classificação geral do nível de eficiência pelo consumo de energia primária e pelo tipo de edificação

Classificação geral do Nível de Eficiência	Consumo de energia primária (kWh/m ² /ano)	
	Edificações residenciais	Edificações não-residenciais
A	Inferior ou igual a 50	
B	De 51 a 90	
C	De 91 a 150	
D	De 151 a 230	
E	De 231 a 330	
F	De 331 a 450	
G	Acima de 450	De 451 a 590
H	-	De 591 a 750
I	-	Acima de 750

Fonte: (Ministère De L'emploi De La Cohésion Sociale Et Du Logement, 2006, anexo 3.3)

Para determinação do consumo de energia primária, o consumo de energia final é multiplicado pelo fator de conversão, de acordo com o tipo de energético utilizado. A eletricidade possui um fator de conversão de 2,58, enquanto os outros energéticos possuem um fator de conversão de 1,00 (Ministère De L'emploi De La Cohésion Sociale Et Du Logement, 2006, anexo 3.2).

Seguindo a mesma lógica, a classificação geral do nível de emissões de CO₂-E variam em função da quantidade de quilos emitidos por m² por ano, e do tipo da edificação, conforme a Tabela 18.

Tabela 18 - Classificação geral do nível de emissões de CO₂ pela quantidade emitida e pelo tipo de edificação

Classificação geral do Nível de Emissões	Emissões em função do consumo de energia (kgCO _{2-E} /m ² /ano)	
	Edificações residenciais	Edificações não-residenciais
A	Inferior ou igual a 5	
B	De 6 a 10	
C	De 11 a 20	
D	De 21 a 35	
E	De 36 a 55	
F	De 56 a 80	
G	Acima de 80	De 81 a 110
H	-	De 111 a 145
I	-	Acima de 145

Fonte: (Ministère De L'emploi De La Cohésion Sociale Et Du Logement, 2006, anexo 4.2)

Os fatores de emissão de CO_{2-E} utilizados por tipo de energético são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Fatores de emissões de CO_{2-E} por energético e uso final

Energético	Emissões de CO _{2-E} pelos diferentes usos finais (tCO ₂ /MWh de energia final)		
	Aquecimento de água	Aquecimento de ambientes	Resfriamento de ambientes
Biomassa de madeira	0,013	0,013	-
Gás natural	0,234	0,234	0,234
Óleo combustível	0,300	0,300	0,300
Carvão	0,384	0,384	-
Gás propano ou butano	0,274	0,274	0,274

continua...

continuação

Tabela 19 - Fatores de emissões de CO_{2-E} por energético e uso final

Energético	Emissões de CO _{2-E} pelos diferentes usos finais (tCO ₂ /MWh de energia final)		
	Aquecimento de água	Aquecimento de ambientes	Resfriamento de ambientes
Outros combustíveis fósseis	0,320	0,320	-
Eletricidade	0,180	0,040	0,040
Eletricidade (produzida na edificação por fontes renováveis)	0	0	0

Fonte: (Ministère de L'emploi de la Cohésion Sociale et du Logement, 2006, anexo 4.1)

Para determinação do consumo de energia final são utilizados dois métodos: média do consumo registrado nos últimos 3 anos ou estimativa do consumo de energia. Para estimar o consumo de energia final são utilizados os parâmetros definidos pelo decreto de 09 de novembro de 2006.

O decreto possibilita a utilização de três metodologias para determinação do consumo de energia final, sendo a primeira, chamada de 3Cl, a mais utilizada. O cálculo é aplicado a quatro tipos de edificações: unifamiliar; multifamiliar com aquecimento individual; multifamiliar com aquecimento e medição coletivos e multifamiliar com aquecimento coletivo e medição individual. Cada tipo de edificação possui fórmulas próprias para o cálculo da energia necessária para aquecimento, refrigeração e aquecimento de água.

Para cálculo do consumo de energia final pelos sistemas de aquecimento, tanto de ambientes, quanto de água quente, utilizam-se duas equações iguais, onde apenas o valor das variáveis é alterado em função do tipo de uso final, conforme a Equação 15.

$$C_{PCS} = \frac{B}{\eta_g \times \eta_d \times \eta_e \times \eta_r} \quad (15)$$

Onde,

C_{PCS} = Consumo anual de energia final para aquecimento calculado com os rendimentos de PCS (kWh/ano)

B = Necessidade anual de energia para aquecimento (kWh/ano)

η_g = Eficiência do processo de geração de calor

η_d = Eficiência do processo de distribuição

η_e = Eficiência do trocador de calor

η_r = Eficiência da instalação e regulagem do sistema

As eficiências são tabeladas e variam de acordo com o energético, tipo de equipamento, automação do sistema e se a instalação é certificada ou não. Após o cálculo do consumo de energia final com os rendimentos do *Poder Calorífico Superior* (PCS) (C_{PCS}), aplica-se um fator de correção para obter o mesmo consumo com rendimentos do *Poder Calorífico Inferior* (PCI) (C_{PCI}), conforme a Equação 16.

$$C_{PCI} = C_{PCS} \times \alpha_{psi} \quad (16)$$

Onde,

C_{PCI} = Consumo anual de energia final para aquecimento calculado com os rendimentos de PCI (kWh/ano)

$C_{ch_{PCS}}$ = Consumo anual de energia final para aquecimento calculado com os rendimentos de PCS (kWh/ano)

α_{psi} = Fator de correção

O fator de conversão (α) varia de acordo com o energético, de acordo com a Tabela 20.

Tabela 20 - Fator de correção para conversão dos rendimentos em PCS para PCI

Energético	Fator de Correção (α)
Eletricidade	1
Gás natural	1,11
Gás LP	1,09
Óleo combustível	1,07
Madeira	1,11
Carvão	1,04
Rejeitos térmicos	1
Outros	2

Fonte: (Ministère De L'emploi De La Cohésion Sociale Et Du Logement, 2006b, p.62)

O cálculo do consumo de energia final para resfriamento segue outra metodologia, de acordo com a Equação 17.

$$C_{clim} = R_{clim} \times S_{clim} \quad (17)$$

Onde,

C_{clim} = Consumo anual de energia final para resfriamento calculado com os rendimentos de PCI (kWh/ano)

R_{clim} = Coeficiente que varia em função da zona bioclimática e da superfície refrigerada

S_{clim} = Superfície da habitação condicionada (m²)

O coeficiente R_{clim} é tabelado e varia em função das quatro zonas bioclimáticas que cobrem o território francês e do tamanho da superfície refrigerada, que possui valores diferentes para áreas superiores ou inferiores a 150 m². A superfície de habitação condicionada é calculada multiplicando-se a porcentagem da área condicionada pela superfície total da habitação (m²) (Ministère De L'emploi De La Cohésion Sociale Et Du Logement, 2006b, p.35).

Uma vez calculado o consumo de energia final com rendimentos de PCI para todos os usos finais, aplica-se o fator de conversão e o fator de emissões para cálculo do consumo de energia primária e das emissões de CO_{2-E}.

3.3.8.3 Reino Unido

Os certificados de eficiência energética¹³ das edificações produzidos no Reino Unido são fruto da Diretiva Européia 2002-91-CE, que estabelece condições relativas ao desempenho energético dos edifícios. O responsável pela metodologia de cálculo é o *Department of Finance and Personnel*.

Os certificados são obrigatórios para todas as edificações com área útil superior a 1000 m², desde 30 de dezembro de 2008 (Department of Finance and Personnel, 2008, p.7). À metodologia para avaliação é baseada no *Operational Rating* (OR), que usa como indicador de desempenho as emissões anuais de GEE por m², causadas pelo uso da energia nas edificações. O consumo de energia é obtido através de medições mensais dos últimos doze meses anteriores a avaliação (Department for Communities and Local, 2008, p.5).

A Equação 18 determina a eficiência da edificação, com base no OR.

$$OR = \frac{\text{Building CO}_2 \text{ emissions}}{\text{Building area}} \times \frac{100}{\text{Typical CO}_2 \text{ emissions per unit area}} \quad (18)$$

Onde,

OR = Indicador de eficiência

Building CO₂ emissions = Emissões de CO₂ pelo uso da energia na edificação (tCO₂/ano)

Building Area = Área útil da edificação (m²)

Typical CO₂ emissions per unit area = Emissões de CO₂ padronizadas de uma edificação similar de referência (tCO₂/ano)

¹³ Uma cópia de um certificado de eficiência está disponível para consulta no Anexo D.

Quando não for possível obter as medições dos últimos 12 meses, a regulamentação permite extrapolar os valores existentes de forma a obter o consumo de energia de todo o período. Nos casos onde a extrapolação não for possível, a eficiência energética da edificação será classificada como pior nível possível¹⁴. O consumo energético para aquecimento de ambientes varia em função da temperatura e, portanto, deve ser extrapolado de acordo os graus-dia de aquecimento necessários no período analisado (Department for Communities and Local Government, 2008, p.14).

A regulamentação também prevê a utilização de fontes geradoras de eletricidade, tanto para uso na edificação, quanto para exportação para a rede. A eletricidade gerada e consumida não requer ajustes, enquanto a eletricidade exportada deve ser diminuída do valor medido, utilizado para cálculo do OR (Department for Communities and Local Government, 2008, p.16).

Depois de medido, o consumo de energia é convertido para emissões de CO_{2-E} através dos fatores de emissão, que são determinados pelo governo para cada tipo de energético, região e companhia distribuidora de energia (Department for Communities and Local Government, 2008, p.17). As emissões são então comparadas ao valor de referência estipulado para um total de 29 tipos de edificações, através da densidade energética (kWh/m²/ano) e da densidade de carbono (kgCO₂/m²/ano), separados entre eletricidade e outros combustíveis. As densidades são ajustáveis de acordo com a região bioclimática, de forma a considerar a variação dos graus-dia necessários para aquecimento (Department for Communities and Local Government, 2008, p.18).

A divisão do consumo de energia em eletricidade e outros combustíveis é apresentada na tabela técnica que acompanha o certificado de eficiência, de forma a permitir que os avaliadores analisem onde os recursos para melhoria da eficiência terão maior eficácia. As melhorias são avaliadas para cada tipo de sistema e equipamento separadamente e também incluem hábitos de uso. As tabelas técnicas informam os proprietários sobre medidas de eficiência que podem ser colocadas em prática rapidamente, assim como mudanças mais significativas que requerem investimentos e são divididas em três categorias, de acordo com o

¹⁴ O pior nível previsto na regulamentação inglesa é 200, ou “G”, o que significa que a edificação emite o dobro de GEE em comparação a uma edificação padrão de referência.

payback: curto prazo (0 a 3 anos); médio prazo (3 a 7 anos) e longo prazo (mais de 7 anos) (Department for Communities and Local Government, 2008).

3.4 Análise do panorama internacional

Com base na descrição das regulamentações realizadas neste capítulo, elaborou-se a Tabela 21 com um resumo do método de avaliação da eficiência energética adotado em cada regulamentação.

Tabela 21 - Indicadores de eficiência adotados pelas regulamentações analisadas

País (Regulamentação)	Método de avaliação da eficiência energética adotado	Indicador de eficiência	Forma de cálculo
Alemanha	Consumo de energia primária necessário para suprir a demanda anual de calor na edificação: kWh/m ² a	Físico-termodinâmico	Estimativa
Austrália	Consumo de energia necessário para garantir o conforto térmico da edificação: MJ/m ²	Físico-termodinâmico	Estimativa
Canadá (Programa R-2000)	Meta de consumo anual de energia para os sistemas de aquecimento de ambientes e de água: MJ/ano	Termodinâmico	Estimativa
Estados Unidos (Programa <i>Energy Stars</i>)	Consumo anual de energia primária pela edificação: kBtu/ft ² /ano	Físico-termodinâmico	Medição
França	Consumo anual de energia primária pela edificação: kWh/m ² /ano	Físico-termodinâmico	Estimativa
Japão	Coefficiente de Desempenho Energético (adimensional): razão do consumo anual de energia da edificação avaliada (MJ/ano), pelo consumo de uma edificação similar de referência (MJ/ano)	Físico-termodinâmico	Estimativa
	Sistema de condicionamento de ar: carga térmica anual em função da área condicionada (MJ/m ² .ano)	Físico-termodinâmico	Estimativa

continua...

continuação

Tabela 21 - Indicadores de eficiência adotados pelas regulamentações analisadas

País (Regulamentação)	Método de avaliação da eficiência energética adotado	Indicador de eficiência	Forma de cálculo
Reino Unido	Toneladas de CO _{2-E} emitidas direta e indiretamente pelo consumo de energia na edificação: tCO ₂ /ano	Físico-termodinâmico	Medição
Rússia	Consumo de energia térmica para aquecimento em função da área da edificação: MJ/m ²	Físico-termodinâmico	Estimativa
União Européia ¹⁵	Consumo de energia primária pela edificação: kWh/m ²	Físico-termodinâmico	-

Fonte: elaboração própria a partir de (ABC, 2008; ABCB, 2011; Cunha et al., 2008; Department for Communities and Local Government, 2008; Energy Star, 2009; Inmetro, 2010a; 2010b; Matrosov et al., 2004; Ministère De L'emploi De La Cohésion Sociale Et Du Logement, 2006; NRCAN, 2005, The European Parliament, 2003; 2010)

Observa-se que os métodos de avaliação variam entre as regulamentações analisadas, no entanto os indicadores de eficiência utilizados, segundo Patterson (1996), podem ser classificados em duas categorias: termodinâmicos e físico-termodinâmicos. Para avaliação do consumo de energia são identificadas três unidades: kWh; MJ e kBtu; enquanto como unidades físicas são utilizadas duas unidades: m² e ft². Para a avaliação também pode ser utilizada uma variável de tempo, que no caso das regulamentações analisadas equivale ao intervalo de 1 ano. A regulamentação do Reino Unido utiliza para avaliação da eficiência as emissões de CO₂ em tCO₂/ano, apesar de, em princípio, essa metodologia parecer algo totalmente diferente das demais regulamentações analisadas, a análise parte do consumo de energia medido em kWh/m².ano, semelhantemente ao observado nos demais países.

O cálculo do consumo de energia pode ser realizado de duas formas: através de estimativas de consumo, baseadas no tipo de equipamento, processo e zona bioclimática da edificação ou através de medições faturadas das edificações já construídas.

Os métodos de avaliação de eficiência apresentam ainda outras características comuns, resumidas na Tabela 22.

¹⁵ A União Européia exige de seus países-membros que as políticas de eficiência energética para edificações cumpram as exigências estabelecidas nas Diretivas Comunitárias 2002/91 e 2010/31, apresentadas no Item 3.2.8.

Tabela 22 - Principais características das regulamentações analisadas

País (Regulamentação)	Tratamento regulatório	Objetivo principal	Abordagem do conceito de eficiência	Emissões de GEE
Alemanha	Obrigatório	Promover a utilização racional da energia e desenvolver fontes de energia renováveis.	Ampliada Quantitativa	Sim
Austrália	Obrigatório	Reduzir as emissões dos GEE	Ampliada Qualitativa	Indiretamente
Canadá (Programa R-2000)	Voluntário	Promover a eficiência energética em novas construções	Ampliada Qualitativa	Não
China	Voluntário (em teste)	Reduzir o consumo de energia nas edificações	Ampliada Qualitativa	Não
Estados Unidos (<i>Building EQ</i>)	Voluntário (em teste)	Promover a eficiência energética nas edificações Informar sobre o consumo de energia da edificação	Ampliada Quantitativa	Sim
Estados Unidos (<i>Energy Stars</i>)	Voluntário	Promover a eficiência energética nas edificações Reduzir as emissões dos GEE	Ampliada Quantitativa	Sim
França	Obrigatório	Reduzir as emissões dos GEE	Ampliada Quantitativa	Sim
Índia	Voluntário	Aumentar a eficiência energética das edificações	Ampliada Qualitativa	Não
Japão	Obrigatório	Promover a eficiência energética nas edificações	Simplificada	Não
Reino Unido	Obrigatório	Reduzir as emissões dos GEE	Ampliada Quantitativa	Sim
Rússia	Obrigatório	Reduzir o consumo de energia para aquecimento de ambientes	Simplificada	Não
União Européia	Obrigatório	Reduzir as emissões dos GEE	Ampliada Quantitativa	Sim

Fonte: elaboração própria a partir de (ABC, 2008; ABCB, 2011; Cunha et al., 2008; Department for Communities and Local Government, 2008; Energy Star, 2009; Inmetro, 2010a; 2010b; Matrosov et al., 2004; Ministère De L'emploi De La Cohésion Sociale Et Du Logement, 2006; NRCAN, 2005, The European Parliament, 2003; 2010).

De acordo com a Tabela 22, o tratamento das regulamentações pode ser obrigatório ou voluntário, sendo que a tendência dos regulamentos técnicos voluntários é tornarem-se obrigatórios após um período de testes.

Em relação ao consumo de energia primária, nota-se a existência de três abordagens para a avaliação, apresentadas no Item 3.1: ampliada quantitativa; ampliada qualitativa e simplificada. Os membros da União Européia, juntamente com os Estados Unidos, adotam abordagens ampliadas quantitativas; Austrália, Canadá, China e Índia adotam abordagens ampliadas qualitativas; enquanto Japão e Rússia possuem abordagens simplificadas.

As análises das regulamentações alemã, americana (ASHRAE) e da UE demonstram que existe uma evolução natural das regulamentações de avaliação, que partem de abordagens simplificadas para ampliadas quantitativas, na medida em que os regulamentos técnicos se tornam mais complexos e restritivos. Enquanto abordagens simplificadas buscam apenas promover a eficiência energética dos equipamentos, abordagens ampliadas possuem objetivos mais abrangentes, como a segurança energética¹⁶ (pelo direcionamento do uso de um combustível em detrimento a outro), ou a redução dos GEE em escala nacional¹⁷.

Apesar da redução das emissões de CO₂ não serem unanimidade em todas as regulamentações analisadas, observa-se que em alguns países/regiões a redução das emissões de GEE representam o principal objetivo da busca pela eficiência energética, seja de forma qualitativa¹⁸, através da promoção de energias renováveis, seja de forma quantitativa¹⁹, através do cálculo das emissões de CO₂ em função do consumo de energia. Dessa forma, é possível avaliar as políticas de eficiência energética em duas categorias: aquelas vinculadas ao planejamento e a segurança energética, com objetivo de garantir uma maior racionalidade no consumo de recursos e aquelas vinculadas às políticas climáticas, com objetivo de reduzir as emissões de GEE.

As duas categorias observadas na pesquisa estão de acordo com o que propõe Lombard et al., (2008) e Varone & Aebischer (2001) em seus trabalhos, ao atestar que as políticas de eficiência energética constituem uma importante ferramenta para: (1) reduzir a

¹⁶ Como observado na Austrália, China e Índia.

¹⁷ Como observado na Austrália, Estados Unidos, França e Reino Unido.

¹⁸ Como observando na Austrália.

¹⁹ Como observando na Alemanha, Estados Unidos, França e Reino Unido.

demanda por energia, contribuindo para a segurança de suprimento e atenuando o esgotamento dos recursos energéticos e (2) reduzir as emissões de CO₂, minimizando a contribuição do setor energético para o aquecimento global.

Por fim, tanto nas regulamentações ampliadas qualitativas, quanto nas ampliadas quantitativas, os gases combustíveis possuem a reconhecida função de substituir o consumo da eletricidade nos processos de aquecimento e resfriamento, tanto de água, quanto de ambientes. O regulamento técnico indiano, por exemplo, proíbe o uso da eletricidade para aquecimento de água em regiões atendidas por gás, enquanto regulamentos que adotam o uso dos fatores de conversão replicam essa medida, ao definir fatores de conversão para a eletricidade 2 a 3 vezes superiores aos fatores do gás natural e do gás LP. No Item 6.1 aprofunda-se essa discussão com exemplos práticos, para posteriormente avaliar se o mesmo se aplica ao Brasil.

4. REGULAMENTAÇÕES BRASILEIRAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

A eficiência energética não é um assunto novo no Brasil, desde 1984 o Inmetro tem trabalhado no sentido de informar o consumidor sobre o consumo de energia de determinados produtos, buscando assim aumentar a consciência da sociedade para a questão. O trabalho que começou na área automotiva expandiu-se rapidamente dando origem ao PBE, que no início focava basicamente os equipamentos elétricos (Inmetro, 2011).

Na década de noventa foi criado o Procel através da parceria Inmetro – Eletrobrás, com o objetivo de racionalizar o uso da eletricidade no país. Assim como o Conpet, através da parceria Inmetro - Petrobras, com o mesmo objetivo de racionalização, porém com foco no consumo de derivados do petróleo e do gás natural.

No início deste século, mais precisamente em outubro de 2001, um dos desdobramentos da crise energética conhecida como “apagão” foi o sancionamento da Lei 10.295 de Eficiência Energética, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, cujo principal objetivo é preservar o meio ambiente através da alocação eficiente dos recursos energéticos. Para isso, estabelece que o Poder Executivo possui responsabilidade em definir níveis máximos de consumo específico de energia de máquinas e equipamentos fabricados e/ou comercializados no Brasil (Brasil, 2001a).

Ainda em 2001 foi publicado o Decreto 4059, que regulamenta a Lei de Conservação de Energia e que responsabiliza o Inmetro como órgão responsável pelos programas de fiscalização e avaliação da conformidade. O Decreto ainda estabelece que os programas de eficiência, até então voluntários, podem se tornar compulsórios, reforçando ainda mais a implantação da Lei (Brasil, 2001b).

Com a publicação do Decreto 4059 é criado o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), responsável por exigir os estudos técnicos necessários para formatação das regulamentações específicas para aparelhos, equipamentos e sistemas consumidores de energia em geral. O CGIEE também é responsável por formalizar o encaminhamento das regulamentações para consulta pública (Brasil, 2001b).

Os estudos técnicos solicitados pelo CGIEE são realizados por Comitês Técnicos formados por representantes de diferentes setores, como instituições públicas, instituições privadas, universidades e centros de pesquisa, o que inclui a presença de órgãos como o Procel, o Conpet e o próprio Inmetro.

São nos Comitês Técnicos que os níveis eficiência são negociados entre as partes interessadas, buscando assim garantir que as metas propostas estejam de acordo com os objetivos da Lei de Conservação da Energia e que, ao mesmo tempo, sejam passíveis de cumprimento pelo mercado.

É possível identificar então três níveis de ação envolvidos nesse processo, apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Níveis de ação envolvidos no processo de aprovação de regulamentos de eficiência energética

Fonte: elaboração própria

Seguindo a lógica apresentada, o programa de avaliação de eficiência energética para edificações foi criado pelo Decreto 4059 de 2001, através da formação do Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações no País (GT Edificações). Os primeiros resultados desse esforço só começaram a surgir no ano de 2005 com a criação da Secretaria Técnica de Edificações (ST Edificações), coordenada pelo Procel Edifica. A Figura 12 apresenta a estrutura das organizações envolvidas nesse processo.

Fazem parte da comissão técnica do GT Edificações, o Inmetro, a Eletrobrás, através do Procel Edifica e o Laboratório de Eficiência em Edificações da Universidade de Santa

Catarina (LabEEE). Essa comissão foi responsável pelo desenvolvimento dos regulamentos técnicos que caracterizam o processo de obtenção da *Etiqueta Nacional de Conservação de Energia* (ENCE) para edificações.

Figura 12 - Estrutura organizacional do processo de aprovação de regulamentos de eficiência energética para edificações

Fonte: elaboração própria

O primeiro regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética foi promulgado através da Portaria n.º 163 de 08 de junho de 2009, que estabelecia os parâmetros e requisitos para a etiquetagem voluntária de edificações comerciais, de serviços e públicas (Inmetro, 2009). A primeira versão do regulamento possuía um foco quase exclusivo na avaliação da envoltória e dos equipamentos elétricos utilizados nas edificações. À metodologia para avaliação do sistema de iluminação artificial foi considerada restritiva e, por isso, não teve boa aceitação do mercado (informação verbal)²⁰.

A revisão do regulamento se deu através da Portaria n.º 373 de 17 de setembro de 2010, que além de propor uma nova metodologia menos restritiva para avaliação do sistema de iluminação artificial, também incluiu a possibilidade de uso dos ciclos de absorção para condicionamento ambiental, assim como uma análise mais abrangente do aquecimento de água e dos equipamentos a gás utilizados para esse fim (Inmetro, 2010a).

²⁰ Informação fornecida por Alberto Hernandez Neto na palestra sobre Certificações e Selos no Brasil no Seminário Água e Energia – Uso Eficiente em Edifícios, em São Paulo, em 19 de setembro de 2010

Após a aprovação do regulamento técnico para edificações comerciais, foi aprovado o regulamento técnico para avaliação das edificações residenciais, através da Portaria n.º 449 de 25 de novembro de 2010 (Inmetro, 2010b).

Tanto a Portaria para edificações comerciais, quanto a Portaria para edificações residenciais são analisadas detalhadamente a seguir.

4.1 Portaria n.º 373/2010 para edificações comerciais, de serviços e públicas

O regulamento técnico para edificações comerciais, de serviços e públicas aplica-se a edifícios com área total útil mínima de 500 m² ou com alimentação elétrica com tensão superior ou igual a 2,3 kV²¹.

A classificação da eficiência varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente), de acordo com a Pontuação Total (PT) indicada na Tabela 23.

Tabela 23 - Classificação geral do nível de eficiência da edificação de acordo com a Pontuação Total

Pontuação Total (PT)	Classificação
$\geq 4,5$ a 5	A
$\geq 3,5$ a $< 4,5$	B
$\geq 2,5$ a $< 3,5$	C
$\geq 1,5$ a $< 2,5$	D
$< 1,5$	E

Fonte: (Inmetro, 2010a, p. 17)

Para o cálculo da PT são considerados requisitos, que se aplicam a sistemas parciais ou a edificação como um todo e a avaliação de três sistemas individuais com pesos diferenciados. Os sistemas individuais avaliados e seus respectivos pesos são:

²¹ Incluem-se os subgrupos de contratos de consumo de eletricidade A1, A2, A3, A3a, A4 e AS.

1. Envoltória = 30%;
2. Sistema de iluminação = 30%;
3. Sistema condicionamento de ar = 40%.

A avaliação do nível de eficiência geral da edificação considera os três sistemas, porém o regulamento também prevê a possibilidade de avaliações parciais, onde cada sistema recebe uma etiqueta independente. No caso dos sistemas de iluminação e de condicionamento de ar, a própria avaliação pode ser parcial, sendo realizada apenas sobre um pavimento ou conjunto de salas. A avaliação da envoltória, no entanto, exige que toda a estrutura seja analisada.

A avaliação é realizada sobre o projeto da edificação e a etiquetagem dividida em dois tipos: etiqueta do projeto e etiqueta da edificação concluída²². Edificações existentes também podem ser avaliadas e etiquetadas.

No caso das edificações que possuem usos mistos (residencial e comercial), a avaliação é realizada apenas na parcela comercial, desde que essa atenda as condições mínimas apresentadas no início do capítulo.

Para a avaliação da eficiência energética podem ser utilizados dois métodos: prescritivo e simulado. O primeiro consiste em observar os requisitos e parâmetros estipulados pelo regulamento avaliando indicadores de consumo de energia e conforto térmico, enquanto o segundo consiste na utilização de programas de cálculo capazes de simular o consumo de energia anual em função das variações climáticas e dos hábitos de uso.

A Figura 13 apresenta o modelo da ENCE mais completo para projeto de edificação, onde além dos sistemas individuais descritos anteriormente, também é avaliado o sistema de aquecimento de água.

²² Considera-se como edificação concluída aquela que recebeu a certidão do habite-se, comprovando que o imóvel atende às exigências legais estabelecidas pelos órgãos públicos.

Figura 13 - Modelo da ENCE para o projeto da edificação

Fonte: (LabEEE, 2011)

Outros modelos de ENCE apresentam apenas as etiquetas menores com as avaliações dos sistemas individuais, ou apenas a avaliação total da edificação, sem avaliações individuais (quando o método de simulação é utilizado).

4.1.1 Pré-requisitos e bonificações

O regulamento técnico adota medidas que podem limitar ou favorecer a PT de uma edificação, de acordo com pré-requisitos gerais, pré-requisitos específicos dos sistemas individuais e bonificações.

4.1.1.1 Pré-requisitos gerais

Os pré-requisitos gerais aplicam-se a três itens: circuitos elétricos, aquecimento de água e elevadores, limitando a nota a determinados níveis de eficiência caso não sejam atendidos.

Para os circuitos elétricos as edificações que queiram atender níveis A e B de eficiência devem possuir medição centralizada por uso final de cada sistema (iluminação, condicionamento de ar, entre outros)²³.

Para os elevadores as exigências também se aplicam apenas aos níveis A e B, de acordo com os tipos de sistemas instalados que aumentem a eficiência energética, como: acionamento micro processado com inversor de frequência e frenagem regenerativa e máquinas sem engrenagem (também conhecidas como *gearless*).

Os parâmetros para aquecimento de água são mais extensos e aplicam-se também ao Nível C, além dos Níveis A e B tratados pelos outros pré-requisitos, no entanto esse pré-requisito só deve ser avaliado em edificações onde o consumo de energia para produção de água quente represente um percentual igual ou superior a 10% do consumo total.

O regulamento reconhece como sistemas de aquecimento de água eficientes os coletores solares, aquecedores instantâneos a gás, caldeiras a gás e bombas de calor, caracterizando os chuveiros e aquecedores centrais elétricos como equipamentos de baixa eficiência. É interessante observar que o regulamento técnico não considera apenas a eficiência nominal dos equipamentos para realizar essa avaliação, mas também o impacto que o uso desses sistemas possui na matriz energética brasileira.

Para atingir o Nível A na avaliação do sistema de água quente a edificação deve possuir sistema de aquecimento solar, a gás ou a bomba de calor capaz de atender 100% da demanda por água quente, enquanto que para atingir o Nível B esses mesmos sistemas devem atender no mínimo 70% da demanda. Edificações que possuam apenas sistemas elétricos resistivos para aquecimento de água são restritas ao Nível C de eficiência.

²³ São excluídos desse pré-requisito hotéis com desligamento automático nos quartos e edificações com múltiplas unidades autônomas de consumo, ou que tenham sido construídas antes de junho de 2009.

Sistemas de aquecimento solares devem possuir ENCE Nível A ou B para os coletores e atender as exigências para área estipuladas pela *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (ABNT), através da NBR 15569. Os reservatórios devem possuir selo Procel e possuir isolamento térmico e armazenamento mínimo também de acordo com a NBR 15569. Recomenda-se que os coletores estejam voltados para o Norte geográfico²⁴ e que o sistema seja instalado por participantes do *Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar* (QUALISOL).

Os sistemas a gás instantâneo devem possuir ENCE Nível A e devem ser instalados em locais com ventilação adequada e proteção contra intempéries. As caldeiras a gás devem atender eficiências mínimas tabeladas, de acordo com sua capacidade. As bombas de calor devem possuir COP maior ou igual a 3,0 W/W para o Nível A de eficiência e COP maior a 2,0 W/W para o Nível B.

Por fim, exige-se que as tubulações possuam isolamento térmico com espessura mínima, de acordo com a condutividade térmica e o comprimento da tubulação, assim como que os reservatórios de água quente (com exceção dos solares) atendam padrões mínimos de condutividade térmica.

4.1.1.2 Pré-requisitos específicos

Os pré-requisitos específicos são divididos para a envoltória, o sistema de iluminação e o sistema de condicionamento de ar.

Para a envoltória, o regulamento define padrões mínimos para a transmitância térmica das paredes externas e coberturas; para as cores e absorvância das superfícies e para a iluminação zenital, de acordo com a zona bioclimática onde está inserida a edificação. Os padrões se tornam mais restritivos na medida em que o Nível pretendido de eficiência se eleva.

Para o sistema de iluminação são definidos parâmetros a serem atendidos por cada Nível de eficiência. O Nível A requer o atendimento de três requisitos: divisão dos circuitos;

²⁴ Admitem-se variações de até 30° em relação a esta orientação.

contribuição da luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação. O Nível B requer que apenas os dois primeiros requisitos sejam atendidos, enquanto o Nível C requer apenas o atendimento do primeiro.

Por último, os requisitos do sistema de condicionamento de ar aplicam-se apenas para o Nível A, requerendo nesse Nível que os sistemas possuam proteção das unidades condensadoras e isolamento térmico dos dutos de ar. Caso a edificação esteja em uma zona bioclimática que requer aquecimento de ambientes são definidos parâmetros mínimos de eficiência para esse processo.

4.1.1.3 Bonificações

As bonificações podem representar até um ponto, ou 20%, da Pontuação Total de uma edificação, desde que gerem uma economia comprovada de energia, de acordo com as quatro opções que o regulamento oferece.

Podem ser utilizados como bonificações: sistemas que reduzam o consumo anual de água em 40%; sistemas de aquecimento solar de água, com frações solares superiores a 70%; sistemas eólicos ou fotovoltaicos para geração de eletricidade que reduzam em no mínimo 10% o consumo anual de eletricidade e sistemas de cogeração ou inovações tecnológicas que proporcionem economia mínima de 30% do consumo anual de energia elétrica.

4.1.2 Procedimentos para determinação da eficiência energética: método prescritivo

Para determinação da Pontuação Total (PT) da edificação o regulamento parte da definição da eficiência equivalente de cada sistema parcial, através do cálculo do Equivalente Numérico (EqNum).

A Equação 19 é utilizada para cálculo do PT.

$$PT = 0,30 \times \left\{ \left(EqNumEnv \times \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \times 5 + \frac{ANC}{AU} \times EqNumV \right) \right\} + 0,30 \times (EqNumDPI) + 0,40 \times \left\{ \left(EqNumCA \times \frac{AC}{AU} \right) + \left(\frac{APT}{AU} \times 5 + \frac{ANC}{AU} \times EqNumV \right) \right\} + b_0^1 \quad (19)$$

Onde,

EqNumEnv: Equivalente numérico da envoltória;

EqNumDPI: Equivalente numérico do sistema de iluminação²⁵;

EqNumCA: Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar;

EqNumV: Equivalente numérico de ambientes de permanência prolongada não condicionados e/ou condicionados naturalmente;

APT: Área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados;

ANC: Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada, com comprovação de percentual de horas ocupadas de conforto por ventilação natural (POC) através do método de simulação;

AC: Área útil dos ambientes condicionados;

AU: Área útil;

b: Pontuação obtida pela bonificações, que varia de zero a 1.

4.1.2.1 Procedimentos para determinação da eficiência energética da envoltória

A classificação da eficiência da envoltória é baseada em um indicador de consumo, calculado através de duas equações diferentes para edificações com área de projeção superior e inferior a 500 m². As variáveis fixas das equações variam em função da zona bioclimática onde o edifício está localizado. A NBR 15220 define oito zonas bioclimáticas para o Brasil, de acordo com a Figura 14.

²⁵ DPI = Densidade de Potência de Iluminação.

Figura 14 - Zoneamento bioclimático brasileiro

Fonte: (Lamberts et al., 2011, p.46)

Para determinação da eficiência da envoltória parte-se do Fator de Altura (FA) e Fator de Forma (FF), do Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS) e do Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS) e do Percentual de Área de Abertura na Fachada Total (PAF_T). Para exemplificar, são apresentadas as equações lineares para determinação do Indicador de Consumo da Envoltória (IC_{env}) para edificações com áreas de projeção superiores e inferiores a 500 m^2 , localizadas na cidade de São Paulo (ZB3).

A Equação 20 se aplica a edificações com Área de Projeção (A_{pe}) inferior a 500 m^2 .

$$IC_{env} = -175,30 \times FA - 212,79 \times FF + 21,86 \times PAF_T + 5,59 \times FS - 0,19 \times AVS + 0,15 \times AHS + 275,19 \times \frac{FA}{FF} + 213,35 \times FA \times FF - 0,04 \times PAF_T \times FS \times AVS - 0,45 \times PAF_T \times AHS + 190,42 \quad (20)$$

Enquanto a Equação 21 se aplica a edificações com A_{pe} superior a 500 m^2 .

$$IC_{env} = -14,14 \times FA - 113,94 \times FF + 50,82 \times PAF_T + 4,86 \times FS - 0,32 \times AVS + 0,26 \times AHS - \frac{35,75}{FF} - 0,54 \times PAF_T \times AHS + 277,98 \quad (21)$$

Equações semelhantes são aplicadas para cálculo do Indicador de Consumo Máximo ($IC_{máxD}$) e do Indicador de Consumo Mínimo (IC_{min}), permitindo assim obter um Intervalo de Desempenho (i) para determinação dos limites de eficiência, que permitirão identificar o Nível de eficiência da envoltória da edificação analisada.

4.1.2.2 Procedimentos para determinação da eficiência energética do sistema de iluminação

O regulamento estabelece dois métodos possíveis para cálculo do Equivalente Numérico do sistema de iluminação (EqNumDPI). O primeiro, chamado de método da área do edifício, considera de forma conjunta todos os ambientes e atribui um único valor limite para a avaliação do sistema de iluminação.

O procedimento de cálculo é composto de 7 etapas, que levam ao cálculo da *Densidade de Potência de Iluminação* (DPI). Para isso existem limites de potência em função da área do ambiente (W/m^2) para cada Nível de eficiência e para cada tipo de edifício. A Tabela 24 apresenta alguns exemplos.

Tabela 24 - Limite máximo aceitável de DPI para o nível de eficiência pretendido

Função do Edifício	Densidade de Potência de Iluminação limite (W/m^2)			
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D
Centro de Convenções	11,6	13,3	15,1	16,8
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Hospedagem, dormitório	6,6	7,6	8,6	9,6
Hotel	10,8	12,4	14,0	15,7
Restaurante: Bar/Lazer	10,7	12,3	13,9	15,5

Fonte: elaboração própria a partir de (Inmetro, 2010a, p. 42)

O segundo método, chamado de atividades do edifício, só pode ser utilizado quando comprovadamente o primeiro método não for aplicável. A avaliação das atividades do edifício também busca identificar o DPI, porém, ao invés de considerar todo o edifício o método avalia cada ambiente separadamente.

O objetivo do segundo método é permitir que ambientes diferenciados possuam sistemas de iluminação com potências que superam os valores por edifício definidos pelo primeiro método. Para isso são detalhados os níveis de DPI para cada ambiente, um hospital, por exemplo, possui níveis de DPI diferenciados para salas de emergência, salas de operação, enfermaria, fisioterapia, quarto de pacientes etc.

4.1.2.3 Procedimentos para determinação da eficiência energética do sistema de condicionamento de ar

Para a determinação da eficiência do sistema de ar condicionado é obrigatório que os edifícios possuam sistemas reconhecidos e avaliados pelo PBE/INMETRO, de acordo com as normas brasileiras e/ou internacionais.

O regulamento avalia os equipamentos individuais do tipo janela ou *split*, assim como os sistemas centrais e exige que para áreas condicionadas com cargas térmicas superiores a 350 kW o segundo tipo seja utilizado²⁶.

Sistemas individuais têm sua eficiência avaliada pelo PBE, através das tabelas divulgadas pelo Inmetro, sendo o EqNum determinado em função do Nível de eficiência divulgado na ENCE do equipamento. Condicionadores de ar não etiquetados pelo PBE devem atender os padrões mínimos definidos pelo regulamento²⁷, de acordo com o Nível de eficiência pretendido.

Os sistemas centrais ainda devem atender a requisitos específicos, como possuir controle de temperatura e isolamento por zona, sistemas de desligamento automático,

²⁶ O uso de sistema central é obrigatório, a menos que a utilização de sistemas individuais seja provadamente mais eficiente através da simulação do consumo energético.

²⁷ Os padrões mínimos para cada Nível de eficiência foram retirados das normas ASHRAE 90.1 dos anos 2007, 2004 e 1999.

isolamento adequado de bombas, assim como atender características mínimas para os controles do sistema de ventilação, do sistema de reajuste da temperatura da água gelada e quente, dos sistemas hidráulicos e dos equipamentos para rejeição de calor.

4.1.3 Procedimentos para determinação da eficiência energética: simulação

O método simulado busca calcular o consumo de energia da edificação, de acordo com uma simulação computacional do desempenho termoenergético de um modelo tridimensional do edifício. A simulação varia em função da zona bioclimática da edificação, assim como os hábitos de uso dos principais sistemas.

O método para avaliação consiste na elaboração de dois modelos da edificação: um que represente o edifício proposto e outro que represente o mesmo edifício com Nível A de eficiência. Os modelos são então comparados e o Nível de eficiência do edifício proposto determinado em comparação com o consumo do edifício de referência.

4.2 Portaria n.º 449/2010 para edificações residenciais

O Regulamento Técnico proposto pelo Inmetro define a metodologia para avaliação da eficiência energética classificando as edificações residenciais em três tipos: unidades habitacionais autônomas; edificações multifamiliares e áreas de uso comum de edificações multifamiliares ou condomínios residenciais. Para isso, avalia três sistemas parciais:

1. Envoltória;
2. Sistema de aquecimento de água;
3. Sistema de iluminação artificial, elevadores e bombas (quando aplicável e apenas nas áreas de uso comum);

Igualmente ao processo de determinação da eficiência proposto para as edificações comerciais, o regulamento determina o EqNum do edifício de acordo com a PT calculada através de diferentes equações. A primeira, e mais importante equação, é utilizada para classificação das unidades habitacionais, enquanto as demais avaliam as áreas de uso comum. A Equação 22 é utilizada para cálculo da PT das Unidades Habitacionais (UH).

$$PT_{uh} = (a * EqNumEnv) + [(1 - a) * EqNumAA] + Bonificações \quad (22)$$

Onde,

PT_{uh} : Pontuação Total do nível de eficiência da unidade habitacional autônoma;

a : coeficiente adotado de acordo com a região geográfica na qual a edificação está localizada;

$EqNumEnv$: Equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma ventilada naturalmente;

$EqNumAA$: Equivalente numérico do sistema de aquecimento de água;

Bonificações: Pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação.

O valor do coeficiente (a) varia de acordo com a região onde a edificação está localizada. Para a região Norte o coeficiente utilizado é 0,95; para a região Nordeste 0,90 e para as demais regiões 0,65. A função desse coeficiente é ponderar o valor atribuído ao sistema de aquecimento de água, considerando que nas regiões Norte e Nordeste a utilização de água quente para banho não é um aspecto cultural comum à maioria da população.

As demais equações são utilizadas para avaliação da eficiência energética das áreas comuns e atribuem peso de 70% ao sistema de iluminação artificial, bombas e elevadores, em ambientes de uso freqüente e 30% a esses três itens mais o aquecimento de água em ambientes de uso eventual. Caso a edificação não possua alguns desses itens sua avaliação é suprimida.

As Figuras 15 e 16 apresentam a estrutura de uma ENCE para unidades habitacionais autônomas e unidades multifamiliares, respectivamente.

Figura 15 - ENCE de Projeto da Unidade Habitacional Autônoma para as Zonas Bioclimáticas 1 a 4

Figura 16 - ENCE de Projeto da Edificação Multifamiliar

Fonte: (LabEEE, 2011)

É interessante observar que as etiquetas adaptam-se ao tipo de edificação residencial em análise e à Zona Bioclimática na qual a edificação está localizada. Também existe uma terceira etiqueta utilizada para áreas de uso comum, como mostra a Figura 17.

Figura 17 - ENCE de Projeto das Áreas de Uso Comum de edificações com áreas comuns de uso frequente e áreas comuns de uso eventual

Fonte: (LabEEE, 2011)

As etiquetas apresentadas aplicam-se ao projeto da edificação, como é possível observar no título de cada ENCE. Também existem versões idênticas às etiquetas apresentadas só que para edificações construídas.

4.2.1 Pré-requisitos e bonificações

Os pré-requisitos são divididos em duas categorias: gerais ou específicos. Os pré-requisitos gerais aplicam-se a todo o projeto, enquanto os pré-requisitos específicos aplicam-se apenas aos sistemas parciais.

Como pré-requisito geral, o Regulamento exige apenas que unidades habitacionais autônomas localizadas no mesmo lote possuam medição individualizada de eletricidade e água, com exceção das edificações construídas anteriormente a publicação da Portaria.

4.2.1.1 Pré-requisitos específicos

Como pré-requisito específico da envoltória, o regulamento define valores mínimos para: (1) transmitância térmica e absorvância solar das superfícies; (2) contribuições da ventilação natural e (3) contribuições da iluminação natural. O não atendimento do item (1) implica em Nível E de eficiência, enquanto o não atendimento dos itens (2) e (3) implicam em penalizações variadas que podem restringir o Nível de eficiência às notas B, C e E, como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Restrição do Nível de eficiência da edificação em função dos pré-requisitos da envoltória

Fonte: elaboração própria

Em relação ao sistema de aquecimento de água, é necessário que as tubulações sejam adequadas e atendam às normas técnicas específicas, para as tubulações de água quente também é exigida a presença de isolante térmico²⁸, com espessura definida de acordo com o comprimento total da tubulação. Por fim, os reservatórios para água quente²⁹ devem possuir resistência térmica mínima de 2,20 (m²K)/W.

²⁸ A não utilização do isolamento térmico restringe a eficiência do sistema de aquecimento de água ao Nível C.

²⁹ Os reservatórios dos sistemas solares de aquecimento não precisam atender essa especificação.

4.2.1.2 Bonificações

O Regulamento Técnico prevê até 1 (um) ponto de bonificação na classificação geral da unidade habitacional. Esse 1 ponto poderá ser obtido através de bonificações parcialmente atendidas e somadas para determinação da nota final.

As bonificações podem ser atribuídas aos seguintes itens: *(i)* ventilação natural; *(ii)* iluminação natural; *(iii)* uso racional da água; *(iv)* condicionamento artificial de ar; *(v)* iluminação artificial; *(vi)* ventiladores de teto; *(vii)* refrigeradores e *(viii)* medição individualizada.

O Regulamento Técnico também abre possibilidade para obtenção de bonificações na avaliação da eficiência de áreas de uso comum. Os itens avaliados são: *(i)* uso racional da água; *(ii)* iluminação natural e *(iii)* ventilação natural. Sendo os dois últimos itens aplicáveis apenas nas áreas comuns de uso frequente.

4.2.2 Procedimentos para determinação da eficiência energética das unidades habitacionais autônomas

A avaliação de unidades habitacionais autônomas considera a envoltória e o sistema de aquecimento de água da edificação e pode ser realizada através do método prescritivo ou do método de simulação. Cabe ao responsável pela edificação definir qual método deseja que o laboratório certificador utilize.

Igualmente ao regulamento para edificações comerciais, as edificações são avaliadas de acordo com a Zona Bioclimática onde estão instaladas.

Existe uma distinção entre edificações com condicionamento de ar artificial e edificações naturalmente ventiladas. A avaliação das edificações condicionadas artificialmente é de caráter informativo e só se torna obrigatória quando utilizada como bonificação. Ainda assim a nota da envoltória quando condicionada artificialmente é impressa na etiqueta com caráter informativo.

4.2.2.1 Procedimentos para determinação da eficiência energética da envoltória

O método prescritivo para avaliação das edificações com ventilação natural é constituído de seis etapas: (a) cálculo do indicador de graus-hora de resfriamento; (b) cálculo do consumo relativo para aquecimento³⁰; (c) determinação do equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória do ambiente; (d) determinação do equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autónoma para resfriamento; (e) determinação do equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autónoma para aquecimento; (f) determinação do equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autónoma.

O método de simulação avalia além da envoltória, também o sistema de condicionamento artificial de ar, quando existente. Diversas condições são estabelecidas para modelagem, como padrões de uso; padrões de ocupação; cargas internas dos equipamentos; temperatura do solo, entre outros.

Resumidamente, ao definir os parâmetros técnicos da envoltória o regulamento busca maximizar o conforto térmico proporcionado pela edificação, de acordo com a zona bioclimática onde ela está inserida.

4.2.2.2 Procedimentos para determinação da eficiência energética do sistema de aquecimento de água

O Regulamento Técnico define que unidades habitacionais que não possuam sistemas de aquecimento de água projetados, recebem automaticamente equivalentes numéricos Nível D, para regiões Norte e Nordeste, e nível E para demais regiões. Esse procedimento parte do princípio de que residências construídas sem sistemas de aquecimento de água forcem o usuário a optar pela alternativa mais barata economicamente, que é o chuveiro elétrico.

O Equivalente Numérico do sistema de aquecimento de água pode ser determinado de três formas: (i) combinação entre os equivalentes dos sistemas solar, a gás ou bomba de calor,

³⁰ Apenas para as zonas bioclimáticas 1 a 4.

quando existirem mais de um sistema; *(ii)* equivalente do sistema solar com suporte elétrico, caso uma fração solar mínima de 70% seja alcançada; *(iii)* combinação das porcentagens referentes à demanda por água quente, multiplicadas pelos equivalentes numéricos de cada sistema de aquecimento.

Cada sistema de aquecimento de água é tratado em particular pelo Regulamento, com diferentes parâmetros e métodos de dimensionamento, que variam de acordo com o nível de eficiência que se deseja obter.

Sistemas de aquecimento solares devem ser instalados com ângulos de inclinação apropriados e as placas solares e reservatórios devem possuir etiquetagem do PBE. Recomenda-se que a instalação seja feita por instaladores participantes do Programa Qualisol Brasil.

O procedimento para determinação da eficiência dos sistemas solares consiste em se calcular qual a fração solar ótima possível de ser alcançada na edificação com o sistema solar projetado, para isso considera-se: (a) o volume do sistema de armazenamento; (b) a demanda de energia útil; (c) a produção média diária de energia pelo coletor solar; (c) o fator de correção de inclinação e orientação do coletor; (e) a área coletora.

Para os sistemas de aquecimento de água a gás, os aquecedores instantâneos devem ser classificados de acordo com sua nota no PBE, aquecedores não etiquetados devem atender exigências mínimas retiradas da Norma 90.1 da ASHRAE. Também é necessário que o reservatório de armazenamento possua isolamento térmico e capacidade adequados e que as instalações sejam realizadas, de preferência, por instaladores integrantes do Programa Qualinstal Gás.

O dimensionamento dos sistemas a gás deve ser realizado de forma que a potência do sistema de aquecimento e o volume de armazenamento estejam dentro de uma variação de 20% do cálculo de dimensionamento proposto.

Quando bombas de calor forem utilizadas para aquecimento de água, a determinação da eficiência será de acordo com tabelas da ASHRAE, sendo nível A para COP maior ou igual a 3,0; nível B para COP entre 2,0 e 3,0 e nível C para COP menor que 2,0.

Os chuveiros elétricos têm seu nível de eficiência limitado de acordo com as seguintes classificações: Nível D para aparelhos com potência menor ou igual a 4.600 W e Nível E para potências superiores a 4.600 W. Sistemas de acumulação elétricos também têm seu nível de

eficiência limitado; aparelhos com etiquetagem Níveis A ou B no PEB são classificados como Nível D no sistema de aquecimento da edificação, enquanto os demais aparelhos são classificados como Nível E.

Por fim, o Regulamento também define que caldeiras que utilizam combustíveis líquidos, como óleo diesel, ou outros derivados do petróleo, são classificadas como Nível E de eficiência na edificação, independente da eficiência do equipamento.

4.2.3 Procedimentos para determinação da eficiência energética das edificações multifamiliares

Edificações multifamiliares são avaliadas de acordo com a média das classificações de cada unidade habitacional autônoma ponderada pela soma das áreas dos ambientes avaliados de todas as unidades.

4.2.4 Procedimentos para determinação da eficiência energética das áreas comuns

O Regulamento define dois tipos de áreas comuns: áreas de uso frequente e áreas de uso eventual. Não são avaliadas áreas destinadas a depósito de lixo, armazenamento de gás LP, caixas de medidores, casa de máquinas, casa de bombas, subestação e gerador e depósitos em geral.

4.2.4.1 Procedimentos para determinação da eficiência energética das áreas comuns de uso frequente

Como pré-requisitos as áreas comuns de uso frequente, o Regulamento Técnico exige que motores trifásicos atendam os requisitos de eficiência previstos por regulamento próprio e que as garagens sem ventilação natural possuam ventilação mecânica para controle do nível de monóxido de carbono (CO).

São avaliados três sistemas parciais para determinação da eficiência: (i) iluminação artificial; (ii) bombas e (iii) elevadores. Caso algum desses itens não esteja presente na edificação sua avaliação é desconsiderada.

4.2.4.2 Procedimentos para determinação da eficiência energética das áreas comuns de uso eventual

As áreas comuns de uso eventual devem ter sua envoltória avaliada, caso estejam separadas das edificações residenciais. A avaliação da eficiência contempla quatro sistemas parciais: (i) iluminação artificial; (ii) equipamentos; (iii) sistemas de aquecimento de água e (iv) sauna.

A avaliação do item (ii) equipamentos é dividida em condicionadores de ar e eletrodomésticos, enquanto a avaliação do item (iii) sistemas de aquecimento de água é dividida em chuveiros, torneiras, hidromassagem e aquecimento de piscinas.

A avaliação dos condicionadores de ar segue os parâmetros definidos pela Portaria de edificações comerciais. Na avaliação de equipamentos como fogões e fornos domésticos, o Regulamento exige etiquetagem específica através do selo do Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET).

A avaliação do sistema de água quente determina que sejam seguidos os mesmos parâmetros da avaliação das unidades habitacionais autônomas. Para o aquecimento de piscinas, o Regulamento exige a utilização de sistemas solares, a gás ou bomba de calor, impondo aos aquecedores elétricos uma classificação Nível E. Também são apresentados pré-requisitos específicos, como utilização de capa térmica para cobertura; recomendações da Organização Mundial da Saúde para regulagem da temperatura e instalação de medidor específico.

Para avaliação de saunas, o Regulamento repete as condições estabelecidas para o aquecimento de piscinas, limitando os aquecedores elétricos a uma classificação Nível E, enquanto o Nível A só poderá ser atingido através do uso de gases combustíveis ou lenha. Como pré-requisitos, a porta da sauna deverá ter isolamento térmico duplo e batente auto-vedante, enquanto as superfícies devem ser tratadas com meios isolantes.

4.3 Análise do modelo brasileiro frente o panorama internacional

As regulamentações brasileiras para eficiência energética das edificações buscam garantir o conforto térmico dos ambientes, assim como garantir que edifícios mais eficientes utilizem equipamentos apropriados, possuam sistemas corretamente dimensionados e atendam a requisitos básicos de operação.

Cada sistema parcial é avaliado com ponderações diferentes para as edificações comerciais e residenciais. A Figura 19 resume os pesos atribuídos a cada sistema e, visualmente, o quanto cada um representa na nota final.

Figura 19 - Contribuição percentual de cada sistema em edificações comerciais e residenciais

Fonte: elaboração própria

As bonificações, como o nome sugere, não são obrigatórias e podem contribuir com até 20% da nota final quando atendidas. Observa-se que nas edificações comerciais os sistemas possuem pesos equilibrados, enquanto nas residenciais a envoltória possui uma participação mais expressiva na composição da nota final.

A partir das análises das Portarias 372 e 449 foi elaborada a Tabela 25 com o resumo das principais características dos regulamentos técnicos brasileiros, com base na terminologia empregada para avaliação do panorama internacional (Item 3.3).

Tabela 25 – Resumo das principais características dos regulamentos técnicos brasileiros

Características	Resultado	
Objetivo principal	Promover a eficiência energética e o conforto térmico das edificações através da criação de um programa nacional de etiquetagem.	
Tratamento regulatório	Voluntário	
Métodos de avaliação	Prescritivo / Simulação	
Indicadores de eficiência	Sistema de água quente: kWh energia final / kWh energia útil (eficiência do equipamento)	Indicador: termodinâmico
	Sistema de condicionamento de ar: calor fornecido ou retirado do ambiente / kWh de energia final (COP)	Indicador: termodinâmico
	Sistema de iluminação: Densidade de Potência de Iluminação (DPI): W/m ²	Indicador: físico-termodinâmico
Forma de cálculo	Estimativa	
Abordagem do conceito de eficiência	Ampliada qualitativa	
Análise das emissões de CO _{2-E}	Não	

Fonte: elaboração própria

O objetivo principal dos regulamentos técnicos brasileiros está relacionado à qualidade do ambiente interior das edificações e da racionalização do consumo de energia, aproximando-se assim das regulamentações preocupadas com o planejamento e a segurança energética nacional.

Apesar do processo de etiquetagem ainda ser voluntário, existe a previsão de obrigatoriedade para os próximos anos, seguindo a linha de atuação do Inmetro em relação às demais ENCE's. Os métodos de avaliação adotados, prescritivo e de simulação, buscam avaliar primeiramente se a edificação oferece conforto térmico dentro das condições climáticas regionais, para posteriormente estabelecer requisitos de eficiência para a envoltória e para os sistemas de condicionamento de ar, aquecimento de água e iluminação. No regulamento técnico para edificações residenciais também existem requisitos opcionais, estipulados por meio de bonificações, para o uso de equipamentos eficientes, como geladeiras, e ventiladores.

Para avaliação do consumo de energia/eficiência dos equipamentos são adotados indicadores termodinâmicos e físico-termodinâmicos. Os primeiros aplicam-se aos sistemas

de água quente e condicionamento de ar, enquanto o segundo aplica-se ao sistema de iluminação (através do uso da DPI em W/m^2).

Em relação à amplitude do conceito de eficiência, ambas as regulamentações brasileiras utilizam a abordagem ampliada qualitativa, que não estabelece o uso dos fatores de conversão, mas define prioridade do uso de determinados energéticos em detrimento de outros³¹. Nesse quesito observa-se uma evolução frente ao primeiro regulamento técnico, aprovado em 08 de junho de 2009 através da Portaria n.º 163, que utilizava a abordagem simplificada da eficiência, ao tratar apenas das eficiências nominais dos equipamentos e sistemas (Inmetro, 2009).

Uma das maiores limitações identificadas nas regulamentações brasileiras é a falta da avaliação do consumo de energia final pelas edificações, prática comum em todas as regulamentações internacionais analisadas.

Por fim, as regulamentações brasileiras também não calculam ainda as emissões de GEE associadas ao uso da energia.

³¹ Como no caso dos sistemas de água quente, onde o aquecimento solar, a gás e a bomba de calor, possui vantagem frente a utilização de chuveiros ou *boilers* elétricos.

5. CÁLCULO DOS FATORES DE CONVERSÃO E DE EMISSÕES DE CO₂-E NO BRASIL

5.1 Fator de conversão da energia final em primária da eletricidade

A matriz de geração elétrica brasileira tem características bem diferentes das matrizes de outros países, como Alemanha, França e Estados Unidos. A matriz brasileira é formada por um sistema interligado hídrico-térmico, onde as usinas termoeletricas são despachadas para garantir a segurança de suprimento em horários de pico de consumo e/ou acumular energia nos reservatórios, através da manutenção do nível da água das represas. A Figura 20 apresenta as participações por tipo de fonte evidenciando essas diferenças.

Figura 20 - Geração de eletricidade por fonte no Brasil, Alemanha, França e Estados Unidos em 2008

Fonte: elaboração própria a partir de (EIA, 2010)

Enquanto Alemanha, Estados Unidos e França possuem parques geradores predominantemente termoeletricos (o que inclui as usinas nucleares), a matriz brasileira é baseada na energia de origem hídrica. Essa particularidade faz com que a eficiência da matriz

varie em função da participação percentual das usinas termoeletricas. Isso significa que o fator de conversão da eletricidade no Brasil sofre alterações mais significativas que o fator de conversão dos gases combustíveis, que permanece praticamente constante.

Aplicando à metodologia proposta no Item 2.2.1.1 foram obtidos os fatores de conversão da eletricidade gerada no SIN pelas centrais elétricas de serviço público para o período de 1970 a 2009, de acordo com dados do BEN, 2010. A Figura 21 apresenta os resultados obtidos, que estão disponíveis para consulta no Apêndice A.

Figura 21 - Evolução do fator de conversão da eletricidade gerada pelas centrais de serviço público entre 1970 e 2009

Fonte: elaboração própria a partir de (MME, 2010)

O gráfico demonstra que o fator de conversão oscila ao longo dos anos e que desde 2000 vem se mantendo entre 1,40 e 1,50. Aparentemente a variação não parece expressiva, principalmente quando se compara o fator brasileiro ao fator de outros países (superiores a 3,0), no entanto quando o mesmo gráfico é apresentado utilizando-se o indicador de eficiência da matriz elétrica, nota-se que a oscilação é mais impactante do que a princípio parece (Figura 22)³².

³² As escalas dos eixos Y das Figuras 21 e 22 foram mantidas para evitar distorções visuais nas curvas de evolução do fator de conversão e da eficiência da matriz elétrica.

Figura 22 - Evolução da eficiência da matriz de geração de eletricidade pelas centrais elétricas de serviço público entre 1970 e 2009

Fonte: elaboração própria a partir de (MME, 2010)

Como mostra o gráfico, a eficiência variou significativamente no período analisado. Na década de 1970, que foi marcada por grandes transformações energéticas, três foram as causas de alteração do padrão de eficiência da matriz nacional: os dois choques do petróleo, 1973 e 1979, e a expansão da oferta de energia pelas usinas hidrelétricas (iniciada ainda na década de 60), apoiada pelo lançamento do segundo *Plano Nacional do Desenvolvimento* (PND), que tinha o investimento em energia como uma de suas principais metas (Giambiagi et al., 2005). Esses três fatores ajudaram a elevar a eficiência da matriz nacional de 71,9% em 1970 para 78,5% em 1980.

A década de 1980 foi marcada pelo início da operação das usinas hidroelétricas de Tucuruí e Itaipu, o que refletiu em uma das maiores eficiências observadas no período, 79,9% no ano de 1983. No entanto, a redução da oferta hídrica, o início da operação da usina nuclear de Angra I e o aumento da geração pelas usinas térmicas a óleo e a carvão, foram responsáveis pela queda na eficiência observada entre os anos de 1984 e 1986, registrando o menor índice da década, com 74,6% em 1986.

A partir do início da década de 90 a participação das fontes hídricas intensificou-se novamente, culminando em 1993 e 1994 com a maior eficiência registrada no período de análise: 80,2%. Após o pico, registrou-se um período de quedas sucessivas com taxa de 2% a.a., quando a eficiência reduziu-se em 16%, atingindo em 2001 o valor de 67,4%. Esse

período de progressiva queda registra a evolução da crise energética, que culminou em 2001 com o racionamento elétrico.

A falta de planejamento adequado e um longo período de estiagem reduziram a água armazenada nos reservatórios das usinas hidroelétricas a níveis críticos, para solucionar a crise o governo apostou na construção de novas termoeletricas, principalmente a gás natural, através do *Programa Prioritário de Termoeletricas* (PPT) (Santos et al., 2002). A operação das novas usinas associada à menor oferta hídrica resultou na queda de eficiência observada. Com o retorno das chuvas e a normalização dos reservatórios em 2003, a eficiência subiu um pouco para 69,8% onde se manteve com pequenas variações anuais de aproximadamente 1 ponto percentual até 2008, quando por conta de um maior acionamento das termoeletrica registrou-se o pior nível de eficiência no período analisado: 66,4%.

As oscilações da eficiência observadas no gráfico representam as características operacionais do modelo hídrico-térmico de geração de eletricidade. Nesse modelo, a geração térmica apesar de relativamente pequena frente à geração hídrica, possui grande potencial de impacto na eficiência da matriz como um todo.

Para avaliar o consumo de energia primária pelos usos finais da energia nas edificações utilizou-se o fator de conversão médio dos anos de 2005 a 2009. A média dos últimos cinco anos foi adotada, com base na metodologia do Programa *Energy Star*, de forma a minimizar o impacto dos aspectos climáticos na geração de origem hídrica, principalmente em anos mais secos. Na Tabela 26 apresentam-se os fatores calculados.

Tabela 26 - Fator de conversão da eletricidade calculado para a matriz elétrica brasileira

Ano	Fator de Conversão da Eletricidade (Fe)
2005	1,43
2006	1,44
2007	1,41
2008	1,51
2009	1,39
Média	1,44

Fonte: elaboração própria

Assim, o fator de conversão da energia final em primária adotado para a eletricidade gerada no Brasil é de 1,44.

5.2 Fator de conversão da energia final em primária dos gases combustíveis

Aplicando à metodologia para cálculo do fator de conversão da energia primária dos gases combustíveis proposta no Item 2.2.1.2, obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Fator de conversão dos gases combustíveis

Combustível	Fator de Conversão dos Gases Combustíveis (Fg)
Gás natural	1,09
Gás LP	1,10
Média	1,095

Fonte: elaboração própria

Logo, o fator de conversão da energia final em primária adotado para os gases combustíveis no Brasil é de 1,095.

5.3 Fator de emissões de CO_{2-E}

Como dito anteriormente, o fator de emissões de CO_{2-E} no Brasil é calculado e divulgado pelo MCT e é diretamente proporcional ao uso da termoeletricidade para complementação da geração de origem hídrica. A Figura 23 apresenta a média dos fatores de emissões até novembro de 2010³³.

³³ Último valor divulgado pelo MCT até a conclusão da pesquisa. O mês de dezembro foi excluído, sendo considerados apenas os valores de janeiro até novembro para o cálculo do fator de emissões médio.

Figura 23 - Média do fator de emissões de CO_{2-E} entre 2006 e 2010

Fonte: (MCT, 2011)

Nota-se que apesar do fator variar entre os anos analisados há um crescimento nas emissões médias assinalado pela linha de tendência. Aplicando a Equação 6 para determinação das emissões de CO_{2-E} em função do acionamento das termoeletricas é possível calcular o fator de emissões de anos passados. Na Figura 24 são apresentados os fatores para a eletricidade gerada no SIN pelas centrais de serviço público para o período de 1970 a 2010.

Figura 24 - Evolução do fator de emissões de CO_{2-E} da eletricidade gerada pelas centrais de serviço público entre 1970 e 2010

Fonte: elaboração própria a partir de (MCT, 2011; MME, 2010)

Como mostra o gráfico, a partir de 2000 o fator apresenta um crescimento superior à média histórica. Esse crescimento foi ocasionado pelo acionamento das termoeletricas para garantir a oferta de eletricidade.

Apesar do crescimento registrado nos últimos, a média do fator de emissões brasileiro está bem abaixo dos fatores de outros países analisados, como Estados Unidos, Japão e Reino Unido, como mostram a Tabela 28.

Tabela 28 - Fatores de emissões de CO_{2-E} em diferentes países analisados

País	Fator de Emissões de (tCO _{2-E} /MWh)
Brasil	0,051
Estados Unidos	0,596
Japão	0,555
Reino Unido	0,545

Fonte: elaboração própria a partir de (Carbon Trust, 2010; Energy Star, 2008; IBEC, 2008; MCT, 2011)

Para analisar as emissões de CO_{2-E} a partir dos usos finais da energia nas edificações foram adotados os fatores divulgados pelo MCT para a eletricidade, assim como uma média dos fatores internacionais dos gases combustíveis. Dessa forma, os fatores de emissões brasileiros são de 0,51 tCO₂/MWh para a eletricidade; 0,183 tCO₂/MWh para o gás natural e 0,216 tCO₂/MWh para o gás LP. A Figura 25 compara os valores estabelecidos com os valores internacionais.

Figura 25 - Fatores de Emissões de CO_{2-E} por país e energético

Fonte: elaboração própria a partir de (Carbon Trust, 2010; Energy Star, 2008; IBEC, 2008; MCT, 2010)

O cálculo do fator de emissões de CO_{2-E} considera todas as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O associadas à disponibilização da energia final, seja ela eletricidade, gás natural ou gás LP (Energy Star, 2008). O fator da eletricidade é chamado de *off-site*, pois as emissões ocorrem nas usinas, fora da estrutura da edificação, enquanto os fatores dos gases combustíveis são chamados de *on-site*, pois as emissões ocorrem no próprio edifício (Energy Star, 2008).

Para determinar o fator de emissões a participação de cada molécula citada no parágrafo anterior é ponderada pelo seu respectivo potencial de contribuição ao aquecimento global, de acordo com os pesos da Tabela 29.

Tabela 29 – Contribuição dos GEE ao efeito estufa em comparação ao CO₂

GEE	Contribuição ao efeito estufa em relação ao CO ₂
CO ₂	1x
CH ₄	21x
N ₂ O	310x

Fonte: elaboração própria a partir de (Carbon Trust, 2010)

À metodologia para cálculo do fator de emissões parte de uma composição teórica do combustível. Essa simplificação do cálculo visa minimizar as variáveis existentes, principalmente as envolvidas com as emissões de CH_4 e N_2O vinculadas não apenas a combustão em si, mas também as características do equipamento, como: tipo, tamanho, manutenção, operação, existência de mecanismos de controle de poluentes etc. Para cálculo do fator de emissões dos gases combustíveis a metodologia também desconsidera as emissões pré-combustão, geradas nos processos de extração, processamento e distribuição dos gases combustíveis (Energy Star, 2008).

6. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS USOS FINAIS DA ENERGIA EM EDIFICAÇÕES

6.1 Avaliação através da abordagem simplificada

Para avaliação da eficiência nos usos finais da energia em edificações foi utilizado o Diagrama de Sankey. O diagrama de Sankey é uma ferramenta para identificação de fluxos, cuja característica principal é a utilização de setas quantificadas, ou seja, que possuem larguras correspondentes aos valores ou quantidades que representam (Schmidt, 2008). Alguns exemplos são, os diagramas de fluxo da conversão da energia primária desde os transportadores até o usuário final (Sims et al., 2007, p.258) e o diagrama do fluxo global da transformação da energia primária a partir dos combustíveis até os serviços finais (Cullen & Allwood, 2010).

Como usos finais foram considerados os sistemas avaliados pelas Portarias brasileiras: sistema de iluminação artificial; sistema de condicionamento de ar e sistema de aquecimento de água. O sistema de condicionamento de ar também foi avaliado em um sistema de cogeração a gás natural, operando com aproveitamento dos rejeitos térmicos.

O sistema de iluminação artificial é avaliado nas edificações comerciais e nas áreas comuns das edificações residenciais. Na Figura 26 o fluxo luminoso de dois tipos de lâmpadas é comparado, de forma a ilustrar os ganhos expressivos que o uso de lâmpadas fluorescentes pode representar em relação ao uso de lâmpadas incandescentes.

Figura 26 - Comparação do fluxo luminoso de uma lâmpada incandescente e de uma fluorescente de potências similares

Fonte: elaboração própria

A lâmpada incandescente e a lâmpada fluorescente comparadas são do mesmo fabricante, possuem fluxos luminosos equiparáveis e são etiquetadas pelo PBE (Inmetro, 2011). Para gerar 1620 lúmens a lâmpada incandescente possui uma potência de 100W, enquanto a lâmpada fluorescente para gerar 1592 lúmens possui uma potência de 25W. Considerando a geração de um valor simbólico de 100 unidades de luz, a lâmpada incandescente requer 617 unidades de eletricidade, enquanto a fluorescente apenas 156.

A Figura 26 deixa claro os ganhos que as políticas de eficiência energética podem oferecer em termos de consumo de energia, no entanto os sistemas luminosos artificiais instalados nas edificações só podem ser acionados pela eletricidade, logo a eficiência energética pode ser avaliada simplesmente através da análise da eficiência nominal de cada equipamento.

Em relação ao sistema de condicionamento de ar, os regulamentos técnicos brasileiros avaliam dois tipos de sistemas: individual e central. Os sistemas individuais são constituídos por equipamentos do tipo Janela ou *Split*, que possuem raio de ação limitado ao ambiente onde estão instalados, enquanto os sistemas centrais atendem uma carga térmica maior, servindo a diversos ambientes da edificação. Para comparação do consumo de energia foram utilizados dois sistemas centrais, um operando com energia elétrica e o outro com gás natural. As eficiências adotadas para cada equipamento são aquelas exigidas pela regulamentação brasileira para o Nível A. Os resultados são apresentados na Figura 27.

Figura 27 - Comparação do consumo de energia por dois sistemas para condicionamento de ar

Fonte: elaboração própria

O comparativo é novamente realizado para uma quantidade simbólica de 100 unidades de energia útil, nesse caso o calor retirado do ambiente pelos sistemas de refrigeração. As perdas nas máquinas e na distribuição da água fria e da água quente foram descartadas, pois são iguais para ambos os sistemas. Observa-se que o sistema elétrico, operando com um ciclo de compressão, consome menos unidades de energia que o sistema similar a gás, operando com um ciclo de absorção.

Diferentemente dos sistemas de iluminação que ficam restritos ao uso da eletricidade, para o condicionamento de ar existe a possibilidade de utilização de diferentes energéticos como energia final, nesse caso a eletricidade e o gás natural. Não é possível comparar os sistemas entre si sem se considerar o consumo de energia primária.

Situação semelhante é encontrada na avaliação do sistema parcial de aquecimento de água. Esse sistema apresenta mais alternativas tecnológicas em relação aos outros sistemas analisados até aqui, como mostra a Figura 28. Foram comparados equipamentos com ENCE Nível A no PBE (Inmetro, 2011), no caso dos gases combustíveis, foi calculada a média das eficiências dos equipamentos a gás natural e a gás LP.

Figura 28 - Comparação do consumo de energia por diferentes sistemas para aquecimento de água

Fonte: elaboração própria

Foram avaliados dois sistemas elétricos: chuveiro elétrico e acumulação (*boiler*) e dois sistemas a gás: aquecedor de passagem e acumulação central. Foram consideradas as perdas de cada sistema referentes à eficiência do equipamento, ao transporte da água quente e da perda de energia da água quente estagnada na rede após utilização do chuveiro ou ducha.

As perdas no transporte foram estimadas para uma rede de até 10 metros de comprimento para o *boiler* elétrico e o aquecedor de passagem a gás e 26 metros para o aquecedor central a gás (o que inclui as redes individuais e coletivas de água quente e fria para um apartamento padrão de 02 dormitórios) (Chaguri, 2009). Foi ainda considerado que as tubulações de água quente possuem isolamento térmico padrão de 5 mm. Em relação às perdas da água estagnada na tubulação, adotou-se que todo o calor disponível é perdido para o ambiente, ou seja, não existe aproveitamento do calor remanescente na tubulação entre um banho e outro (Chaguri, 2009). No sistema central a gás as perdas da água estagnada foram

desconsideradas devido à existência de um sistema de recirculação, comum nesse tipo de projeto (Chaguri, 2009)³⁴.

Para o cálculo desconsiderou-se as diferenças de vazões entre os equipamentos, partindo do princípio de que cada sistema fornece 100 unidades de energia útil aos consumidores, independente do energético utilizado.

Observa-se, que em relação à eficiência, os sistemas elétricos apresentam uma pequena vantagem quando comparados aos sistemas a gás, no entanto, assim como identificado nos sistemas de condicionamento de ar, a presença de dois tipos de energéticos como energia final significa que os consumos dos sistemas elétricos e a gás não podem ser diretamente comparados.

Ainda sobre o aquecimento de água, a regulamentação brasileira abre possibilidade para o uso do aquecimento solar e da bomba de calor, desde que os equipamentos/sistemas atendam condições mínimas de instalação e operação. Esses sistemas, no entanto, não conseguem atender 100% da demanda por água quente em grande parte das edificações comerciais e residenciais, o que exige a instalação de sistemas elétricos ou a gás complementares (informação pessoal)³⁵. A Figura 29 apresenta as contribuições da energia solar (com 50% de fração solar) e da bomba de calor (com 90% de fator de capacidade) na redução do consumo de energia final.

³⁴ Consideraram-se as perdas pela recirculação da água quente, de acordo com o dimensionamento sugerido de 26 metros por apartamento.

³⁵ CHAGURI, J. *Dimensionamento de sistemas centrais de aquecimento de água em edificações*. Mensagem recebida por arthursantos@usp.br em 25 de março de 2011.

Figura 29 - Redução do consumo de eletricidade e gases combustíveis através do uso de sistemas de aquecimento complementares

Fonte: elaboração própria

Observa-se que a contribuição de ambos os sistemas varia em função do fator solar e do fator de capacidade de cada processo e pode variar consideravelmente entre diferentes tipos de edificações e zonas bioclimáticas, de acordo com a demanda por água quente, a disponibilidade de área para instalação dos coletores solares e da eficiência do sistema de aquecimento e distribuição de água quente. As contribuições averiguadas para redução do consumo de eletricidade e gases combustíveis por ambos os sistemas são bastante consideráveis, podendo ainda ser maiores em determinadas situações.

Finalizando as avaliações dos usos finais pela abordagem simplificada, analisou-se o consumo de energia final por um sistema de cogeração a gás natural, como mostra a Figura 30. As eficiências dos equipamentos centrais de condicionamento de ar são as mesmas utilizadas na Figura 27, enquanto a eficiência do sistema de cogeração foi obtida em Cogenco, 2000.

Figura 30 - Comparação do consumo de energia por um sistema de cogeração e um sistema elétrico

Fonte: elaboração própria

Novamente foram ignoradas as perdas na distribuição dos sistemas de condicionamento de ar, pois ambos os ciclos compartilham o mesmo sistema de distribuição. Nota-se que a diferença existente entre o consumo de energia final dos dois sistemas diminuiu de 69% (Figura 27 - Comparação do consumo de energia por dois sistemas para condicionamento de ar) para 44%, mesmo assim os sistemas elétricos ainda consomem menos energia final em relação aos gases combustíveis.

Os Diagramas de Sankey apresentados mostram que determinados equipamentos/processos podem gerar economias significativas de recursos ao reduzir o consumo de energia final, porém, quando os usos finais apresentam mais de uma fonte energética, como a eletricidade e os gases combustíveis, a comparação entre o consumo dos sistemas é prejudicada. No Item 6.2 avaliam-se os mesmos sistemas, mas agora considerando o consumo de energia primária.

6.2 Avaliação através da abordagem ampliada

6.2.1 Análise do consumo de energia primária nos usos finais da energia em edificações – média internacional

Para avaliação do consumo de energia primária foi utilizada a média dos fatores de conversão de energia final em primária da Alemanha, França e Estados Unidos, para a eletricidade e para os gases combustíveis, conforme a Tabela 30.

Tabela 30 - Média internacional dos fatores de conversão da energia final em primária

País	Fator de Conversão	
	Eletricidade	Gases Combustíveis
Alemanha	2,60	1,10
Estados Unidos	3,34	1,047
França	2,58	1,00
Média	2,84	1,05

Fonte: elaboração própria a partir de (CEN, 2007; Energy Star, 2009; Ministère De L'emploi De La Cohésion Sociale Et Du Logement, 2006)

Para os Diagramas de Sankey apresentados anteriormente foram calculados os consumos de energia primária para os usos finais de aquecimento de água, condicionamento de ar e condicionamento de ar com cogeração. Os resultados para o sistema de aquecimento de água são apresentados na Figura 31.

Figura 31 - Consumo de energia primária para aquecimento de água – média internacional

Fonte: elaboração própria

Observa-se que o chuveiro elétrico que apresentava o menor consumo de energia final não é a opção mais eficiente em termos de consumo de energia primária. Nesse quesito os gases combustíveis permitem uma economia de cerca de 50% de recursos primários. Até mesmo o aquecimento central, que possui menor eficiência que os demais processos devido às perdas na distribuição de água quente, aparece como opção mais eficiente que os equipamentos elétricos.

Para condicionamento de ar a relação entre o consumo de energia final e o consumo de energia primária não se inverte como no aquecimento de água. Os ciclos de compressão ainda permanecem como opção mais eficiente em relação aos ciclos de absorção, apesar da relação entre os consumos ter se reduzido, como mostra a Figura 32.

Figura 32 - Consumo de energia primária para condicionamento de ar – média internacional

Fonte: elaboração própria

Quando a cogeração é adotada para alimentar o ciclo de absorção, nota-se que a relação se inverte novamente e os gases combustíveis aparecem como opção mais eficiente, com uma redução de 50% no consumo de energia primária em relação à eletricidade. A Figura 33 apresenta essa relação.

Figura 33 - Consumo de energia primária para condicionamento de ar com cogeração – média internacional

Fonte: elaboração própria

Com a análise do consumo de energia primária é possível estabelecer qual rota tecnológica é realmente mais eficiente e quanto o consumo de energia final representa em termos de energia primária. Essa quantificação diminui o grau de incerteza das regulamentações e permite que o consumo energético seja avaliado em escala nacional.

Com a aplicação da média dos fatores de conservação internacionais demonstrou-se que o uso dos gases combustíveis é mais eficiente nos processos de aquecimento de água e

condicionamento de ar com cogeração. No entanto, como o fator de conversão da eletricidade calculado para o Brasil é inferior a média internacional, faz-se necessário reavaliar os usos finais, para averiguar se as relações obtidas se mantêm.

6.2.2 Análise do consumo de energia primária nos usos finais da energia em edificações – cenário brasileiro

Conforme calculado no Item 5.1, o fator de conversão da energia final em primária para a eletricidade gerada na matriz elétrica brasileira é 1,44, e o fator de conversão dos gases combustíveis é de 1,095.

Aplicando o fator de conversão brasileiro aos Diagramas de Sankey analisados anteriormente, nota-se que a relação entre o consumo de energia primária atrelado a eletricidade e aos gases combustíveis reduz-se, porém o gás ainda continua como opção mais eficiente para o aquecimento de água quando são utilizados aquecedores de passagem, como mostra a Figura 34.

Figura 34 - Consumo de energia primária para aquecimento de água – cenário brasileiro

Fonte: elaboração própria

Para o condicionamento de ar o uso da eletricidade se mantém como a opção mais eficiente (Figura 35).

Figura 35 - Consumo de energia primária para condicionamento de ar – cenário brasileiro

Fonte: elaboração própria

O consumo do sistema de condicionamento de ar com cogeração inverteu-se em relação ao cenário internacional, o que significa que o uso da eletricidade é a opção mais eficiente, como mostra a Figura 36, porém cabe lembrar que a cogeração permite reduzir também a demanda por potência, aliviando a pressão do uso da eletricidade em grandes centros comerciais.

Figura 36 - Consumo de energia primária para condicionamento de ar com cogeração – cenário brasileiro

Fonte: elaboração própria

6.3 Estratégias de incorporação do consumo de energia primária nas regulamentações brasileiras

Como visto no item anterior, quando diferentes energéticos estão disponíveis para produção de energia útil a simples análise da eficiência de um equipamento não é suficiente para identificar as rotas tecnológicas que permitem um menor consumo de recursos primários. A avaliação do consumo de energia primária é realizada através da utilização do fator de conversão da energia final em primária, que permite contextualizar o consumo energético de uma edificação em nível nacional.

Como dito no Capítulo 4, as regulamentações brasileiras permitem que a eficiência energética das edificações seja avaliada através de dois métodos: simulação e prescritivo.

A simulação compara o consumo de energia final para garantia do conforto térmico entre a edificação proposta e uma edificação de referência com Nível A, elaborada com base no projeto proposto. Nesse método, a inclusão do consumo de energia primária pode ser realizada através da conversão da energia final estimada em primária, utilizando os fatores de conversão calculados nos Itens 5.1 e 5.2. Essa conversão tem caráter informativo e busca apenas orientar o consumidor sobre o consumo total de recursos promovido pela edificação. Para inclusão da análise do consumo de energia primária, de forma a selecionar os equipamentos e processos que promovam um menor consumo de recursos primários, pode ser adotado o conceito de eficiência acumulada³⁶.

Segundo Czachorski & Leslie (2009, p.6), a eficiência acumulada representa a eficiência de toda a cadeia de um determinado combustível, o que inclui as eficiências de cada processo, desde a extração até a distribuição para o consumidor final. Para avaliação dos equipamentos, multiplicam-se as eficiências nominais pelas eficiências das cadeias dos energéticos³⁷.

³⁶ A aplicação direta do fator de conversão para análise do consumo de energia primária não é possível, pois no Brasil ainda não existem dados sobre o consumo de energia por unidade de área para os diferentes tipos de edificações (residenciais, comerciais, de serviços e públicas).

³⁷ Que é igual ao inverso do fator de conversão da energia final em primária.

O conceito de eficiência acumulada também pode ser aplicado no método prescritivo, utilizando para isso as eficiências mínimas requeridas para os diferentes equipamentos em cada Nível de eficiência proposto.

No caso específico do condicionamento de ar, a regulamentação para edificações comerciais exige que os resfriadores de líquido possuam eficiências mínimas de acordo com o Nível de eficiência pretendido. A Tabela 31 apresenta as eficiências nominais dos equipamentos elétricos e a gás para o Nível A e B, assim como as eficiências acumuladas propostas.

Tabela 31 - Eficiências mínimas e acumuladas dos equipamentos condicionadores de ar

Tipo de equipamento	Eficiência do equipamento (COP)	Eficiência acumulada³⁸ (COP)
Condensação a ar, com condensador	3,20	2,22
Condensação a ar, sem condensador	3,20	2,22
Absorção a ar, de simples efeito	0,60	0,55
Absorção a água, de simples efeito	0,70	0,64
Absorção a água, de duplo efeito e acionamento indireto	1,00	0,91
Absorção a água, de duplo efeito e acionamento direto	1,00	0,91

Fonte: elaboração própria a partir de (Inmetro, 2010)

Quando a eficiência acumulada é usada a diferença de eficiência entre os ciclos de compressão e absorção é menor do que a princípio aparenta. A utilização desse conceito permite que o consumo de energia primária seja contabilizado de forma indireta, aumentando a precisão das avaliações, assim como permitindo uma comparação da eficiência de novos equipamentos e processos ainda não incluídos nos regulamentos técnicos.

³⁸ Para o cálculo utilizou-se as eficiências de 69,4% para a cadeia da eletricidade (inverso do fator de conversão de 1,44) e 91,3% para a cadeia dos gases combustíveis (inverso do fator de 1,095).

Utilizando como exemplo as churrasqueiras elétricas e a gás disponíveis para instalação na varanda de edifícios residenciais, quando apenas a eficiência nominal desses equipamentos é considerada a regulamentação poderia indicar o uso da eletricidade como a fonte mais apropriada, no entanto, quando o consumo de energia primária é considerado através da eficiência acumulada, descobre-se que as eficiências dos equipamentos elétricos e a gás são semelhantes, como mostra a Tabela 32.

Tabela 32 - Eficiências mínimas e acumuladas das churrasqueiras para edifícios residenciais

Tipo de equipamento	Eficiência do equipamento (%)	Eficiência acumulada (%)
Churrasqueira elétrica	70,0	48,6
Churrasqueira a gás	50,0	45,7

Fonte: elaboração própria a partir de (Energy Star, 2011)

Por fim, aplicando o conceito de eficiência acumulada aos equipamentos para aquecimento de água, obtêm-se os resultados da Tabela 33.

Tabela 33 - Eficiências mínimas e acumuladas dos equipamentos residenciais para aquecimento de água

Tipo de equipamento	Eficiência do equipamento (%)	Eficiência acumulada (%)
<i>Boiler</i> elétrico	81,9	56,8
Chuveiro elétrico	95,0	65,9
Aquecedor de passagem a gás	84,8	77,4
Aquecedor de acumulação a gás	81,1	74,0

Fonte: elaboração própria a partir de (Inmetro, 2010b)

Observa-se uma inversão entre as eficiências dos equipamentos e as eficiências acumuladas dos equipamentos elétricos e a gás. Enquanto na primeira coluna o chuveiro elétrico possui uma eficiência superior frente os demais equipamentos, quando a eficiência acumulada é considerada, os aquecedores a gás apresentam vantagens em relação ao consumo de energia primária.

7. AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO_{2-E} NOS USOS FINAIS DA ENERGIA EM EDIFICAÇÕES

Aplicando-se os fatores de emissões de cada país ao processo de aquecimento de água, observa-se que o uso direto dos gases combustíveis reduz significativamente as emissões de CO_{2-E} frente ao uso da eletricidade. No entanto, no Brasil essa relação inverte-se e o uso da eletricidade é menos impactante, como mostra a Figura 37.

Para o cálculo das emissões de CO_{2-E} foram utilizadas as eficiências dos equipamentos avaliados no Capítulo 6, assim como os fatores de emissões definidos no Item 5.2.

Figura 37 - Emissões de CO_{2-E} por tipo de equipamento nos países analisados

Fonte: elaboração própria a partir de (Carbon Trust, 2010; Energy Star, 2008; IBEC, 2008; MCT, 2011)

Os valores em kg/kWh das emissões obtidos para cada país são apresentados na Tabela 34.

Tabela 34 - Emissões de CO_{2-E} por tipo de equipamento nos países analisados

Tipo de Equipamento	Consumo de Energia final	Emissões de CO _{2-E} (kg)			
		Brasil	EUA	Japão	Reino Unido
Chuveiro elétrico	105,0	5,36	62,58	58,28	57,23
Aquecedor de passagem a GN	119,4	21,85	19,11	21,73	22,09
Aquecedor de passagem a GLP	119,4	25,79	22,79	25,79	25,55

Fonte: elaboração própria

Para o cálculo das emissões de CO₂ desconsiderou-se as diferenças de vazões entre os equipamentos, partindo do princípio de que cada sistema fornece 100 unidades de energia útil aos consumidores, independente do energético utilizado.

Nos Estados Unidos o uso direto dos gases combustíveis emite em média menos 77% de GEE em relação ao uso da eletricidade, enquanto no Japão emite 59% menos e no Reino Unido 58% menos. No Brasil, como dito anteriormente, essa relação se inverte e o uso da eletricidade emite cerca de 4 vezes menos CO₂ que o uso dos gases combustíveis, no entanto, como será demonstrado no Capítulo 8, essa relação tenderá a diminuir nas próximas décadas.

Nas regulamentações internacionais analisadas as emissões de CO_{2-E} são calculadas para o consumo de energia final pela edificação no período de um ano. No Brasil só é possível estimar as emissões de CO₂ para as edificações certificadas através do método de simulação; o método prescritivo não determina o consumo de energia final, logo não pode ser utilizado para esse fim.

8. CENÁRIOS DE EVOLUÇÃO DOS FATORES DE CONVERSÃO E DE EMISSÕES DE CO_{2-E} DA ELETRICIDADE GERADA NO BRASIL

8.1 Fator de conversão da energia final em primária

Os cenários para avaliação dos fatores de conversão da eletricidade gerada no Brasil foram desenvolvidos de acordo com as estimativas do PNE 2030.

8.1.1 Cenário do Plano Nacional de Energia 2030

No PNE 2030 a EPE considera um crescimento médio do PIB de 4,1% ao ano entre 2005 e 2030, estima-se que a demanda de energia primária cresça 5% a.a. entre 2005 e 2010, 3,7% a.a. entre 2010 e 2020 e 3,5 a.a. entre 2020 e 2030. Segundo a EPE, a redução da taxa de crescimento anual da demanda por energia é fruto da melhoria da eficiência energética em toda cadeia de produção, desde a oferta até o consumo (EPE, 2007a, p.3).

De acordo com esse crescimento na demanda o consumo de eletricidade deverá aumentar de 375,2 TWh em 2005 para 1.032,7 TWh em 2030, ou seja, um crescimento de 275%. Para atender esse valor a EPE considerou não apenas um crescimento na potência instalada das usinas, mas também a contribuição de programas de autoprodução e eficiência energética. Na Tabela 35 são apresentados os principais indicadores de consumo e produção.

Tabela 35 - Principais indicadores de consumo e produção de eletricidade em 2030

Indicador	Eletricidade (TWh)
Oferta interna	1.197,6
Produção por centrais de serviço público	1.055,8
Importação líquida	43,9
Autoprodução	97,8
Perdas	164,9
Programas de eficiência energética ³⁹	-53,3
Consumo total	1.032,7

Fonte: (EPE, 2007b, p.250)

A oferta interna de eletricidade é constituída de duas fontes: produção e importação líquida, sendo que a primeira representa mais de 96% da oferta. As perdas técnicas representam 13,8%. A produção, por sua vez, também é dividida em duas fontes: produção pelas centrais de serviço público e autoprodução; a EPE considera que em 2030 a autoprodução será responsável por 8,5% da eletricidade gerada. Por fim, considera-se ainda uma contribuição de 4,9% dos programas de eficiência energética, contribuição essa que é debitada do consumo total.

A contribuição de cada fonte na produção de eletricidade pelas centrais de serviço público é apresentada na Tabela 36.

³⁹ A contribuição dos programas de eficiência energética já está descontada do consumo total no PNE 2030.

Tabela 36 - Geração de eletricidade pelas centrais de serviço público por fonte segundo o PNE 2030

Fonte	Eletricidade gerada (TWh)
Hidráulica	817,6
Térmica: gás natural	92,1
Térmica: biomassa da cana	33,5
Térmica: carvão mineral	31,4
Térmica: resíduos urbanos	6,8
Térmica: óleo combustível / diesel	0
Nuclear	51,6
Eólica	10,3
Outras fontes	12,5

Fonte: (EPE, 2007b, p.250)

Para comparar o percentual de participação de cada fonte estimado pela EPE, a matriz elétrica de 2030 foi comparada com a matriz elétrica de 2009. Os resultados são apresentados nas Figuras 38 e 39.

Figura 38 - Percentual de participação das centrais de serviço público por fonte em 2009

Fonte: (MME, 2010)

Figura 39 - Percentual de participação das centrais de serviço público por fonte em 2030

Fonte: (EPE, 2007b, p.250)

Percebe-se que a hidroeletricidade ainda permanece como principal fonte, no entanto sua participação percentual se reduz de 91% em 2009 para 77% em 2030. Para suprir essa diferença o gás natural aparece como opção principal, crescendo sua participação de 2% para 9%, enquanto outras fontes apresentam crescimento, porém ainda não se tornam tão representativas, como o bagaço de cana que passa de 0 a 3%; as fontes eólicas de 0 a 1%; as fontes nucleares de 3 a 5% e o carvão mineral de 1 para 3%. A EPE ainda considera que em 2030 o óleo combustível e o óleo diesel não serão mais utilizados para a geração de eletricidade.

8.1.2 Cenários de redução da participação hídrica

Na elaboração dos cenários para o PNE 2030, a EPE conclui que mesmo que se considere um acréscimo de 120.000 MW de origem hídrica até o ano de 2030, o que representaria um aproveitamento de 80% do potencial existente, ainda assim essa fonte não seria capaz de manter seu nível de participação na matriz elétrica atual, o que sinaliza uma perspectiva de esgotamento do potencial hidroelétrico brasileiro nas próximas duas décadas (EPE, 2007b, p.147).

Ainda assim, o cenário proposto no PNE 2030 baseia-se na expansão da geração hídrica com novos 88.000 MW até 2030, o que representa o aproveitamento de grande parte

do potencial hídrico ainda disponível na bacia Amazônica (EPE, 2007a). A EPE ainda estima que, apesar das distâncias maiores em relação aos centros de carga, as perdas nas redes de T&D irão se reduzir de 15,6% (MME, 2009, p.76) para 13,8%, e que o fator de capacidade médio das usinas hidroelétricas irá aumentar, atingindo o valor de 57,82%⁴⁰.

Considerando as discussões em torno da construção da usina de Belo Monte e o fato das usinas hidroelétricas instaladas na região Norte possuírem fatores de capacidade inferiores a média nacional, devido a restrições geográficas, hidrológicas e ambientais, foram elaborados mais três cenários onde a participação da hidroeletricidade se reduz devido a três fatores: (1) parte da apropriação do potencial hídrico na bacia Amazônica não se realiza; (2) o fator de capacidade previsto pela EPE não é alcançado; (3) a redução das perdas técnicas no sistema de T&D não é totalmente obtida. Nesses cenários a geração de eletricidade seguirá o modelo vigente de acionamento das termoelétricas a gás natural para garantia da oferta.

Por conta da soma desses fatores, os cenários elaborados prevêm uma redução da participação hídrica prevista pela EPE para 2030 de 10%; 15% e 20%, sendo chamados de: “EPE -10”; “EPE -15” e “EPE -20”.

Para o cálculo do fator de conversão foi utilizada a Equação 4 e os valores das eficiências acumuladas da Tabela 9. Os valores das perdas na rede de T&D foram atualizados para a previsão da EPE (13,8%) e a eficiência das usinas a gás natural elevada para 45%, considerando um aumento da participação das usinas com ciclos combinados.

8.1.3 Cenários de redução da eletrotermia para aquecimento de água

Para avaliação de como os gases combustíveis podem contribuir para a eficiência da matriz de geração elétrica, foram elaborados cenários de redução da eletrotermia para aquecimento de água, através da substituição dos equipamentos elétricos resistivos por aquecedores a gás. O percentual de substituição adotado para os cenários é baseado nas projeções de posse de chuveiros elétricos elaborada pela EPE para desenvolvimento do PNE 2030.

⁴⁰ Nos anos de 2000 a 2009 a média do fator de capacidade do parque hidroelétrico brasileiro foi de 51,57% (MME, 2010)

Para projeção dos valores apresentados na Tabela 35, a EPE partiu das estimativas de quatro cenários macroeconômicos: A; B1; B2 e C, cada um com um consumo de energia estimado em diferentes taxas anuais de crescimento do PIB. A Figura 40 apresenta a projeção de posse de chuveiros elétricos para cada cenário macroeconômico do PNE.

Figura 40 - Projeção de posse de chuveiros elétricos para 2030 nos cenários macroeconômicos elaborados pela EPE

Fonte: (EPE, 2007c, p.199-209)

Nesses cenários já está contemplada a expansão do uso do gás natural, para isso a EPE adotou a hipótese de que o crescimento do aquecimento a gás se dará na mesma proporção do crescimento médio do número de domicílios para o período de 2005 a 2015. Isso significa que, nas projeções, os chuveiros elétricos instalados até 2005 não serão substituídos e que a expansão do uso do aquecimento elétrico ainda será expressiva, aumentando sua participação em 38%, de 0,70 equipamentos por domicílio em 2005 para uma média de 0,97 em 2030 (EPE, 2007c, p.199-209).

A expansão do uso do chuveiro elétrico projetada significa que o aquecimento elétrico manterá sua participação na estrutura de consumo de eletricidade no setor residencial, como mostram as estimativas da EPE por cenário macroeconômico para essa variável (Figura 41).

Figura 41 - Projeção de posse de chuveiros elétricos para 2030 nos cenários macroeconômicos elaborados pela EPE

Fonte: (EPE, 2007c, p.221-222)

Partindo de 25% em 2005, a participação do aquecimento de água na estrutura do consumo do setor residencial varia comedido nos cenários macroeconômicos do PNE 2030. Só é observada uma redução da participação percentual no Cenário A, onde o aquecimento de água representará 23% do consumo de eletricidade. Em média, a participação do aquecimento de água no setor residencial crescerá 1 p.p., passando de 25% para 26% no fim do período analisado.

Segundo dados do *Balanço de Energia Útil* (BEU), no ano de 2004 o consumo de eletricidade para aquecimento de água nos setores residencial, comercial e público foi de 20,80 TWh, o que representou 5,5% do consumo total de eletricidade no país (MME, 2005). Em 2030, somente o consumo do setor residencial para esse fim deverá representar 7,14% do consumo total de eletricidade, o que equivale a 73,69 TWh, como mostra a Tabela 37.

Tabela 37 - Consumo de eletricidade para aquecimento de água no setor residencial em 2030

Consumo de Eletricidade para Aquecimento de Água no setor Residencial em 2030	
Consumo de eletricidade total (TWh)	1.032,7
Consumo de eletricidade do setor residencial (TWh)	283,3
Participação média do aquecimento de água nos cenários macroeconômicos da EPE (%)	26%
Consumo de eletricidade para aquecimento de água (TWh)	73,69
Participação do aquecimento de água frente ao consumo total de eletricidade (%)	7,14%

Fonte: elaboração própria a partir de (EPE, 2007b; 2007c)

Com base nos dados apresentados, os cenários elaborados para avaliação do fator de conversão em 2030, em função da redução da eletrotermia proporcionada por uma maior utilização dos gases combustíveis, são: agressivo (redução de 80% do consumo de eletricidade para aquecimento de água) moderado (redução de 50%) e conservador (redução de 25%). Nesses cenários a redução do consumo de eletricidade é debitada do total gerado pelas usinas termoeletricas a gás natural (que possuem maior flexibilidade de operação).

8.2 Resultados para o fator de conversão da energia

Os resultados obtidos para a evolução do fator de conversão da eletricidade, de acordo com os cenários propostos, são apresentados na Figura 42.

Figura 42 - Cenários de evolução do fator de conversão da eletricidade no Brasil para os cenários elaborados

Fonte: elaboração própria

Nota-se que o cenário da EPE apresentado no PNE 2030 representa uma elevação no fator de conversão de 1,44 para 1,49 e que caso as premissas assumidas não sejam obtidas, o que representaria uma redução da participação percentual da eletricidade de origem hídrica, o fator de conversão pode se elevar ainda mais para 1,62 (com 10% a menos de hidroeletricidade); 1,68 (com 15% a menos) e 1,75 (com 20% a menos).

Os cenários de redução da eletrotermia para aquecimento de água, ao permitir uma redução da necessidade de acionamento das termoeletricas a gás natural, proporcionaram ganhos de eficiência em relação ao cenário EPE de referência. No cenário conservador o fator de conversão obtido é de 1,47, no cenário moderado de 1,45 e no cenário agressivo de 1,42, o que representa inclusive um ganho de eficiência em relação aos anos de 2005 a 2009, mesmo com o aumento no consumo de eletricidade previsto.

É importante ressaltar que a substituição da eletrotermia também proporciona uma economia no consumo de gás natural, uma vez que a eficiência das usinas termoeletricas a GN consideradas nas estimativas é de 45%, enquanto os aquecedores a gás natural possuem eficiências superiores a 80%.

8.3 Fator de emissões de CO_{2-E}

Para avaliação do fator de emissões de CO_{2-E} foram adotados os mesmos cenários utilizados para análise da evolução do fator de conversão da eletricidade: cenário de referência: EPE (PNE 2030); cenários de redução da participação hídrica: EPE -10; EPE -15 e EPE -20; e cenários de redução da eletrotermia para aquecimento de água: Agressivo; Moderado e Conservador. Para cálculo do fator de emissões foi utilizada a Equação 6.

8.4 Resultados para o fator de emissões de CO_{2-E}

Utilizando a mesma metodologia adotada para análise do fator de conversão, foi adotado como ponto de partida a média do fator de emissões de CO_{2-E} dos anos de 2005 a 2009. Os resultados obtidos para os cenários propostos são apresentados na Figura 43.

Figura 43 - Cenários de evolução do fator de emissões de CO_{2-E} da eletricidade no Brasil para os cenários elaborados

Fonte: elaboração própria

Nota-se que o cenário da EPE apresentado no PNE 2030 representa uma elevação de 433% no fator de emissões que passa de 0,036 para 0,156 tCO₂/MWh e que caso as premissas assumidas não sejam obtidas, o que representaria uma redução da participação percentual da

eletricidade de origem hídrica, o fator de emissões pode se elevar ainda mais para 0,253 (EPE -10); 0,302 (EPE -15) e 0,351 (EPE -20). Com exceção do cenário de referência da EPE, todos os cenários de redução da participação hídrica apresentaram fatores de emissões superiores ao uso direto dos gases combustíveis, que são de 0,183 para o gás natural e 0,216 para o gás LP.

Os cenários de redução da eletrotermia, ao permitir uma redução da necessidade de acionamento das termoeletricas a gás natural, apresentaram fatores de emissões inferiores ao cenário EPE de referência. No cenário conservador o fator de emissões obtido é de 0,134, no cenário moderado de 0,112 e no cenário agressivo de 0,086.

Ao contrário do observado com o fator de conversão, nenhum cenário elaborado para 2030 é capaz de reduzir o fator de emissões de $\text{CO}_{2\text{-E}}$, que deverá se elevar em relação à média dos anos de 2005 a 2009.

9. CONCLUSÕES

À metodologia para seleção dos países permitiu a construção de um panorama internacional com pontos comuns entre as regulamentações, que foram classificados em sete parâmetros:

1. Tratamento regulatório: voluntário; obrigatório.
2. Objetivo principal⁴¹: reduzir o consumo de energia das edificações; reduzir as emissões dos GEE.
3. Indicador de eficiência: termodinâmicos; físico-termodinâmicos.
4. Método de avaliação da eficiência energética adotado: consumo de energia; consumo de energia pela área da edificação ou do ambiente analisado; toneladas de CO_{2-E} emitidas pelo consumo de energia; atendimento aos requisitos de cada sistema parcial em função dos Níveis de eficiência determinados.
5. Forma de cálculo: estimativa ou medição.
6. Abordagem do conceito de eficiência: ampliada quantitativa; ampliada qualitativa; simplificada.
7. Cálculo das emissões de GEE.

A análise das regulamentações brasileiras frente o panorama internacional revelou que o modelo adotado no Brasil é compatível com os modelos adotados nos países analisados e que ainda existe espaço para novas medidas, como a avaliação do consumo de energia primária e das emissões de CO_{2-E}, para isso é fundamental um esforço no sentido de se aprimorar as metodologias de avaliação, de forma a se estimar o consumo de energia final pelas edificações.

As metodologias atuais empregadas nos regulamentos técnicos brasileiros não permitem a incorporação direta da avaliação do consumo de energia primária e das emissões

⁴¹ Partindo do princípio de que o conforto térmico deve sempre ser atendido, independente da zona bioclimática ou do tipo da edificação.

de CO_{2-E}. No caso da energia primária é possível uma incorporação indireta, tanto no método prescritivo, quanto no método de simulação, através do conceito de eficiência acumulada, já o cálculo das emissões de CO_{2-E} exige que o consumo de energia final seja definido, logo só pode ser aplicado atualmente no método de simulação.

A utilização de um conceito mais abrangente de eficiência energética, através de uma regulamentação ampliada quantitativa, permite quantificar o consumo de energia primária e assim identificar quais as rotas tecnológicas e os energéticos mais apropriados para a produção de energia útil, caracterizando-se assim como uma importante ferramenta para as políticas de eficiência energética.

À metodologia proposta para o cálculo do fator de conversão da energia final em primária mostrou-se satisfatória, permitindo não apenas calcular o fator de conversão atual para o Brasil, como também avaliar sua evolução histórica e seu comportamento futuro em cenários energéticos diferentes.

Através das análises do consumo de energia nos usos finais nas edificações e dos cenários de evolução da matriz de geração elétrica para o ano de 2030, conclui-se que a utilização direta dos gases combustíveis pode contribuir para a racionalização energética no país.

Em relação aos cenários de 2030, a EPE, para realizar as estimativas de consumo e geração de eletricidade, considera a contribuição da autoprodução, assim como as reduções de consumo proporcionadas por políticas de eficiência energética. As contribuições dos cenários de redução da eletrotermia para aquecimento de água no setor residencial, identificadas na pesquisa, reforçam a importância de se considerar também esse parâmetro nas estimativas futuras, assim consolidando a redução do consumo de energia primária nas políticas de eficiência energética como um todo.

A substituição da eletrotermia pelos gases combustíveis no setor residencial também contribui para a redução da carga de consumo da eletricidade, devido à redução do fator de simultaneidade da utilização dos chuveiros elétricos, que atualmente se concentra no período das 17 às 21h, conforme a curva de carga diária média no Brasil (Figura 44).

Figura 44 – Curva de carga diária média no Brasil

Fonte: (Procel, 2007, p.18)

Nota-se que a curva de carga média apresentada na Figura 44 representa o consumo estimado para o ano base de 2005 e que o aumento de renda da população observado nos últimos anos tem se refletido tanto na duração, quanto na intensidade do horário de ponta. Isso se deve a busca pelo conforto térmico, seja pela substituição dos chuveiros elétricos por duchas elétricas de maior potência⁴², seja pela aquisição de condicionadores elétricos de ar, tanto para refrigeração, quanto para aquecimento de ambientes⁴³.

Apesar de a pesquisa considerar apenas a eletrotermia para aquecimento de água no setor residencial são avaliados potenciais de redução também nos demais setores. Strapasson & Fagá (2007) destacam que 18% do consumo de eletricidade no país é destinado à produção de calor. Desse valor, o setor comercial possui um percentual de substituição de 20,2% a 48,6%, enquanto o setor industrial apresenta percentuais que variam de 17,9% a 36,0%, dependendo do cenário adotado.

A análise da evolução histórica dos fatores de conversão e de emissões para o período de 1970 a 2009 revela um quadro de crescimento dos fatores, que se intensificou a partir de 2000 com a crise energética. A opção de promover o uso do gás natural para geração de

⁴² Enquanto um chuveiro elétrico comum possui uma potência entre 4500 e 5500 W, uma ducha elétrica possui potências que variam de 6400 a 7500 W (Lorenzetti, 2011).

⁴³ Em janeiro de 2010, por exemplo, o consumo de eletricidade no setor residencial aumentou 7,5% em relação ao mesmo mês do ano de 2009, batendo seu recorde histórico. O aumento foi gerado pela maior utilização dos condicionadores de ar, devido às altas temperaturas registradas (Júnior, 2010).

eletricidade deu-se em um quadro de segurança de suprimento, fundamental para garantia da oferta de eletricidade, porém a replicação desse modelo nos próximos anos não deve deixar de considerar e promover os usos mais eficientes dos gases combustíveis, principalmente no processo de aquecimento de água.

Por fim, os cenários de evolução dos fatores de conversão e de emissões demonstraram que a eletricidade gerada no Brasil exigirá um consumo maior de recursos primários, seja por conta do aumento do consumo, seja por conta da redução da eficiência acumulada da matriz de geração. As emissões de CO₂-E também aumentarão significativamente, mesmo que as previsões da EPE, baseadas em uma grande expansão do parque hidroelétrico na região Amazônica, se realizem. O uso dos gases combustíveis e o aumento da eficiência energética das edificações podem colaborar para minimizar esses impactos.

Nota-se ainda que apenas uma redução no consumo de energia primária não é suficiente para viabilizar a expansão dos gases combustíveis nos usos finais nas edificações, também é de extrema importância considerar as infraestruturas necessárias ao seu transporte e distribuição, tanto no interior dos edifícios já construídos, quanto na penetração do gás natural, ainda não disponível em muitos municípios brasileiros.

Identificam-se limitações à metodologia proposta, relacionadas principalmente a qualidade dos dados existentes para o cálculo da eficiência acumulada dos diferentes tipos de fontes. Nota-se que também é necessário definir os perfis de consumo de energia dos diferentes tipos de edificações nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. Essas limitações requerem a criação e o aperfeiçoamento de uma base de dados mais robusta, o que abre caminho para novos estudos.

Outra limitação identificada na implantação das políticas de eficiência energética para edificações é a não consideração dos investimentos econômicos necessários para viabilização dos requisitos de eficiência estipulados, assim como a não consideração do fator de retorno de capital necessário para se obter as medidas propostas, o que pode reduzir a efetividade dessas políticas quando aplicadas ao setor construtivo. As avaliações econômicas também representam uma importante oportunidade para realização de novas pesquisas.

REFERÊNCIAS

ABC - ASIA BUSINESS COUNCIL. **Energy Efficiency Building Standards in Japan.** , p. 1-9. Disponível em http://www.asiabusinesscouncil.org/docs/BEE/papers/BEE_Policy_Japan.pdf, visitado em março de 2011. 2008.

ABCB - AUSTRALIAN BUILDING CODES BOARD. **Energy Efficiency Provisions for Housing.** Disponível em <http://www.abcb.gov.au/index.cfm?objectid=7384D70B-28B9-11DE-835E001B2FB900AA>, visitado em março de 2011. 2011.

_____. **Energy Efficiency General Information Update.** Disponível em <http://www.abcb.gov.au/index.cfm?objectid=7387480A-28B9-11DE-835E001B2FB900AA>, visitado em março de 2011. 2011.

_____. **Energy Efficiency Provisions for Multi-Residential and Commercial Buildings.** Disponível em <http://www.abcb.gov.au/index.cfm?objectid=7387480C-28B9-11DE-835E001B2FB900AA>, visitado em março de 2011. 2011.

ABEGAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE GÁS NATURAL. **Comercialização de Gás Natural - Dados Estatísticos.** Disponível em http://www.abegas.org.br/arquivos/comercializacao_2009.xls, visitado em março de 2011. 2010.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Produção de Gás Natural.** Disponível em <http://www.anp.gov.br/?dw=8488>, visitado em março de 2011. 2010.

ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Standard 90.1 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.** p.1-190, 2007.

_____. **ASHRAE Building energy Labeling Program - Promoting the Value of Energy Efficiency In the Real Estate market.** p.32, 2008.

_____. **Building Energy Quotient Program.** p.19, 2009.

_____. **ASHRAE Standard 90.1 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.** p.1-191, 2010.

AUSTRALIAN GOVERNMENT. **Australia's guide to environmentally sustainable homes**. Disponível em <http://www.yourhome.gov.au/technical/fs65.html>, visitado em maio de 2011. 2010.

_____. **National Framework for Energy Efficiency**. Disponível em <http://www.ret.gov.au/Documents/mce/energy-eff/nfee/default.html>, visitado em maio de 2011. 2011.

_____. **National Strategy on Energy Efficiency: Buildings**. Disponível em <http://www.climatechange.gov.au/what-you-need-to-know/buildings.aspx>, visitado em maio de 2011. 2011.

BEE - BUREAU OF ENERGY EFFICIENCY. **Energy Conservation Building Code User Guide**. New Delhi, India, 2009.

BRASIL. **Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia - Lei 10.295 de 17 de outubro de 2001**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10295.htm, visitado em maio de 2011. 2001.

_____. **Decreto 4059 de 19 de dezembro de 2001** - Regulamenta a Lei 10.295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional da Energia. . Disponível em <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/100157/decreto-4059-01>, visitado em maio de 2011. 2001.

BROOKES, L. **Energy efficiency fallacies revisited**. Energy Policy, v. 28, n. 6-7, p. 355-366. doi: 10.1016/S0301-4215(00)00030-6, 2000.

BUREAU, U. S. C. **International Data Base (IDB), Countries and Areas Ranked by Population:2011**. Disponível em <https://www.census.gov/ipc/www/idb/rank.php>, visitado em fevereiro de 2011. 2011.

CARBON TRUST. **Conversion factors - Energy and carbon conversions**Energy. p.1-9. Disponível em <http://www.carbontrust.co.uk/publications/pages/publicationdetail.aspx?id=CTL113>, visitado em fevereiro de 2011. 2010.

CEA - COMMUNITY ENERGY ASSOCIATION. **Energy Efficiency & Buildings Manual**. Disponível em http://www.communityenergy.bc.ca/sites/default/files/Policy_Manual_final.pdf, visitado em fevereiro de 2011. 2007.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **DIN V 18599-1 - Energy efficiency of buildings: Calculation of the energy needs , delivered energy and primary energy for heating , cooling , ventilation , domestic hot water and lighting. , p. 1-66, 2007.**

_____. **DIN EN 15603 - Energy Performance of Buildings: Overall energy use and definition of energy ratings, 2008.**

CHAGURI, J. **Sistemas Prediais de Aquecimento de Água e Gás: Parâmetros de Dimensionamento e Gerenciamento.** Dissertação de Mestrado apresentada para Obtenção do Título de Mestre em Ciências: Universidade de São Paulo, 2009.

CHINA, C. DE E. **Código Civil de Energia.** . Disponível em http://www.gov.cn/zwgk/2008-08/07/content_1067038.htm, visitado em fevereiro de 2011. 2008.

COGENCO. **Combined Heat and Power.** Fuel Cells Bulletin, v. 3, n. 26, p. 13-13. doi: 10.1016/S1464-2859(00)80192-3, 2000.

COOPERATION, E.-J. C. FOR I. **Energy Efficiency in Buildings : European Experience and Japanese Situation.** Presentations, n. November, 2008.

CULLEN, J. M.; ALLWOOD, J. M. **The efficient use of energy: Tracing the global flow of energy from fuel to service.** Energy Policy, v. 38, n. 1, p. 75-81. doi: 10.1016/j.enpol.2009.08.054, 2010.

CUNHA, E. G.; VAUPEL, K.; LUCKING, R.-M. **Análise da Norma de Eficiência Energética Alemã EnEV 2007 e Apresentação de Possíveis Contribuições para o Caso Brasileiro.** Disponível em <http://www.usp.br/nutau/CD/trabalhos.html>, 2008, visitado em fevereiro de 2011.

CZACHORSKI, M.; LESLIE, N. **Source Energy and Emission Factors for Building Energy Consumption.** Buildings. Washington, USA: Natural Gas Codes and Standards Research Consortium, 2009.

DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT. **The Government's Methodology for the Production of Operational Ratings, Display Energy Certificates and Advisory Reports, 2008.**

DEPARTMENT OF FINANCE AND PERSONNEL. **Improving the Energy Efficiency of Our Buildings.** p.46. Disponível em www.dfpni.gov.uk, 2008.

DIAKAKI, C.; GRIGOROUDIS, E.; KOLOKOTASA, D. **Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings**. Energy and Buildings, v. 40, n. 9, p. 1747-1754. doi: 10.1016/j.enbuild.2008.03.002, 2008.

EIA - U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International Energy Statistics: World Apparent Consumption of Refined Petroleum Products**. Disponível em <http://www.eia.doe.gov/iea/pet.html>, visitado em fevereiro de 2011. 2005.

_____. **International Energy Statistics: Total Primary Energy Consumption**.

Disponível em

<http://tonto.eia.doe.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=44&pid=45&aid=2&cid=regions&syid=2008&eyid=2008&unit=QBTU>, visitado em fevereiro de 2011. 2008.

_____. **International Energy Statistics: Natural Gas Consumption**. Disponível em

<http://tonto.eia.doe.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=3&pid=26&aid=2&cid=regions&syid=2009&eyid=2009&unit=BCF>, visitado em fevereiro de 2011. 2009.

_____. **International Energy Statistics: Nuclear Electricity Net Generation**. Disponível em

<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=2&pid=27&aid=12&cid=regions&syid=2009&eyid=2009&unit=BKWH>, visitado em fevereiro de 2011. 2010.

_____. **Annual Energy Review 2009**. Disponível em

<http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/contents.html>, visitado em fevereiro de 2011. 2010.

_____. **International Energy Statistics: Electricity Net Generation by Type**. Disponível em

<http://tonto.eia.doe.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=2&pid=2&aid=12>, visitado em fevereiro de 2011. 2010.

ENERGY STAR. **Greenhouse Gas Inventory and Tracking in Portfolio Manager**. p.1-5, 2008.

_____. **ENERGY STAR Performance Ratings Methodology for Incorporating Source Energy Use**Energy, 2009.

_____. **ENERGY STAR Performance Ratings Technical Methodology**Methodology. p.1-12, 2009.

_____. **Energy Efficiency Requirements for Single and Double Sided Commercial Gas Griddles Cooking**. p.1-2, 2011.

ENEV. **German Energy Saving Ordinance** (Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung), 2009.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2030 - Informe à imprensa**. p.1-8, 2007.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030**. p.408. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

_____. **Plano Nacional de Energia 2030 - Projeções**. p.371. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

FUMO, N.; CHAMRA, L. M. **Analysis of combined cooling, heating, and power systems based on source primary energy consumption**. Applied Energy, v. 87, n. 6, p. 2023-2030. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.apenergy.2009.11.014, 2010.

GELLER, H. **O Uso Eficiente da Eletricidade: Uma Estratégia de Desenvolvimento para o Brasil** (A. INEE, Ed.). Rio de Janeiro, RJ, 1994.

GIAMBIAGI, F.; VILLELA, A.; BARROS, L.; HERMANN, J. **Economia Brasileira Contemporânea (1945-2004)**. Rio de Janeiro, RJ: Ed. Campus, 2005.

GOLDEMBERG, J.; JOHANSSON, T.; REDDY, A.; WILLIAMS, R. **Energy efficiency from the perspective of developing countries**. Energy for Sustainable Development, v. 1, n. 2, p. 28-34. doi: 10.1016/S0973-0826(08)60029-0, 1994.

GOWRI, K. **What is new in ASHRAE 90.1-2010?**Energy. Richland, WA, 2010.

HAAS, R.; SCHIPPER, L. **Residential energy demand in OECD-countries and the role of irreversible efficiency improvements**. Energy Economics, v. 20, p. 421-442. doi: 10.1016/S0140-6701(99)96911-4, 1998.

HERRING, H. **Energy efficiency—a critical view**. Energy, v. 31, n. 1, p. 10-20. doi: 10.1016/j.energy.2004.04.055, 2006a.

HUI, S. C. M. **Building energy efficiency standards in Hong Kong and mainland China**. Proceedings of the 2000 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Pacific Grove, California, 2000.

IBEC - INSTITUTE FOR BUILDING ENVIRONMENT AND ENERGY CONSERVATION. **CASBEE for New Construction - Technical Manual 2008 Edition**Environment, 2008.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Efficiency Policies - Japan - Act Concerning the Rational Use of Energy**. Disponível em <http://www.iea.org/textbase/pm/?mode=pm&action=detail&id=2606>, visitado em abril de 2011. 2006.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Portaria 163 de 08 de julho de 2009. Brasília, 2009.

_____. **Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Portaria 372 de 17 de setembro de 2010. Brasília, 2010.

_____. **Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais**. Portaria 449 de 25 de novembro de 2010. Brasília, 2010.

_____. **Histórico da Eficiência Energética no Brasil**. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>, visitado em maio de 2011. 2011.

_____. **Programa Brasileiro de Etiquetagem**, 2011.

IWARO, J.; MWASHA, A. **A review of building energy regulation and policy for energy conservation in developing countries**. Energy Policy, v. 38, n. 12, p. 7744-7755. doi: 10.1016/j.enpol.2010.08.027, 2010.

JAPAN GOVERNMENT. **Energy Rational Use Law**. Disponível em <http://www.eccj.or.jp/law/e-law.html#3>, visitado em março de 2011. 1979.

_____. **Energy Rational Use Law**, Revisão de 2008. Maio, p. 1-111. Disponível em http://www.asiaeec-col.eccj.or.jp/law/revised/rue_2.pdf, visitado em junho de 2011. 2008.

JÚNIOR, C. **Residências batem recorde de consumo de energia para janeiro, diz EPE**. Folha de São Paulo, p. Caderno Dinheiro, edição de 24 de fevereiro. São Paulo. Disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/folha/dinheiro/ult91u698388.shtml>, 2010, visitado em maio de 2011.

KEARSLEY, D.; MCLENNAN, S. **Energy Efficiency Changes BCA 2010**. Building Commission Presentation. Disponível em http://www.buildingcommission.com.au/resources/documents/BCA_2010_Energy_Efficiency_Changes_Vol_1.pdf, visitado em fevereiro de 2011. 2010.

LABEEE - LABORATÓRIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Modelo de ENCE para projeto de edificação**. Santa Catarina. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br>, visitado em maio de 2011. 2011.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiencia Energética na Arquitetura**. Sao Paulo: PW Gráficos e Editores Associados Ltda., 1997.

LAMBERTS, R.; MORISHITA, C.; SORGATO, M. J.; et al. **Manual de aplicação do RTQ-R**. 1st ed. Santa Catarina, 2011.

LIMA, K. **Petrobrás descarta autossuficiência na produção de GLP**. O Estado de São Paulo, p. Caderno de Economia, edição de 8 de outubro. São Paulo. Disponível em <http://www.estadao.com.br/noticias/economia,petrobras-descarta-autossuficiencia-na-producao-de-glp,447928,0.htm>, visitado em abril de 2011. 2009.

LOMBARD, L. P.; ORTIZ, J.; POUT, C. **A review on buildings energy consumption information**. Energy and Buildings, v. 40, n. 3, p. 394-398. doi: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007, 2008.

LORENZETTI. **Produtos: Duchas e Chuveiros Elétricos**. Disponível em http://www.lorenzetti.com.br/portal_duchas.asp, visitado em abril de 2011. 2011.

MARUYAMA, N.; ECKELMAN, M. J. **Long-term trends of electric efficiencies in electricity generation in developing countries**. Energy Policy, v. 37, n. 5, p. 1678-1686. doi: 10.1016/j.enpol.2008.12.004, 2009.

MATROSOV, Y. A.; CHAO, M.; GOLDSTEIN, D. B.; MAJERSIK, C. **Recent Advances in Energy Codes in Russia and Kazakhstan: Innovation, Energy Savings, Market Transformation**. American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), p. 1-11. Disponível em http://www.imt.org/Papers/Russia-Kazakhstan_ACEEE2004.pdf, visitado em janeiro de 2011. 2004.

MCE - MINISTERIAL COUNCIL ON ENERGY. **NatHERS - Nationwide House Energy Rating Scheme**. Disponível em <http://www.nathers.gov.au/index.html>, visitado em fevereiro de 2011. 2011.

_____. **NatHERS Starbands**. Disponível em <http://www.nathers.gov.au/about/pubs/starbands.pdf>, visitado em fevereiro de 2011. 2011.

MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Fatores de Emissão de CO2 pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil**. Disponível em <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/72764.html>, visitado em junho de 2011. 2010.

METI - MINISTRY OF ECONOMY TRADE AND INDUSTRY. **Guia do Programa de Etiquetagem de Eficiência Energética**. Disponível em <http://www.enecho.meti.go.jp/policy/saveenergy/syouenenosusume.pdf>, visitado em abril de 2011. 2011.

MINISTÈRE DE L'EMPLOI DE LA COHÉSION SOCIALE ET DU LOGEMENT. **Arrêté du 15 septembre 2006 relatif au diagnostic de performance énergétique pour les bâtiments existants proposés à la vente en France métropolitaine** Texte - Revue de Critique et de Theorie Litteraire. Disponível em <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000788395>, visitado em março de 2011. 2006.

_____. **Arrêté du 09 de novembre 2006 portant approbation de diverses méthodes de calcul pour le diagnostic de performance énergétique en France métropolitaine**. p.1-100, 2006.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanço de Energia Útil**. Disponível em [www.ee.pucrs.br/~eberson/Balanço de Energia Útil 2005.pdf](http://www.ee.pucrs.br/~eberson/Balanço%20de%20Energia%20Útil%202005.pdf), visitado em janeiro de 2011. 2005.

_____. **Projeção da Demanda de Energia Elétrica**. Nota Técnica DEA 15/09, 2009.

_____. **Balanço Energético Nacional**. Disponível em <https://www.ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2010.aspx>, visitado em janeiro de 2011. 2010.

MO, K.; BURT, L.; HAO, B.; et al. **Comparative Analysis of U.S. and China Building Energy Rating and Labeling Systems**, 2010.

NAIMA - NORTH AMERICAN INSULATION MANUFACTURERS ASSOCIATION. **State Adoption of ASHRAE 90 . 1**. p.1-2. Disponível em <http://www.naima.org/publications/MBMAP.PDF>, visitado em maio de 2011. 2004.

NRCAN – NATIONAL RESOURCES CANADA. **R-2000 Standard: 2005 Edition**. Disponível em <http://oe.nrcan.gc.ca/residential/personal/new-homes/r-2000/standard/current/>, visitado em janeiro de 2011. 2005.

OEE - OFFICE OF ENERGY EFFICIENCY. **Model National Energy Code for Buildings**, 1997.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Histórico de Operação: Geração de Energia**. Disponível em http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx, visitado em janeiro de 2011. 2010.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Realizing the Potential of Energy Efficiency**. p.72. Washington, DC, 2007.

PATTERSON, M. **What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues**. Energy Policy, v. 24, n. 5, p. 377-390. doi: 10.1016/0301-4215(96)00017-1, 1996.

PROCEL - PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil - Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso**. p.187. Rio de Janeiro, RJ, 2007.

REPÚBLICA FEDERAL DA ALEMANHA. **Texto Regulatório da EnEV 2002**. Disponível em http://www.heiz-tipp.de/ratgeber-748-verordnungstext_enev_2002.html, visitado em fevereiro de 2011. 2002.

_____. **Certificado de Energia para Edifícios Não-residenciais**, 2009.

RICHERZHAGEN, C.; FRIELING, T.; HANSEN, N.; et al. **Energy Efficiency in Buildings in China**. p.121, 2008.

RUSSIAN FEDERATION. **SNiP 23-02: Thermal Performance of Buildings**. 2003.

SANTOS, E. M. DOS; ZAMALLOA, G. C.; VILLANUEVA, L. D.; FAGÁ, M. T. W. **Gás Natural - Estratégias Para Uma Energia Nova No Brasil**. p.352p. Annablume Editora, 2002.

SCHMIDT, M. **The Sankey Diagram in Energy and Material Flow Management**. Journal of Industrial Ecology, v. 12, n. 1, p. 82-94. doi: 10.1111/j.1530-9290.2008.00004.x, 2008.

SIMS, R., SCHOCK, R., ADEGBULULGBE, A., FENHANN, J., KONSTANTINAVICIUTE, I., MOOMAW, W.; NIMIR, H., SCHLAMADINGER, B., TORRES-MARTÍNEZ, J., TURNER, C., UCHIYAMA, Y., VUORI, S.; WAMUKONYA, N., ZHANG, X. **Energy supply. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

SORRELL, S. **Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency**. Energy Policy, v. 37, n. 4, p. 1456-1469. doi: 10.1016/j.enpol.2008.12.003, 2009.

STRAPASSON, A. B.; FAGÁ, M. T. W. **Energy Efficiency and Heat Generation an Integrated Analysis of the Brazilian Energy Mix**. International Energy Journal, v. 8, n. 3, p. 171-179. Disponível em <http://www.rericjournal.ait.ac.th/index.php/reric/article/view/214>, visitado em abril de 2011. 2007.

SUN, Z. **Energy efficiency and economic feasibility analysis of cogeneration system driven by gas engine**. Energy and Buildings, v. 40, n. 2, p. 126-130. doi: 10.1016/j.enbuild.2007.01.013, 2008.

THE EUROPEAN PARLIAMENT. **Diretiva Comunitária 2002/91/CE sobre o desempenho energético das edificações**. 2003.

_____. **Diretiva Comunitária 2010/31/UE sobre o desempenho energético das edificações**. 2010.

VARONE, F.; AEBISCHER, B. **Energy efficiency: the challenges of policy design**. Energy Policy, v. 29, n. 8, p. 615-629. doi: 10.1016/S0301-4215(00)00156-7, 2001.

WBCSD - WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Energy Efficiency in Buildings - Business realities and opportunities**, 2007.

_____. **Energy Efficiency in Buildings - Transforming the Market**, 2008.

YANTI, P. A A; MAHLIA, T. M. I. **Considerations for the selection of an applicable energy efficiency test procedure for electric motors in Malaysia: Lessons for other developing countries**. Energy Policy, v. 37, n. 9, p. 3467-3474. Elsevier. doi: 10.1016/j.enpol.2009.05.032, 2009.

ANEXOS

ANEXO A	Alemanha: Exemplo de certificado de desempenho energético	164
ANEXO B	Estados Unidos - <i>Energy Star</i> : Exemplo de certificado de desempenho energético	165
ANEXO C	França: exemplo de certificado de desempenho energético	166
ANEXO D	Reino Unido: exemplo de certificado de desempenho energético	167

ANEXO A – ALEMANHA: EXEMPLO DE CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Erfasster Energieverbrauch des Gebäudes

3

Energieverbrauchskennwert

Dieses Gebäude:

187.4 kWh/(m²a)

Energieverbrauch für Warmwasser:
☒ enthalten
☐ nicht enthalten

☐ Das Gebäude wird auch gekühlt; der typische Energieverbrauch für Kühlung beträgt bei zeitgemäßen Geräten etwa 6 kWh je m² Gebäudenutzfläche und Jahr und ist im Energieverbrauchskennwert nicht enthalten.

Verbrauchserfassung – Heizung und Warmwasser

Energieträger	Abrechnungszeitraum		Brennstoffmenge [kWh]	Anteil Warmwasser [kWh]	Klimafaktor	Energieverbrauchskennwert in kWh/(m²·a) (zeitlich bereinigt, klimabereinigt)			
	von	bis				Heizung	Warmwasser	Kennwert	
Leichtes Heizöl EL	01.01.02	31.12.02	25000	4500	1.12	143.5	28.1	171.6	
Leichtes Heizöl EL	01.01.03	31.12.03	30000	5400	1.09	167.6	33.7	201.3	
Leichtes Heizöl EL	01.01.04	31.12.04	28000	5040	1.10	157.8	31.5	189.3	
								Durchschnitt	187.4

Vergleichswerte Endenergiebedarf

Passivhaus

MFH Neubau

EFH Neubau

EFH energetisch gut modernisiert

Durchschnitt Wohngebäude

MFH energetisch nicht wesentlich modernisiert

EFH energetisch nicht wesentlich modernisiert

Die modellhaft ermittelten Vergleichswerte beziehen sich auf Gebäude, in denen die Wärme für Heizung und Warmwasser durch Heizkessel im Gebäude bereitgestellt wird.
Soll ein Energieverbrauchskennwert verglichen werden, der keinen Warmwasseranteil enthält, ist zu beachten, dass auf die Warmwasserbereitung je nach Gebäudegröße 20 – 40 kWh/(m²·a) entfallen können.
Soll ein Energieverbrauchskennwert eines mit Fern- oder Nahwärme beheizten Gebäudes verglichen werden, ist zu beachten, dass hier normalerweise ein um 15 – 30 % geringerer Energieverbrauch als bei vergleichbaren Gebäuden mit Kesselheizung zu erwarten ist.

Erläuterungen zum Verfahren

Das Verfahren zur Ermittlung von Energieverbrauchskennwerten ist durch die Energieeinsparverordnung vorgegeben. Die Werte sind spezifische Werte pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche (A₀) nach Energieeinsparverordnung. Der tatsächliche Verbrauch einer Wohnung oder eines Gebäudes weicht insbesondere wegen des Witterungseinflusses und sich ändernden Nutzerverhaltens vom angegebenen Energieverbrauchskennwert ab.

* EFH – Einfamilienhäuser, MFH – Mehrfamilienhäuser

Fonte: Ingenierbüro Otto, 2011. Disponível em <http://www.energieberatung-otto.de/Bilder/energieausweis.jpg>. Acessado em 07 de junho de 2011.

ANEXO B – ESTADOS UNIDOS – *ENERGY STAR*: EXEMPLO DE CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

STATEMENT OF ENERGY PERFORMANCE Office Sample Facility	
		Building ID: 1678984 For 12-month Period Ending: May 31, 2009 ¹ Date SEP becomes ineligible: September 28, 2009	
		Date SEP Generated: August 27, 2009	
Facility Office Sample Facility 1234 Main Street Charlotte, NC 28227		Facility Owner Sample Owner 1500 Test Avenue Charlotte, NC 28227 555-555-5555	
		Primary Contact for this Facility Jane Smith 1500 Test Avenue Charlotte, NC 28227 555-555-5555 jsmith@jsmith.com	
Year Built: 2000 Gross Floor Area (ft²): 53,232			
Energy Performance Rating² (1-100): 85			
Site Energy Use Summary³			
Electricity - Grid Purchase (kBtu)		2,288,770	
Natural Gas (kBtu) ⁴		1,162,996	
Total Energy (kBtu)		3,451,766	
Energy Intensity⁵			
Site (kBtu/ft²/yr)		65	
Source (kBtu/ft²/yr)		166	
Emissions (based on site energy use)			
Greenhouse Gas Emissions (MtCO ₂ e/year)		409	
Electric Distribution Utility Duke Energy Carolinas, LLC			
National Average Comparison			
National Average Site EUI		102	
National Average Source EUI		261	
% Difference from National Average Source EUI		-36%	
Building Type		Office

Professional Engineer Stamp			
Signature: _____			
Based on the conditions observed at the time of my visit to this building, I certify that the information contained within this statement is accurate and in accordance with the PE Guide.			
Meets Industry Standards⁶ for Indoor Environmental Conditions:			
Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality		Yes	
Acceptable Thermal Environmental Conditions		Yes	
Adequate Illumination		Yes	
Professional Engineer License Number: 0000203 State: NC John Doe 33 Country Lane Charlotte, NC 28227 555-555-7788			
<small>Notes:</small> 1. Application for the ENERGY STAR must be submitted to EPA within 4 months of the Period Ending date. Award of the ENERGY STAR is not final until approval is received from EPA. 2. The EPA Energy Performance Rating is based on total source energy. A rating of 75 is the minimum to be eligible for the ENERGY STAR. 3. Values represent energy consumption, annualized to a 12-month period. 4. Natural Gas values (in units of volume (e.g. cubic feet)) are converted to kBtu, with adjustments made for elevation based on Facility zip code. 5. Values represent energy intensity, annualized to a 12-month period. 6. Based on Meeting ASHRAE Standard 62 for ventilation for acceptable indoor air quality, ASHRAE Standard 55 for thermal comfort, and IESNA Lighting Handbook for lighting quality.			
<small>The government estimates the average time needed to fill out this form is 6 hours (includes the time for entering energy data, PE facility inspection, and obtaining the SEP) and welcomes suggestions for reducing this level of effort. Send comments (including OMB control number) to the Director, Collection Strategies Division, U.S. EPA (2822T), 1200 Pennsylvania Ave., NW, Washington, D.C. 20460.</small>			
EPA Form 5900-16		Tracking Number: SEP200908270001037162	

Fonte: Energy Star, 2009. Professional Engineer's Guide to the Energy Star Label for Commercial Buildings. Disponível em <http://www.cedengineering.com/upload/Energy%20Star%20Label.pdf>. Acessado em 07 de junho de 2011.

ANEXO C – FRANÇA: EXEMPLO DE CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

DIAGNOSTIC DE PERFORMANCE ENERGETIQUE <small>Arrêté du 3 mai 2007 relatif au diagnostic de performance énergétique pour les bâtiments existants à usage principal d'habitation proposés à la location en France Métropolitaine pour lesquels les quantités d'énergie sont évaluées sur la base de consommations estimées (consommation conventionnelle) – logement 6.A).</small>			
N° de dossier : 2008-40 Date de visite : 04/11/2008 Date de création : 04/11/2008 Type de bâtiment : Habitation (maisons individuelles) Surface habitable (m²) : 69.20 Date de construction : De 1989 à 2001		Date de validité : 04/11/2018 Nom du diagnostiqueur : GUILLARD Jean Pierre Signature :	
Désignation du bien : Adresse : Maison Individuelle T3 n°1 Code postal : 56490 Ville : MOHON Etage : Rez de chaussée Bâtiment : T3 Numéro de lot(s) : n°1 Catégorie : Récent Type : 3 Pièces Nbre de niveau : 1 Nbre de niveau de sous-sol : 0 Désignation du propriétaire : Nom : Mairie de MOHON Adresse : MAIRIE Code postal : 56490 Ville : MOHON Désignation du propriétaire des installations communes (s'il y a lieu) : Nom : Adresse :			
Consommations annuelles par énergie : <small>Obtenues par la méthode 3CL, version 15C, estimé à l'immeuble ☐ ou au logement ☒ (cochez la case), prix moyens des énergies indexés au 15 août 2007.</small>			
	Consommations en énergies finales <small>Détail par énergie et par usage en kWh_{EP}</small>	Consommations en énergie primaire <small>Détail par usage en kWh_{EP}</small>	Frais annuels d'énergie €TTC
Chauffage	5778	14908	689
Eau chaude sanitaire	2129	5492	231
Refroidissement	0	0	0
Consommations d'énergie pour les usages recensés	7907	20400	920

Consommations énergétiques (en énergie primaire) pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et le refroidissement Consommation conventionnelle : 295 kWh _{EP} /m².an <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p>Logement économe</p> <p>Logement énergivore</p> </div> <div style="flex: 0.2; text-align: center; padding: 0 10px;"> Logement <div style="background-color: black; color: white; padding: 5px; margin: 0 auto; width: 40px;">295</div> kWh_{EP}/m².an </div> </div>	Emission de gaz à effet de serre (GES) pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et le refroidissement Estimation des émissions : 16 kg _{éqCO2} /m².an. <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p>Faible émission de GES</p> <p>Forte émission de GES</p> </div> <div style="flex: 0.2; text-align: center; padding: 0 10px;"> Logement <div style="background-color: black; color: white; padding: 5px; margin: 0 auto; width: 40px;">16</div> kg_{éqCO2}/m².an </div> </div>
--	---

Fonte: Mohon – Commune du Morbihan, 2011. Disponível em http://mohon.fr/2009saintmarc/content/livriel_saint-marc/annexes/img/diagnostic_performance_energie_T4.jpg. Acessado em 07 de junho de 2011.

ANEXO D – REINO UNIDO: EXEMPLO DE CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

Fonte: The Built Environment Experts, 2011. Disponível em <http://www.bsria.co.uk/images/original/62F349E7-17B9-4303-8548-7E53AF4C4A58.jpg>. Acessado em 07 de junho de 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE A	Tabelas utilizadas para cálculo da eficiência da matriz de geração de eletricidade e do fator de conversão da energia final em primária da eletricidade no Brasil	169
APÊNDICE B	Tabela utilizada para cálculo da eficiência da matriz de geração de eletricidade e do fator de conversão da energia final em primária da eletricidade no Brasil em 2030 em diferentes cenários	173
APÊNDICE C	Fatores de emissões de CO _{2-E} pela geração de energia elétrica no SIN de janeiro de 2006 a novembro de 2010	174
APÊNDICE D	Geração convencional e emergencial de energia elétrica nas centrais de serviço público do SIN entre 2006 e 2010	175

APÊNDICE A – TABELAS UTILIZADAS PARA CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DA MATRIZ DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE E DO FATOR DE CONVERSÃO DA ENERGIA FINAL EM PRIMÁRIA DA ELETRICIDADE NO BRASIL

Tabela 1 - Geração de eletricidade por fonte pelas centrais de serviço público entre 1970 e 1979

GERAÇÃO POR FONTE (GWh)	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
EÓLICA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>EÓLICA * eficiência acumulada (η_n)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GÁS NATURAL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>GÁS NATURAL * η_n</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CARVÃO VAPOR	1321,91	1306,85	1577,36	1024,44	938,30	1256,26	1006,11	1355,58	2547,53	2313,26
<i>CARVÃO VAPOR * η_n</i>	3827,88	3784,25	4567,56	2966,49	2717,05	3637,75	2913,41	3925,36	7376,90	6698,51
ÓLEO DIESEL	230,00	341,00	383,00	319,00	394,00	400,00	433,88	434,72	489,06	774,97
<i>ÓLEO DIESEL * η_n</i>	713,90	1058,43	1188,79	990,14	1222,93	1241,56	1346,73	1349,32	1517,99	2405,43
ÓLEO COMBUSTÍVEL	2067,00	4311,00	1891,00	2710,00	1794,00	1825,00	2409,00	2409,00	2897,00	1886,03
<i>ÓLEO COMBUSTÍVEL * η_n</i>	6415,75	13380,88	5869,46	8411,55	5568,38	5664,60	7477,28	7477,28	8991,98	5854,03
URÂNIO CONTIDO NO UO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>URÂNIO CONTIDO NO UO2 * η_n</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HIDRÁULICA	38414,00	41867,00	49237,00	56290,00	63981,00	70387,00	80682,00	90883,00	99996,00	113952,00
<i>HIDRÁULICA * η_n</i>	38414,00	41867,00	49237,00	56290,00	63981,00	70387,00	80682,00	90883,00	99996,00	113952,00
ELETRICIDADE GERADA (- PERDAS)	35475,78	40365,02	44806,57	50929,87	56638,56	62344,81	71344,16	80249,46	89404,57	100373,76
<i>ELETRICIDADE GERADA * η_n</i>	49371,52	60090,56	60862,82	68658,18	73489,37	80930,91	92419,42	103634,96	117882,87	128909,97
EFICIÊNCIA (%)	71,9%	67,2%	73,6%	74,2%	77,1%	77,0%	77,2%	77,4%	75,8%	77,9%
FATOR DE CONVERSÃO	1,39	1,49	1,36	1,35	1,30	1,30	1,30	1,29	1,32	1,28

Fonte: elaboração própria a partir de (MME, 2010)

Tabela 2 - Geração de eletricidade por fonte pelas centrais de serviço público entre 1980 e 1989

GERAÇÃO POR FONTE (GWh)	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
EÓLICA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>EÓLICA * eficiência acumulada (η_n)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GÁS NATURAL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	215,00
<i>GÁS NATURAL * η_n</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,88	640,03
CARVÃO VAPOR	2468,71	3322,30	3335,79	2509,29	2759,28	3336,08	4471,12	3552,61	2694,68	3769,22
<i>CARVÃO VAPOR * η_n</i>	7148,66	9620,40	9659,48	7266,17	7990,06	9660,32	12947,05	10287,32	7803,01	10914,56
ÓLEO DIESEL	907,00	1096,00	779,00	907,00	902,00	1134,00	1461,00	2441,00	2319,00	1950,00
<i>ÓLEO DIESEL * η_n</i>	2815,23	3401,87	2417,93	2815,23	2799,71	3519,81	4534,79	7576,60	7197,93	6052,59
ÓLEO COMBUSTÍVEL	1560,00	1509,00	952,00	896,00	941,00	1151,00	6374,00	3169,00	2582,00	1900,00
<i>ÓLEO COMBUSTÍVEL * η_n</i>	4842,07	4683,77	2954,91	2781,09	2920,76	3572,58	19784,21	9836,24	8014,25	5897,40
URÂNIO CONTIDO NO UO2	0,00	0,00	0,00	0,00	1643,00	3381,00	144,00	973,00	608,00	1830,00
<i>URÂNIO CONTIDO NO UO2 * η_n</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	4783,60	9843,79	419,26	2832,89	1770,19	5328,05
HIDRÁULICA	126104,00	128095,00	138432,00	148503,00	163552,00	175334,00	178991,00	182105,00	195547,00	201104,00
<i>HIDRÁULICA * η_n</i>	126104,00	128095,00	138432,00	148503,00	163552,00	175334,00	178991,00	182105,00	195547,00	201104,00
ELETRICIDADE GERADA (- PERDAS)	110597,51	113114,82	121112,98	128976,10	143308,90	155579,65	161576,31	162251,08	171969,80	177888,38
<i>ELETRICIDADE GERADA * η_n</i>	140909,96	145801,04	153464,32	161365,49	182046,13	201930,50	216676,31	212638,05	220347,26	229936,62
EFICIÊNCIA (%)	78,5%	77,6%	78,9%	79,9%	78,7%	77,0%	74,6%	76,3%	78,0%	77,4%
FATOR DE CONVERSÃO	1,27	1,29	1,27	1,25	1,27	1,30	1,34	1,31	1,28	1,29

Fonte: elaboração própria a partir de (MME, 2010)

Tabela 3 - Geração de eletricidade por fonte pelas centrais de serviço público entre 1990 e 1999

GERAÇÃO POR FONTE (GWh)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
EÓLICA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	4,00	5,00	2,00
<i>EÓLICA * eficiência acumulada (η_n)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	4,00	5,00	2,00
GÁS NATURAL	12,00	4,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,00	150,00	450,00
<i>GÁS NATURAL * η_n</i>	35,72	11,91	8,93	0,00	0,00	0,00	0,00	208,38	446,53	1339,60
CARVÃO VAPOR	2710,86	3322,98	3122,00	2896,56	3105,00	3668,00	4052,00	5264,00	4630,00	7171,00
<i>CARVÃO VAPOR * η_n</i>	7849,84	9622,38	9040,41	8387,60	8991,17	10621,45	11733,40	15243,00	13407,12	20765,11
ÓLEO DIESEL	1511,00	1543,00	1945,00	1760,00	1847,00	2698,00	2403,00	3246,00	4156,00	5937,00
<i>ÓLEO DIESEL * η_n</i>	4689,98	4789,31	6037,07	5462,85	5732,89	8374,30	7458,65	10075,24	12899,78	18427,81
ÓLEO COMBUSTÍVEL	848,00	1013,00	1299,00	1144,00	1401,00	1337,00	2971,00	2506,00	2601,00	5827,00
<i>ÓLEO COMBUSTÍVEL * η_n</i>	2632,10	3144,24	4031,96	3550,85	4348,55	4149,90	9221,67	7778,36	8073,23	18086,38
URÂNIO CONTIDO NO UO2	2237,00	1442,00	1759,00	442,00	55,00	2519,00	2427,00	3169,00	3265,00	3977,00
<i>URÂNIO CONTIDO NO UO2 * η_n</i>	6513,03	4198,39	5121,33	1286,88	160,13	7334,07	7066,21	9226,55	9506,05	11579,04
HIDRÁULICA	203594,00	214609,00	220583,00	231695,00	239467,00	250456,00	261445,00	274586,00	286358,00	287317,00
<i>HIDRÁULICA * η_n</i>	203594,00	214609,00	220583,00	231695,00	239467,00	250456,00	261445,00	274586,00	286358,00	287317,00
ELETRICIDADE GERADA (- PERDAS)	178010,45	187312,28	193032,09	200819,30	207518,50	220012,23	230665,20	243785,18	254183,26	262214,76
<i>ELETRICIDADE GERADA * η_n</i>	225314,68	236375,22	244822,70	250383,19	258699,75	280935,73	296926,94	317121,52	330695,71	357516,95
EFICIÊNCIA (%)	79,0%	79,2%	78,8%	80,2%	80,2%	78,3%	77,7%	76,9%	76,9%	73,3%
FATOR DE CONVERSÃO	1,27	1,26	1,27	1,25	1,25	1,28	1,29	1,30	1,30	1,36

Fonte: elaboração própria a partir de (MME, 2010)

Tabela 4 - Geração de eletricidade por fonte pelas centrais de serviço público entre 2000 e 2009

GERAÇÃO POR FONTE (GWh)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
EÓLICA	1,00	34,94	61,00	61,00	61,00	92,90	237,00	96,78	1183,10	1446,00
<i>EÓLICA * eficiência acumulada (η_n)</i>	1,00	34,94	61,00	61,00	61,00	92,90	237,00	96,78	1183,10	1446,00
GÁS NATURAL	1570,00	6907,00	9097,00	9073,00	14681,00	13897,75	13048,90	10622,45	23338,26	8125,00
<i>GÁS NATURAL * η_n</i>	4673,71	20561,35	27080,72	27009,28	43703,65	41372,01	38845,08	31621,82	69475,31	24187,19
CARVÃO VAPOR	7448,00	7352,00	5080,00	5251,00	6344,00	6107,30	6524,20	5829,32	6205,94	5213,70
<i>CARVÃO VAPOR * η_n</i>	21567,23	21289,24	14710,19	15205,36	18370,37	17684,95	18892,17	16880,00	17970,58	15097,35
ÓLEO DIESEL	4084,00	4010,00	4697,00	5640,00	6868,00	6629,92	5484,00	5009,00	7165,74	5910,00
<i>ÓLEO DIESEL * η_n</i>	12676,30	12446,61	14578,98	17505,96	21317,54	20578,56	17021,75	15547,40	22241,68	18344,01
ÓLEO COMBUSTÍVEL	6187,00	6070,00	4492,00	1625,00	1390,00	1612,58	2683,60	4281,00	5736,86	3828,00
<i>ÓLEO COMBUSTÍVEL * η_n</i>	19203,79	18840,63	13942,69	5043,83	4314,41	5005,28	8329,61	13287,77	17806,61	11881,70
URÂNIO CONTIDO NO UO2	6046,00	14279,00	13836,00	13358,00	11611,00	9855,00	13754,10	12349,76	13968,58	12957,00
<i>URÂNIO CONTIDO NO UO2 * η_n</i>	17602,94	41573,33	40283,54	38891,84	33805,45	28692,85	40045,09	35956,35	40669,54	37724,33
HIDRÁULICA	298563,00	262665,00	274338,00	294274,00	308584,00	325052,94	335761,00	359256,31	354285,00	371670,00
<i>HIDRÁULICA * η_n</i>	298563,00	262665,00	274338,00	294274,00	308584,00	325052,94	335761,00	359256,31	354285,00	371670,00
ELETRICIDADE GERADA (- PERDAS)	273370,76	254312,34	262991,24	277914,01	295010,92	306581,64	318603,92	335443,26	347629,65	345322,35
<i>ELETRICIDADE GERADA * η_n</i>	374287,96	377411,10	384995,13	397991,26	430156,41	438479,49	459131,69	472646,43	523631,82	480350,58
EFICIÊNCIA (%)	73,0%	67,4%	68,3%	69,8%	68,6%	69,9%	69,4%	71,0%	66,4%	71,9%
FATOR DE CONVERSÃO	1,37	1,48	1,46	1,43	1,46	1,43	1,44	1,41	1,51	1,39

Fonte: elaboração própria a partir de (MME, 2010)

**APÊNDICE B – TABELA UTILIZADA PARA CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DA MATRIZ DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE
E DO FATOR DE CONVERSÃO DA ENERGIA FINAL EM PRIMÁRIA DA ELETRICIDADE NO BRASIL EM 2030 EM
DIFERENTES CENÁRIOS**

Tabela 1 - Geração de eletricidade por fonte pelas centrais de serviço público em 2030 em diferentes cenários

	Cenário de Referência	Cenários de Redução da Participação Hidráulica				Cenários de Substituição da Eletrotermia	
GERAÇÃO POR FONTE (GWh)	EPE	EPE -10	EPE -15	EPE -20	Agressivo	Moderado	Conservador
RESÍDUOS URBANOS	6800,00	6800,00	6800,00	6800,00	6800,00	6800,00	6800,00
<i>RESÍDUOS URBANOS * eficiência acumulada ($\eta\eta$)</i>	21183,80	21183,80	21183,80	21183,80	21183,80	21183,80	21183,80
BIOMASSA	33500,00	33500,00	33500,00	33500,00	33500,00	33500,00	33500,00
<i>BIOMASSA * $\eta\eta$</i>	33500,00	33500,00	33500,00	33500,00	33500,00	33500,00	33500,00
EÓLICA	10300,00	10300,00	10300,00	10300,00	10300,00	10300,00	10300,00
<i>EÓLICA * $\eta\eta$</i>	10300,00	10300,00	10300,00	10300,00	10300,00	10300,00	10300,00
GÁS NATURAL	92100,00	173860,00	214740,00	255620,00	33148,00	55255,00	73677,50
<i>GÁS NATURAL * $\eta\eta$</i>	219946,17	415199,15	512825,64	610452,13	79161,52	131955,76	175950,97
CARVÃO VAPOR	31400,00	31400,00	31400,00	31400,00	31400,00	31400,00	31400,00
<i>CARVÃO VAPOR * $\eta\eta$</i>	90925,20	90925,20	90925,20	90925,20	90925,20	90925,20	90925,20
ÓLEO DIESEL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>ÓLEO DIESEL * $\eta\eta$</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ÓLEO COMBUSTÍVEL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>ÓLEO COMBUSTÍVEL * $\eta\eta$</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
URÂNIO CONTIDO NO UO2	51600,00	51600,00	51600,00	51600,00	51600,00	51600,00	51600,00
<i>URÂNIO CONTIDO NO UO2 * $\eta\eta$</i>	150233,49	150233,49	150233,49	150233,49	150233,49	150233,49	150233,49
HIDRÁULICA	817600,00	735840,00	694960,00	654080,00	817600,00	817600,00	817600,00
<i>HIDRÁULICA * $\eta\eta$</i>	817600,00	735840,00	694960,00	654080,00	817600,00	817600,00	817600,00
ELETRICIDADE GERADA (- PERDAS)	899324,60	899324,60	899324,60	899324,60	848507,98	867564,21	883444,41
<i>ELETRICIDADE GERADA * $\eta\eta$</i>	1343688,66	1457181,64	1513928,12	1570674,61	1202904,00	1255698,25	1299693,45
EFICIÊNCIA (%)	66,9%	61,7%	59,4%	57,3%	70,5%	69,1%	68,0%
FATOR DE CONVERSÃO	1,49	1,62	1,68	1,75	1,42	1,45	1,47

Fonte: elaboração própria a partir de (EPE, 2007)

APÊNDICE C – FATORES DE EMISSÕES DE CO₂-E PELA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SIN DE JANEIRO DE 2006 A NOVEMBRO DE 2010

Tabela 1 – Fatores de emissões de CO₂-E pela geração de energia elétrica no SIN de janeiro de 2006 a novembro de 2010 (tCO₂/MWh)

Ano/mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2006	0,0322	0,0346	0,0337	0,0275	0,0317	0,0306	0,0351	0,0336	0,0383	0,036	0,0265	0,028
2007	0,0229	0,0195	0,0195	0,0197	0,0161	0,0256	0,031	0,0324	0,0355	0,0377	0,0406	0,0496
2008	0,0584	0,0668	0,0599	0,0453	0,0459	0,0521	0,0437	0,0425	0,0411	0,0438	0,0334	0,0477
2009	0,0281	0,0237	0,0247	0,0245	0,0405	0,0369	0,0241	0,0199	0,0162	0,0179	0,0181	0,0194
2010	0,0211	0,028	0,0243	0,0238	0,0341	0,0506	0,0435	0,0774	0,0907	0,0817	0,0869	-

Fonte: elaboração própria a partir de (MCT, 2011)

APÊNDICE D – GERAÇÃO CONVENCIONAL E EMERGENCIAL DE ENERGIA ELÉTRICA NAS CENTRAIS DE SERVIÇO PÚBLICO DO SIN ENTRE 2006 E 2010

Tabela 1 – Geração convencional e emergencial de energia elétrica nas centrais de serviço público do SIN entre 2006 e 2010 (GWh)

Ano/Mês	2006		2007		2008		2009		2010	
	Convencional	Emergencial	Convencional	Emergencial	Convencional	Emergencial	Convencional	Emergencial	Convencional	Emergencial
Jan	1847,44	0	1202,11	0	3494,69	0	1607,92	0	1163,16	0
Fev	1797,89	0	880,06	0	3922,15	0	1225,51	0	1556,92	0
Mar	1864,85	0	1049,45	0	3803,06	0	1671,03	0	1421,98	0
Abr	1229,37	0	1018,8	0	2976,38	0	1226,48	0	1309,6	0
Mai	1500,33	0	696,39	0	2943,05	0	2387,94	0	2094,1	0
Jun	1397,2	0	1096,82	0	3116,18	0	2064,57	0	3109,51	0
Jul	1713,63	0	1621,85	0	2685,62	0	1272,92	0	2980,16	0
Ago	1730,43	0	1784,86	0	2847,29	0	1014,61	0	4744,83	0
Set	1960,76	0	1995,23	0	2647,79	0	873,39	0	5466,11	0
Out	2035,09	0	2220,61	0	2964,19	0	984,33	0	4890,18	0
Nov	1397,88	0	2363,8	0	2229,91	0	965,82	0	5243,13	0
Dez	1653,12	0	2739,49	0	2858,98	0	1012,93	0	3517,26	0

Fonte: elaboração própria a partir de (ONS, 2011)