

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA**  
**ENERGIA**

**Por Amaury Caruzzo**

**Análise do uso de tecnologias eficientes em iluminação: Um estudo  
considerando condições climáticas**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia da Energia como parte dos requisitos para  
obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia da  
Energia.**

**Área de Concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.**

**Orientador: Prof Dr Luiz Augusto Horta Nogueira**

**Itajubá, MG – Agosto de 2008**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –  
Bibliotecária Margareth Ribeiro – CBR\_6/1700

C329a

Caruzzo, Amaury.

Análise do uso de tecnologias eficientes em iluminação: um estudo considerando condições climáticas / Amaury Caruzzo. – Itajubá, (MG): [s.n.], 2008.

164 p.:il.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1.Eficiência energética. 2.Iluminação. 3.Insolação solar. 4.Procel. I. Nogueira, Luiz Augusto Horta, orient. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título.

CDU 620.9(043)

**ANÁLISE DO USO DE TECNOLOGIAS EFICIENTES EM ILUMINAÇÃO: UM  
ESTUDO CONSIDERANDO CONDIÇÕES CLIMÁTICAS**

**AMAURY CARUZZO**  
Bacharel em Meteorologia

**Banca examinadora:**

Prof Dr Luiz Augusto Horta Nogueira

---

Orientador  
UNIFEI, Itajubá (MG)

Prof Dr Jamil Haddad

---

Membro da Banca  
UNIFEI, Itajubá (MG)

Prof Dr Ildo Luis Sauer

---

Membro da Banca  
USP, São Paulo (SP)

***“Existe um jeito melhor de fazer isso – encontre.”***

*Thomas Alva Edison (1847-1931, inventor da lâmpada elétrica incandescente)*

***“There is a way to do it better – find it.”***

*Thomas Alva Edison (1847-1931)*

*Dedicado a minha família, ao meu pai Wilson (in memoriam), minha mãe Leonor, a minha irmã Christiane, ao meu cunhado Eduardo, ao meu pequeno sobrinho Rodrigo, a minha querida e companheira esposa Cintia e a minha pequena e bela filha Yedda; a todos com muito carinho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor Luiz Augusto Horta Nogueira pela orientação, incentivo e pelo desafio de trabalhar com um meteorologista em um mundo de engenheiros.

Aos meus colegas Rodolfo Esmerady, Dr Carlos Roberto Rocha, Edson Palhares entre outros e principalmente ao meu amigo e colega de mestrado Eng Rafael Balbino Cardoso, por toda a atenção, suporte, amizade e apoio fundamental para o início e conclusão deste trabalho.

A alguns professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia da Unifei, que direta ou indiretamente contribuirão para a minha formação acadêmica no mestrado.

A toda a equipe do Departamento de Registro Acadêmico (DRA) da Unifei, a equipe da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PRPRG) e um agradecimento muito especial para a secretária do Programa de Engenharia da Energia, Margarete Corrêa, por toda dedicação, orientação, apoio e muita paciência dispensada ao longo do mestrado.

A toda da equipe da Biblioteca Mauá da Unifei, representada pela Diretora Jacqueline Rodrigues de Oliveira Balducci, pela atenção e orientações durante as atividades no uso do acervo técnico, na busca das referências bibliográficas e na elaboração da ficha catalográfica.

Ao Eng José Mauro de Rezende, Coordenador-Geral de Sistemas de Comunicação do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) por ter cedido a versão impressa da publicação com as Normas Climatológicas da rede de estações meteorológicas do Inmet.

Ao Professor Doutor Chigueru Tiba da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) por ter cedido generosamente a versão digital do Atlas Solarimétrico do Brasil, além de disponibilizar todas as informações técnicas e o banco de dados completo.

Ao Gerente Rodrigo Quadros, da Gerência Clientes Poderes e Serviços Públicos da Light Serviços de Eletricidade S.A., por fornecer os dados e informações sobre o projeto de avaliação da Iluminação Pública no Rio de Janeiro.

Aos meus amigos e colegas do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM/DHN/MB), em especial a CC(T) Emma Giada Matschinske, CT(T) Aline Inocência Santana e a minha amiga 2T(T-RM2) Fernanda Batista pelo apoio e por disponibilizar o tempo necessário para conclusão desta dissertação.

E por final e não poderia deixar de mencionar, o agradecimento a toda a equipe da Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), encabeçada pelo Luiz Eduardo Menandro de Vasconcellos (chefe do Departamento de Planejamento e Estudos de Conservação de Energia), Emerson Salvador (DPST), Hamilton Pollis (DPSP), Marcel da Costa Siqueira (ReLuz), além de todos os membros da equipe técnica, Moisés Antonio dos Santos, Eldon da Costa, Karla Lepetitgalande e vários outros que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse elaborado; auxiliando nas atividades ou simplesmente compartilhando sugestões e opiniões relevantes durante as várias reuniões de trabalho na sede da Eletrobrás, no Rio de Janeiro.

## SUMÁRIO:

RESUMO.....	IX
ABSTRACT .....	X
I. LISTA DE FIGURAS.....	XI
II. LISTA DE TABELAS .....	XV
III. LISTA DE SÍMBOLOS E VARIÁVEIS .....	XVIII
IV. LISTA DE ABREVIATURAS.....	XIX
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
1.1. INTRODUÇÃO .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	4
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS.....	5
2.1. FOTOMETRIA E RADIOMETRIA .....	5
2.2. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO .....	6
2.3. RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO .....	10
2.4. MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO .....	11
2.5. O SETOR ELÉTRICO NO BRASIL .....	12
2.5.1. <i>Desenvolvimento econômico</i> .....	12
2.5.2. <i>A crise energética de 2001</i> .....	15
2.5.3. <i>Oferta e demanda de energia em 2005</i> .....	16
2.6. ESTAÇÕES DO ANO E A CLIMATOLOGIA .....	17
2.6.1. <i>Condições meteorológicas e climatológicas</i> .....	17
2.6.2. <i>O uso da insolação solar</i> .....	23
CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	25
3.1. ENERGIA E DESENVOLVIMENTO .....	25
3.2. O PROCEL .....	28
3.3. O RELUZ .....	33
3.4. LEGISLAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	34
3.5. TECNOLOGIA E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA .....	37
3.6. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E PRESPECTIVAS FUTURAS .....	39
3.7. CLIMA E ENERGIA .....	45
3.8. ILUMINAÇÃO NATURAL VS ARTIFICIAL .....	48
CAPÍTULO 4: DADOS E INFORMAÇÕES .....	52
4.1. MESORREGIÃO E LATITUDE .....	52
4.2. NÚMERO DE DOMICÍLIOS BRASILEIROS .....	52
4.3. FORMAÇÃO DO PARQUE DE LÂMPADAS .....	53

4.3.1. <i>Setor residencial</i> .....	53
4.3.2. <i>Iluminação pública</i> .....	54
4.4. <b>INSOLAÇÃO SOLAR</b> .....	54
4.5. <b>OBSERVAÇÃO DO TEMPO DE UTILIZAÇÃO NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA</b> .....	57
<b>CAPÍTULO 5: METODOLOGIA</b> .....	<b>60</b>
5.1. <b>MÉTODO PROCEL/ELETOBRÁS</b> .....	60
5.1.1. <i>Procel na iluminação residencial</i> .....	60
5.1.2. <i>ReLuz e iluminação pública</i> .....	62
5.2. <b>PROPOSTA DO MÉTODO POR DEMANDA CLIMÁTICA</b> .....	64
5.2.1. <i>Iluminação residencial</i> .....	65
a) Determinação do tempo de utilização .....	66
b) Tempo de utilização – Efeito Latitude (TUL).....	69
c) Tempo de utilização – Efeito Clima (TUC) .....	70
d) Economia de energia e redução na demanda de ponta .....	71
5.2.2. <i>Iluminação pública</i> .....	74
a) Determinação do tempo de utilização .....	75
b) Tempo de utilização – Efeito Latitude (TUL).....	75
c) Tempo de utilização – Efeito Clima (TUC) .....	76
d) Economia de energia e redução de demanda de ponta .....	77
<b>CAPÍTULO 6: RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>78</b>
6.1. <b>ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL</b> .....	78
6.1.1. <i>Resultados gerais</i> .....	79
6.1.2. <i>Resultados específicos</i> .....	84
a) Mesorregiões com valores extremos de insolação .....	84
b) Mesorregiões com padrão de insolação anual invertido.....	88
c) Ranking das mesorregiões .....	93
6.2. <b>ILUMINAÇÃO PÚBLICA</b> .....	95
6.2.1. <i>Resultados gerais</i> .....	95
6.2.2. <i>Resultados específicos</i> .....	99
a) Mesorregiões com valores extremos de insolação .....	99
b) Mesorregiões com padrão de insolação anual invertido.....	104
c) Ranking das mesorregiões .....	108
6.3. <b>DISCUSSÃO</b> .....	109
6.3.1. <i>Aspectos não considerados</i> .....	109
a) Horário de verão .....	109
b) Degradação das lâmpadas.....	109
c) Variação de tensão.....	110
6.3.2. <i>Climatologia do Brasil</i> .....	110
6.3.3. <i>Benefícios da Eficiência Energética</i> .....	112
6.3.4. <i>Sazonalidade na demanda de energia</i> .....	112
6.3.5. <i>Sazonalidade na iluminação pública</i> .....	113
6.3.6. <i>Eficiência energética na iluminação residencial</i> .....	114
6.3.7. <i>Eficiência energética na iluminação pública</i> .....	115
6.3.8. <i>Comparação entre os métodos</i> .....	115
a) Iluminação residencial .....	115
b) Iluminação pública .....	117

<b>CAPÍTULO 7: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>119</b>
<b>7.1. ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL .....</b>	<b>119</b>
<b>7.2. ILUMINAÇÃO PÚBLICA .....</b>	<b>122</b>
<b>7.3. CONCLUSÃO FINAL .....</b>	<b>124</b>
<b>CAPÍTULO 8: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>125</b>
<b>BIBLIOGRAFIA SUGERIDA .....</b>	<b>136</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>137</b>

## RESUMO

Este trabalho propõe uma nova metodologia na avaliação de economia de energia devido ao uso de tecnologias eficientes na iluminação residencial e pública. O desenvolvimento do método proposto, chamado de Método por Demanda Climática – MDC, é resultado da parceria entre a Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás) e a Universidade Federal de Itajubá (Unifei) para avaliação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel. A grande inovação do método proposto está em avaliar a sazonalidade de economia de energia por mesorregião devido às condições climáticas. Outro aperfeiçoamento está em identificar as mesorregiões com maior potencial de economizar de energia devido ao uso de tecnologias eficientes. O estudo foi realizado para o ano de 2005 e utilizou informações socioeconômicas, como número de domicílios, lâmpadas por domicílios e parque total de lâmpadas; e informações ambientais, como latitude, divisão por mesorregião e insolação solar. Através de uma análise comparativa com a metodologia utilizada pelo Procel em 2005 (ELETROBRÁS, 2006a), foram desenvolvidas melhorias na determinação do tempo de uso em iluminação, considerando as variações na latitude e da climatologia regional, com resultados detalhados por mesorregião e mês do ano. Os resultados do método proposto mostraram valores de consumo de energia totais próximos aos observados em 2005 (MME, 2006a). Entretanto, considerando o efeito ambiental (latitude e clima), o valor de economia de energia para a iluminação residencial pelo MDC foi 47% superior ao estimado pelo Procel em 2005 e na iluminação pública, a economia estimada foi 9% superior. Para economia de energia potencial, com o uso integral de lâmpadas eficientes, o MDC estima um consumo evitado na iluminação residencial de 23 GWh.ano<sup>-1</sup>. Na redução de demanda de ponta – RDP, a economia de energia na iluminação residencial obtida foi 2,5 vezes superior ao do Procel, devido à diferença no cálculo do parque de lâmpadas. Na iluminação pública, o valor de RDP foi o mesmo do Procel, pois não houve variação no número de pontos substituídos. Na média nacional, foi possível observar uma redução na economia de energia no período de inverno, justificado pelas características climáticas e de densidade demográfica regionais. Outro resultado relevante foi observar que, dentre as mesorregiões brasileiras, as do Sudeste são as que possuem os maiores valores de potencial para evitar o consumo de energia devido ao uso de tecnologias eficientes em iluminação.

**Palavras-chaves:** eficiência energética; iluminação residencial; iluminação pública; clima; insolação solar; procel; reluz.

## ABSTRACT

This study proposes a new methodology for the assessment of energy saving in street and residential lighting based on the use of efficient technologies. The development of this method, named Method by Climatic Demand – MCD, is the result of a partnership between *Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás)* and *Universidade Federal de Itajubá (Unifei)* with the objective to evaluate the National Electricity Conservation Programme – Procel. The most important novelty of this new method is the consideration of the seasonality of energy saving for each mesoregion studied due to climatic. Another important improvement is the identification of mesoregions with greatest potential for energy saving when using efficient technologies. To do so, we have used social, economical and environmental information, such as number of domiciles, number of electric bulbs (both total and per domicile), latitude, mesoregion classification and insolation, for the year 2005. After analyzing the methodology adopted by Procel in 2005, (ELETROBRÁS, 2006a), improvements have been developed in order to establish the lighting time use, considering latitude and climate variations for each mesoregion and month of the year. The results of the new proposed method show total energy use values close to the ones observed in 2005 (MME, 2006a). However, considering the environmental effect (latitude and climate), the energy saving values for residential and street lighting calculated by the MCD are 47% and 9%, respectively, greater than the one estimated by Procel in 2005. To potential energy saving, using only efficient electric bulbs, MCD estimates a reduction in residential lighting use of 23 GWh.year<sup>-1</sup>. In contributed for a reduction, the obtained residential lighting energy saving was 2.5 fold larger than the Procel value. This was partly due to differences in the estimations of the amount of electric bulbs. In street lighting, the reduction value was the same as Procel's, since there was no variation in the number of replaced points. Speaking in terms of national average, it was possible to observe a reduction in energy saving during winter time, which may be explained by climatic features and regional population density. Another important result was to observe that the mesoregions of Southeastern part of Brazil, among all Brazilian mesoregions, had the highest values for potential energy saving due to the use of efficient technologies of lighting.

**Key-words:** energy efficiency; residential lighting; street lighting; climate; insolation; procel; reluz.

## I. LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – EFICIÊNCIA LUMINOSA DOS DIFERENTES TIPOS DE LÂMPADAS EXISTENTES NO MERCADO BRASILEIRO. ** VALORES PARA LED SÃO ESTIMADOS TEORICAMENTE. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE NOGUEIRA ET AL, 2007A).....	8
FIGURA 2.2 – OFERTA INTERNA DE ENERGIA, DE 1970 A 2005 EM TEP. (FONTE: MME, 2006A).....	14
FIGURA 2.3 – CONSUMO FINAL DE ENERGIA ELÉTRICA (EM %) E EVOLUÇÃO DA PARTICIPAÇÃO POR SETOR. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE MME, 2006A).....	15
FIGURA 2.4 – EVOLUÇÃO DO CONSUMO FINAL DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL DE 1970-2005, DIVIDIDAS POR SETORES (FONTE: MME, 2006A). ....	16
FIGURA 2.5 – REPRESENTAÇÃO DA INCLINAÇÃO DO EIXO DE ROTAÇÃO DA TERRA (A) E DO MOVIMENTO EM TORNO DO SOL (TRANSLAÇÃO), COM AS RESPECTIVAS ESTAÇÕES DO ANO DEVIDO A ESTA INCLINAÇÃO (B). (FONTE: [A] – VAREJÃO-SILVA, 2005; [B] – ANEEL, 2005B). ....	20
FIGURA 2.6 – INCIDÊNCIA DOS RAIOS SOLARES NO SOLSTÍCIO DE VERÃO (HEMISFÉRIO NORTE). (FONTE: ADAPTADO DE AHRENS, 1994).....	21
FIGURA 2.7 – VARIAÇÃO DA INSOLAÇÃO SOLAR DEVIDO A DIFERENÇA DE LATITUDE DURANTE O SOLSTÍCIO DE VERÃO (HEMISFÉRIO NORTE), NO TOPO DE ATMOSFERA (LIMITE) E NA SUPERFÍCIE. (FONTE: ADAPTADO DE AHRENS, 1994).....	21
FIGURA 2.8 – VARIAÇÃO DA POSIÇÃO DO SOL OBSERVADA EM LATITUDE MÉDIA (45°S), DURANTE O VERÃO E INVERNO. (FONTE: ADAPTADO DE AHRENS, 1994). ....	23
FIGURA 3.1 – EMISSÕES MUNDIAIS DE GEE POR TIPO DE FONTE PARA O ANO 2000. (FONTE: STERN, 2006).....	28
FIGURA 3.2 – SELO PROCEL (A) UTILIZADO EM EQUIPAMENTOS QUE ATENDERAM OS REQUISITOS DE EFICIÊNCIA A DO PBE (B). (FONTE: ADAPTADO DE ELETROBRÁS, 2006B).....	31
FIGURA 3.3 – CURVA DE CUSTO MARGINAL NO DESENVOLVIMENTO DE NOVAS TECNOLOGIAS NA PRODUÇÃO DE ENERGIA. (FONTE: ADAPTAÇÃO DE STERN, 2006). ....	38
FIGURA 3.4 – CONSUMO DE ENERGIA REAL E O USO HIPOTÉTICO SEM REDUÇÕES DE CONSUMO DAS 11 NAÇÕES DA OCDE, APÓS A AÇÕES DE PEE. (FONTE: MME, 2006C, COM INFORMAÇÕES DE GELLER ET AL 2006). ....	40
FIGURA 3.5 – PERSPECTIVAS DE DIFERENTES CENÁRIOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA PARA O BRASIL ATÉ O ANO DE 2020. (FONTE: MME, 2007, COM INFORMAÇÕES DE ALMEIDA ET AL, 2001).....	41
FIGURA 3.6 – PERSPECTIVAS DE ENERGIA CONSERVADA DO PDEE, PARA OS ANOS DE 2011 E 2016. (FONTE: MME, 2007).....	42
FIGURA 3.7 – PERSPECTIVAS DE ENERGIA ECONOMIZADA DO PDEE, DIVIDIDO POR SETORES ATÉ O ANO DE 2016. (FONTE: MME, 2007).....	42

FIGURA 3.8 – RETROSPECTIVA E PERSPECTIVAS DO CONSUMO RESIDENCIAL (kWh.mês <sup>-1</sup> ) DO PDEE, ATÉ O ANO DE 2015 CONSIDERANDO CENÁRIOS COM AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. (FONTE: MME, 2006B). .....	43
FIGURA 3.9 – CONSUMO TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA DO PARQUE DE REFRIGERADORES E FREEZERS NO BRASIL E O EFEITO DO SELO PROCEL NA ECONOMIA DE ENERGIA DESDE 1995 (FONTE: NOGUEIRA, 2007).....	44
FIGURA 3.10 – ILUMINÂNCIA GLOBAL TEÓRICA (EM LUX) EM UM PLANO HORIZONTAL COM DIFERENTES CARACTERÍSTICA DE CÉU DO SOFTWARE RADIANCE, PARA LISBOA DURANTE O SOLSTÍCIO DE VERÃO (FONTE: BROTA E WILSON, 2002). .....	50
FIGURA 4.1 – HELIÓGRAFO STOKES-CAMPBELL (A) E OS DIFERENTES MODELOS DA TIRA DE CARTOLINA (B), UTILIZADO PARA OBSERVAR OS VALORES DE INSOLAÇÃO SOLAR DIÁRIA. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE FOTO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG/USP E IMAGEM ADAPTADA DE INMET, 1999).....	55
FIGURA 4.2 – MÉDIA ANUAL DA INSOLAÇÃO SOLAR (EM HORAS) PARA O BRASIL. (FONTE: ANEEL, 2005B, COM INFORMAÇÕES DE TIBA ET AL, 2000). .....	56
FIGURA 4.3 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO NA IP, MÉDIO OBSERVADO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, TEÓRICO ASTRONÔMICO E PELA RESOLUÇÃO DA ANEEL. (FONTE: ADAPTAÇÃO DE QUADROS, 2006A). .....	58
FIGURA 5.1 – VISÃO ESQUEMÁTICA DO MDC (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, COM ADAPTAÇÃO DE CARDOSO, 2008).....	64
FIGURA 6.1 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA TOTAL ANUAL ESTIMADO PARA A ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL, CONSIDERANDO OS EFEITOS DE LATITUDE E CLIMA. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	79
FIGURA 6.2 – ECONOMIA TOTAL DE ENERGIA (CONSUMO EVITADO) ANUAL ESTIMADO NA ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL, DETERMINADO PELO MDC PARA EFEITO LATITUDE E CLIMA. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	80
FIGURA 6.3 – ECONOMIA DE ENERGIA (CONSUMO EVITADO) ANUAL ESTIMADO NA ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL, CONSIDERANDO O FATOR PROCEL E VALORES DETERMINADO PELA ELETROBRÁS (ELETROBRÁS, 2006A) E MDC COM EFEITO LATITUDE E CLIMA. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	80
FIGURA 6.4 – REDUÇÃO DE DEMANDA DE PONTA ANUAL ESTIMADO NA ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL, CONSIDERANDO VALORES DETERMINADOS DA ELETROBRÁS (ELETROBRÁS, 2006A) E PELO MDC, COM O FATOR PROCEL E TOTAL GERAL. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	81
FIGURA 6.5 – ECONOMIA TOTAL DE ENERGIA ESPECÍFICA, MÉDIA DIÁRIA NO MÊS DEVIDO AO USO DE LE, NOS CENÁRIOS REAL E POTENCIAL PARA EFEITO LATITUDE E CLIMA. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	82
FIGURA 6.6 – MAPA DO BRASIL, COM GRÁFICOS DE PRECIPITAÇÃO (BARRA AZUL) E DE INSOLAÇÃO SOLAR (LINHA VERMELHA) EM ALGUMAS CIDADE DO BRASIL. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE INMET, 1992).....	83
FIGURA 6.7 – MAPA DO BRASIL COM A DENSIDADE DEMOGRÁFICA. (FONTE: UOL, 2008).....	84

FIGURA 6.8 – VALORES MÉDIO DIÁRIOS DE INSOLAÇÃO SOLAR PARA TRÊS MESORREGIÕES DO BRASIL, CORRESPONDENTE A MÁXIMOS, MÍNIMOS E INTERMEDIÁRIO. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	86
FIGURA 6.9 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO ESTIMADO PARA LÂMPADAS NAS TRÊS MESORREGIÕES DO BRASIL, CORRESPONDENTE A MÁXIMOS, MÍNIMOS E INTERMEDIÁRIO DE INSOLAÇÃO SOLAR. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). ....	86
FIGURA 6.10 – ECONOMIA DE ENERGIA ESPECÍFICO (Wh/DIA/DOMICÍLIO) REAL ESTIMADO CONSIDERANDO EFEITO CLIMA REFERENTE AS TRÊS MESORREGIÕES. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	87
FIGURA 6.11 – ECONOMIA DE ENERGIA ESPECÍFICO (Wh/DIA/DOMICÍLIO) POTENCIAL ESTIMADO CONSIDERANDO EFEITO CLIMA REFERENTE AS TRÊS MESORREGIÕES. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	88
FIGURA 6.12 – VALORES MÉDIO DIÁRIOS DE INSOLAÇÃO SOLAR PARA TRÊS MESORREGIÕES, CORRESPONDENTE AO PADRÃO U, U INVERTIDO E INTERMEDIÁRIO. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). ....	89
FIGURA 6.13 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO ESTIMADO NO USO DE LÂMPADAS DAS TRÊS MESORREGIÕES, CORRESPONDENTE AO PADRÃO U, U INVERTIDO E INTERMEDIÁRIO DE INSOLAÇÃO. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	90
FIGURA 6.14 – DIFERENÇA ENTRE O DIA ASTRONÔMICO E A INSOLAÇÃO PARA AS TRÊS MESORREGIÕES, CORRESPONDENTE AO PADRÃO U, U INVERTIDO E INTERMEDIÁRIO DE INSOLAÇÃO SOLAR. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	91
FIGURA 6.15 – ECONOMIA DE ENERGIA ESPECÍFICO (Wh/DIA/DOMICÍLIO) REAL ESTIMADO CONSIDERANDO EFEITO CLIMA REFERENTE AS TRÊS MESORREGIÕES. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	92
FIGURA 6.16 – ECONOMIA DE ENERGIA ESPECÍFICO (Wh/DIA/DOMICÍLIO) POTENCIAL ESTIMADO CONSIDERANDO EFEITO CLIMA REFERENTE AS TRÊS MESORREGIÕES. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	93
FIGURA 6.17 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA TOTAL ESTIMADO PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA, CONSIDERANDO VALORES DETERMINADO PELO PROCEL E PELO MDC COM OS EFEITOS LATITUDE E CLIMA. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). ....	96
FIGURA 6.18 – REDUÇÃO DE DEMANDA DE PONTA TOTAL ANUAL ESTIMADO NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA, CONSIDERANDO AS AÇÕES DO SELO PROCEL, ESTIMADO PELA ELETROBRÁS, NOS EFEITOS LATITUDE E CLIMA. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR E ELETROBRÁS, 2006A).....	97
FIGURA 6.19 – VALORES ABSOLUTOS DE TU DIÁRIOS MÁXIMOS E MÍNIMOS, CONSIDERANDO OS EFEITOS LATITUDE E CLIMA INDIVIDUALMENTE. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	98
FIGURA 6.20 – VALORES ABSOLUTOS DE TU ANUAIS MÁXIMOS E MÍNIMOS, CONSIDERANDO OS EFEITOS LATITUDE E CLIMA INDIVIDUALMENTE. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	98
FIGURA 6.21 – VALORES MÉDIO DIÁRIOS DE INSOLAÇÃO SOLAR PARA AS TRÊS MESORREGIÕES, CORRESPONDENTE AOS MÁXIMOS, MÍNIMOS E INTERMEDIÁRIO PARA O RELUZ. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	100

FIGURA 6.22 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO ESTIMADO PARA LÂMPADAS NAS TRÊS MESORREGIÕES DO BRASIL, CORRESPONDENTE A MÁXIMOS, MÍNIMOS E INTERMEDIÁRIO DE INSOLAÇÃO SOLAR PARA O RELUZ. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	101
FIGURA 6.23 – MÉDIA DA DIFERENÇA ENTRE O DIA ASTRONÔMICO E A INSOLAÇÃO PARA AS TRÊS MESORREGIÕES, CORRESPONDENTE A MÁXIMOS, MÍNIMOS E INTERMEDIÁRIO PARA O RELUZ. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	102
FIGURA 6.24 – ECONOMIA DE ENERGIA ESPECÍFICO (Wh/DIA/PONTO DE IP) REAL ESTIMADO CONSIDERANDO EFEITO LATITUDE REFERENTE AS TRÊS MESORREGIÕES SELECIONADAS PARA O RELUZ. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	103
FIGURA 6.25 – ECONOMIA DE ENERGIA ESPECÍFICO (Wh/DIA/PONTO DE IP) REAL ESTIMADO CONSIDERANDO EFEITO CLIMA REFERENTE AS TRÊS MESORREGIÕES SELECIONADAS PARA O RELUZ. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	103
FIGURA 6.26 – VALORES MÉDIO DIÁRIOS DE INSOLAÇÃO PARA AS TRÊS MESORREGIÕES, CORRESPONDENTE AO PADRÃO U, U INVERTIDO E INTERMEDIÁRIO PARA O RELUZ. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	105
FIGURA 6.27 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO ESTIMADO PARA LÂMPADAS PARA AS TRÊS MESORREGIÕES, COM PADRÃO U, U INVERTIDO E INTERMEDIÁRIO PARA O RELUZ, CONSIDERANDO O EFEITO CLIMA. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	105
FIGURA 6.28 – MÉDIA DA DIFERENÇA ENTRE O DIA ASTRONÔMICO E A INSOLAÇÃO PARA AS TRÊS MESORREGIÕES, CORRESPONDENTE AO PADRÃO U, U INVERTIDO E INTERMEDIÁRIO PARA O RELUZ. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	106
FIGURA 6.29 – ECONOMIA DE ENERGIA ESPECÍFICO (Wh/DIA/PONTO DE IP) REAL ESTIMADO CONSIDERANDO EFEITO LATITUDE PARA AS TRÊS MESORREGIÕES, COMAO PADRÃO U, U INVERTIDO E INTERMEDIÁRIO PARA O RELUZ. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	107
FIGURA 6.30 – ECONOMIA DE ENERGIA ESPECÍFICO (Wh/DIA/PONTO DE IP) REAL ESTIMADO CONSIDERANDO EFEITO CLIMA PARA AS TRÊS MESORREGIÕES, COM PADRÃO U, U INVERTIDO E INTERMEDIÁRIO PARA O RELUZ. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	107

## II. LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – DETALHAMENTO DAS PRINCIPAIS GRANDEZAS FOTOMÉTRICAS E RADIOMÉTRICAS. (FONTE: ELABORADO PELO AUTOR, A PARTIR DE PEREIRA E SOUZA, 2000, COSTA, 2006 E NOGUEIRA, 2007A).....	5
TABELA 2.2 – CRONOLOGIA SIMPLIFICADA DA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DESENVOLVIDA PARA O USO DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL. (FONTE: ADAPTADO DE COSTA, 2006).....	7
TABELA 2.3 – VARIAÇÃO DO PIB E DA OFERTA DE ENERGIA DE 1970 A 2005. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE MME, 2006A).....	13
TABELA 2.4 – VARIAÇÃO DA OFERTA DE ENERGIA, POR TIPO DE GERAÇÃO. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE MME, 2006A).....	17
TABELA 2.5 – VARIAÇÃO DA DEMANDA DE ENERGIA, POR SETOR. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE MME, 2006A). ....	17
TABELA 3.1 ÍNDICES DE EFICIÊNCIA LUMINOSA MÍNIMA EXIGIDA NAS LFC E LFCIRC PARA O USO DO SELO PROCEL, CLASSIFICAÇÃO A DO PBE. (FONTE: ELETROBRÁS, 2006B).....	32
TABELA 3.2 – CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS PROJETOS INTERNACIONAIS SEMELHANTES AO PROCEL (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE: BIRNER E MARTINOT, 2005 E TIBI E RAMAHI, 2005). ....	32
TABELA 3.3 – CORRELAÇÕES ENTRE FAIXAS DE TEMPERATURA E AUMENTO NO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE OLIVEIRA ET AL, 2000).....	46
TABELA 3.4 – VALORES DE ILUMINÂNCIA ESTABELECIDOS PARA O FUNCIONAMENTO DA IP. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE MARTINS ET AL, 2004). ....	47
TABELA 3.5 – ESPECIFICAÇÕES DE ILUMINÂNCIA POR TIPO DE ATIVIDADE DEFINIDA PELA NBR 5413 (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE COSTA, 2006).....	51
TABELA 4.1 – NÚMERO DE LÂMPADAS POR DOMICÍLIO SEPARADAS POR REGIÕES DO BRASIL NO ANO DE 2005 (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE ELETROBRÁS, 2007A E 2007B). ....	54
TABELA 4.2 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO DA ESTAÇÃO CENTRO DO PROJETO DA LIGHT E CÁLCULO DO FATOR $B_C$ PARA IP, MENSAL E MÉDIO ANUAL. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE QUADROS, 2007).....	59
TABELA 5.1 – DADOS UTILIZADOS COMO PARÂMETROS NOS CÁLCULOS DE EE E RDP NO MÉTODO PROCEL/ELETROBRÁS (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE ELETROBRÁS, 2006A). ....	62
TABELA 5.2 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO NA IP, UTILIZADOS NOS CÁLCULOS DE EE NO MÉTODO RELUZ/ELETROBRÁS (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DE ELETROBRÁS, 2006A). ....	63

TABELA 5.3 – DADOS UTILIZADOS COMO PARÂMETROS NO MDC (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). .....	66
TABELA 5.4 – FATOR DE SUSCEPTIBILIDADE (FATOR A) E FATOR DE CORREÇÃO DO TU (FATOR B) DAS LÂMPADAS RESIDENCIAIS EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO DE LATITUDE E CLIMA (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	67
TABELA 5.5 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO MÉDIO DE LÂMPADAS NO SETOR RESIDENCIAL, EM HORAS POR ANO E HORAS POR DIA (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR, A PARTIR DAS REFERÊNCIAS INDICADAS).....	68
TABELA 5.6 – TEMPO DE UTILIZAÇÃO CONSTANTE PARA LÂMPADAS RESIDENCIAIS ADOTADAS NO MDC, USADOS NOS CÁLCULOS DE EE (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). ....	69
TABELA 5.7 – OUTROS PARÂMETROS DO MDC NA IP (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	75
TABELA 5.8 – FATOR DE SUSCEPTIBILIDADE (FATOR A) E FATOR DE CORREÇÃO DO TU (FATOR B) DAS LÂMPADAS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO DE LATITUDE E CLIMA (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR). ....	75
TABELA 6.1 – CARACTERÍSTICAS DAS MESORREGIÕES CORRESPONDENTES A VALORES MÁXIMO, MÍNIMOS E UMA COM VALOR DE INSOLAÇÃO SOLAR INTERMEDIÁRIO. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	85
TABELA 6.2 – CARACTERÍSTICAS DAS MESORREGIÕES CORRESPONDENTES A VALORES PADRÃO ANUAL EM U, U INVERTIDO E INTERMEDIÁRIO DO VALOR DE INSOLAÇÃO SOLAR. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	89
TABELA 6.3 – RANKING DAS MESORREGIÕES COM AS MAIORES ECONOMIA DE ENERGIA REAL ESTIMADA, CONSIDERANDO EFEITO CLIMA. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR) .....	94
TABELA 6.4 – RANKING DAS MESORREGIÕES COM AS MAIORES ECONOMIA DE ENERGIA POTENCIAL ESTIMADA, CONSIDERANDO EFEITO CLIMA. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR) .....	94
TABELA 6.5 – CARACTERÍSTICAS DAS MESORREGIÕES CORRESPONDENTES A VALORES MÁXIMO, MÍNIMOS E INTERMEDIÁRIO DE INSOLAÇÃO PARA O RELUZ. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR) .....	99
TABELA 6.6 – CARACTERÍSTICAS DAS MESORREGIÕES COM VALORES PADRÃO U, U INVERTIDO E INTERMEDIÁRIO DE INSOLAÇÃO PARA OS DADOS DO RELUZ. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR) .....	104
TABELA 6.7 – RANKING DAS MESORREGIÕES COM AS MAIORES ECONOMIA DE ENERGIA REAL ESTIMADA, CONSIDERANDO EFEITO CLIMA PARA O RELUZ. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR) .....	108
TABELA 6.8 – CORRELAÇÕES ENTRE A INSOLAÇÃO E A DIFERENÇA ENTRE O DIA ASTRONÔMICO E DA INSOLAÇÃO (EFEITO CLIMA) DE ALGUMAS MESORREGIÕES ANALISADAS. (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	113
TABELA 6.9 – TABELA GERAL COMPARATIVA ENTRE AS DIFERENTES CARACTERÍSTICAS DO MÉTODOS PROCCEL/ELETRÓBRÁS E DO MDC PARA O SETOR RESIDENCIAL (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR).....	116

TABELA 6.10 – TABELA GERAL COMPARATIVA ENTRE AS DIFERENTES CARACTERÍSTICAS DO MÉTODOS PROCEL/ELETROBRÁS E DO MDC PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA (FONTE: ELABORAÇÃO DO AUTOR)..... 118

### III. LISTA DE SÍMBOLOS E VARIÁVEIS

<b><math>\alpha</math> (alfa)</b>	Fator de susceptibilidade
<b><math>\beta</math> (beta)</b>	Fator de correção do tempo de utilização
<b>cd</b>	Candela
<b>cd.m<sup>-2</sup></b>	Candela por metro quadrado
<b>Td</b>	dia astronômico (dia claro)
<b>US\$</b>	dólar americano (Estados Unidos)
<b>GWh</b>	Giga Watt hora
<b>GWh. ano<sup>-1</sup></b>	Giga Watt hora por ano
<b>°</b>	graus
<b>Hz</b>	hertz
<b>h</b>	hora
<b>h.dia<sup>-1</sup></b>	horas por dia
<b>Lux</b>	iluminância
<b>I</b>	insolação solar
<b>kWh.ano<sup>-1</sup></b>	Kilo Watt hora por ano
<b>kWh.mês<sup>-1</sup></b>	Kilo Watt hora por mês
<b>lm</b>	lumens
<b>lm.m<sup>-2</sup></b>	lumens por metro quadrado
<b>lm.W<sup>-1</sup></b>	lumens por watt
<b>MW</b>	Mega Watt
<b>MWh. ano<sup>-1</sup></b>	Mega Watt hora por ano
<b>M</b>	Metro
<b>%</b>	porcentagem
<b>kg</b>	quilo grama
<b>R\$</b>	real
<b>TWh</b>	Tera Watt hora
<b>TWh.ano<sup>-1</sup></b>	Tera Watt hora por ano
<b>V</b>	volts
<b>Wh</b>	watt hora
<b>Wh.dia<sup>-1</sup>.dom<sup>-1</sup></b>	watt hora por dia por domicílio
<b>Wh.dia<sup>-1</sup>.ponto<sup>-1</sup></b>	watt hora por dia por ponto de iluminação pública
<b>W</b>	watts

#### IV. LISTA DE ABREVIATURAS

<b>Abilux</b>	Associação Brasileira da Indústria de Iluminação
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>Abradee</b>	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
<b>AIE</b>	Agência Internacional de Energia (em inglês: International Energy Agency)
<b>Aneel</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>Ashrae</b>	American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers
<b>BEN</b>	Balanco Energético Nacional
<b>BEU</b>	Balanco de Energia Útil
<b>CE</b>	Consumo de Energia
<b>Censo</b>	Censo Demográfico ou Contagem Geral da População realizada pelo IBGE
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>Conpet</b>	Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural
<b>DHN</b>	Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil
<b>E</b>	Leste
<b>EE</b>	Energia Economizada
<b>Eletrobrás</b>	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
<b>FCP</b>	Fator de Coincidência de Ponta
<b>FP</b>	Fator Procel
<b>GEE</b>	Gases de Efeito Estufa (em inglês: GHG - Greenhouse Gases)
<b>GEF</b>	Global Environment Facility
<b>GLD</b>	Gerenciamento pelo Lado da Demanda
<b>IAG/USP</b>	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>Inmet</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>Inmetro</b>	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
<b>INPE</b>	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
<b>IP</b>	Iluminação Pública
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change (em português: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)
<b>LE</b>	Lâmpada Eficiente
<b>LED</b>	Light Emitting Diode (em português: Diodo Emissor de Luz)
<b>LF</b>	Lâmpada Fluorescente

<b>LFC</b>	Lâmpada Fluorescente Compacta
<b>LFCirc</b>	Lâmpada Fluorescente Circular
<b>LFT</b>	Lâmpada Fluorescente Tubular
<b>LI</b>	Lâmpada Incandescente
<b>M&amp;V</b>	Medicação e verificação
<b>MDC</b>	Método por Demanda Climática
<b>MDIC</b>	Ministério do Desenvolvimento, Industria e Comércio Exterior
<b>MME</b>	Ministério das Minas e Energia
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>N</b>	Norte
<b>nº</b>	número
<b>OCDE</b>	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (em inglês: OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development)
<b>OIE</b>	Oferta Interna de Energia
<b>OMM</b>	Organização Meteorológica Mundial (em inglês: WMO – World Meteorological Organization)
<b>PBE</b>	Programa Brasileiro de Etiquetagem
<b>PCH</b>	Pequena Central Hidrelétrica
<b>PDEE</b>	Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica
<b>PEE</b>	Programa de Eficiência Energética
<b>P&amp;D</b>	Pesquisa e Desenvolvimento
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>PIMVP</b>	Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (em inglês: IPMVP - International Performance Measurement and Verification Protocol)
<b>PNAD</b>	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio
<b>PNE</b>	Plano Nacional de Energia
<b>POA</b>	Porto Alegre
<b>PPE</b>	Potencial de Economia de Energia
<b>Procel</b>	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
<b>PUC-RJ</b>	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
<b>RDP</b>	Redução de Demanda de Ponta
<b>ReLuz</b>	Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente
<b>RMP</b>	Redução Média de Potencia
<b>S</b>	Sul
<b>SP</b>	São Paulo

<b>SW</b>	Sudoeste
<b>TEP</b>	Toneladas Equivalentes de Petróleo
<b>TU</b>	Tempo de Utilização
<b>TU<sub>cte</sub></b>	Tempo de Utilização Constante
<b>TU<sub>ip</sub></b>	Tempo de Utilização em Iluminação Pública
<b>TU<sub>pad</sub></b>	Tempo de Utilização Padrão
<b>TU<sub>var</sub></b>	Tempo de Utilização Variável
<b>TUL</b>	Tempo de Utilização – Efeito Latitude
<b>TUC</b>	Tempo de Utilização – Efeito Clima
<b>UFPE</b>	Universidade Federal de Pernambuco
<b>UFSC</b>	Universidade Federal de Santa Catarina
<b>Unifei</b>	Universidade Federal de Itajubá
<b>VM</b>	Lâmpada de Vapor Metálico
<b>VSAP</b>	Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão
<b>WWF</b>	World Wide Fund for Nature (em português: Fundo Mundial para Natureza)

# **CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO E OBJETIVOS**

## **1.1. INTRODUÇÃO**

Para a sobrevivência e o desenvolvimento da humanidade, é indispensável a oferta de energia, seja ela elétrica, térmica ou em suas mais diversas formas. Devido ao progresso tecnológico, motivado pela necessidade constante do homem sempre evoluir e descobrir maneiras diferentes de adaptação ao ambiente em que vive e no atendimento às suas necessidades básicas, a demanda de energia se tornou cada vez maior. Logo, a potencial escassez ou a redução de uma das formas de energia tende a ser compensada pelo surgimento de outra.

No último século, após o uso em grande escala, a eletricidade se tornou uma das formas mais práticas e convenientes de energia, sendo atualmente um recurso indispensável e fundamental para o desenvolvimento socioeconômico das sociedades. Entretanto, o aumento da demanda de energia, decorrente da evolução tecnológica e do avanço no desenvolvimento humano é apontado como um dos fatores fundamentais no processo das mudanças climáticas e ambientais descritas na literatura científica (GOLDEMBERG E VILLANUEVA, 2003; STERN, 2006; ZWAAN E GERLAGH, 2006; IPCC, 2007).

Ainda segundo Goldemberg e Villanueva (2003), o crescimento do consumo de energia triplicou após a Revolução Industrial e artigos recentes mostram uma tendência de crescimento da demanda energética em consequência da melhoria de qualidade de vida nos países em desenvolvimento. Caso esta tendência de crescimento se mantenha, até 2020, provavelmente o consumo de energia nos países desenvolvidos será ultrapassado pelo consumo dos países em desenvolvimento, fato de grande preocupação, já que os recursos naturais são limitados.

Como agravante, o quarto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (IPCC, 2007) afirma, através de uma análise científica, que as alterações climáticas estão ocorrendo em decorrência das atividades humanas, isto é, ações antrópicas. O crescente consumo de combustíveis fósseis é destacado como um dos principais fatores causadores dessas mudanças, devido à emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE no processo de queima desta forma de energia.

Com o aumento da demanda energética e a crescente preocupação das conseqüências climáticas do uso de combustíveis fósseis, tem intensificado o desenvolvimento de pesquisas e o uso de tecnologias alternativas de geração de energia, com a respectiva redução do impacto ambiental (ZWAAN E GERLAGH, 2006). Em complementação e não menos importante, a elevação dos custos destes mesmos combustíveis fósseis também incentiva à adoção de Programas de Eficiência Energética – PEE, através da mudança nos hábitos de consumo da população e da aplicação de novas tecnologias, com equipamentos que consomem energia de forma mais racional e que são menos poluentes e com (NOGUEIRA, 2007).

No Brasil, desde a década de 1970, já existem PEE com as ações de racionalização da produção e do uso da energia. Como destaque, temos o Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural – Conpet e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel. Estes programas nacionais foram criados com o objetivo de promover o uso mais eficiente da energia em suas diversas formas, bem como reduzir os custos de investimento do setor energético brasileiro e de contribuir para a redução dos impactos ambientais indesejáveis resultantes do uso da energia (ELETROBRÁS, 2006a; NOGUEIRA, 2007).

Especificamente na área de iluminação, onde o consumo esta em aproximadamente 17,7% da energia elétrica usada no País (MME, 2006a), o Procel estimula a substituição constante para lâmpadas mais eficientes, através de dois sub-programas, que serão abordados detalhadamente neste trabalho:

- a) Selo Procel em lâmpadas fluorescentes – etiqueta de eficiência energética (figura 3.2);
- b) Procel ReLuz – Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente.

Através destes sub-programas, as lâmpadas menos eficientes (Lâmpadas Incandescentes – LI, por exemplo), que correspondem a grande parte do consumo em iluminação, estão reduzindo a sua participação no mercado ano após ano, em especial,

porque as LI utilizam por volta de quatro vezes mais energia em relação às Lâmpadas Eficientes – LE, que é uma grande desvantagem para o consumidor final (figura 2.1). Anualmente, a Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás) realiza uma avaliação dos impactos das ações do Procel, na substituição para as lâmpadas mais eficientes e a sua respectiva redução no consumo de energia e redução na demanda de ponta, para o determinado ano.

Entretanto, o grande desafio dos PEE, seja na área de iluminação (Selo Procel e ReLuz) ou em outro setor, está em estabelecer uma metodologia para quantificar os ganhos reais das ações de conservação de energia (JANNUZZI et al, 1997; SAMPAIO et al, 2002; JANNUZZI, 2004). Atualmente, a confiabilidade dos resultados de algumas das variáveis envolvidas é baixa, dadas as dificuldades de medição, ou até da inexistência de dados e informações mais precisas.

## 1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho está em propor uma metodologia para quantificar os ganhos dos programas nacionais de eficiência energética nos setores de iluminação residencial (Selo Procel) e pública (Procel/ReLuz), através de uma base de dados que integre informações sócio-econômicas (número de domicílios, consumo de energia e parque de lâmpadas), geográficas (latitude e divisão por mesorregiões<sup>1</sup>) e climatológicas (insolação solar), fornecidos por órgãos oficiais brasileiros (IBGE, Eletrobrás e Inmet). A metodologia proposta, que utiliza o conceito de Gerenciamento pelo Lado da Demanda – GLD<sup>2</sup> e chamado de *Método por Demanda Climática – MDC*, compreende correlações entre as diferentes características climáticas regionais e a demanda de energia elétrica, devido ao uso de iluminação no setor residencial e de iluminação pública – IP.

Como objetivo secundário, pretende-se estabelecer novas informações sobre as mesorregiões brasileiras com maior potencial de racionalização energética, permitindo o suporte necessário para o planejamento de programas e no desenvolvimento de ações mais efetivas em eficiência energética.

---

<sup>1</sup> Mesorregião: subdivisão dos Estados brasileiros, classificada e padronizada pelo IBGE, no qual existem similaridades sociais e econômicas; ou seja, é uma divisão intermediária entre Estado e Município.

<sup>2</sup> GLD: é uma intervenção deliberada no mercado consumidor (causa da demanda), com o objetivo de promover alterações no perfil, hábito de consumo e na magnitude da curva de carga. (fonte: adaptado de Campos, 2004)

## CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS

Neste capítulo, abordaremos os principais aspectos da fundamentação teórica relacionado ao uso eficiente de energia em sistemas de iluminação. Desde as evoluções tecnológicas, da racionalização energética passando pelos métodos de medição e verificação, serão apresentados os pontos relevantes e sua correlação com a história recente do setor elétrico no Brasil.

Na última parte do capítulo, também será apresentada uma abordagem generalista sobre os fundamentos das variáveis meteorológicas e das condições climatológicas utilizados neste trabalho, com destaque para a insolação solar.

### 2.1. FOTOMETRIA E RADIOMETRIA

Para uma melhor compreensão de algumas definições apresentadas neste trabalho e também utilizadas na avaliação de projetos de eficiência energética em iluminação, é importante conhecer alguns conceitos sobre os campos da fotometria e da radiometria (PEREIRA E SOUZA, 2000; COSTA, 2006; NOGUEIRA, 2007a), descritos na tabela 2.1.

*Tabela 2.1 – Detalhamento das principais grandezas fotométricas e radiométricas. (fonte: elaborado pelo autor, a partir de Pereira e Souza, 2000, Costa, 2006 e Nogueira, 2007a).*

Nome da grandeza	Símbolo	Unidade	Características
<b>Fluxo luminoso</b>	$\Phi$	lm	Componente do fluxo radiante que gera uma resposta visual
<b>Fluxo radiante</b>	-	W	Corresponde ao total de radiação óptica emitida pela fonte
<b>Exitância luminosa</b>	M	lm.m <sup>-2</sup>	É a densidade do fluxo luminoso emitida pela lâmpada em W e a potência elétrica consumida, também em W

<b>Eficiência luminosa (em unidade)</b>	$\eta$	$\text{lm.W}^{-1}$	$(\eta = \Phi/P)$ é a razão entre o fluxo luminoso produzido por uma fonte e a potência (P) consumida
<b>Eficiência luminosa (em porcentual)</b>	-	%	É a relação entre a radiação luminosa emitida pela lâmpada em W e a potência elétrica consumida, também em W
<b>Intensidade luminosa ou candela</b>	L	cd	$(L = \Phi/\omega)$ é o fluxo luminoso emitido por uma fonte em uma certa direção, dividido pelo ângulo sólido no qual está contido
<b>Iluminância</b>	E	lux	$(E = \Phi/A)$ é o fluxo luminoso incidente em uma superfície dividida pela área (A) da mesma
<b>Luminância</b>	L	$\text{cd.m}^{-2}$	$(L = I/A)$ é a intensidade luminosa de uma fonte ou superfície iluminada por unidade de área aparente em uma dada direção

A iluminação, está relacionada à fotometria, já que a radiometria mede as potências radiantes totais e as quantidades dela derivada, enquanto a fotometria mede a parte da potência radiante percebida pelo olho humano como luz visível, pois neste caso, os serviços prestados pelos sistemas de iluminação se referem à parcela útil ou luminosa emitida pelas lâmpadas.

## 2.2. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

As inovações tecnológicas e produtos com maior eficiência energética promovem benefícios diretos no setor energético e também para outras áreas da sociedade. Por exemplo, quando se estimula o aperfeiçoamento tecnológico com o objetivo de reduzir o consumo de energia em um sistema de iluminação pública – IP, pode-se obter, como consequência, menores gastos com a operação da infra-estrutura e da respectiva mão-de-obra para a manutenção.

Do ponto de vista histórico, o processo de evolução tecnológica em sistemas de iluminação pode ser observados na tabela 2.2, a seguir:

Tabela 2.2 – Cronologia simplificada da evolução tecnológica desenvolvida para o uso de iluminação artificial. (fonte: adaptado de Costa, 2006).

ANO	FONTE LUMINOSA	DESAFIO TECNOLÓGICO
<b>Domínio do Fogo</b>		
?	Descoberta do fogo	Como iniciar?
500000 a.C.	Fogueira	Como controlar?
200000 a.C.	Tocha	Como manter?
20000 a.C.	Lâmpada a óleo animal	Como facilitar transporte?
Século I	Vela de cera	Como ter em quantidade?
1780	Vela de espermacete	Como popularizar?
1784	Lâmpião Argand	Como usar em via pública?
1803	Lâmpião a gás de carvão	Como aumentar intensidade?
<b>Domínio da eletricidade</b>		
1808	Arco voltáico	Como manter constante o arco?
1830	Vela parafínica	--- fim ---
1847	Lâmpião de óleo parafínico	Como aumentar a luz?
1878	Lâmpada incandescente de carvão	Como aumentar a vida útil?
1880	Arco voltáico controlado	Como aumentar a segurança?
1887	Lâmpião com camisa	--- fim ---
1893	Arco voltáico encapsulado	--- fim ---
1901	Lâmpada vapor mercúrio baixa pressão	Como alimentar em CA?
1902	Lâmpada incandescente de ósmio	Como baratear o filamento?
1906	Lâmpada incandescente de tântalo	Como evitar a quebra do filamento?
1907	Lâmpada incandescente de tungstênio	Como aumentar o filamento?
1908	Lâmpada vapor de mercúrio alta pressão	Como evitar a alta radiação UV?
1912	Lâmpada incandescente tungstênio espiral	Como aumentar a eficiência?
1931	Lâmpada vapor de sódio baixa pressão	Como alimentar em CA?
1932	Lâmpada fluorescente	Como melhorar a reprodução de cor?
1933	Lâmpada incandescente espiral dupla	Como aumentar mais a eficiência?
1933	Lâmpada vapor de sódio baixa pressão	Como melhorar a reprodução de cor?
1934	Lâmpada incandescente espiral tripla	Como economizar energia?
1935	Lâmpada vapor de mercúrio alta pressão	Como melhorar reprodução de cor?
1941	Lâmpada de luz mista	Como montar em qualquer posição?
1955	Lâmpada vapor de sódio alta pressão	Como sinterizar o alumínio?
1959	Lâmpada incandescente halógena	Como direcionar o calor irradiado?
1964	Lâmpada vapor a iodetos metálicos	Como acender rapidamente?
1965	Lâmpada vapor de sódio alta pressão	Como melhorar a reprodução de cor?
<b>Choque do petróleo</b>		
1973	Lâmpada fluorescente de pós emissivos	Como melhorar sua eficácia?
1980	Lâmpada fluorescente compacta	Como aumentar o desempenho?
1987	Lâmpada incandescente econômica	Como conscientizar o usuário?
1988	Sistemas integrados	Como popularizar?
1991	Lâmpada de indução	Como tornar competitiva com os outros sistemas?
1992	Lâmpada fluorescente eletrônica compacta	Como reduzir custos para vender em massa?
1994	Lâmpada de enxofre	Como criar variedade de potências para uso?
1996	Lâmpada fluorescente de 16 mm diâmetro	Como adaptar aos sistemas existentes?

Apesar do avanço da tecnologia, atualmente no Brasil, as lâmpadas incandescentes – LI ainda são as mais comuns no mercado (LEONELLI et al, 1997; NOGUEIRA et al 2007a), mesmo com a vida útil relativamente mais curta em comparação a outros modelos, o seu custo inicial é mais baixo. Como princípio de funcionamento, a luz da LI é produzida a partir da elevação da temperatura de um filamento metálico, geralmente de tungstênio. Como vantagens, a LI tem o seu tamanho reduzido, possui funcionamento imediato e a não tem a necessidade de uso de outros aparelhos auxiliares para a operação. Entretanto, a eficiência luminosa da LI é baixa (figura 2.1), pois no seu funcionamento existe uma elevada dissipação de calor, que provoca perda de energia. Basicamente na arquitetura, são empregadas LI de três modelos diferentes: incandescente comum, refletora (espelhada) e halógena (LAMBERTS et al 1992).

Na figura 2.1, está representada a faixa de eficiência luminosa dos diferentes tipos de lâmpadas existentes no mercado.

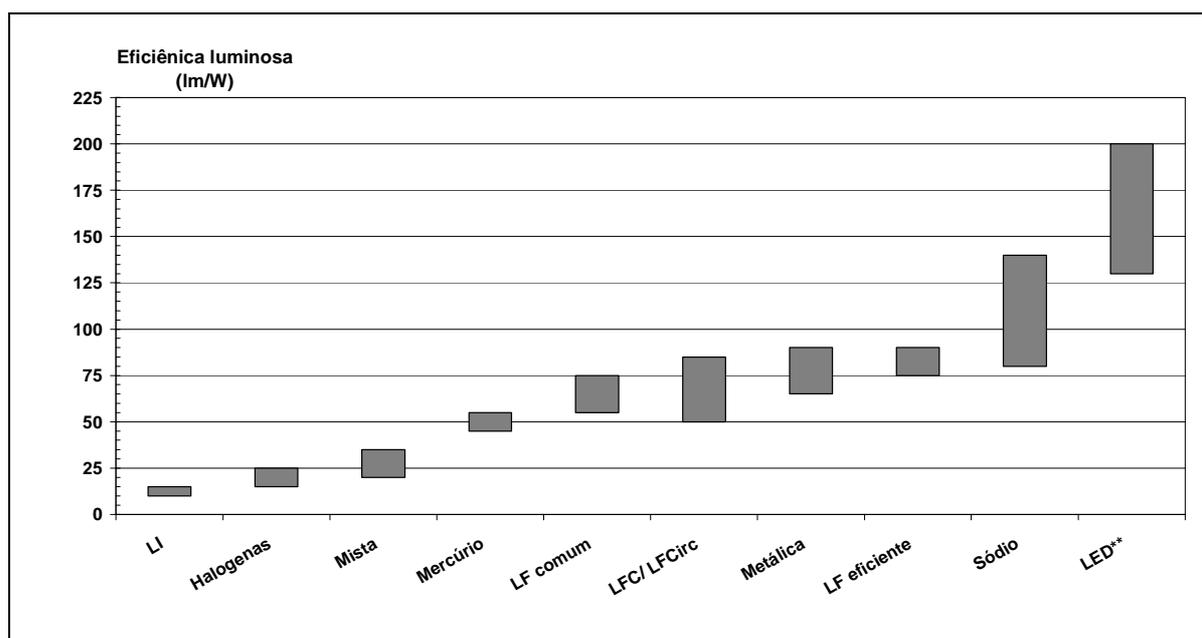


Figura 2.1 – Eficiência luminosa dos diferentes tipos de lâmpadas existentes no mercado brasileiro. \*\* valores para LED são estimados teoricamente. (fonte: elaboração do autor, a partir de Nogueira et al, 2007a)

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, foi possível criar as lâmpadas fluorescentes – LF, com destaque para as lâmpadas fluorescentes compactas – LFC e lâmpadas fluorescentes circulares – LFCirc, que possuem vapor de mercúrio em baixa pressão e um com reator compacto, que permite a luminosidade. A luz das LE é proporcionada pela descarga inicial do gás, que através da pulsação de corrente é ionizado

e provoca uma luminância. Por ter uma operação distinta da LI, a vida útil das LF pode variar entre 3.000 – 8.000 horas, enquanto as LI têm a vida útil em torno de 1.000 horas, dependendo do hábito de uso e aplicação (LAMBERTS et al, 1992; JANNUZZI E SANTOS, 1996; KAZAKEVICIUS et al, 1999; BIRNER E MARTINOT, 2005; MAHLIA, 2005; ELETROBRÁS, 2006a).

Resumidamente, as lâmpadas, que são dispositivos elétricos capazes de transformar energia elétrica em energia luminosa, são agrupadas em três tipos principais:

- Lâmpadas incandescentes;
- Lâmpadas de descarga;
- Lâmpadas de LED (Light Emitting Diode).

As lâmpadas de descarga, entre as quais temos as LF, necessitam de menores potências para produzir o mesmo resultado visual do que as LI. A eficiência luminosa das LF é cerca de quatro vezes maior que LI.

A evolução tecnológica para iluminação já apresentou importantes avanços, desde transição da iluminação a combustível até a iluminação elétrica e posteriormente, das LI para as lâmpadas de descarga. Atualmente, o LED, que possui o princípio de funcionamento bastante distinto, sugere que a evolução tecnologia é contínua, em especial nos seguintes parâmetros: eficiência, vida útil, qualidade da luz e facilidade de direcionamento do foco luminoso.

Naturalmente, regulação e legislação para os sistemas de iluminação deverão acompanhar a evolução tecnológica de forma a estimular o uso das tecnologias de mais alto nível e com o compromisso com a qualidade global do sistema. Entretanto, vale lembrar que para a seleção da tecnologia que será utilizada para fornecimento da iluminação (fluxo luminoso) devem ser observados alguns aspectos. Os principais são: a qualidade da luz, a vida mediana, a eficiência das lâmpadas e os custos envolvidos. Cada um desses aspectos deverá estar adequado às condições do local a ser iluminado.

Com o desenvolvimento tecnológico das LFC e LFCirc foi possível alcançar resultados cada vez melhores para a eficiência luminosa. Como benefício indireto, também é possível obter um produto que não gere distorções para a rede de distribuição de energia, como harmônicos de corrente elétrica (RESENDE et al, 2005). Como consequência, as inovações tecnológicas tendem também a trazer benefícios para o meio ambiente, como o desenvolvimento novos processo para reciclagem de LFC, LFCirc e lâmpadas fluorescentes tubulares – LFT.

O uso das LI nos sistemas de IP, número bem reduzido, já se tornou obsoleta em função dos elevados custos de manutenção e baixa eficiência luminosa em relação a outros modelos de lâmpadas, como exemplo, as lâmpadas de Vapor Metálico – VM e de Vapor de Sódio de Alta Pressão – VSAP. Neste caso, as VM chegam a durar 10 vezes mais do que as incandescentes e as VSAP até 30 vezes mais, o que representa índices de queima menores, com uma menor taxa de intervenção para manutenção. Vale ressaltar que, para as localidades que não dispõem de equipes de pronto atendimento para manutenção, os custos de cada intervenção podem ser significativos (FRÓES DA SILVA, 2006).

Portanto, com a aplicação das novas tecnologias na IP, além das necessidades da sociedade serem atendidas com considerável redução da potência instalada, existe uma série de benefícios indiretos por ponto substituído ou expandido. Na visão das concessionárias de energia elétrica, esta energia economizada, resultante da aplicação das novas tecnologias na IP, poderá ser disponibilizada para outros segmentos, onde as tarifas de energia cobrada são mais atrativas devido às características comerciais (LOPES, 2002).

### **2.3. RACIONALIZAÇÃO DO USO DE ENERGIA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO**

Um sistema de iluminação é composto basicamente por lâmpadas, reatores e luminárias. Um bom projeto de eficiência energética em iluminação deve ter um estudo detalhado das características do local, para que se possa utilizar o melhor sistema de iluminação para permitir a maior eficiência energética e economia para o consumidor.

A escolha do sistema de iluminação eficiente a ser utilizado em um determinado local depende do tipo de ambiente, reprodução de cores, conservação de energia e custo envolvidos. Por exemplo, os ambientes mais claros (paredes e tetos brancos) necessitam de uma quantidade de iluminação menor que os ambientes mais escuros, pois as cores mais claras refletem mais luminosidade. Atualmente, as lâmpadas mais eficientes possuem os custos financeiros iniciais maiores, no entanto, apresentam uma menor potência e maior tempo de vida útil.

Um bom projeto de iluminação eficiente tem como características principais (MANICCIA, 1997; CHRISTOFFERSEN et al, 1998; NOGUEIRA et al 2007a):

- ✓ Aproveitar ao máximo da iluminação natural;

- ✓ Apresentar um bom sistema de controle de consumo (interruptores, sensores de presença etc);
- ✓ Empregar cores claras nos tetos e paredes;
- ✓ Fazer a limpeza adequada e periódica nas lâmpadas e luminárias
- ✓ Utilizar lâmpadas mais eficientes.

## 2.4. MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO

Realizar uma avaliação quantitativa e verificar os resultados de um Programa de Eficiência Energética – PEE é fundamental para justificar os investimentos e ações iniciais necessárias para sua execução. A grande dificuldade está em estimar o consumo de energia evitado e sua respectiva potência economizada. Com o objetivo de consolidar uma metodologia internacional de Medição e Verificação – M&V dos resultados dos PEE, foi desenvolvido o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – PIMVP.

A Agência Internacional de Energia (AIE), com estudos de casos na Bélgica, Canadá, Coréia do Sul, Dinamarca, França, Holanda, Itália e Suécia, propôs o PIMVP dentro do Programa de Avaliação das Medidas para a Eficiência Energética e Gerência da Demanda da AIE, sendo mantido com o patrocínio do Departamento de Energia dos Estados Unidos. Como ponto principal, o PIMVP recomenda a comparação das curvas de carga antes e após a adoção das medidas de racionalização energética, através da curva de referência ou linha de base (*base-line*), com as curvas de carga após o programa de eficiência (MILANEZ et al, 2001).

Conforme apresentado em Milanez et al (2001), o PIMVP é aplicável como base para determinar a economia de energia na implementação de um PEE e também pode ser aplicado no monitoramento do desempenho de sistemas de energia. É basicamente uma estrutura de definições e métodos para avaliar a economia de energia e foi desenvolvido para permitir aos usuários criar um plano de M&V para determinado projeto de eficiência energética.

A economia de energia ou chamada também de consumo evitado da energia, é determinada pela comparação dos usos observados de energia antes e após a implementação de um programa, dada pela equação 2.1 (MILANEZ et al, 2001).

$$EE = CE_{LB} - CE_{PEE} \pm \text{ajustamento} \quad (2.1)$$

onde:

*EE = economia de energia (ou consumo evitado de energia);*

*CE = consumo de energia na linha de base (LB) e após o programa de eficiência energética (PEE).*

*Ajustamento = termo da equação para condições que afetam o uso de energia das diferentes condições de consumo, como por exemplo, fatores climáticos, tempo de utilização variável, operações dos equipamentos etc. Dependendo das condições, pode ser positivo ou negativo.*

Apenas como exemplo do potencial de economia de energia através de projetos de eficiência energética, Milanez et al (2001), destaca que se todos os investimentos feitos nos programas de racionalização energética fossem implementados nos edifícios públicos e comerciais dos Estados Unidos, os custos financeiros iniciais seriam multiplicados por três, mas dentro de uma década resultariam em uma economia de US\$ 20 bilhões por ano com a redução no consumo de energia e também de água. Neste exemplo, ainda é destacado que poderiam ser criados cerca de 100.000 empregos permanentes e que diminuiria significativamente a poluição relacionada ao consumo de energia. Destaca ainda que, para os países em desenvolvimento, que possuem um rápido crescimento econômico e com o respectivo aumento da demanda de energia, PEE possibilitam controlar os altos custos para construção de novas usinas elétricas, limitando também custos relativos com a importação de energia e os danos decorrentes à saúde e meio-ambiente devido à queima de combustíveis fósseis.

## **2.5. O SETOR ELÉTRICO NO BRASIL**

### **2.5.1. Desenvolvimento econômico**

Segundo dados do Ministério das Minas e Energia (MME, 2006a; MME, 2006b), durante o período de 1970 a 2005, o Produto Interno Bruto – PIB brasileiro cresceu a uma taxa média de 2,5% a.a., onde a Oferta Interna de Energia – OIE cresceu 226,9% para o mesmo período, ou seja, cerca de 2,8% a.a..

Goldemberg e Lucon (2007) destacam que após o forte crescimento da economia nacional ocorrida na década de 1970, houve uma desaceleração nos índices do PIB, da produção de energia primária e do consumo de energia elétrica. Entretanto, no período de 1970-2005, o aumento da produção de energia primária no Brasil tem acompanhado de perto o crescimento do PIB, mas o consumo de eletricidade tem aumentado mais rapidamente, em razão da expansão da rede elétrica no Brasil e da instalação de indústrias com grande consumo de eletricidade.

Na tabela 2.3, é apresentado um resumo da evolução do PIB, da OIE e alguns eventos relevantes que influenciaram a economia brasileira de 1970 a 2005. Em complementação, a figura 2.2 apresenta a evolução para o mesmo período de 35 anos, da OIE em toneladas equivalente de petróleo – TEP.

*Tabela 2.3 – Variação do PIB e da oferta de energia de 1970 a 2005. (fonte: elaboração do autor, a partir de MME, 2006a).*

<b>Período</b>	<b>% PIB (média a.a.)</b>	<b>% OIE (média a.a.)</b>	<b>Eventos relevantes</b>
1970 – 1980	8,6	n.d.	Desenvolvimento da indústria de base
1985 – 1993	1,8	1,7	Recessão econômica
1993 – 1997	3,9	4,8	Estabilização e expansão econômica
1997 – 2005	2,0	2,4	- Desvalorização cambial e baixo desempenho da indústria - Problema no abastecimento de eletricidade (“apagão”) - Crescimento da produção e exportação

Observação: n.d. = não disponível

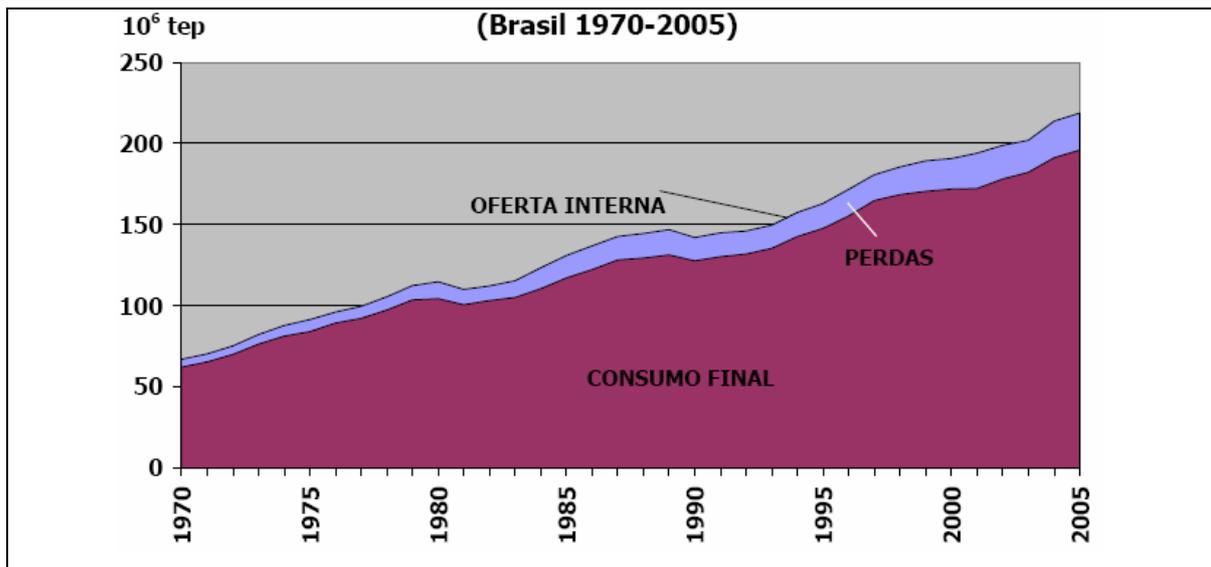


Figura 2.2 – Oferta interna de energia, de 1970 a 2005 em Tep. (fonte: MME, 2006a).

Vale destacar que, a partir de 1980, com a recessão da economia brasileira, as taxas de crescimentos reduziram significativamente. Até o ano de 1985, foi marcado por dois eventos significantes para a economia:

- i) expansão da indústria com grande consumo de energia (aço, alumínio e ferroligas), de forma de aproveitar o excesso de capacidade instalada de geração elétrica e de amenizar o déficit comercial;
- ii) ações para redução do consumo de derivados de petróleo, através do Conpet.

Com a redução dos preços internacionais do petróleo, a partir de 1985, as grandes vantagens competitivas das fontes renováveis de energia no Brasil perderam sua competitividade, enquanto houve um crescimento parcial dos derivados de petróleo (MME, 2006a).

Em 2000, após a desvalorização do Real ocorrida em 1999, a economia demonstrou sinais de recuperação com o crescimento do PIB de 4,4%. Entretanto, o consumo de energia cresceu apenas 0,7%, devido do fraco desempenho de setores industriais. No ano seguinte, é estabelecida a crise de abastecimento de eletricidade, também chamado de “apagão elétrico de 2001” (SAUER et al, 2001). Em razão desta crise, o PIB cresceu 1,4% e a OIE apresentou desempenho de 1,7%.

Segundo Geller et al (2004), a oferta de energia no Brasil cresceu 250% no período de 1975 a 2000, onde houve um grande estímulo para a expansão do setor energético, com

a objetivo de reduzir a dependência externa, principalmente em relação ao petróleo e seu derivados.

Em relação ao consumo final de energia elétrica, em termos percentuais (figura 2.3) é possível verificar as variações e a evolução da participação dos três setores (residencial, comercial/ público e industrial), em relação ao total de energia elétrica no Brasil. Predominantemente, ao longo dos 35 anos, o setor industrial sempre teve uma participação alta, mas ocorreu uma pequena redução de 1970 a 2005, devido ao processo de urbanização das cidades brasileiras.

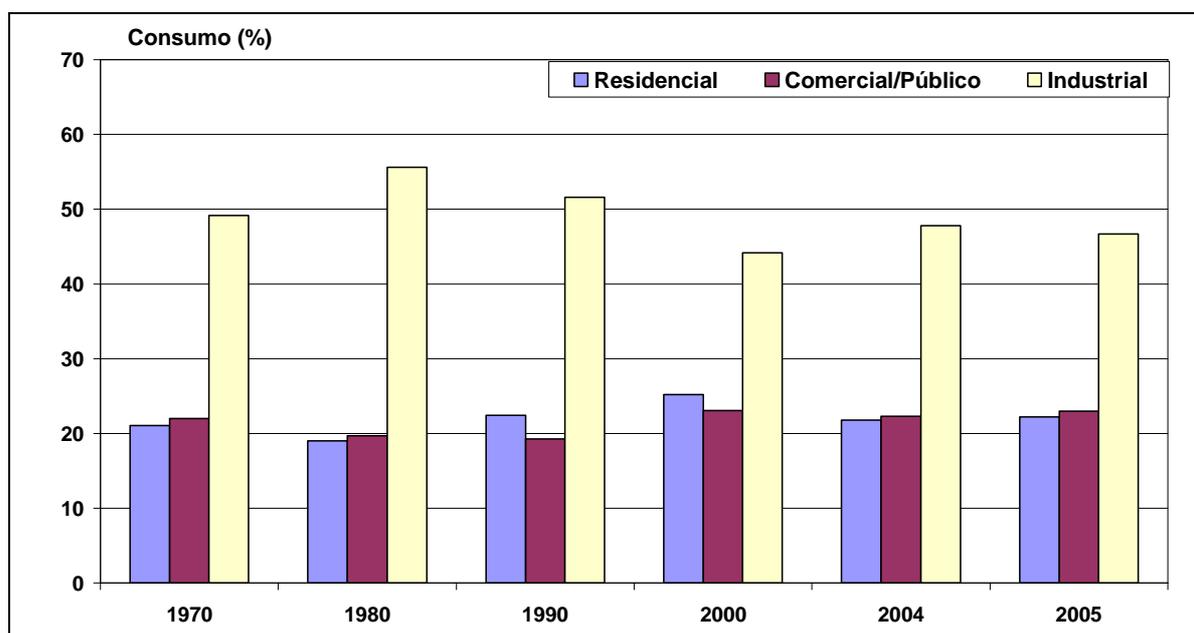


Figura 2.3 – Consumo final de energia elétrica (em %) e evolução da participação por setor. (fonte: elaboração do autor, a partir de MME, 2006a).

### 2.5.2. A crise energética de 2001

O episódio que marcou a história recente do setor energético no Brasil e que ficou conhecido como “apagão elétrico de 2001” (SAUER et al, 2001), criou uma ruptura de paradigma no conceito de eficiência energética, principalmente no setor residencial.

Na época do “apagão”, o uso racional de energia foi o principal ponto de destaque para o controle da demanda de eletricidade. Os resultados obtidos de economia de energia foram uma demonstração clara do potencial existente e do impacto de medidas educativas para a população no sentido de melhorar os hábitos de consumo e aplicar novas tecnologias. O “apagão” teve um fundamental papel pedagógico e muitos consumidores, principalmente no setor residencial, mudaram seu hábito de consumo, substituindo para

equipamentos mais eficientes, como LFC e LFCirc, por exemplo. Naturalmente, este setor foi o que mais contribuiu para o sucesso na economia de energia imposta pelo Governo Federal, através de um racionamento de 20% abaixo do patamar médio de 1 ano de consumo (SAUER et al, 2001; MME, 2006a). O consumo de energia residencial no Brasil apresentou como média nos cinco primeiros meses do ano de 2001, um valor de 7.275 GWh e teve redução no segundo semestre para 5.221 GWh, uma queda de 28,2% (MME, 2006a e 2005).

Já a economia de energia no País durante o “apagão” ficou em 46.794 GWh, ou seja, uma redução de 23,8% em relação a patamares pré-crise. Importante ressaltar que, esta redução e mudança de hábito de consumo de energia elétrica não ficou restrita ao período da crise do “apagão” de 2001, sendo percebida, porém em menor intensidade até meados de 2003 (figura 2.4).

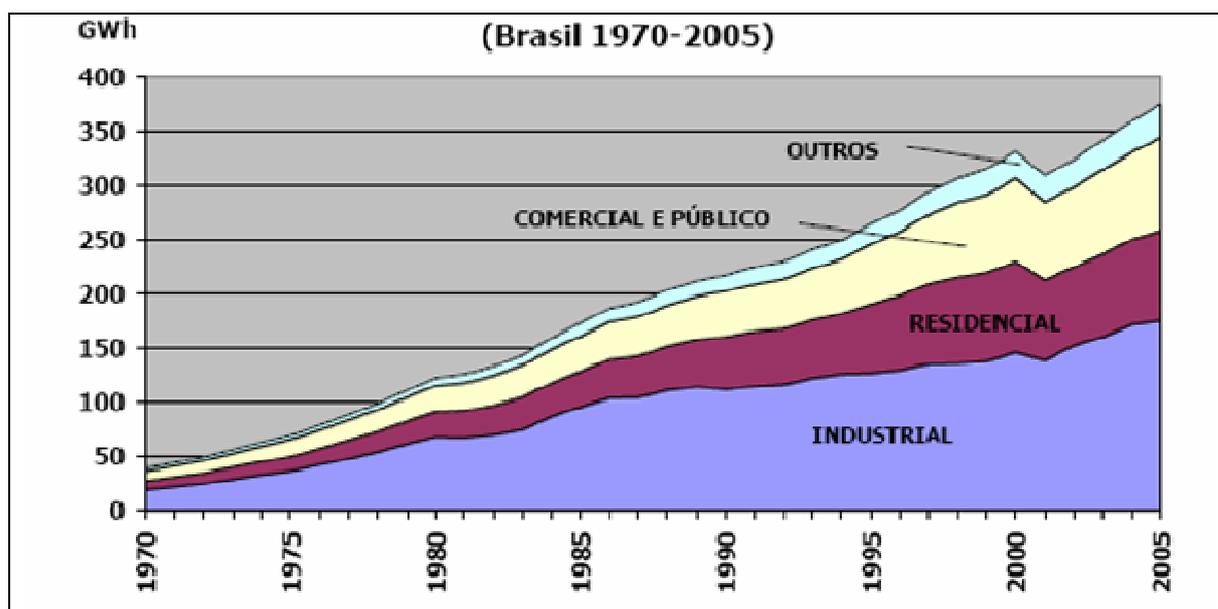


Figura 2.4 – Evolução do consumo final de energia elétrica no Brasil de 1970-2005, divididas por setores (fonte: MME, 2006a).

### 2.5.3. Oferta e demanda de energia em 2005

Neste trabalho utilizaremos 2005 como ano-base de comparações, portanto será dado um destaque quanto a oferta e demanda de energia para este ano.

Segundo o BEN (MME, 2006a), para o ano de 2005, a geração de energia elétrica no Brasil, atingiu 402,9 TWh (centrais de serviço público e de autoprodutoras), resultando

em 4,0% superior ao de 2004 (tabela 2.4) e o consumo final de eletricidade atingiu 375,2 TWh em 2005, valor 4,2% superior ao de 2004 (tabela 2.5).

*Tabela 2.4 – Variação da oferta de energia, por tipo de geração. (fonte: elaboração do autor, a partir de MME, 2006a).*

<b>Tipo de geração</b>	<b>Oferta (TWh)</b>	<b>Variação em relação 2004 (%)</b>
Hidráulica pública	325,1	5,3
Térmica pública	38,2	- 6,7
Autoprodutores	39,8	4,9

*Tabela 2.5 – Variação da demanda de energia, por setor. (fonte: elaboração do autor, a partir de MME, 2006a).*

<b>Consumo final de energia (setor)</b>	<b>Demanda (TWh)</b>	<b>Variação em relação 2004 (%)</b>
Industrial	175,4	1,9
Residencial	83,2	5,8
Comercial	53,5	6,8

## **2.6. ESTAÇÕES DO ANO E A CLIMATOLOGIA**

### **2.6.1. Condições meteorológicas e climatológicas**

Para as condições meteorológicas, considera-se o estado da atmosfera em um determinado período e local. O tempo, do ponto de vista meteorológico, está sempre mudando e consiste da composição de elementos tais como:

- temperatura do ar;
- pressão do ar;
- umidade;
- nebulosidade;
- precipitação;
- visibilidade;
- vento.

As condições atmosféricas são determinadas através de diversos fatores, sejam locais, regionais ou mesmo globais. Desde fenômenos planetários, como *El-Niño*<sup>3</sup> até efeitos mais locais, como brisa marítima ou circulação vale-montanha, existe uma forte interação de todas os elementos atmosféricos.

Se as condições atmosféricas são medidas e observadas durante um período específico, como, por exemplo, 30 anos, serão obtidas as “condições meteorológicas médias” ou a chamada “climatologia” de uma determinada região. O clima, portanto, representa o acúmulo dos eventos meteorológicos diários ou sazonais ao longo de período de tempo. O conceito de clima também é muito mais abrangente, pois inclui eventos extremos de fenômenos meteorológicos, como ondas de calor do verão e de frio do inverno, que ocorrem em uma determinada região. A frequência destes eventos é que estabelece a distinção entre os climas que tem condições médias similares.

No planeta Terra, existem diversas classificações climáticas. Os fatores que produzem esta diversificação são os mesmo que produzem as condições meteorológicas diárias, somadas as influências de características de uma determinada região. Portanto, podemos listar alguns fatores adicionais que podem ser chamados de controles climáticos:

- insolação solar;
- distribuição de terra e água;
- correntes oceânicas;
- ventos dominantes;
- posição de áreas de alta e baixa pressão atmosféricas;
- barreiras orográficas;
- altitude.

Das variáveis citadas acima, a insolação solar ou a disponibilidade de brilho solar é a que mais interessa neste trabalho. Como definição, a insolação solar é o número de horas de duração do brilho do Sol ou da incidência da luz direta do Sol na superfície terrestre (INMET, 1999; DHN, 2003; ANEEL, 2005b). Vale destacar que, a insolação solar, tem uma forte dependência da latitude local, da nebulosidade e do dia do ano, devido a posição do Sol ao longo da esfera celeste e das variações nas estações do ano (primavera, verão outono e inverno).

---

<sup>3</sup> El-Niño: fenômeno de aquecimento das águas do Oceano Pacífico que dependendo da intensidade pode influenciar as condições atmosféricas planetárias (fonte: Silva, 2000).

Basicamente, as estações do ano são reguladas pela quantidade de energia solar recebida à superfície da Terra. Esta quantidade de energia é determinada principalmente pelo ângulo em que a luz solar atinge a superfície e por quanto tempo o Sol brilha numa latitude (insolação ou hora do brilho solar). Ambos fatores dependem da posição da Terra em relação ao Sol, seja com uma variação diária ou anual.

A Terra completa uma volta ao redor do Sol numa trajetória elíptica em aproximadamente 365 dias ou um ano, chamado de Translação<sup>4</sup> da Terra (figura 2.5). À medida que a Terra órbita ao redor do Sol, ela gira em torno de seu eixo, completando uma volta em 24 horas ou um dia. Portanto, a variação de energia solar que chega a superfície da Terra, tem uma variação diária (entre o nascer e pôr do Sol) e anual, que é devido à inclinação do eixo de Rotação<sup>5</sup> da Terra em relação à Plano da Eclíptica<sup>6</sup>, em aproximadamente de 23° 27' (ou 23,45°).

---

<sup>4</sup> Translação: movimento orbital da Terra em torno do Sol, cuja a duração é de 365,25 dias e que descreve uma elipse alongada da direção oeste para leste (fonte: adaptação de Roditi, 2005)

<sup>5</sup> Rotação: movimento que a Terra executa em torno do eixo dos pólos, de oeste para leste, com duração de 23 horas e 56 minutos e que dá origem ao dia e à noite (fonte: Roditi, 2005)

<sup>6</sup> Eclíptica: plano imaginário em que a Terra descreve o movimento de translação.

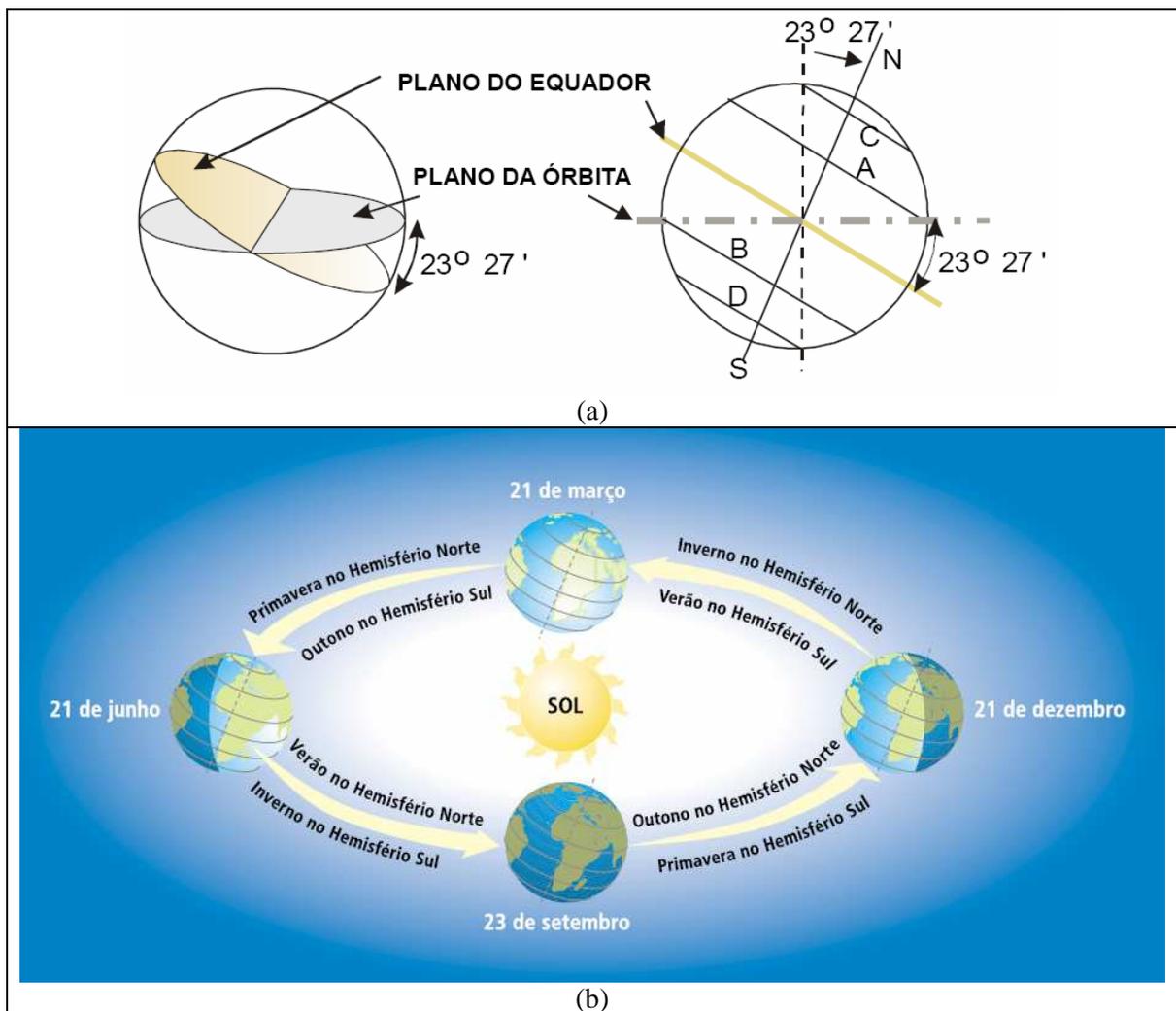


Figura 2.5 – Representação da inclinação do eixo de rotação da Terra (a) e do movimento em torno do Sol (translação), com as respectivas Estações do Ano devido a esta inclinação (b). (fonte: [a] – Varejão-Silva, 2005; [b] – Aneel, 2005b).

Na figura 2.6, vemos a incidência dos raios solares diferentes devido a inclinação do eixo da Terra. Já na figura 2.7, temos a variação de insolação solar em função da latitude (equador até latitude  $90^{\circ}\text{N}$ ) no dia 21 de Junho para o Hemisfério Norte, onde podemos destacar que o pico é em aproximadamente  $30^{\circ}$ , já que no Equador e nos Pólos existem reduções devido a nebulosidade e a pouca incidência devido inclinação do eixo da Terra.

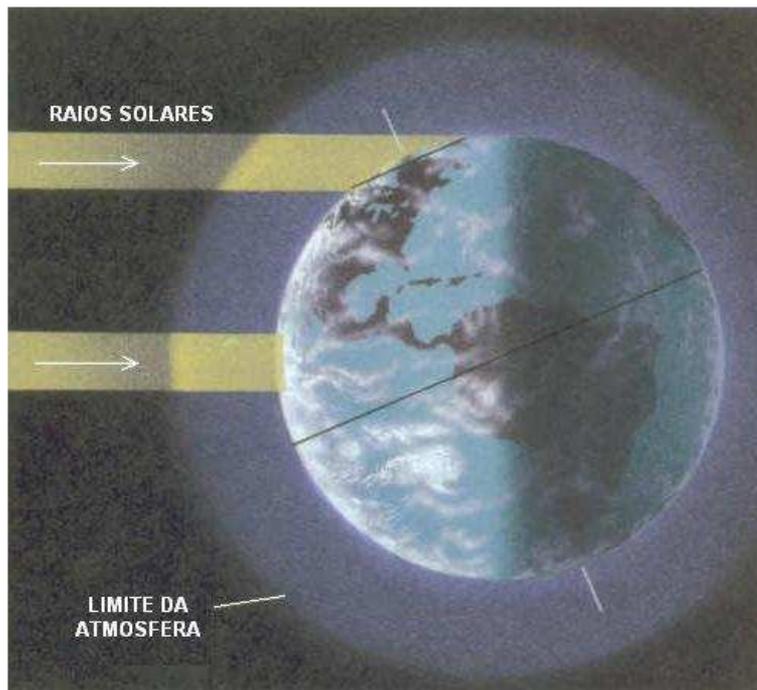


Figura 2.6 – Incidência dos raios solares no solstício de verão (Hemisfério Norte). (fonte: adaptado de Ahrens, 1994).

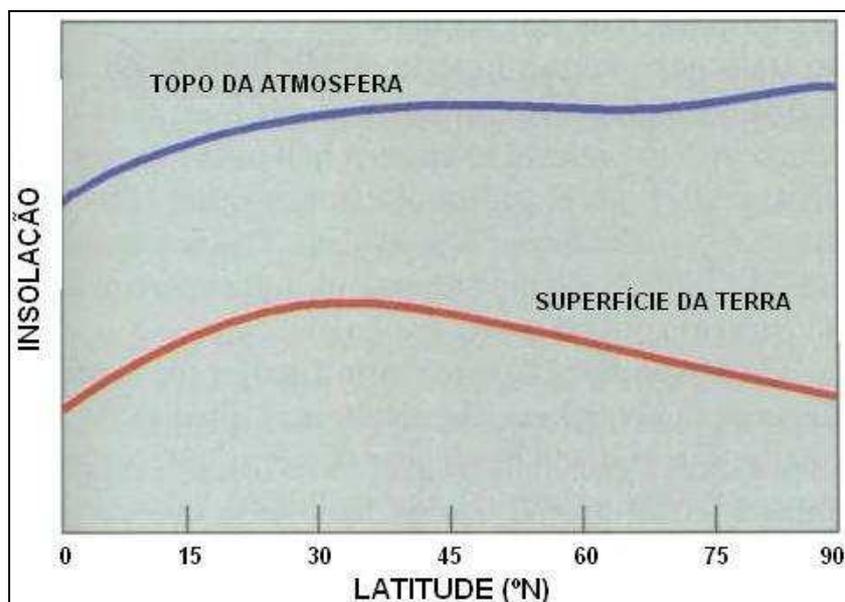


Figura 2.7 – Variação da insolação solar devido a diferença de latitude durante o solstício de verão (Hemisfério Norte), no topo de atmosfera (limite) e na superfície. (fonte: adaptado de Ahrens, 1994).

Portanto, devido à inclinação do eixo de rotação e do movimento de translação ao longo do ano, ocorre:

- as estações climáticas do ano (primavera, verão, outono e inverno);

- variação na duração do dia claro astronômico (intervalo entre o nascer e pôr do Sol);
- respectivas variações de insolação solar, em função das estações climáticas e da duração do dia claro.

Logo, a duração do dia astronômico ou dia claro (período entre o nascer e o pôr do Sol) tem uma variação entre máximos e mínimos durante os Solstícios (verão e inverno) e valores iguais a duração da noite, durante os Equinócios (primavera e outono). Através da equação 2.2 é possível determinar a declinação em graus da Terra, para um determinado dia do ano. Pela equação 2.3, podemos calcular a duração do dia astronômico de um determinado local de latitude ‘ $\Phi$ ’, dado o dia do ano (VIANELLO E ALVES, 1999; VAREJÃO-SILVA, 2005).

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen}\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right) \quad (2.2)$$

$$Td = \frac{2}{15} \cdot \text{ar cos}(-\text{tg } \phi \cdot \text{tg } \delta) \quad (2.3)$$

onde:

$\delta$  = declinação solar ao longo do ano (graus);

23,45 = valor em décimos de grau da inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao Plano da Eclíptica (ou 23° 27’)

$Td$  = duração do dia claro astronômico (horas de dia claro, entre nascer e pôr do Sol);

$n$  = dia Juliano do ano;

$\Phi$  = latitude da localização (graus).

Utilizando as equações 2.2 e 2.3, por exemplo, para Porto Alegre, capital brasileira mais meridional (aproximadamente 30°S), a duração do dia astronômico (entre o nascer e pôr do Sol) varia de 10 horas e 13 minutos, em 21 de junho a 13 horas e 47 minutos, em 22 de dezembro (ANEEL, 2005b). Na figura 2.8, temos uma ilustração esquemática que demonstra a variação da posição do nascer e pôr do Sol durante o verão e inverno para latitude média (45°S), onde podemos observar a diferença do dia astronômico, sendo mais longo no verão e mais curto no inverno.

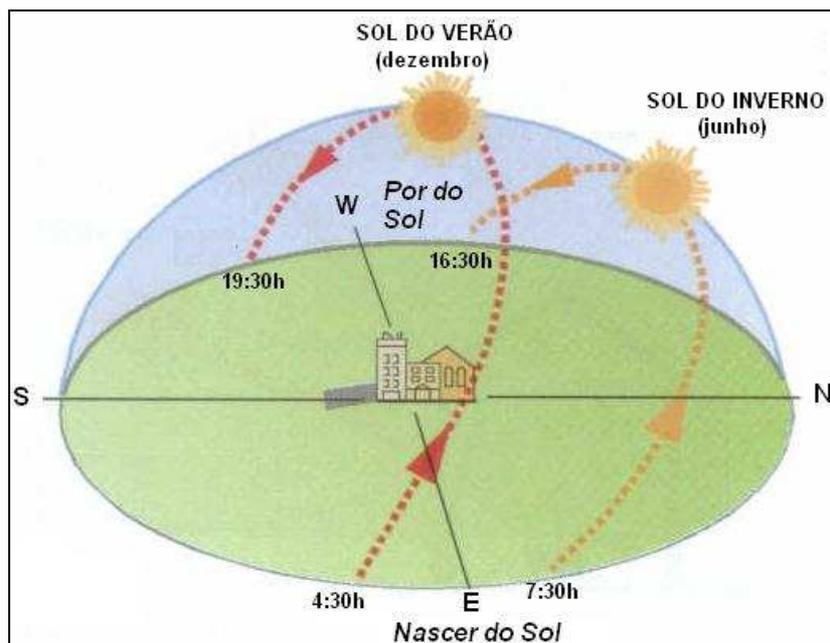


Figura 2.8 – Variação da posição do Sol observada em latitude média (45°S), durante o verão e inverno. (fonte: adaptado de Ahrens, 1994).

### 2.6.2. O uso da insolação solar

Neste trabalho, optou-se por trabalhar com dados de observações solares de estações meteorológicas de superfície, isto é, com uma série climatológica oficial proveniente do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). Existem outras formas de trabalhar com informações de radiação solar, que são a partir de estimativas por de imagens de satélites, correlações numéricas ou equações empíricas, como é o caso do “Atlas de Irradiação Solar no Brasil” (COLLE E PEREIRA, 1998; MARTINS et al, 2007).

Embora os dados observados de irradiação solar sejam obtidos através de radiômetros<sup>7</sup> que apresentam na grande maioria das vezes, níveis de confiabilidade superiores àqueles que podem ser obtidos através de modelos radiativos ou empíricos (GUARNIERI et al, 2006 e MARTINS et al, 2007), estes valores não podem ser aplicados para os resultados baseados em interpolações, devido a falta de observações com este equipamento no Brasil (poucas estações com radiômetros).

Outra alternativa é o uso de modelos baseados na equação de transferência radiativa, que não possuem restrições de aplicabilidade, mas necessitam de informações das condições atmosféricas para simular os processos radiativos que atenuam o fluxo de radiação. Já os modelos que adotam relações empíricas, apresentam restrições, pois são

<sup>7</sup> Radiômetro: instrumento capaz de medir a quantidade de energia ( $W.m^{-2}$ ) da radiação solar direta e difusa através de um elemento sensível (sensor) instalado na parte superior do equipamento (fonte: Inmet, 1999).

aplicados para uma determinada região no qual foram desenvolvidas essas relações. Portanto, a grande dificuldade em trabalhar com a radiação solar, está em conseguir dados observados em todas as regiões do País e a falta de disponibilidade para séries muito longas (vários anos de observação).

Portanto, o Heliógrafo, por ser um instrumento de fácil operação, custos iniciais e operacionais reduzidos, disponibilidade de dados climáticos para vários pontos no Brasil e com o seu instrumental bastante difundido a vários anos, este equipamento se apresenta como a melhor alternativa para obter valores que indicam as variações luminisidade de uma determinada localização e suas respectivas correlações entre insolação solar e a demanda de energia devido ao uso de iluminação.

## **CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo, abordaremos uma extensa revisão dos principais artigos e trabalhos nacionais e internacionais correlacionados com o uso eficiente de energia. É dado um destaque para a visão histórica do desenvolvimento da racionalização energética no Brasil, com a criação dos programas Procel e ReLuz e os respectivos aspectos na legislação nacional correlacionados.

Apresentaremos também uma revisão de trabalhos de estabelecem relações entre as condições climáticas e o consumo de energia, com uma breve discussão de perspectivas futuras e o uso de iluminação natural e artificial.

### **3.1. ENERGIA E DESENVOLVIMENTO**

Para assegurar o desenvolvimento econômico, é necessário para o Brasil ampliar a disponibilidade de energia e assim ter meios de melhorar as condições de vida da população. Conforme apresentado em Goldemberg e Moreira (2005), além de atender o crescimento natural da população, é preciso, pelo menos, dobrar o consumo per capita para de fato trazer uma melhor qualidade de vida aos brasileiros.

Já para garantir a segurança no abastecimento de energia, é importante diversificar a matriz energética, isto é, ter o fornecimento de energia de diversas fontes independentes (hidráulica, térmica, eólica etc). Entretanto, do ponto de vista econômico, é preciso escolher as melhores opções para o Brasil, muitas vezes determinadas pela abundância natural das fontes que são mais comuns no nosso território, como por exemplo, a disponibilidade hídrica e respectivamente o uso de Usinas Hidroelétricas (GELLER, 2003).

Do ponto de vista da grande escala no setor energético, não somente para energia elétrica, mas a busca pela auto-suficiência no setor de petróleo também sempre foi uma das

metas políticas para os diferentes governos brasileiros, pois é baseada na necessidade de reduzir gastos financeiros com importação dos seus derivados, como óleo diesel e gás natural, mais recentemente. A partir dos anos 1990, o problema da importação perdeu importância devido ao aumento da produção interna de petróleo e com a auto-suficiência nominal alcançada em 2006 (GOLDEMBERG E LUCON, 2007), o País poderia liberar recursos, antes focados em petróleo, para outros fins economicamente mais interessantes e que podem gerar produtos e serviços para exportação, como o etanol e fontes alternativas de energia (GOLDEMBERG E MOREIRA, 2005).

Nas sociedades mais avançadas, o uso de novas fontes de energia e de tecnologias modernas levou a mudanças qualitativas na vida humana, proporcionando o aumento da produtividade econômica e do bem-estar da população. Para o consumidor final, o que realmente é relevante é o conforto devido aos serviços energéticos e o seu respectivo custo de fornecimento. Entretanto, a disponibilidade de energia não é a única condição para o crescimento econômico, mas neste sentido é necessário a implementação de políticas energéticas específicas que estimulem o crescimento, como também o respectivo uso eficiente (GELLER, 2003; GOLDEMBERG E VILLANUEVA, 2003).

A importância da energia para a sociedade, depende necessariamente do estágio e do modelo de desenvolvimento em que ela está inserida. Ainda segundo Goldemberg e Moreira (2005), o papel determinante da energia tende a ser mais importante em países em desenvolvimento, onde a infra-estrutura e diversos setores da economia estão em formação. Já nas etapas mais avançadas do desenvolvimento, o consumo de energia aumenta abaixo do crescimento do PIB porque as atividades econômicas que mais crescem são as industriais de alta tecnologia e os serviços, onde o consumo de energia é menor em comparação as indústrias de transformação e manufatura.

A demanda crescente de energia devido ao crescimento econômico mundial exerce uma forte pressão para ampliar a oferta de energia disponível, principalmente como já mencionado, nas economias em desenvolvimento. Com uma visão voltada para o desenvolvimento econômico, mas sem grandes efeitos que levam a prejuízos ambientais, a literatura internacional apresenta diversos casos de sucesso. Inicialmente Sachs (2005), faz um amplo debate a respeito do uso de energia, o desenvolvimento mundial e as relações com o petróleo e seus derivados. Discute abertamente, que existe uma mudança em curso para substituir as fontes principais da matriz energética mundial, basicamente devido a três fatores: a) queda na produção e o aumento do custo do petróleo e derivados; b) questões geopolíticas (sucessivas guerras no Oriente Médio); c) problemática ambiental e emissão

de GEE. No caso brasileiro, Sachs (2005) lembra que, apesar de ter alcançado a auto-suficiência, o País tem um grande potencial na substituição do petróleo e derivados pelo uso dos biocombustíveis, inclusive para geração de energia elétrica.

Jean-Baptiste e Ducroux (2003) apresentam o exemplo da França de ampliar a oferta de energia sem necessariamente aumentar a emissão de CO<sub>2</sub>. Através do planejamento energético e de políticas públicas práticas em oferecer energia através de novas tecnologias que utilizam o conceito de “*carbon-free power*”, isto é, produzem energia sem emissões diretas de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Já Stefano (2000), mostra também o potencial de economia de energia em prédio público, além dos benefícios indiretos na redução de CO<sub>2</sub>, chegando a até 10% nas emissões da Universidade de Melbourne. Em Nilssen (2003) também é destacado o conflito entre o desenvolvimento econômico e o aumento de demanda de energia, que após suprir as necessidades básicas, se reflete diretamente no aumento de conforto e na qualidade de vida para a população.

Neste sentido, vale a pena destacar o conceito de Usinas Virtuais (NOGUEIRA, 2007), no qual através de PEE, é possível reduzir a demanda energética equivalente a diversas usinas, que neste caso, não precisariam ser construídas, já que houve uma racionalização no consumo e redução de demanda. Portanto, além de evitar os custos financeiros elevados na construção de novas usinas elétricas para ampliar a oferta de energia, os PEE podem ser considerados como aplicação direta do conceito “*carbon-free power*”, trazendo benefícios para a problemática ambiental e de mudanças climáticas.

Em complementação, um estudo solicitado pelo Governo Britânico chamado de Relatório Stern (STERN, 2006) indica que, em conjunto com a problemática de oferta de energia, as mudanças climáticas podem afetar seriamente o desenvolvimento econômico dos países. Esta relação, energia – mudanças climáticas – desenvolvimento, pode ser observada na figura 3.1, onde é apresentado que a maior parte das emissões de GEE são devido ao uso de energia (petróleo e derivados, industriais entre outros).

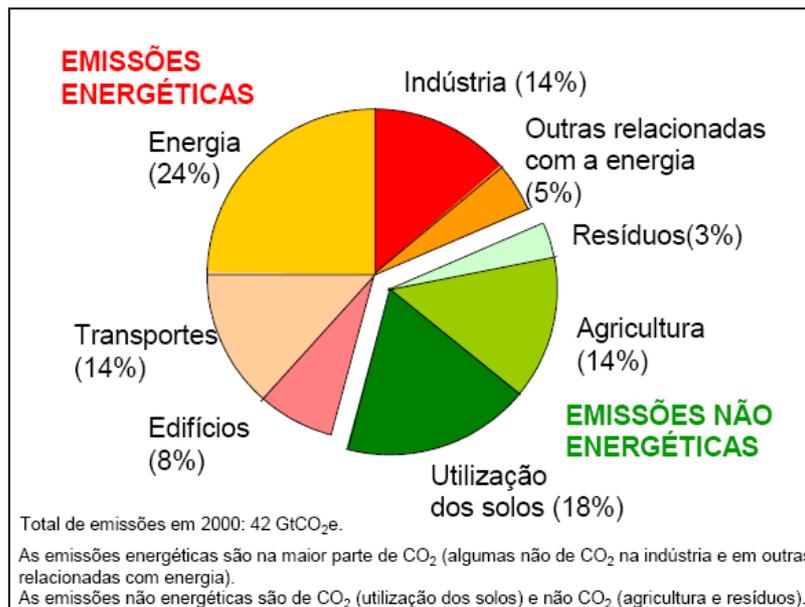


Figura 3.1 – Emissões mundiais de GEE por tipo de fonte para o ano 2000. (fonte: Stern, 2006).

Ainda segundo Stern (2006), o problema das mudanças climáticas poderá desenvolver a reforma de sistemas energéticos ineficientes e eliminar os subsídios energéticos causadores de distorções de mercado e que custam atualmente aos governos de todo o mundo cerca de US\$ 250 bilhões por ano. Por outro lado, se nenhuma ação for tomada no sentido de reduzir as emissões de GEE, como por exemplo, através de PEE e/ou na mudança da matriz energética mundial (substituição do petróleo), é estimada uma perda média de 5 a 10% do PIB global e nos países mais pobres (África e América Latina) os custos podem ser superiores a 10% do PIB, além dos riscos para a saúde da população e impactos significantes ao meio ambiente. Somente com o prejuízo econômico direto, como a quebra de safras agrícolas, desastres naturais, perdas em serviços de turismo etc, os custos seriam da ordem de trilhões de dólares para os próximos 100 anos (STERN, 2006).

### 3.2. O PROCEL

Durante as décadas de 1970 e 1980, as crises no setor do petróleo, que elevaram significativamente os custos deste produto no mercado internacional, criaram a percepção de escassez no Brasil, justificando os investimentos no aumento da produção de petróleo nacional, em conservação e na maior eficiência no uso dos seus derivados e na

diversificação de fontes alternativas de energia (JANNUZZI et al, 2004; NOGUEIRA, 2007).

Deste modo, o Governo Federal criou em 1981 o programa Conserve, que tinha como objetivo estimular a conservação e substituição de óleo combustível na indústria, sendo esta a primeira ação na direção da conservação de energia no Brasil. Nesta etapa, os ganhos obtidos de economia foram significativos para o óleo combustível, mas na verdade, ocorreu uma transferência do consumo de derivados de petróleo, para o setor elétrico, devido ao intenso uso de energia elétrica para geração térmica. Logo, o crescimento da demanda por energia elétrica passou a pressionar a capacidade de oferta do setor, que já estava em crise financeira (JANNUZZI et al, 2004).

Segundo Jannuzzi et al (2004) e Nogueira (2007), diante desta perspectiva, a estratégia adotada pelo Governo Federal foi de implementar uma política de conservação de energia elétrica, que resultou na criação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel no ano de 1985, sob a coordenação da Eletrobrás. Esta ação foi a primeira iniciativa sistematizada de promoção do uso eficiente de energia elétrica no Brasil até então. É conveniente destacar que, anteriormente ao Procel, em 1984, já existiam as ações do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), mas o PBE é voltado para a avaliação do desempenho de equipamentos energéticos e não para a economia de energia junto ao consumidor final, como é o caso do Procel.

Ainda do ponto de vista de estímulo para a criação do Procel, Geller et al (1998) apresentam que, o Brasil manteve um forte crescimento na demanda de energia nas décadas de 1970 e 1980, muito superior aos países pertencentes à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Entretanto, ao longo dos anos os custos de geração se tornaram cada vez mais altos, estimulando políticas públicas nacionais para o uso racional de energia.

Ao longo dos mais de 20 anos de criação, o Procel passou por várias fases, incluindo sua estagnação nos anos de 1990 e 1991. Já na primeira metade dos anos 1990, o Procel se limitava a ações em sistemas de iluminação, através da distribuição de LFC para a população, estimulando a substituição das LI. Após este período, outras ações foram realizadas, como contatos com instituições internacionais, criação de grupos de trabalho para apoio técnico e definições de diretrizes de longo prazo. Já nos anos de 1999 a 2002, o Procel ofereceu suporte técnico da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) para a

análise, aprovação e cumprimento dos programas de combate ao desperdício, com a utilização de 1% da receita anual das concessionárias (JANNUZZI et al, 2004).

Outro ponto relevante é que a Eletrobrás desde o princípio do Procel sempre teve a preocupação de melhorar a compreensão das ações do programa através de uma abordagem de mercado, valendo-se de ferramentas de divulgação em massa para o desenvolvimento de estratégias de mudança de hábitos do consumidor brasileiro (POLLIS et al, 1999). O objetivo era de identificar e analisar continuamente os principais setores críticos, analisar o mercado consumidor e conhecer melhor os hábitos de uso da população entre outros.

Segundo a avaliação da Eletrobrás (ELETROBRÁS, 2006a), desde a sua implantação, o Procel proporcionou uma economia total de energia estimada de 21.753 GWh e uma redução de demanda na ponta de 5.839 MW, o que equivale à energia elétrica necessária ao atendimento de cerca de 12,7 milhões de residências durante o período de um ano ou à energia fornecida por uma usina hidrelétrica com aproximadamente 5,1 GW de capacidade. Em termos de redução de custos financeiros, os investimentos evitados para o sistema elétrico brasileiro foram da ordem de R\$ 15 bilhões. Através da metodologia utilizada atualmente pela Eletrobrás (maiores detalhes no capítulo 5), em 2005 (ano-base deste estudo), as ações no âmbito do Procel contribuíram para uma economia de energia de 2.158 GWh e uma redução de demanda no período de ponta de 585 MW. Estes valores de energia economizada são equivalentes a uma usina hidrelétrica com capacidade de 518 MW, representando investimentos evitados para o setor elétrico da ordem de R\$ 1,8 bilhão.

Uma das principais ações do Procel é o sub-programa chamado Selo Procel de Economia de Energia, ou simplesmente Selo Procel (figura 3.2a). Este sub-programa tem por objetivo oferecer ao consumidor no ato da compra, informações de produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria (ar condicionado, LFC, aquecedores de água entre outros). Para fazer uso do Selo Procel, o fabricante do equipamento deve atender aos critérios estabelecidos no Regulamento do Selo Procel, no qual a sua adesão é voluntária (ELETROBRÁS, 2006b) e não compulsória como em programas internacionais semelhantes em outros países (GELLER, 2003; BIRNER E MARTINOT, 2005; CARDOSO, 2008).

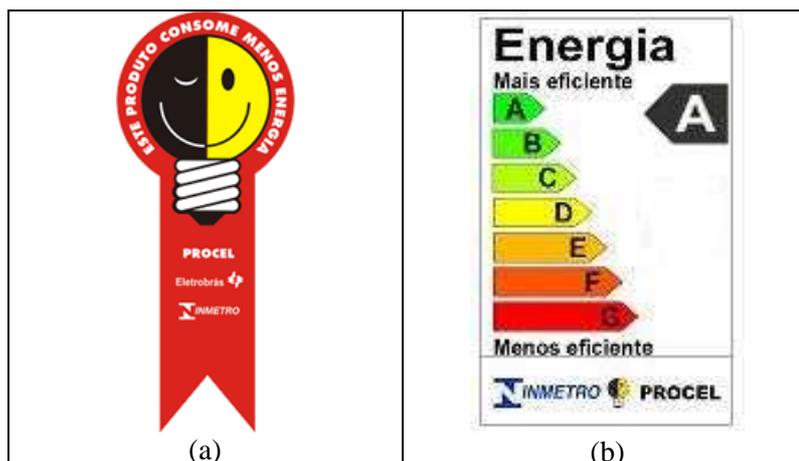


Figura 3.2 – Selo Procel (a) utilizado em equipamentos que atenderam os requisitos de eficiência A do PBE (b). (fonte: adaptado de Eletrobrás, 2006b)

Ainda segundo Eletrobrás (2006b), para utilizar a marca do Selo Procel, além das especificações técnicas mínimas exigidas do PBE, o fabricante ou importador deverá comprovar, através de ensaios nos laboratórios referenciados pela Eletrobrás, que o produto, no caso específico de LF, atende as seguintes especificações:

- ✓ as LFC ou LFCirc deverão possuir classificação “A” no processo do PBE (tabela 3.1);
- ✓ possuir uma vida útil declarada mínima de 6.000 horas.

*Tabela 3.1 Índices de eficiência luminosa mínima exigida nas LFC e LFCirc para o uso do Selo Procel, classificação A do PBE. (fonte: Eletrobrás, 2006b).*

POTÊNCIA DA LÂMPADA (W) E CONFIGURAÇÃO PARA TENSÕES DE 127V E 220V	EFICIÊNCIA MÍNIMA lúmens/ watt
<b>Lâmpada sem invólucro</b>	
Potência da lâmpada ≤ 8W	48,0
8W < Potência da lâmpada ≤ 15W	55,0
15W < Potência da lâmpada ≤ 25W	60,0
Potência da lâmpada > 25W	62,0
<b>Lâmpada com invólucro</b>	
Potência da lâmpada ≤ 8W	42,0
8W < Potência da lâmpada ≤ 15W	45,0
15W < Potência da lâmpada ≤ 25W	49,0
Potência da lâmpada > 25W	50,0

Outros projetos internacionais semelhantes ao Procel e que contam com o apoio do Global Environment Facility (GEF), são apresentados em Birner e Martinot (2005) e Tibi e Ramahi (2005). Como destaque em iluminação, são apresentados os projetos realizados no México, através de subsídios na venda de LFC para população de baixa renda, Tailândia com a distribuição de 900 mil LFC e diversos outros países, como na Palestina, Polônia, Argentina, Peru, Hungria, África do Sul etc, onde foram criados certificados de eficiência energética para fabricantes de lâmpadas e derivados (tabela 3.2).

*Tabela 3.2 – Características de alguns projetos internacionais semelhantes ao Procel (fonte: elaboração do autor, a partir de: Birner e Martinot, 2005 e Tibi e Ramahi, 2005).*

País	Alguns benefícios após o projeto
México	- Redução no custo das LFC em 30% para o mercado
Tailândia	- Etiqueta para LFC e LFCirc - Ampliação do mercado de LE de 40% para 100% imediatamente após o projeto
Polônia	- Redução no custo das LFC em 34% para o mercado - Fortalecimento de fabricantes locais de LFC e LFCirc - Ampliação do mercado de LE de 12% para 20%
Palestina	- Redução no consumo de energia em torno de 60 kWh.ano <sup>-1</sup> - redução na emissão de CO <sub>2</sub> equivalente de 5.800 kg de carvão
Outros países	- Certificado oficial do GEF na LFC e LFCirc como padrão de qualidade em eficiência.

Vale destacar que, somente nos projetos do México, Polônia e Tailândia, a economia de energia estimada foi de 3.500 GWh (BIRNER E MARTINOT, 2005).

### **3.3. O RELUZ**

O Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente – ReLuz é também um sub-programa do Procel para o caso particular da iluminação pública – IP. Criado em 2000, o ReLuz tem metas programadas até o ano de 2010 (FRÓES et al, 2005). Anteriormente, outros programas de modernização da IP já vinham sendo realizados, onde se pode destacar a substituição dos lampiões a óleo por lampiões a gás até as modernas e mais eficientes lâmpadas de Vapor de Sódio, utilizadas atualmente.

A redução de potência obtida através do ReLuz, com a substituição por lâmpadas mais eficientes, é extremamente positiva ao sistema elétrico brasileiro, pois parte do período de operação dos sistemas de IP coincide com a ponta da curva de carga do sistema elétrico nacional (19h – 21h). Além da redução na demanda de ponta, o ReLuz também se justificativa pela redução de consumo de energia na substituição de IP já existente. No caso da expansão do sistema de IP, já são instaladas diretamente as LE, trazendo também um consumo evitado de energia. Desta forma, a eficiência energética na IP tem benefícios diretos na melhoria das condições operativas do sistema elétrico nacional, além de também, existirem benefícios indiretos, já que as lâmpadas mais modernas trazem um melhor conforto visual e mais qualidade na vida noturna nas cidades atendidas pelo ReLuz (ELETROBRÁS, 2006a; FRÓES DA SILVA, 2006). Outros benefícios também podem ser considerados, como o bem estar da população, o melhor uso em praças e espaços de lazer, a importância para redução de acidentes automobilísticos, principalmente em avenidas e rodovias de grande movimento, a influência na questão da criminalidade e destaque ainda para a arquitetura das cidades, estimulando o comércio e o turismo (LOPES, 2002).

Do ponto de vista histórico, ações da Eletrobrás e posteriormente através do ReLuz, promoveram a redução de 328.576 pontos de IP que utilizavam lâmpadas incandescentes de 200W em 1985 para aproximadamente 60 mil em 2005. Estas lâmpadas incandescentes de 200W foram substituídas por vapor de mercúrio de 80W ou por vapor de sódio de 50W (FRÓES DA SILVA, 2006). A partir da crise de energia do ano de 2001, a necessidade de implementação e posterior ampliação do ReLuz tornou-se ainda mais evidente pelas suas principais características: a) redução de demanda no horário de ponta; b) redução no

consumo de energia total. Atualmente, o ReLuz tem investimentos previstos da ordem de 2 bilhões de reais até 2010, para substituição de 5 milhões de lâmpadas e a expansão de 1 milhão de novos pontos da rede de IP (ELETROBRÁS, 2006a).

Para 2005, ano-base deste trabalho, a IP representou cerca de 3,2% do consumo total de energia elétrica, equivalente ao consumo de  $10,3 \text{ TWh}\cdot\text{ano}^{-1}$  e a uma demanda de ponta de 2.150 MW (ELETROBRÁS, 2006a). Com aproximadamente 13 milhões de pontos de iluminação, a participação da IP em relação à demanda é mais expressiva do que em relação ao consumo de energia elétrica, pois os sistemas de IP também operam no horário onde há maior solicitação do sistema elétrico nacional (FRÓES DA SILVA, 2006). Logo, a participação da IP na demanda do sistema elétrico brasileiro é mais representativa do que no consumo da energia elétrica, no qual o ReLuz permite a redução da demanda elétrica, da redução de custos para a demanda, além dos custos evitados com a economia de energia.

Considerando o bom funcionamento do sistema, a IP opera basicamente no período noturno, isto entre o pôr e o nascer do Sol, já que são raros os escurecimentos diurnos suficientes para que os sistemas sejam acionados. Conforme já observado anteriormente, devido às diferenças de latitude, estações do ano e condições climáticas, o horário de operação varia para cada região, mas por praticidade, a resolução da Aneel nº 456 (ANEEL, 2000) adotou a cobrança por 360 horas mensais, equivalentes a doze horas diárias de funcionamento (para meses com 30 dias) e um total de 4.320 horas no ano.

Como primeira aproximação para melhoria do cálculo do tempo de utilização da IP, Fróes da Silva (2006), destaca que o documento do Comitê de Distribuição CODI-05-01, de 1984, da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (Abradee), apresenta que é possível estabelecer um horário médio que compense as variações das estações do ano. O documento recomenda a utilização da média diária de 12 horas na determinação do consumo para efeito de faturamento, equivalente a 4.380 horas anuais, um pouco acima da resolução da Aneel nº 456.

### **3.4. LEGISLAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Dentro da expectativa de eficiência energética no Brasil e como instrumento legal nacional, foi criada a Lei nº 10.295 de 17 de Outubro de 2001, que trata da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001a e 2001b). Esta lei

estabelece que todos os equipamentos deverão respeitar níveis mínimos de eficiência e representam um importante marco em termos das ações de política pública capaz de intensificar o sucesso dos programas desenvolvidos pelo Procel e pelo Conpet (HADDAD, 2005).

Chamada também de Lei de Eficiência Energética, ela é peça fundamental para garantir contínuo aperfeiçoamento tecnológico dos equipamentos comercializados que consomem energia elétrica no País. Entretanto, como apresentado em Haddad (2005), a aplicação dessa lei tem sido lenta e conseqüentemente, os benefícios em se incorporar equipamentos mais eficientes têm sido reduzidos. Os recursos para pesquisa e desenvolvimento deveriam ser canalizados para garantir a adoção de índices mais vantajosos de redução de consumo e os índices de desempenho energético poderiam também ser mais elevados.

Ainda segundo Haddad (2005), a consolidação da Lei nº 10.295 deverá ter como conseqüências diretas e indiretas os seguintes pontos:

- ✓ Excluir do mercado brasileiro os equipamentos menos eficientes energeticamente;
- ✓ Fomentar o aumento da competitividade industrial brasileira;
- ✓ Reduzir o consumo de energia ao longo do tempo, dentro dos equipamentos atendidos e conseqüentemente reduzir os gastos para o consumidor final;
- ✓ Estimular o desenvolvimento de novas tecnologias, através da produção de equipamentos mais eficientes energeticamente;
- ✓ Desenvolver ações para a redução dos impactos sócio-ambientais através da racionalização de energia em equipamentos.

Goldemberg e Lucon (2007) afirmam que ações de eficiência energética, baseados na adoção de padrões mínimos, além de estimularem o setor de serviços, reduzem a poluição e evitam o consumo desnecessário das reservas de energia.

Anteriormente a legislação de 2001, através do Procel, já foi possível implementar diversas ações que estabeleceram ganhos energéticos, mesmo sem adotar compulsoriamente padrões mínimos de eficiência. As medidas de conservação com os maiores impactos quantitativos, foram as de promoção de iluminação mais eficiente, através do ReLuz e a substituição para LFC e LFCirc, ambas de forma voluntária. Entretanto, Nogueira (2007) destaca que, independente da legislação em vigor, o uso de equipamentos mais eficientes não exclui a recomendação de utilizar da forma mais

eficiente, ou seja, reduzir o uso sem necessidade. Cita, por exemplo, que a adoção de uma LFC substituindo uma LI, mantida acesa em um local onde pode ter o uso de iluminação natural, evidentemente não significa uma economia de energia.

Em relação a outras experiências internacionais em eficiência energética, vale destacar que o uso de padrões mínimos em equipamentos elétricos é muito utilizado em outros programas de eficiência energética pelo mundo. No Japão e nos Estados Unidos, ações que elevam continuamente estes padrões, considerando que são tecnicamente e economicamente viáveis, proporciona aos fabricantes um avanço de tecnologia na produção e conseqüentemente no uso de eletroeletrônicos mais eficientes pela população, comércio e indústria (GELLER et al 2006; ROSENQUIST et al 2006).

Entretanto, diversos estudos na literatura internacional destacam a necessidade de atualização nos padrões de eficiência energética para equipamentos, devido ao desenvolvimento tecnológico. Rosenquist et al (2006) apresenta um estudo, no qual é realizada uma atualização nos padrões de eficiência energética para equipamentos (residencial e comercial), com ganhos maiores no uso de refrigeradores, iluminação e ar condicionado, respectivamente, demonstrando um real benefício na atualização dos padrões mínimos de eficiência.

Já Saidel e Alves (2003), destacam que nos países integrantes da OCDE, as políticas de eficiência de energia implementadas são também baseadas em regulamentos restritivos, além de divulgação de informação para população, criação de assimetrias de mercado, programas de empréstimo ao setor e associação do governo com empresas privadas. Também fazem algumas observações pontuais de casos de sucesso, que poderiam ter aplicação no Brasil, como por exemplo, o modelo de etiquetagem utilizado no Japão nos diversos produtos que possuem os padrões mínimos de eficiência.

Entretanto, no caso do Brasil, para determinar os padrões eficientes mínimos para o consumo sem comprometer a produção industrial e o atual nível de conforto da população, tornou-se importante considerar uma maior racionalização em toda a cadeia energética, através da mudança de hábitos de consumo, além de considerar uma ampliação da participação de fontes alternativas de energia na matriz energética brasileira.

### 3.5. TECNOLOGIA E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Até hoje, nenhuma das transições energéticas foram motivadas pela falta ou esgotamento de uma fonte de energia. De modo resumido, a história da humanidade pode ser apresentada como a história da produção e alocação econômica, orientada pelas chamadas “eras” energéticas, nas quais a identificação de uma nova fonte de energia com qualidades superiores e custos inferiores era o agente de mudança (SACHS, 2007). A passagem da energia de biomassa para carvão e posteriormente ao uso intenso do petróleo e gás natural é um exemplo desta mudança.

Ainda segundo Sachs (2007), o que diferencia a atual revolução energética é que, até o momento, não se identificou qual será a nova fonte de energia, isto é, que traga vantagens econômicas, ambientais e técnicas em relação ao petróleo e seus derivados. Nesta perspectiva, os processos de racionalização do uso de energia ganham força, já que para realizar o planejamento energético a médio e longo prazo é necessário informações sobre os recursos energéticos disponíveis e é exatamente esta indefinição e falta de tendência mundial que influenciam a disponibilidade destes recursos. Sem informações confiáveis, os grandes investidores tendem a evitar os riscos associados ao desenvolvimento de projetos que adotam outras fontes de energia (solar, eólica ou biomassa), fortalecendo novamente o uso eficiente dos sistemas energéticos atuais e que já estão em operação.

Como estratégia para conservação energética, classificar as perdas de energia dos sistemas atuais é interessante para discriminar os meios para promover sua redução (NOGUEIRA, 2007), mas no caso do Procel, esta é importante identificar exatamente qual é o consumo evitado devido às ações do programa. Paralelamente, também é essencial estabelecer os mecanismos de fomento à eficiência energética, a saber:

- ✓ Desenvolvimento tecnológico: novos processos e novos equipamentos que permitam reduzir as perdas de energia;
- ✓ Hábitos de consumo (comportamento): mudanças de hábitos e padrões de consumo, com redução da demanda de energia sem alterar o parque de equipamentos.

Destes mecanismos de fomento, o desenvolvimento tecnológico está diretamente relacionado aos investimentos em pesquisa e inovação na área de eficiência energética, já que este é um dos pilares para aplicar as melhores tecnologias e desenvolver processos.

Stern (2006) destaca que, muitas das tecnologias, que melhoram a eficiência no uso da energia ou com baixa emissão de CO<sub>2</sub>, têm atualmente seus custos elevados em comparação a alternativas que usam os combustíveis fósseis, por exemplo. Entretanto, ao longo dos anos, os custos das novas tecnologias são reduzidos com o uso em grande escala e com pesquisas contínuas no desenvolvimento de materiais e processos. Na figura 3.3, temos uma visão simplificada do comportamento destes custos com o respectivo uso das tecnologias, no qual a partir do ponto A é possível realizar substituição de tecnologia com ganhos econômicos diretos.

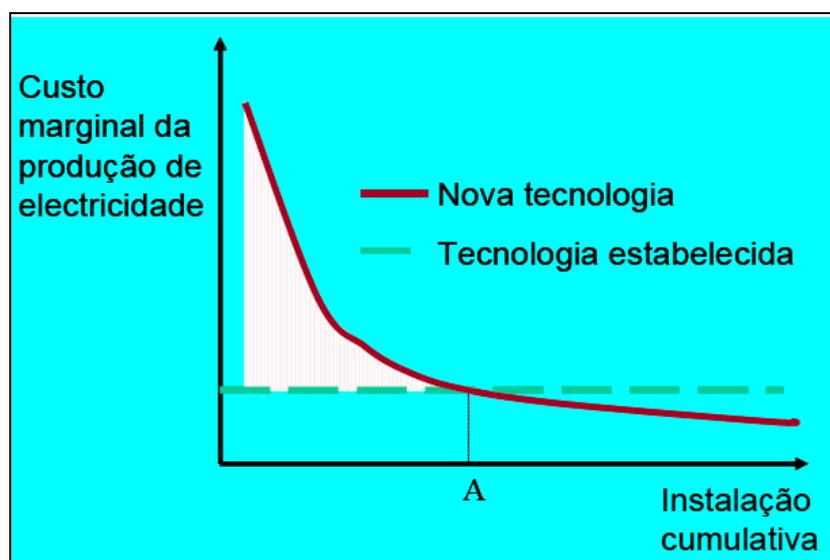


Figura 3.3 – Curva de custo marginal no desenvolvimento de novas tecnologias na produção de energia. (fonte: adaptação de Stern, 2006).

Em Jannuzzi (2005), é discutido a reforma que o setor elétrico brasileiro sofreu na última década, que inclui os processo de privatizações e a criação de agências reguladoras no final do século passado. Destaca que o grande desafio para o Brasil, além de manter o crescimento econômico, está no planejamento e nas oportunidades para aumentar a eficiência energética na matriz elétrica brasileira, através dos programas de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D.

Após estas reformas e por determinação do Governo Federal, sob o acompanhamento da Aneel, desde 1999, as empresas concessionárias de energia elétrica começaram a ampliar os orçamentos em projetos de P&D através de PEE, que tem orientado a aplicação entre 0,25 e 1% da Receita Operacional Líquida das concessionárias de energia em PEE (ANEEL, 2006 e 2005a). Mesmo com o fluxo descontínuo de recursos,

estes projetos criaram um novo mercado de negócios (empresas de consultoria) e de postos de trabalho voltados para a racionalização de energia.

Nos Estados Unidos, por exemplo, os recursos para P&D na área de eficiência energética chegaram a US\$ 7 bilhões no ano de 1999 (GELLER et al 2006). Apesar de alguns dos resultados de P&D demorarem alguns anos para uma aplicação, estes mesmos programas nos Estados Unidos, Japão e na Europa trouxeram um ganho significativo na redução do consumo de energia, principalmente após os anos 1970, com a crise do petróleo. Suas aplicações vão desde o desenvolvimento de novos eletrodomésticos, com um significativo avanço tecnológico, até a divulgação de ações de conservação de energia em residências. Nos países da OCDE, as políticas de eficiência energética estão mais voltadas para aumentar a eficiência de energia de edifícios, eletrodomésticos, veículos e operações industriais.

Em um estudo elaborado pela Agência Internacional de Energia (AIE), é demonstrado que para cada dólar investido em conservação de energia, existe uma economia de dois dólares em sistemas de geração e distribuição energética (IEA, 2006), demonstrando claramente as vantagens econômicas na racionalização de energia.

Outra questão relevante no desenvolvimento tecnológico e conservação de energia para o setor residencial é a ampliação do conforto e o aumento da qualidade de vida da população. Clinch e Healy (2001) demonstram os impactos dos programas de conservação de energia em uma residência na Irlanda, utilizando um modelo de custo-benefício. São apresentados os diversos benefícios na conservação de energia que, além da economia nas contas de energia residencial, destaca a redução indireta de emissões de GEE (menor demanda de energia), impactos na saúde (eficiência nos sistemas de calefação residencial) e de conforto para os habitantes.

### **3.6. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E PRESPECTIVAS FUTURAS**

Segundo Geller et al (2004), o atual Governo Federal coloca como prioridade o uso eficiente de energia, através de ações como o Procel e de resoluções da Aneel, mas destaca que até 2010, a demanda de energia poderia ser reduzida em até 12,5% se políticas públicas de conservação de energia, incentivo a fontes alternativas (biomassa, PCH e eólica) e planejamento junto ao setor energético fossem mais bem implementadas.

Já Geller et al (2006) e Goldemberg e Lucon (2007), argumenta que nos países pertencentes a OCDE, se não fossem os programas de conservação de energia, eles utilizariam cerca de 49% de energia a mais a partir do ano de 1998 (figura 3.4).

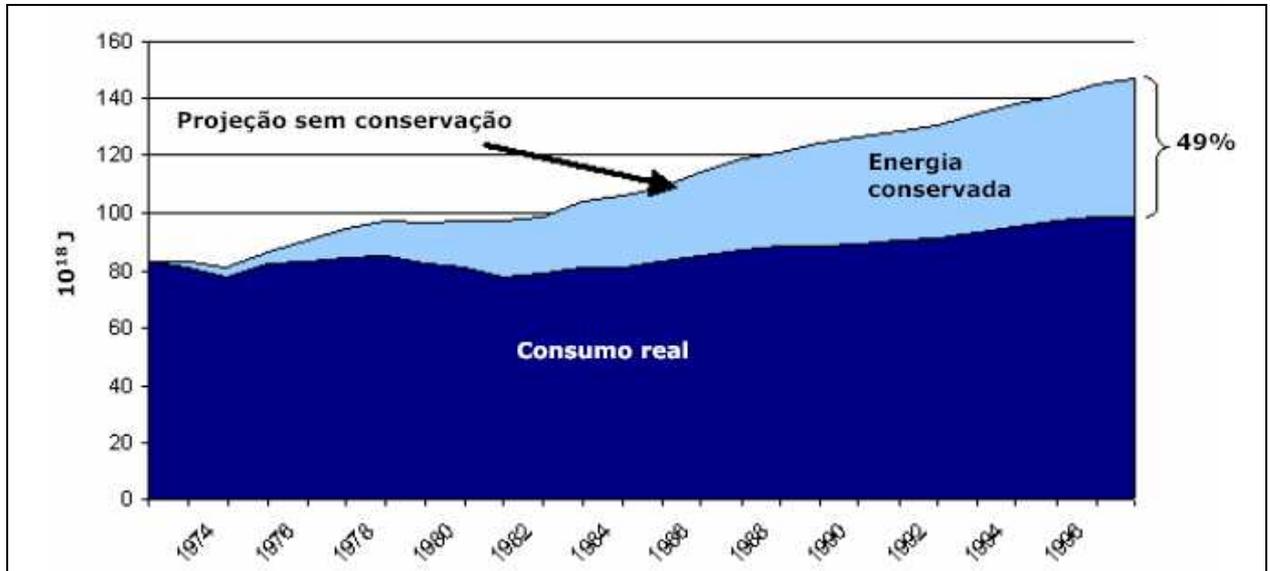


Figura 3.4 – Consumo de energia real e o uso hipotético sem reduções de consumo das 11 nações da OCDE, após a ações de PEE. (fonte: MME, 2006c, com informações de Geller et al 2006).

Em Almeida et al (2001), são apresentados diferentes cenários para o potencial de conservação de energia elétrica no setor residencial brasileiro para o ano de 2020 (figura 3.5). Baseados em características previamente discutidas, o consumo de iluminação no setor residencial pode variar entre 10% e 39% do total de consumo de energia em uma residência, dependendo das linhas de ações de conservação energética, sendo que no ano de 2005 estava em 24% (MME, 2006a). Outro exemplo discutido deste potencial neste artigo, está no uso de eletrodomésticos mais eficientes, que poderia cortar o consumo global de eletricidade no setor residencial em quase 30%.

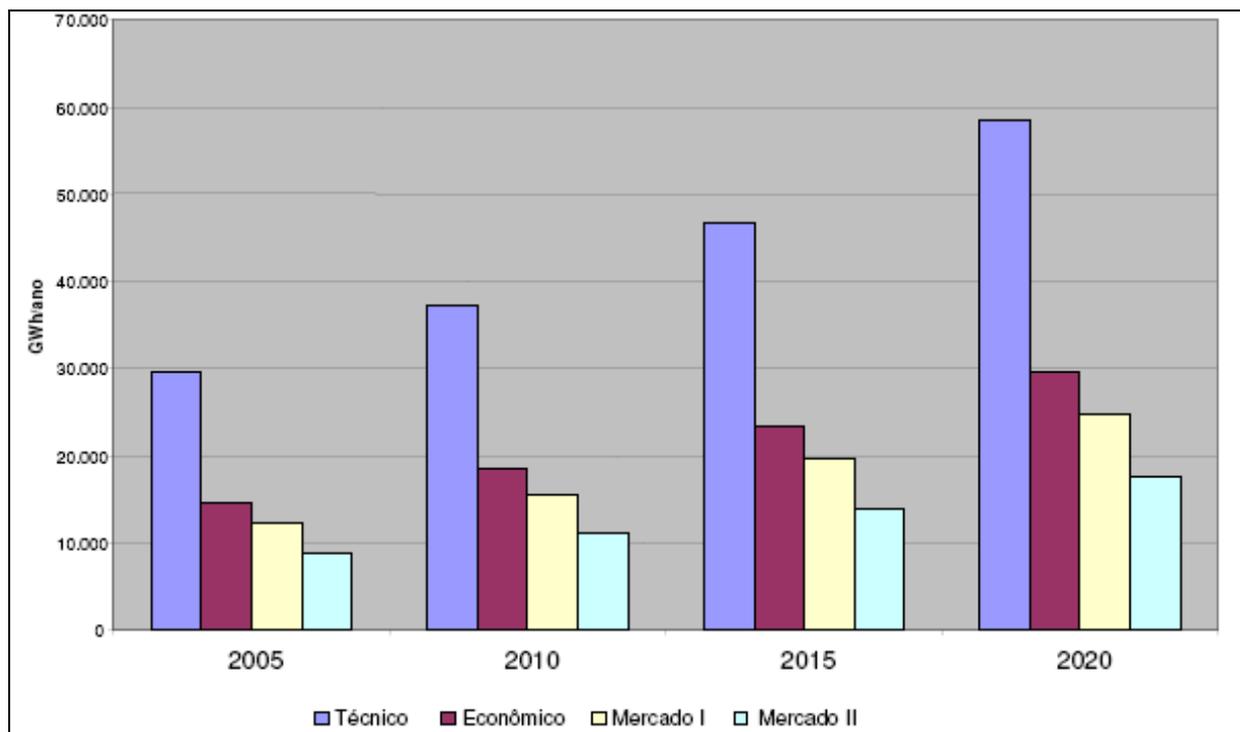


Figura 3.5 – Perspectivas de diferentes cenários de conservação de energia para o Brasil até o ano de 2020. (fonte: MME, 2007, com informações de Almeida et al, 2001).

Já no planejamento oficial do Governo Federal, através dos Planos Decenais de Expansão de Energia Elétrica – PDEE para 2006-2015 (MME, 2006b) e 2007-2016 (MME, 2007), o tratamento dado à eficiência no uso da energia estabelece uma dinâmica de aumento de eficiência, denominada “progresso autônomo”. A tendência positiva deste progresso é devida às ações inerentes a cada setor (residencial, comercial/ público e industrial) e conseqüentemente do que se pode chamar de substituição tecnológica, que é motivada por: a) término da vida útil do equipamento; b) por pressões de mercado ou ambientais; c) programas e medidas de conservação energética em vigor.

Outro ponto relevante ao PDEE 2007-2016 é considerar que, a partir de 2012, irá ocorrer uma ampliação da eficiência energética, através da criação de novos programas e ações específicas, orientadas para determinados setores. Estas ações podem refletir políticas públicas, voltadas para o que pode ser chamada de conservação ou eficiência energética induzida (MME, 2007).

Com o objetivo de estabelecer a conservação de energia elétrica obtida pelo chamado progresso autônomo, definido no PDEE, foi utilizado como base a evolução da energia útil e a da energia final em cada setor e por tipo de uso (força motriz, aquecimento e refrigeração, calor de processo e iluminação). Portanto, o resultado de energia economizada pelos PEE do PDEE é um conjunto da conservação correspondente ao

progresso autônomo e da conservação induzida considerada após 2012. Como resultado do planejamento de longo prazo, o Governo Federal espera chegar à um valor total de energia conservada em torno de 15.639 GWh no ano de 2016, cerca de 2,7% do consumo total de eletricidade projetado para o referido ano (figura 3.6). Paralelamente, temos os mesmo valores, mas apresentados com a divisão de energia conservada por setor (figura 3.7). Já na figura 3.8, são apresentados as perspectivas baseados nos cenários de projeção do PDEE para o consumo residencial (MME, 2007).

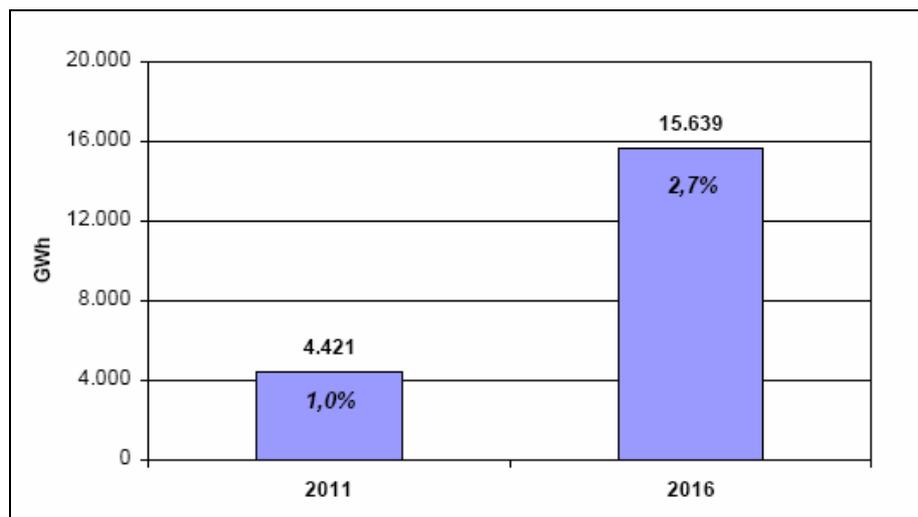


Figura 3.6 – Perspectivas de energia conservada do PDEE, para os anos de 2011 e 2016. (fonte: MME, 2007).

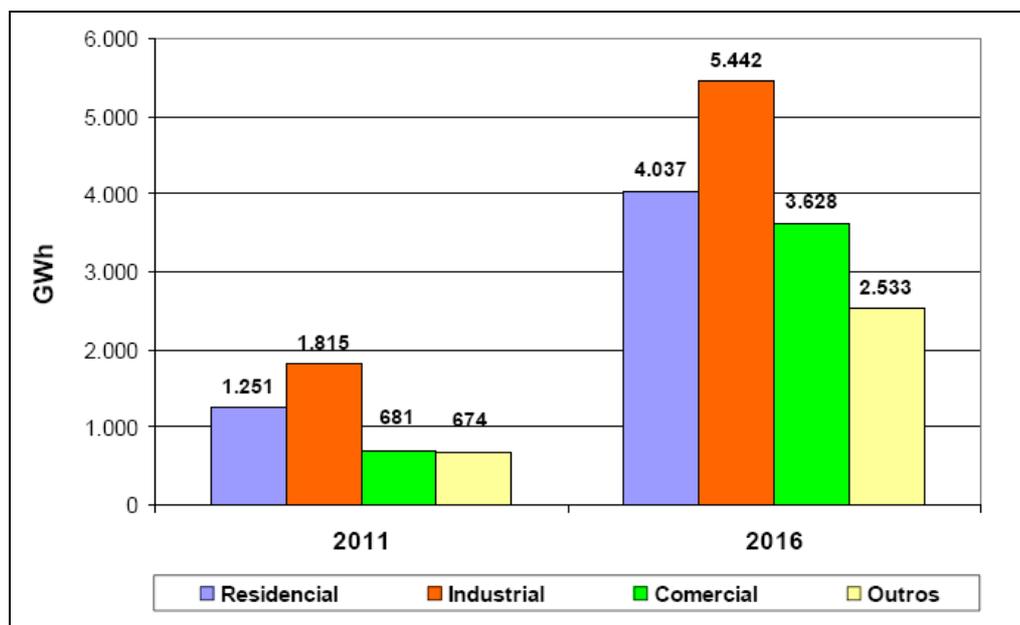


Figura 3.7 – Perspectivas de energia economizada do PDEE, dividido por setores até o ano de 2016. (fonte: MME, 2007).

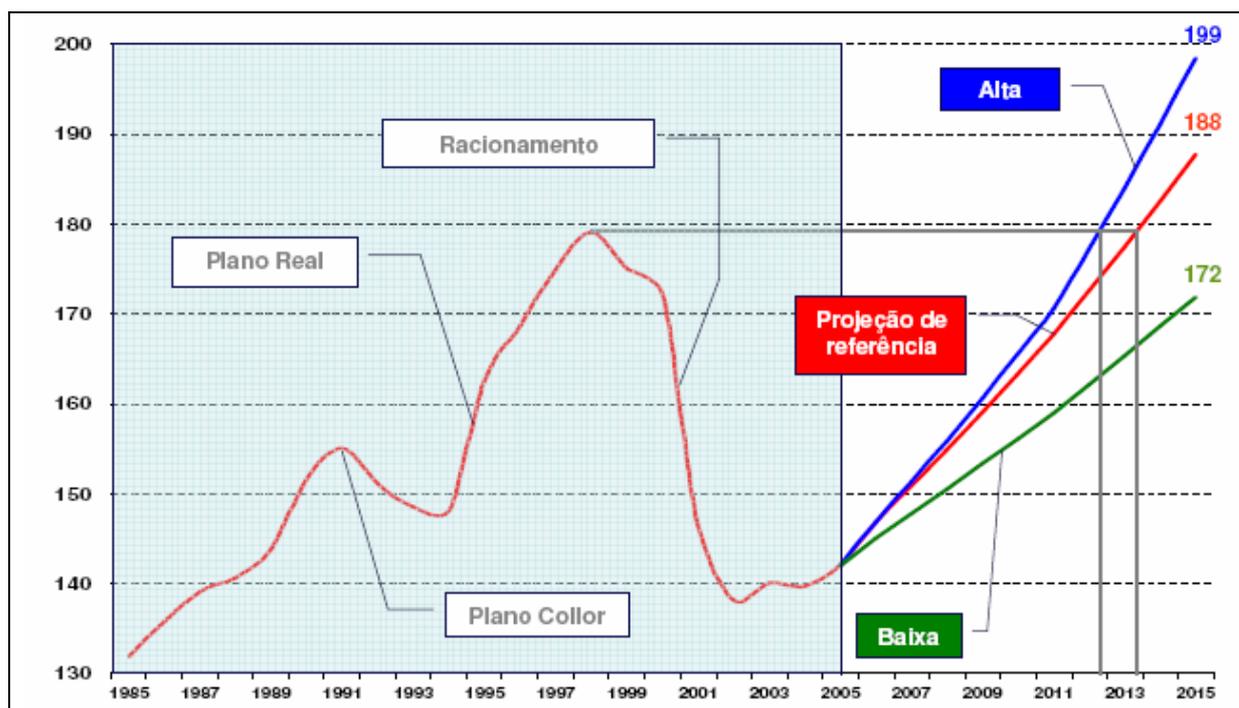


Figura 3.8 – Retrospectiva e perspectivas do consumo residencial ( $kWh.mês^{-1}$ ) do PDEE, até o ano de 2015 considerando cenários com aumento de eficiência energética. (fonte: MME, 2006b).

Como exemplo de um estudo mais antigo, vale a pena mencionar o trabalho desenvolvido pela Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (Abilux) em 1995 (ABILUX, 1995). Neste trabalho, foi destacado que, se o Brasil substituísse todas as LI utilizadas na época por LF em todos os setores (residência, comercial/ público e industrial) e se fossem utilizadas lâmpadas de vapor de sódio na rede de IP, a economia de energia seria de  $12.000 MWh.ano^{-1}$ .

Outra visão mais recente sobre as perspectivas de conservação energética no Brasil é apresentada em WWF (2007), onde é proposta a criação de leilões de eficiência energética, ou seja, seria determinada uma certa quantidade de energia a ser conservada (ou energia economizada) e a sua respectiva comercialização. Como apresentado no próprio relatório, esta é uma maneira alternativa de viabilizar, através do próprio mercado, a implementação de medidas que reduzem o consumo de energia. Outro ponto de forte destaque é a Lei de Eficiência Energética, que deve ter sua implementação priorizada, por meio de aprovação acelerada de padrões de desempenho energético para equipamentos com índices mais agressivos de redução de consumo. Já em relação ao Procel e do PBE, o relatório destaca que é necessário manter a continuidade destes programas e a

disseminação de informações atualizadas sobre tecnologias de energia e maneiras mais eficientes de sua utilização.

Ainda em WWF (2007), é apresentado um modelo de substituição de LI para LFC de 20W, já que o fluxo luminoso (lm) é semelhante e equivale a uma LI de 90W a 100W. É demonstrado que neste caso, o retorno do investimento (*pay-back*) é de curto prazo (menor que seis meses) e o custo para conservar a energia elétrica é muito atraente, pois a substituição para LFC de 20W, o consumidor obterá uma economia de energia considerável em sua residência sem perder a qualidade da iluminação e o conforto visual.

Outro bom exemplo do potencial de eficiência energética no Brasil é o uso do Selo Procel nos equipamentos para refrigeração que atualmente estão entre os maiores consumidores de energia no setor residencial. Desde 1995, o Selo Procel qualifica os melhores produtos (classificação A do PBE) e orienta os consumidores a adquirir refrigeradores e *freezers* que apresentem as maiores eficiências. Como resultado direto desta ação em refrigeradores, a evolução da eficiência chegou a uma redução de 20% no consumo médio de energia, que passou de 400 para 320 kWh.ano<sup>-1</sup> entre 1995 a 2005 (figura 3.9), no caso dos refrigeradores de uma porta (NOGUEIRA, 2007 e NOGUEIRA et al, 2007b; CARDOSO, 2008).

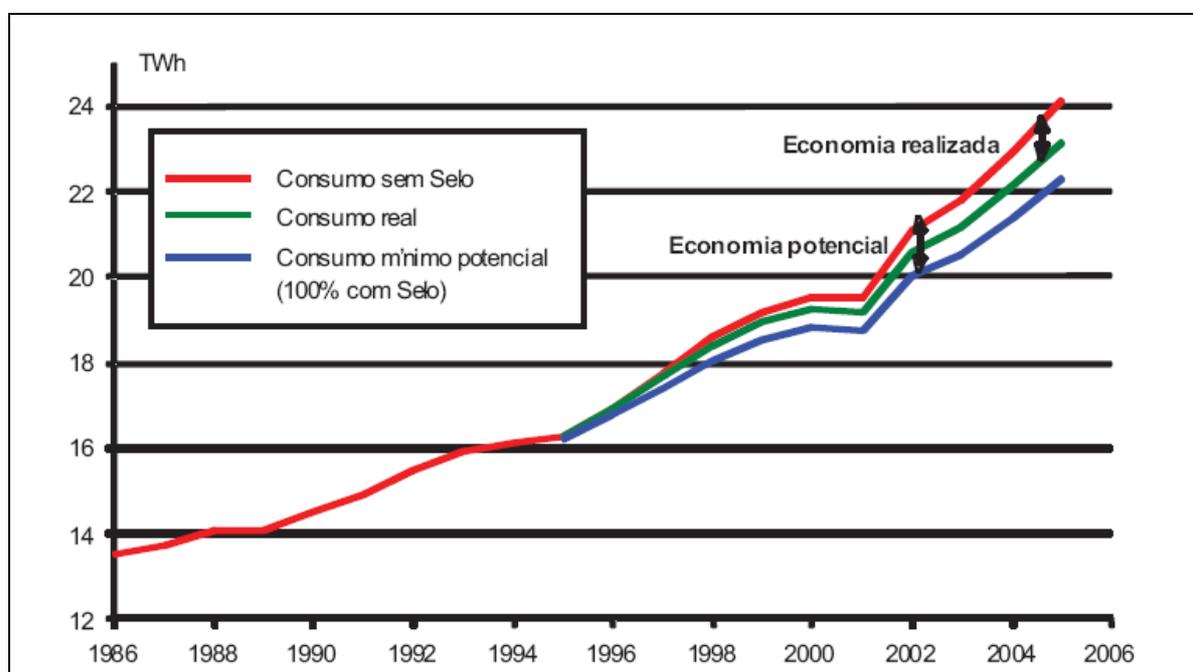


Figura 3.9 – Consumo total de energia elétrica do parque de refrigeradores e freezers no Brasil e o efeito do Selo Procel na economia de energia desde 1995 (fonte: Nogueira, 2007).

### 3.7. CLIMA E ENERGIA

Uma das principais barreiras encontradas pelos órgãos governamentais, não governamentais, investidores e empresas ligadas ao setor de energia é a falta de informações confiáveis sobre a real economia de energia dos PEE, que permitam avaliar concretamente os riscos associados a fatores climático-ambientais envolvidos nos projetos.

Na literatura internacional, a maior parte das pesquisas nesta área estão concentradas nos impactos da demanda de energia correlacionados à demanda térmica, isto é, no uso de ar condicionado, tanto no setor residencial, como comercial e industrial. Por exemplo, Lam (1998) demonstra que o consumo de energia em Hong Kong chega a dobrar durante o verão devido ao condicionamento de ar nas residências.

Em outras pesquisas, são indicados os possíveis impactos do clima com o crescimento ou redução no consumo de energia (SAUER, 1999; ALMEIDA et al, 2001; SAILOR, 2001; GELLER et al 2004; PANÃO et al 2007; AYRES et al 2007). Entretanto, o foco destas pesquisas também é voltado para a demanda térmica, nas quais as mudanças na temperatura e a variação térmica devido à posição do Sol são os fatores principais. De modo geral, os artigos científicos com estudos de outros países não consideram os impactos da nebulosidade e insolação no consumo de energia devido à demanda de iluminação. Este fato pode ser facilmente explicado, pois em latitudes médias e altas (acima de 35°) os impactos no consumo de energia devido à demanda térmica (para aquecimento no inverno e resfriamento no verão) são muito mais significativos do que em países em latitudes mais baixas (abaixo de 30°), como no caso do Brasil, onde as casas não possuem sistemas de calefação e o uso de ar condicionado é reduzido.

Já no Brasil, estudos que correlacionam a influência climática com a demanda de energia elétrica no setor residencial ainda são limitados e voltados a questões arquitetônicas, de demanda térmica (resfriamento) e, principalmente, à oferta de energia por fontes alternativas (potencial eólico e energia solar).

Ghisi et al (2007), descrevem claramente a influência dos diferentes climas brasileiros e os impactos no consumo de energia no setor residencial. Com o uso de um método, chamado de zonas bio-climáticas (RORIZ et al, 2000 Apud GHISI et al, 2007), o artigo investiga os impactos nos uso final de energia em chuveiros elétricos, ar condicionado, geladeiras e outros eletrodomésticos. Para os sistemas de iluminação, Ghisi et al (2007) demonstram que os valores percentuais do consumo de energia em uma residência podem variar entre 8–15% durante o verão e cresce para 11–19% durante

inverno, quando é destacada a menor disponibilidade de luz do dia. Estes percentuais também variam em função da cidade (latitude) e da localização dentro da zona bioclimática utilizada.

Utilizando o conceito de sazonalidade, Oliveira et al (2000) conclui que a compreensão da sazonalidade energética brasileira passa principalmente pela variação da temperatura média das regiões. Entretanto, conforme apresentado no artigo, o impacto da temperatura sobre o consumo de energia elétrica não é simétrico e nem homogêneo, pois são as temperaturas extremas que afetam diretamente o consumo. Outra informação relevante é que ocorre um crescimento no consumo de energia causado pelo uso de alguns eletrodomésticos específicos em determinadas faixas extremas de temperatura (tabela 3.3), sejam altas (quentes) ou baixas (frias).

*Tabela 3.3 – Correlações entre faixas de temperatura e aumento no consumo de energia elétrica no setor residencial (fonte: elaboração do autor, a partir de Oliveira et al, 2000).*

<b>Condições térmicas</b>	<b>Correlação com o consumo de energia</b>	<b>Justificativa</b>
<b>Temperatura (quente)</b>	+ positiva (consumo aumenta)	Uso de ar condicionado e ventiladores
<b>Temperatura (fria)</b>	- negativa (consumo aumenta)	Uso intenso de aquecedores e chuveiros elétricos

Ainda em Oliveira et al (2000), também são apresentados diversos estudos internacionais que discutem a sazonalidade do consumo de energia elétrica nos domicílios norte-americanos, onde é utilizada a temperatura como variável explicativa desta sazonalidade, lembrando que este trabalho considera o consumo total da residência, com demanda elétrica e térmica. Outro ponto relevante apresentado em Oliveira et al (2000) é a desagregação por região, que permite captar diferenças regionais causadas por fatores climáticos, hábitos de consumo, desenvolvimento industrial regional, nível de renda da população entre outros indicadores. Com base nestes resultados, Oliveira et al (2000) sugere que outros aspectos, além da variação de temperatura, devem ser considerados, como por exemplo, os impactos de outras variáveis climáticas e dos hábitos de consumo nas regiões de grande concentração populacional.

Outras iniciativas apresentadas na literatura nacional, como o projeto Swera e Sonda (MARTINS et al, 2005 e 2007) e o Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA et al, 2000 e 2004; TIBA, 2003), são extremamente importantes para o mapeamento das potenciais

aplicações no uso de fontes de energias alternativas, já que a energia solar tem uma participação incipiente na matriz energética brasileira. Entretanto, estes trabalhos estão voltados para o uso das informações climáticas pelo lado da oferta de energia, sem estabelecer correlações com os impactos na demanda devido às características climáticas.

Outra linha de pesquisa bastante comum em artigos científicos é a aplicação do conceito de iluminância no planejamento de projetos arquitetônicos (LI E LAM, 2000; MARTINS et al, 2004; KRARTI et al, 2005; LI et al 2006). Nestas pesquisas, a posição do Sol e outras características arquitetônicas como as faces do edifício em relação às coordenadas geográficas ganham destaque no planejamento de prédios e nas construções modernas. Neste caso, o objetivo é de melhorar a eficiência energética como um todo, não somente em iluminação e condicionamento de ar, mas principalmente no planejamento interno de ambientes e de decoração.

Vale destacar que, a iluminação diurna (ou o uso da luz natural) oferece enormes oportunidades de conservação de energia quando aplicada a conceitos de arquiteturas eficientes em residências e na otimização da IP. Martins et al (2004) apresentam um método empírico que considera a iluminância para a determinação da duração da noite em comparação aos limiares definidos pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A ABNT estabelece parâmetros para IP por meio da norma brasileira NBR-5123 (Relé fotelétrico e tomada para iluminação – Especificação e método de ensaio), no qual são definidos os valores de iluminância recomendados para que o sistema de IP entre em operação (tabela 3.4).

*Tabela 3.4 – Valores de iluminância estabelecidos para o funcionamento da IP. (fonte: elaboração do autor, a partir de Martins et al, 2004).*

<b>Descrição</b>	<b>Alvorada (Lux)</b>	<b>Ocaso (Lux)</b>
NBR-5123	80	20
Martins et al, 2004	20	14

Para Martins et al (2004), o tempo total de uso da iluminação artificial é determinado pela NBR e pelo método empírico. No artigo, é destacado, sem indicar valores, que o impacto na redução dos gastos com energia elétrica na IP pode ser bastante elevado, devido a um melhor dimensionamento nos horários de acionamento e desligamento das lâmpadas.

Ainda existem na literatura outros trabalhos que correlacionam iluminância com o ângulo de elevação do Sol, entretanto estas relações não consideram a cobertura de nebulosidade e a sua respectiva redução na insolação. Sem considerar esses efeitos no tempo de iluminação, a interpretação dos dados pode estar equivocada devido: a) uma redução da iluminância em decorrência da absorção e espalhamento da radiação solar pelas nuvens; b) um incremento na quantidade de luz que atinge a superfície decorrente da reflexão da radiação solar pela base das nuvens quando o Sol está próximo do horizonte. Nos dois casos, o tempo de iluminação artificial seria afetado podendo sofrer um incremento ou uma redução no tempo total.

### **3.8. ILUMINAÇÃO NATURAL VS ARTIFICIAL**

Devido à promoção da racionalização de energia, tem-se estimulado as boas práticas de projeto arquitetônico com o uso de iluminação natural, aplicado na eficiência energética de edificações e também no conforto visual. O uso da luz natural durante o dia claro contribui significativamente para a redução do consumo de energia elétrica, melhoria do conforto visual e bem-estar dos ocupantes, principalmente em edificações comerciais.

Do ponto de vista arquitetônico, a luz natural possui uma variabilidade e qualidade mais agradável que o ambiente iluminado pela luz artificial. Janelas e outras aberturas proporcionam aos ocupantes o contato visual com o mundo exterior e permitem também o relaxamento do sistema visual pela mudança das distâncias focais. A presença da luz natural, além de trazer uma economia real no uso da iluminação artificial (financeiros e operacionais), pode garantir uma sensação de bem-estar e um relacionamento com o ambiente maior no qual estamos inseridos (LAMBERTS et al, 1992; CHRISTOFFERSEN et al, 1998).

Atualmente, projetos arquitetônicos já consideram o uso da luz natural como referência em novas construções. Alguns exemplos são descritos em Ferraz (2004), que apresenta a mudança de tendências na arquitetura nacional, que utilizava padrões norte-americano e europeu. O artigo demonstra que aos poucos a arquitetura com traços de país tropical vai ganhando força no Brasil. Edificações como a de *shoppings*, já estão sendo projetadas ou reformadas para aproveitar ao máximo a luz natural. O objetivo na hora de projetar *shoppings* até a década de 1990, era de estimular o consumo, mas este modelo favoreceu a construção de *shoppings* com pouca iluminação natural e uma grande

necessidade de ar-condicionado. Como exemplo desta mudança, Ferraz (2004) menciona a reforma de um *shopping* no estado de São Paulo, com um novo modelo arquitetônico. Os administradores comemoraram a queda no consumo de energia elétrica, pois as novas instalações consomem cerca de 25% menos energia se comparada à área antiga. Ainda existem outros trabalhos relacionados que poderiam ser citados, como Goullart et al, (1998), que destaca a importância das condições climáticas na construção de edificações. Entretanto, a metodologia apresentada está mais focada na construção da edificação e aplicações em conforto térmico.

Já do ponto de vista da eficiência luminosa, no capítulo que descreve sistemas de iluminação da Standard 90.1 (ASHRAE, 1999), existe uma limitação em descrever o uso da potência da iluminação interna em  $W.m^{-2}$ , e a eficiência da iluminação externa em eficiência luminosa ( $lm.W^{-1}$ ). Ainda são apresentadas várias exceções para diversos usos especiais em ambientes internos e externos, como vitrines de lojas, salas de hospitais, monumentos históricos e ainda requisitos obrigatórios nos sistemas de controle da iluminação em função da área do ambiente.

Leal e Tiba (2006) demonstram uma relação entre a irradiação solar e a iluminância a fim de definir o melhor uso da luz natural ao invés da luz artificial. Com a aplicação de um modelo empírico, que correlaciona a irradiação solar horária, com a iluminância, obtém o valor correspondente à região vizinha, isto é, com as mesmas similaridades climáticas e geográficas. Entretanto, esta linha de pesquisa mostra que os dados de irradiação no Brasil são escassos e os dados observados de iluminância são ainda mais raros (TIBA et al.,2004; LEAL E TIBA, 2006). Logo, a alternativa proposta para esta situação é a estimativa mediante o uso de outras variáveis meteorológicas mais comuns e disponíveis na localidade de interesse.

Outros trabalhos, como Perez et al. (1990) e Alados et al. (1996), propõem métodos numéricos e empíricos mais complexos, utilizando coeficientes de regressão múltipla para determinação da eficiência luminosa natural. Nestes trabalhos, são considerados os usos mais eficientes da iluminação natural em prédios comerciais, reduzindo a carga elétrica relacionada à iluminação artificial. Contudo, para a elaboração de projetos que utilizem a iluminação natural é necessária a obtenção de dados referentes a iluminância e à irradiação solar de cada região, para que seja possível determinar o nível de contribuição de iluminação natural e a correspondente redução no consumo de energia elétrica.

Em relação à regulamentação internacional sobre o uso de iluminação artificial, Brotas e Wilson (2002) afirmam que, em Portugal, não existe um regulamento específico,

mas somente referências em regulamentos de outras áreas que condicionam e influenciam o acesso da iluminação aos edifícios. No caso português, os cálculos de iluminação são normalmente baseados em condições de céu encoberto, mas existem regiões onde as condições atmosféricas são predominantemente de céu aberto (sem nuvens), portanto a componente da luz natural não poderia ser excluída.

Brotas e Wilson (2002) mostram também que, com um céu encoberto, o Sol é invisível à superfície, mas existe luminosidade do céu. Já em um céu encoberto, considerado padrão de céu *Standard*, a iluminância varia conforme o ângulo do ponto em relação ao zênite<sup>8</sup>, sendo independente da posição do Sol, mas para as mesmas altitude e azimute<sup>9</sup>. Mostra ainda que os cálculos utilizando este tipo de distribuição usualmente consideram uma iluminância difusa horizontal em torno de 10.000 lux e que a iluminância, no caso de céu limpo, varia em termos do ângulo de altitude e azimute.

Como exemplo, na figura 3.10, é apresentado um cálculo teórico de iluminância global, através de um software chamado “*Radiance*” para a cidade de Lisboa (Portugal). É observado que em um céu encoberto a quantidade de luz que chega à superfície é muito inferior do que com céu claro (sem nuvens), sendo que em termos práticos a utilização de um ou de outro céu para cálculos de iluminação natural em edificações tem conseqüências diretas em todo projeto do sistema de iluminação artificial. Logo, o grande desafio está em estabelecer uma correlação entre variação da iluminação natural e o uso de luz artificial.

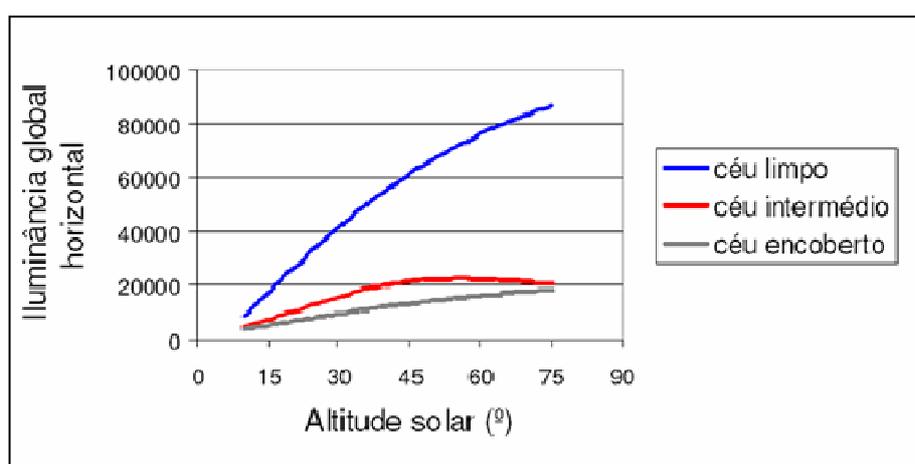


Figura 3.10 – Iluminância global teórica (em Lux) em um plano horizontal com diferentes características de céu do software *Radiance*, para Lisboa durante o solstício de verão (fonte: Brotas e Wilson, 2002).

<sup>8</sup> Zênite: ponto no qual a vertical ascendente de um lugar encontra a esfera celeste.

<sup>9</sup> Azimute: ângulo entre um plano, por onde se move um corpo celeste, que contém o eixo vertical de um referencial de um observador e o plano do meridiano na origem da observação (fonte: adaptado Roditi, 2005).

Vale destacar que, a qualidade e a quantidade de iluminação em um ambiente, bem como escolher adequadamente a fonte de luz natural ou artificial, é em alguns aspectos subjetivo e varia conforme o indivíduo, a hora do dia e outros fatores contextuais. O emprego preferencial da luz natural permite as pessoas maior tolerância à variação do nível de iluminação. Entretanto, existe no Brasil a adoção da Norma Brasileira – NBR 5413, estabelecida pela ABNT, que define os níveis mínimos de iluminância para cada ambiente de trabalho de modo a permitir o conforto visual. Estes níveis são apresentados na tabela 3.5, a seguir:

*Tabela 3.5 – Especificações de iluminância por tipo de atividade definida pela NBR 5413 (fonte: elaboração do autor, a partir de Costa, 2006).*

<b>Faixa ABNT</b>	<b>Iluminância (lux)</b>	<b>Tipo de atividade</b>
A Iluminação geral para áreas de tarefas visuais simples	20 – 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 – 200	Recintos não usados para trabalho contínuo, depósitos.
	200 – 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, escritórios.
B Iluminação geral para área de trabalho	500 – 1.000	Tarefas com requisitos visuais normais.
	1.000 – 2.000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2.000 – 5.000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5.000 – 10.000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica.
	10.000 – 20.000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

## **CAPÍTULO 4: DADOS E INFORMAÇÕES**

### **4.1. MESORREGIÃO E LATITUDE**

As mesorregiões brasileiras são classificadas oficialmente pelo IBGE. Elas representam uma subdivisão dos Estados brasileiros no qual existem similaridades sociais e econômicas; ou seja, é uma divisão intermediária entre Estado e Município. Neste trabalho, optou-se por desenvolver a metodologia com a menor subdivisão possível, pois o objetivo era aperfeiçoar a análise dos dados da melhor forma possível. Entretanto, devido a ausência de informações e dados mais precisos, isto é, em escala de municipal a melhor aproximação encontrada foi a separação por mesorregião.

Para relacionar cada uma das 137 mesorregiões do Brasil com uma latitude fixa padrão, foi utilizado o valor da estação meteorológica mais representativa da mesorregião. Naturalmente, existiram mesorregiões que não possuíam estações meteorológicas que atendiam os requisitos de dispor de dados de qualidade, logo se optou por trabalhar com uma estação mais próxima possível, mesmo que esta não pertencesse àquela determinada mesorregião. Houve também o caso, de uma mesma mesorregião possuir mais de 1 estação meteorológica de qualidade, mas foi determinada apenas 1 estação por mesorregião, descartando os demais estações. No anexo B, é apresentada a relação de todas as mesorregiões e as respectivas estações meteorológicas escolhidas para as informações de latitude e insolação solar.

### **4.2. NÚMERO DE DOMICÍLIOS BRASILEIROS**

O número de domicílios eletrificados por mesorregião do Brasil foi estimado com base nas informações sobre o número totais de domicílios pelo Censo 2000 (IBGE, 2000) e

pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio – PNAD (IBGE, 2005). Através do número de residenciais particulares estimados por mesorregião e pelo percentual de eletrificação estadual residencial, foi determinado o número total de domicílios eletrificados no País, portanto que utilizam lâmpadas elétricas.

O Censo 2000, disponibiliza o número de domicílios e eletrificação residencial separadas por mesorregião. Já o PNAD 2005, apresenta apenas os valores totais, agregados por estados da federação. Portanto, para estimar o número de domicílios eletrificados por mesorregião no ano de 2005, foi necessário realizar uma projeção com base nos dados do Censo de 2000 e com o crescimento médio de domicílios entre os anos 2000-2005, divididos por estado e apresentados no PNAD 2005. No anexo A, são apresentados a relação de todas as mesorregiões utilizadas, número de domicílios em 2000, crescimento residencial no período de 2000-2005, número de domicílios estimados por mesorregião para o ano 2005 e o percentual de eletrificação das residenciais utilizado.

### 4.3. FORMAÇÃO DO PARQUE DE LÂMPADAS

#### 4.3.1. Setor residencial

O parque total de lâmpadas instaladas por mesorregião no setor residencial, que inclui as LI, LFT, LFC e LFCirc, foi determinado com base nas informações do número de domicílios eletrificados no Brasil e no número de lâmpadas instaladas por domicílios (equação 4.1).

No estudo solicitado pela Eletrobrás e realizado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ), com título: “Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso: Ano base 2005” (ELETROBRÁS, 2007a e 2007b), foi estimado o número de lâmpadas por domicílio no Brasil, separadas por regiões.

$$PL_{total} = \sum_{i=1}^{137} \sum_{k=1}^4 PL_{ik} = N_i \cdot LD_{ik} \quad (4.1)$$

onde:

$PL_{total}$  = parque de lâmpadas total no Brasil (unidades);

$PL_{ik}$  = parque de lâmpadas na mesorregião “i” e por tipo “k” (LI, LFT, LFC ou LFCirc);

$N_{ik}$  = número de domicílios eletrificados estimados na mesorregião “i”;

$LD_{ik}$  = número de lâmpadas por domicílio, na mesorregião “i” e por tipo “k” (LI, LFT, LFC ou LFCirc);

Na tabela 4.1, estão os valores estimados para o número de lâmpadas por domicílio no Brasil. Estes dados são essenciais para determinar a formação do parque de lâmpadas e assim estabelecer a linha de base de comparação do MDC.

*Tabela 4.1 – Número de lâmpadas por domicílio separadas por regiões do Brasil no ano de 2005 (fonte: elaboração do autor, a partir de Eletrobrás, 2007a e 2007b).*

<b>Região</b>	<b>LFT/dom.</b>	<b>LFC + LFCirc/dom.</b>	<b>LI/dom.</b>	<b>Total lâmpadas por domicílio</b>
<b>Sul</b>	1,9	3,4	2,8	<b>8,1</b>
<b>Sudeste</b>	1,0	2,3	5,4	<b>8,7</b>
<b>Centro-Oeste</b>	1,1	3,0	4,3	<b>8,4</b>
<b>Norte</b>	2,9	2,1	1,9	<b>7,9</b>
<b>Nordeste</b>	1,1	3,5	3,1	<b>7,7</b>

Apenas como complementação e validação da pesquisa realizada para o ano de 2005, Geller et al (1998), menciona que um estudo de 1988 apresenta que Brasil possuía em média de 9 lâmpadas por domicílio, no qual 26% eram de algum tipo de lâmpada fluorescente, basicamente LFT.

#### **4.3.2. Iluminação pública**

Nos relatórios anuais de avaliação do ReLuz, a Eletrobrás disponibiliza somente a relação dos Estados e municípios atendidos, sem apresentar a localização precisa dos pontos substituídos ou expandidos individualmente. Portanto, para estimar o número de pontos substituídos ou expandidos no ReLuz 2005 por mesorregião, foi realizada uma distribuição matemática (soma e produto) com base no números de cidades atendidas por mesorregião.

No anexo J, é apresentado o número de cidades atendidas, com as respectivas estimativas de pontos substituídos ou expandidos utilizados neste trabalho.

#### **4.4. INSOLAÇÃO SOLAR**

A insolação solar é ser uma variável meteorológica observada diretamente e utiliza um instrumento chamado Heliógrafo Stokes-Campbell (figura 4.1a). O instrumento é composto de uma esfera de vidro, que suspensa em um suporte permite que os raios solares (incidência direta no aparelho) sejam focados sobre um tira de cartolina colada sob um suporte (figura 4.1b), de modo que o intenso calor do Sol (foco sob a tira) queime progressivamente a tira ao longo do dia, desde que não haja nebulosidade capaz de interromper a incidência de luz sobre o instrumento (INMET, 1999; DHN, 2003; VAREJÃO-SILVA, 2005). Como a tira de cartolina possui uma escala de tempo, é possível determinar o número de horas da insolação solar diariamente.

Ao realizar observações nos valores diários de insolação, durante 30 anos, é possível obter a climatologia de insolação solar, ou seja, os valores podem ser disponibilizados como médias diárias ou mensais para uma determinada localização.

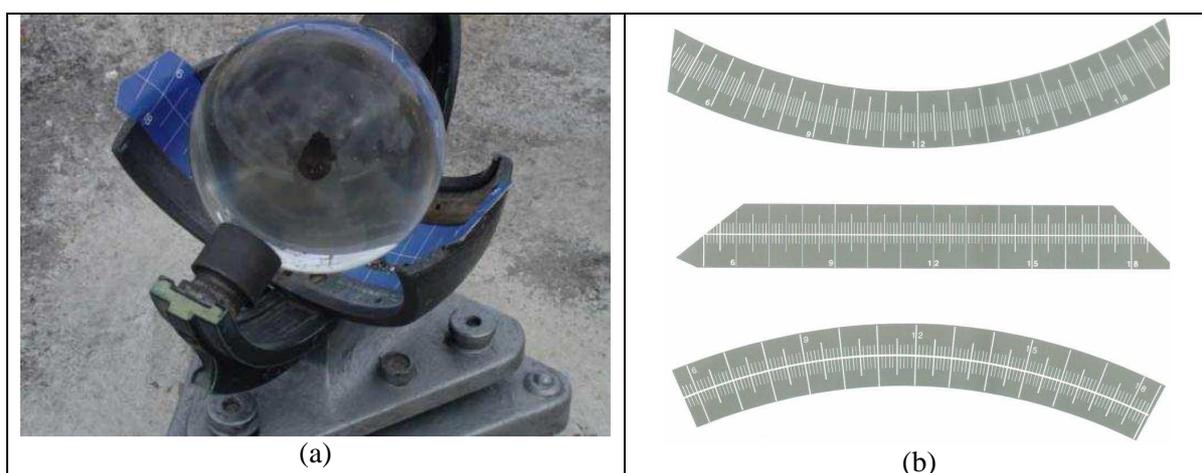


Figura 4.1 – Heliógrafo Stokes-Campbell (a) e os diferentes modelos da tira de cartolina (b), utilizado para observar os valores de insolação solar diária. (fonte: elaboração do autor, a partir de foto da Estação Meteorológica do IAG/USP e imagem adaptada de Inmet, 1999).

Conforme apresentado em Tiba et al (2000), a queima da tira de cartolina no Heliógrafo ocorre quando a radiação solar direta supera o limite entre 100 e 200  $W.m^{-2}$ , já que existe uma dependência da localização geográfica do instrumento, do tipo de papel utilizado, entre outras variáveis. Entretanto, quando o instrumento está adequadamente instalado e sob as condições corretas de operação, o limiar para a queima da tira está em 120  $W.m^{-2}$ . Logo é possível estabelecer correlações entre a insolação e a radiação solar diária com erros relativamente baixos.

A publicação “Normais Climatológicas – 1961-1990” (INMET, 1992) do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) e o Banco de Dados do Atlas Solarimétrico do Brasil

(TIBA, 2003), oferecem os valores climáticos de observações em mais de 200 estações meteorológicas espalhadas pelo Brasil. Entretanto, vale destacar que estas estações meteorológicas são classificadas como Estações Sinóticas de Superfície e fazem parte da rede mundial de observação da Organização Meteorológica Mundial (OMM), portanto possuem uma numeração internacional (relação completa no Anexo B).

Em Tiba et al (2000), são apresentados mapas com a insolação solar incidente no Brasil, resultante da interpolação da série de dados do Inmet e também de alguns outros pontos complementares. Desta forma, foi possível elaborar um Atlas da insolação média para cada mês do ano e para valores médios anuais (figura a seguir).

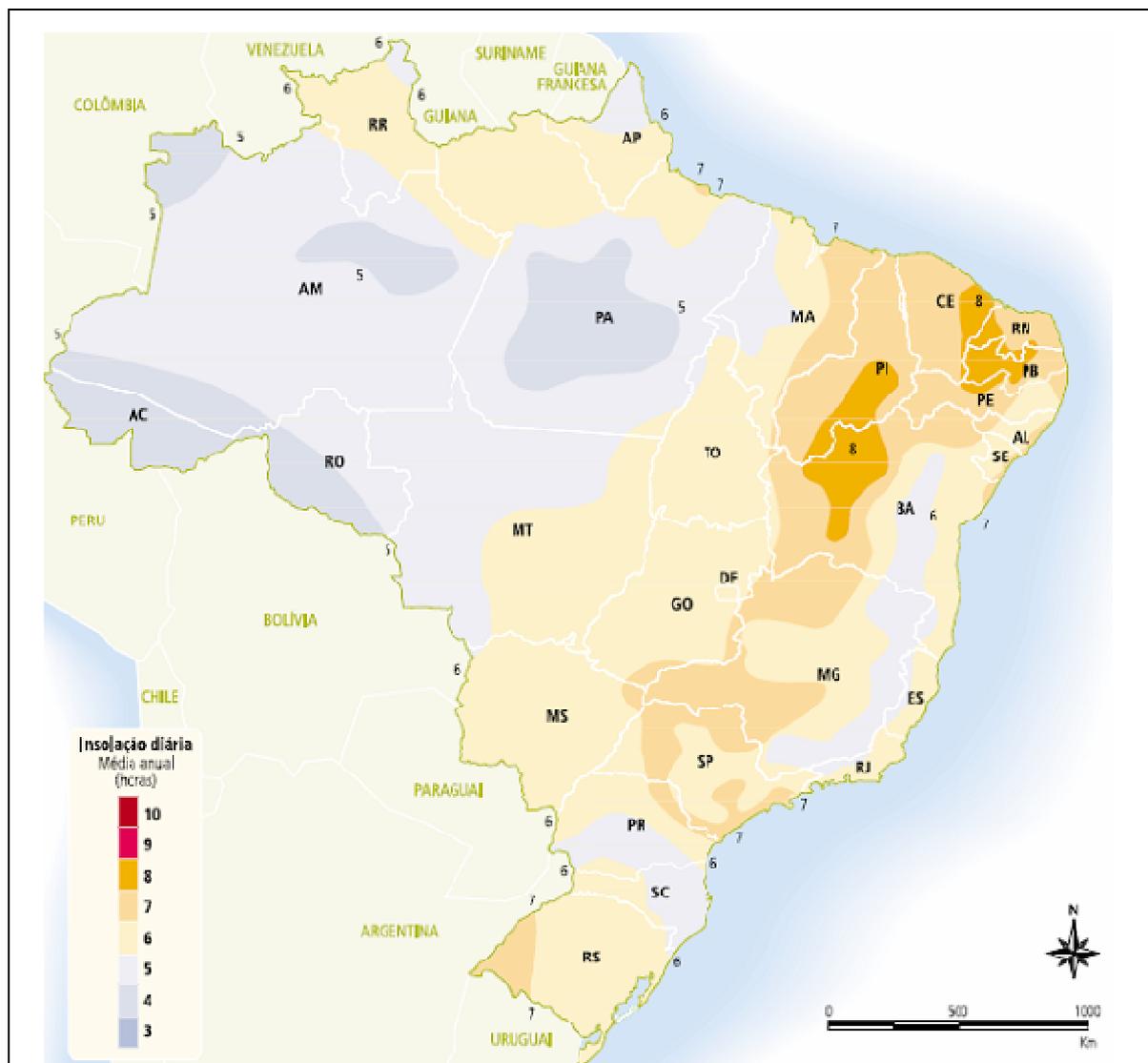


Figura 4.2 – Média anual da insolação solar (em horas) para o Brasil. (fonte: Aneel, 2005b, com informações de Tiba et al, 2000).

Como a insolação solar é uma medida observada, também é dependente das condições do céu, como nebulosidade, presença de nevoeiros, poluição etc. Portanto, para uma mesma latitude (com a mesma duração do dia astronômico, conforme descrito acima), ainda existem variações dos valores médios de insolação para o Brasil, como pode ser observado na figura 4.2. Por exemplo, a maior parte do Brasil está localizada relativamente próxima da linha do Equador, mesmo assim existem grandes diferenças entre os valores para os estados da região Norte (5 horas) e Nordeste (8 horas). Contudo, a maioria da população brasileira e das atividades socioeconômicas do País se concentra nos estados mais distantes do Equador, principalmente na região Sudeste (ANEEL, 2005b).

#### **4.5. OBSERVAÇÃO DO TEMPO DE UTILIZAÇÃO NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Através de um projeto realizado pela Concessionária de Energia Elétrica, Light Serviços de Eletricidade S.A., foi observado os dados diários de tempo de utilização na IP na cidade do Rio de Janeiro, entre abril de 2005 e agosto de 2006. De forma geral, o projeto realizou medições em pontos específicos do município, durante um período de 12 meses, de modo a contemplar todos os meses do ano. A cidade do Rio de Janeiro foi dividida em 6 pequenas regiões, onde havia uma estação de medição em cada (QUADROS, 2006a e 2006b).

Segundo Quadros (2006a e 2007), cada dos pontos de medição, eram compostas basicamente de 3 relés (um novo eletrônico, um novo mecânico e um meia-vida mecânico), no qual eram registrados os tempos exatos de acionamento e desligamento de cada relé, assim como o nível de lumens em que cada um operou. Desta forma, os resultados observados diariamente por cada estação eram consolidados mensalmente, apresentando um tempo de utilização médio na IP para cada mês do ano. Na figura 4.3, são apresentados os valores em comparação ao tempo de utilização da IP, com 3 indicadores diferentes, sendo a legislação da Aneel, dados teóricos (considerando somente o noite astronômica, devido a latitude) e TU médio observado para todas os pontos de medição do projeto, onde é possível observar a sazonalidade bem característica entre o verão e inverno.

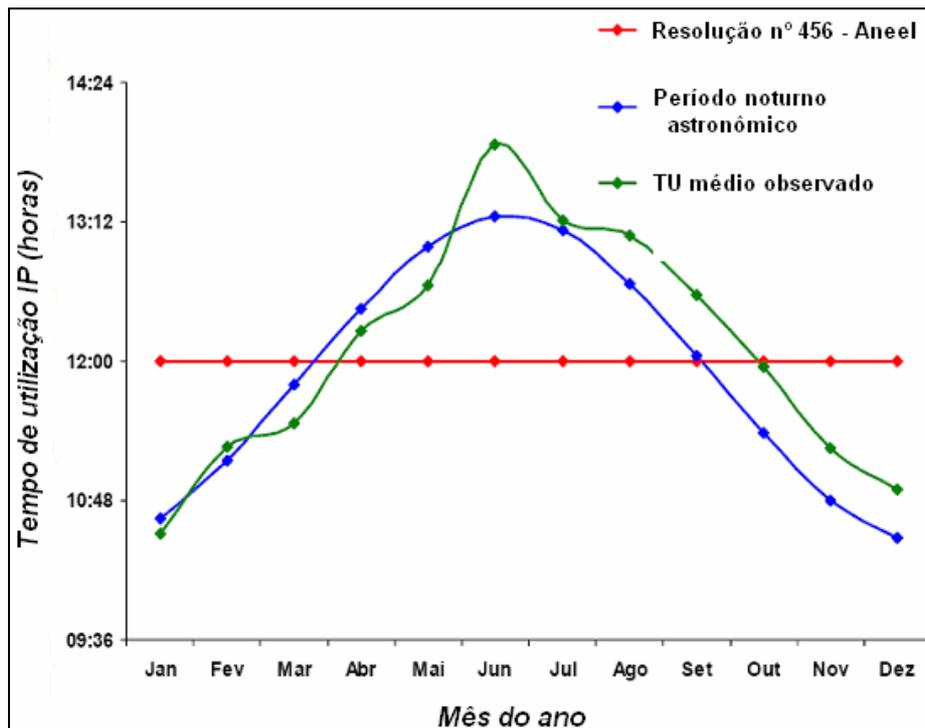


Figura 4.3 – Tempo de utilização na IP, médio observado na cidade do Rio de Janeiro, teórico astronômico e pela resolução da Aneel. (fonte: adaptação de Quadros, 2006a).

Com os dados de TU médio mensal disponível para os 12 meses do ano, foi possível determinar de forma empírica o ajuste na relação entre o TU na IP e com os valores de insolação solar médio, chamado de Fator de Correção do TU ( $\beta$ ), que será descrito em maiores detalhes no Capítulo 5 (metodologia).

Por ser um valor empírico, este ajuste é uma aproximação, inicialmente válida somente para a cidade do Rio de Janeiro, já que em outras mesorregiões do Brasil apresentam característica no TU da IP diferentes. Dos 6 pontos de medidas da Light, o ponto localizado no centro do Rio de Janeiro é o mais próximo da Estação Meteorológica do Inmet, também localizada no centro, portanto foram usados somente os dados deste ponto do projeto da Light.

Utilizando a equação 5.23, foi determinado o valor do Fator de Correção do TU ( $\beta$ ), para a IP, como apresentado na tabela 4.2 e utilizado posteriormente na metodologia.

Mês	TU Estação Centro (em décimos hora)	Cálculo do Fator Beta (mensal)
Jan	10,75	-0,005
Fev	12,28	0,194
Mar	11,55	-0,054
Abr	13,12	0,098
Mai	n.d.	n.d.
Jun	16,53	0,588
Jul	13,80	0,117
Ago	13,97	0,221
Set	13,60	0,203
Out	12,80	0,182
Nov	11,75	0,114
Dez	12,12	0,180
<b>Beta médio (<math>\beta_c</math>)</b>		<b>0,167</b>

*Tabela 4.2 – Tempo de utilização da estação Centro do projeto da Light e cálculo do fator  $\beta_c$  para IP, mensal e médio anual. (fonte: elaboração do autor, a partir de Quadros, 2007).*

## **CAPÍTULO 5: METODOLOGIA**

Neste capítulo, será revista a metodologia utilizada pelo Procel/Eletróbrás no ano de 2005 e apresentada de forma detalhada o Método por Demanda Climática na economia de energia por iluminação.

Através de uma abordagem sequencial, são discutidas as premissas para o MDC e as considerações na estimativa do tempo de utilização, considerando os efeitos de latitude e do clima e as respectivas economias de energia e a redução na demanda de ponta, tanto para a iluminação residencial quanto para a pública.

### **5.1. MÉTODO PROCEL/ELETRÓBRÁS**

#### **5.1.1. Procel na iluminação residencial**

Anualmente, a Eletróbrás realiza uma avaliação dos resultados do Procel para todos os equipamentos que recebem o selo. Para a iluminação, é realizada uma análise da economia de energia devido a difusão e uso de tecnologia com lâmpadas mais eficientes para todos os setores do mercado (residencial, comercial/ público e industrial).

A metodologia para o ano de 2005 utilizada pela Eletróbrás na avaliação de economia de energia atribuída ao Selo Procel na iluminação tem as seguintes premissas básicas (ELETRÓBRÁS, 2006a):

- ✓ valores de economia de energia totais, em escala nacional e contabilizados para um ano;
- ✓ o número do parque de lâmpadas e dado pelas vendas anuais de lâmpadas eficientes (LFC e LFCirc.);
- ✓ uso de uma redução média de potência – RMP;

- ✓ tempo de utilização fixo (horas de uso) para cada tipo de lâmpada ao longo do ano;
- ✓ parte da economia de energia é um percentual das vendas que foram estimuladas pelo Selo Procel (Fator Procel – FP).

O cálculo da estimativa de economia de energia atribuída ao Selo Procel é obtido utilizando a expressão abaixo:

$$EE = N.RMP.TU.FP \quad (5.1)$$

onde:

*EE* = economia de energia ( $Wh.ano^{-1}$ );

*N* = número estimado de LE em uso no ano (unidades);

*RMP* = redução média de potência de consumo das LE (W);

*TU* = tempo de utilização das LE (horas por ano);

*FP* = fração assumida como tendo sido estimulada pelo Procel.

A estimativa de redução da demanda de ponta – RDP é determinada pela seguinte equação:

$$RDP = N.RMP.FCP.FP \quad (5.2)$$

onde:

*RDP* = redução de demanda de ponta (W);

*N* = número estimado de LE em uso no ano (unidades);

*RMP* = redução média de potência de consumo das LE (W);

*FCP* = fator de coincidência de ponta (%);

*FP* = fração assumida como tendo sido estimulado pelo Procel.

O número de LE em uso no ano, é determinado pelos dados de importação destas lâmpadas através de informações oficiais do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) fornecidos pelo Sistema AliceWeb<sup>10</sup>.

Quanto aos demais parâmetros utilizados pelo método Procel/Eletróbrás, segue a descrição na tabela abaixo:

---

<sup>10</sup> Sistema AliceWeb: banco de dados on-line com informações públicas de importação e exportação do Brasil, mantido pela Secretaria de Comércio Exterior do MDIC, disponível através do website: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>.

*Tabela 5.1 – Dados utilizados como parâmetros nos cálculos de EE e RDP no Método Procel/Eletróbrás (fonte: elaboração do autor, a partir de Eletróbrás, 2006a).*

<b>Item</b>	<b>Unidade</b>	<b>LFC</b>	<b>LFCirc</b>
Participação nas vendas	% no ano	95	5
Vendas em 2005	unidades	61.424 x 10 <sup>3</sup>	3.233 x 10 <sup>3</sup>
Potência média na substituição de LI para LE	W	60 para 15	75 para 22
RMP	W	45	48
FCP	%	70 (ou 0,7)	70 (ou 0,7)
TU	hora.ano <sup>-1</sup> / hora.dia <sup>-1</sup>	2.190 (por ano) ou 6 (por dia)	1.500 (por ano) ou 4,1 (por dia)
FP	%	20 (ou 0,2)	20 (ou 0,2)

É importante destacar que o Método Procel/Eletróbrás não considera o parque total de LE no mercado brasileiro, isto é, as LE que foram vendidas em anos anteriores, mas que continuam em uso no mercado não são contabilizadas, mesmo proporcionando economia de energia. O método leva em consideração um percentual das vendas do ano em estudo. Outro ponto é o fato do Procel não considerar nos resultados para iluminação o uso das LFT, pois apesar de ser uma LE, elas não recebem o Selo Procel e também não são avaliadas pelo PBE do Inmetro.

### **5.1.2. ReLuz e iluminação pública**

A Eletróbrás, a partir do ReLuz, tem incentivado a apresentação de projetos pelas Concessionárias de Energia Elétrica e pelos municípios brasileiros para melhoria e expansão da IP. Assim como para o Selo Procel para iluminação, a Eletróbrás também realiza anualmente uma avaliação dos resultados utilizando o Método ReLuz/Eletróbrás (ELETROBRÁS, 2006a).

Entretanto a metodologia, como será descrita a seguir, é bastante diferente do Selo Procel para iluminação. Esta diferença se deve basicamente à forma na contagem no número de LE e também no cálculo da redução de potência devido à substituição.

Para o cálculo da EE no ReLuz é utilizada a seguinte equação:

$$EE = N \cdot [(P_1 + R_1) - (P_2 + R_2)] \cdot TU_{IP} \quad (5.3)$$

onde:

$EE =$  economia de energia ( $Wh.ano^{-1}$ );

$N =$  número de pontos de IP substituídos no ano (unidades);

$P_1$  e  $R_1 =$  potencia das lâmpadas ( $P$ ) e do reator ( $R$ ) substituídos ( $W$ );

$P_2$  e  $R_2 =$  potencia das lâmpadas ( $P$ ) e do reator ( $R$ ) eficientes ( $W$ );

$TU_{IP} =$  tempo de utilização das lâmpadas na IP (horas).

No Método ReLuz/Eletróbrás, o tempo de utilização na IP não é uma variável observada, apesar de ser um dos principais fatores na EE em IP. São utilizados valores constantes, conforme apresentados na tabela 5.2:

Tabela 5.2 – Tempo de utilização na IP, utilizados nos cálculos de EE no Método ReLuz/Eletróbrás (fonte: elaboração do autor, a partir de Eletróbrás, 2006a).

$TU_{IP}$	Horas por ano	Horas por dia
Tempo de utilização na IP	4.380	12

A redução de demanda de ponta no ReLuz, é definida pela equação:

$$RDP = N \cdot [(P_1 + R_1) - (P_2 + R_2)] \cdot FCP_{IP} \quad (5.4)$$

onde:

$RDP =$  redução de demanda de ponta ( $W$ );

$N =$  número de pontos de IP substituídos no ano (unidades);

$P_1$  e  $R_1 =$  potencia das lâmpadas ( $P$ ) e do reator ( $R$ ) substituídos ( $W$ );

$P_2$  e  $R_2 =$  potencia das lâmpadas ( $P$ ) e do reator ( $R$ ) eficiente ( $W$ );

$FCP_{IP} =$  fator de coincidência de ponta na IP.

Como as lâmpadas na IP operam basicamente no período noturno, o que coincide com o período de ponta do Sistema Elétrico Brasileiro, o  $FCP_{IP}$  é igual a 1,0 (ELETROBRÁS, 2006a). Outro ponto relevante é que o Método ReLuz/Eletróbrás considera nos cálculos da EE e da RDP, cada uma das substituições realizadas (lâmpadas individualmente; ponto a ponto), ou seja, não são utilizados valores médios na redução de potência, já que o ReLuz é implementado por meio das Concessionárias de Energia Elétrica. Portanto, as concessionárias são as responsáveis pelo repasse das informações precisas para a Eletróbrás através de relatórios de acompanhamento, segundo os contratos de gestão estabelecidos com a Eletróbrás e os municípios (ELETROBRÁS, 2004).

## 5.2. PROPOSTA DO MÉTODO POR DEMANDA CLIMÁTICA

O Método por Demanda Climática – MDC se enquadra dentro das premissas do PIMVP, isto é, a avaliação da EE através da comparação entre o consumo de energia elétrica considerando um cenário padrão (ou linha de base) e o consumo após a implementação do PEE (MILANEZ et al, 2001). Na figura 5.1 temos uma apresentação esquemática do conceito utilizado no MDC.

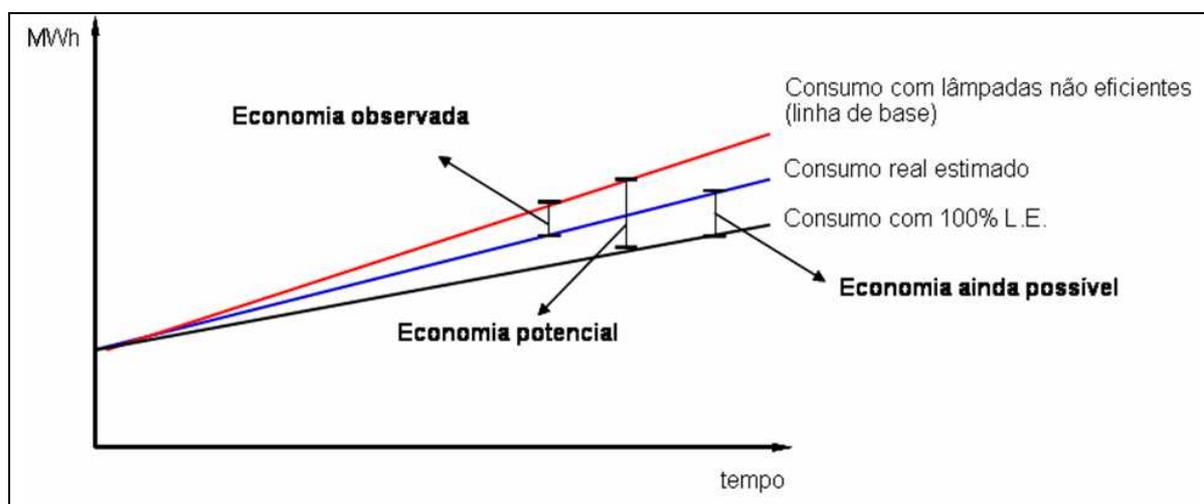


Figura 5.1 – Visão esquemática do MDC (fonte: elaboração do autor, com adaptação de Cardoso, 2008).

Naturalmente, a linha de base do MDC é um mercado fictício, no qual o parque de lâmpadas seria formado pela totalidade de LI, no uso de lâmpadas compactas e por uma pequena parcela de LFT que já está estabelecida no mercado no ano de 2005. A diferença de consumo de energia entre a linha de base e o mercado real e potencial estimado (formado também por LFC e LFCirc.) é o que corresponde ao valor de economia de energia atribuída ao uso de tecnologias eficientes, sendo, por sua vez, uma parcela desta economia atribuída ao Selo Procel.

Como características básicas gerais, o MDC tem:

- ✓ desagregação por mesorregiões (total de 137);
- ✓ desagregação por meses do ano (total de 12);
- ✓ inclusão dos efeitos de latitude (variação do dia claro astronômico) e das condições climáticas (insolação solar) no tempo de utilização das lâmpadas e nos respectivos cálculos de economia de energia;

O grande desafio do método proposto está em estimar o parque e o tempo de utilização das lâmpadas, desagregados por mesorregião e por mês do ano, já que a potência média das lâmpadas pode ser obtida através de informações do Procel.

### **5.2.1. Iluminação residencial**

De um modo simplificado, o consumo total de energia elétrica do País atribuída ao setor de iluminação residencial é o produto entre o parque de lâmpadas (número total de lâmpadas nas residenciais), a potência média das lâmpadas instaladas e o tempo de utilização anual.

Para o setor residencial, além das características gerais listadas anteriormente, o MDC ainda apresenta algumas características específicas:

- ✓ desagregação na contagem do tempo de utilização das lâmpadas que são susceptíveis a variações externas (de latitude e clima) e das lâmpadas não susceptíveis, que usam tempo de utilização constante ao longo do ano;
- ✓ estimativa do parque total de lâmpadas em uso baseada em dados do PNAD/IBGE (número de domicílios) e pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso (ELETROBRÁS, 2007a e 2007b) com a estimativa do número de lâmpadas médio por domicílio;
- ✓ uso do mesmo percentual das vendas que foram estimuladas pelo Selo Procel (Fator Procel).

É conveniente destacar também que o MDC não incluiu efeitos de degradação de desempenho das lâmpadas ao longo da vida útil, pois se acredita que esse efeito é mínimo, pois muitas vezes o consumidor não identifica a perda no fluxo luminoso e como consequência continua utilizando a lâmpada de mesma potência na próxima compra.

No caso dos percentuais de participação do mercado das LFC e das LFCirc, foram utilizadas estimativas da própria Eletrobrás (ELETROBRÁS, 2006a) para obtenção destes percentuais de uso destas lâmpadas no País. Na tabela 5.3, vemos os demais parâmetros utilizados no MDC.

Tabela 5.3 – Dados utilizados como parâmetros no MDC (fonte: elaboração do autor).

Item	Unidade	LFC	LFCirc
Participação no mercado	% no ano	95	5
Potência média na substituição de LI para LE	W	60 para 15	75 para 22
RMP	W	45	48
FCP	%	70 (ou 0,7)	70 (ou 0,7)
TU	hora.ano <sup>-1</sup> / hora.dia <sup>-1</sup>	variável	variável
FP	%	20 (ou 0,2)	20 (ou 0,2)

As lâmpadas foram estimadas e classificadas por tipo e fornecidos pela “Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso: Ano base 2005” (ELETROBRÁS, 2007a e 2007b). Estes dados são essenciais para determinar a formação do parque de lâmpadas no País e assim estabelecer a linha de base no consumo de energia elétrica para comparação no MDC.

#### a) Determinação do tempo de utilização

Para determinar o tempo de utilização – TU ou horas de uso de uma lâmpada na iluminação residencial para o MDC, o tempo foi desagregado em:

- i) TU constante – TU<sub>cte</sub>
- ii) TU variável – TU<sub>var</sub>

A desagregação do TU em uma parte constante e uma variável, é uma forma de dimensionar o uso das lâmpadas que são ou não susceptíveis as variações de latitude e clima. Desta forma, com objetivo de estabelecer mecanismos de ajustes na parametrização do MDC, também foi necessário estimar algumas outras propriedades que influenciam diretamente o TU, sendo:

- i) Fator de susceptibilidade da lâmpada (fator  $\alpha$ ) – é a porcentagem das lâmpadas residenciais que são susceptíveis aos efeitos na variação de latitude e clima. Como exemplo, as lâmpadas instaladas em um sótão ou porão das residências, não são susceptíveis aos efeitos externos, logo o seu TU diário é estimado como constante ao longo do ano. Portanto, se temos um  $\alpha = 0,7$ , logo 70% das lâmpadas residenciais são susceptíveis a

estas variações externas ao longo do ano, isto é possuem um  $TU_{var}$  e 30% das lâmpadas tem o  $TU_{cte}$ .

$$\alpha = 1 + \left( \frac{TU_{\text{não susceptível}}}{TU_{cte}} \right) \quad (5.5)$$

onde:

$TU_{susceptível}$  = tempo de utilização das lâmpadas residenciais susceptíveis as variações de latitude e clima(horas);

$TU_{cte}$  = tempo de utilização constante das lâmpadas residenciais não susceptíveis (horas);

- ii) Fator de correção do TU (fator  $\beta$ ) – representa a porcentagem do tempo de uso das lâmpadas susceptíveis, que provocam consumo de energia elétrica, isto é, apesar de existir a necessidade de iluminação, nem todas as lâmpadas residenciais são utilizadas simultaneamente. Como exemplo, têm-se as lâmpadas dos cômodos da uma residência (quarto, banheiro, sala etc) que apesar da ausência de claridade não estão em uso naquele exato momento, pois não existe demanda dos usuários.

Os valores estimados de  $\alpha$  e  $\beta$  para os efeitos da latitude e do clima respectivamente são apresentados na tabela a seguir:

*Tabela 5.4 – Fator de Susceptibilidade (fator  $\alpha$ ) e Fator de Correção do TU (fator  $\beta$ ) das lâmpadas residenciais em relação a variação de latitude e clima (fonte: elaboração do autor).*

Efeito	$\alpha$ (alfa)	$\beta$ (beta)	Características no setor residencial
Latitude	0,7	1,0	Representa que das lâmpadas susceptíveis (70%), todas ocasionam consumo imediato de energia
Clima	0,7	0,2	Representa que das lâmpadas susceptíveis (70%), 20% do tempo é que ocasiona consumo de energia

Por não haver disponível um levantamento mais detalhado dos domicílios brasileiros, o fator de susceptibilidade das lâmpadas ( $\alpha$ ), foi considerado uma estimativa

teórica em que parte dos cômodos de uma residência utilizam iluminação independente das condições externas, como sótão, porão, garagens, dispensas etc.

Em relação as estimativas do Fator de Correção do TU, seguem algumas considerações: a) no efeito latitude,  $\beta_L = 1$ , pois como não existem outros fatores de influência, a variação de dia claro astronômico tem efeito imediato no consumo de energia devido a iluminação; b) no efeito clima,  $\beta_C = 0,2$ , pois a variação de insolação solar, seja no nascer ou por do Sol ou mesmo durante o dia devido a nebulosidade, não provoca consumo imediato de energia devido ao grau de iluminação natural. Desta forma, por não dispor de dados empíricos, como no caso da IP (item 4.5) foi estimado este valor no presente estudo.

Já para determinar o valor de  $TU_{cte}$ , foi necessário realizar algumas outras considerações, já que na literatura científica não existem muitos trabalhos que indicam o TU no Brasil (seja constante ou variável) e a respectiva vida útil das lâmpadas.

Nos projetos com a participação do Global Environment Facility (GEF), são apresentados especificações técnicas iniciais para o tempo de vida útil de uma LFC e LFCirc de 6.000 horas (BIRNER E MARTINOT, 2005). Entretanto, como argumentado no artigo, devido ao hábito de uso e outras características técnicas, foi constatado que o tempo na realidade era duas vezes menor, com 3.000 horas. Já na tabela 5.5, vemos alguns dos valores de TU das lâmpadas utilizados em outros estudos relacionados com iluminação residencial.

*Tabela 5.5 – Tempo de Utilização médio de lâmpadas no setor residencial, em horas por ano e horas por dia (fonte: elaboração do autor, a partir das referências indicadas).*

Referência	TU em LI (horas por:)		TU em LFC (horas por:)		TU em LFCirc (horas por:)	
	ano	dia	ano	dia	ano	dia
Jannuzzi e Santos, 1996	1.095	3	n.d.		n.d.	
Kazakevicius et al, 1999	1.460	4	1.460	4	1.460	4
Mahlia et al, 2005	1.533	4,2	1.533	4,2	1.533	4,2
Eletrobrás, 2006a	n.d.		2.190	6	1.500	4,1
Eletrobrás, 2007c	n.d.		1.460	4	730	2

*Observação: n.d. = não disponível*

Nas avaliações anuais da Eletrobrás, é conveniente destacar que, para o ano de 2006, após uma avaliação interna da equipe técnica do Procel com associações e

consultores do setor de iluminação e baseado nas novas informações da “Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso” (ELETROBRÁS, 2007a e 2007b), foi constatado que o TU estava super estimado na metodologia utilizada até o ano de 2005, portanto na avaliação mais recente dos resultados do Procel, a Eletrobrás fez uma revisão nos valores de TU para o cálculo de economia de energia (ELETROBRÁS, 2007c).

Neste trabalho, não é feita uma diferenciação nos TU das LI, LFT, LFC e das LFCirc, optando-se por utilizar um valor padrão intermediário para o  $TU_{cte}$  das lâmpadas residências. Os valores adotados no MDC são apresentados na tabela a seguir:

*Tabela 5.6 – Tempo de utilização constante para lâmpadas residenciais adotadas no MDC, usados nos cálculos de EE (fonte: elaboração do autor).*

$TU_{cte}$	Horas por ano	Horas por dia
Tempo de utilização constante	1.000	2,74

Um dos fatores diferenciais no MDC está em determinar o tempo de utilização das lâmpadas, como uma variável em função do efeito de latitude e das condições climáticas. Para isso, foi escolhida para cada uma das 137 mesorregiões diferentes do Brasil, uma estação meteorológica com a série climatológica mais longa de dados e com a melhor representação geográfica da mesorregião, com a sua respectiva latitude. Deste modo, temos a informação das coordenadas geográficas para cálculos do  $TU_{var}$  com efeito latitude e dados de insolação solar para o efeito clima.

#### **b) Tempo de utilização – Efeito Latitude (TUL)**

Para determinar o TU considerando efeito latitude para lâmpadas susceptíveis e não susceptíveis, temos a seguinte equação:

$$TUL = TU_{\text{não susceptível}} + TU_{\text{susceptível}} \quad (5.6)$$

onde:

$$TU_{\text{não susceptível}} = (1 - \alpha) \cdot TU_{cte} \quad (5.7)$$

$$TU_{\text{susceptível}} = \alpha \cdot (TU_{cte} + (12 - Td) \cdot \beta_L) \quad (5.8)$$

Portanto, considerando que  $\beta_L = 1$  e generalizando para todas as mesorregiões, meses do ano e substituindo os termos, temos a equação principal para determinar o TUL:

$$TUL_{ij} = (1 - \alpha).TU_{cte} + \alpha.(TU_{cte} + (12 - Td_{ij})) \quad (5.9)$$

onde:

$TUL_{ij}$  = tempo de utilização devido ao efeito da latitude na mesorregião “i” e mês do ano “j” (horas);

$\alpha$  = fator de susceptibilidade devido ao efeito latitude;

$\beta_L$  = fator de correção do TU no efeito latitude;

$TU_{cte}$  = tempo de utilização constante das lâmpadas residenciais (horas);

$Td_{ij}$  = duração média mensal do dia claro astronômico na mesorregião “i” e no mês “j”, dado pela equação 2.3 (horas);

12 = duração média anual do dia claro (dia padrão em horas)

No caso do efeito latitude, vemos que o  $TU_{susceptível}$  é uma função da diferença de um dia claro médio anual de 12 horas (padrão) e do dia astronômico médio mensal, sendo este um termo positivo ou negativo na equação do TUL, dependendo da época do ano. Portanto, é essa diferença no  $TU_{susceptível}$  que provoca o aumento ou a redução no consumo de energia elétrica por iluminação.

### c) Tempo de utilização – Efeito Clima (TUC)

Assim como o efeito latitude, o calculo do TU ponderado e considerando o efeito do clima em uma lâmpada, é definido como:

$$TUC = TU_{\text{não susceptível}} + TU_{\text{susceptível}} \quad (5.10)$$

onde:

$$TU_{\text{não susceptível}} = (1 - \alpha).TU_{cte} \quad (5.11)$$

$$TU_{\text{susceptível}} = \alpha.(TU_{cte} + (12 - Td).\beta_L + (Td - 12).\beta_C) \quad (5.12)$$

Portanto, considerando que  $\beta_L = 1$  e generalizando para todas as mesorregiões, meses do ano e substituindo os termos, temos a equação principal para determinar o TUC:

$$TUC_{ij} = (1 - \alpha) \cdot TU_{cte} + \alpha \cdot (TU_{cte} + (12 - Td_{ij}) + (Td_{ij} - I_{ij}) \cdot \beta_C) \quad (5.13)$$

onde:

$TUC_{ij}$  = tempo de utilização devido ao efeito clima na mesorregião “i” e mês do ano “j” (horas);

$\alpha$  = fator de susceptibilidade devido ao efeito clima;

$\beta_C$  = fator de correção do TU no efeito clima;

$TU_{cte}$  = tempo de utilização constante das lâmpadas residenciais (horas);

$12$  = duração média anual do dia claro (horas);

$Td_{ij}$  = duração média mensal do dia claro astronômico, na mesorregião “i” e no mês “j”, dado pela equação 2.3 (horas);

$I_{ij}$  = insolação solar média mensal na mesorregião “i” e mês “j”;

No caso do efeito clima, vemos que o  $TU_{susceptível}$  é uma função da diferença do dia claro astronômico médio e da insolação solar média no mês. Vale ressaltar que, diferente do efeito latitude, onde pode ser reduzido o TUL, no efeito clima sempre irá provocar um aumento no TUC, pois em termos climatológicos, sempre haverá fatores que reduzem a insolação solar, como nebulosidade, nevoeiro/ névoa ou poluição. Isto é, ao longo do ano, o valor de insolação solar (I), sempre será menor do que o dia claro astronômico (Td), portanto a diferença será sempre positiva. Vale lembrar, que utilizando do Fator de correção do TU, é uma parcela desta diferença (Td – I) que provoca o consumo de energia elétrica no uso da iluminação, neste caso ajustado pelo valor de  $\beta_C$ .

#### **d) Economia de energia e redução na demanda de ponta**

Diferentemente do Método Procel/Eletrobrás, o MDC irá avaliar somente a economia de energia – EE na iluminação residencial, sem considerar o setor comercial/ público e industrial, pois é onde estão disponíveis os dados e informações mais confiáveis, com o número de lâmpadas por domicílio, por exemplo.

Para o cálculo da EE, primeiramente é necessário determinar qual é o consumo de energia – CE nos diferentes cenários, isto é: a) linha de base; b) consumo real estimado e b) consumo potencial estimado, considerando por definição, que:

$$CE = N.P.TU \quad (5.14)$$

onde:

$CE$  = consumo de energia (Wh);

$N$  = número estimado de lâmpadas em uso (unidades);

$P$  = potência média das lâmpadas em uso (W);

$TU$  = tempo de utilização da lâmpada (horas).

Logo, a economia de energia pode ser determinada pela diferença entre o consumo de energia de cada cenário, sendo assim:

$$EE = (CE_{LB} - CE_{PEE}).FP \quad (5.15)$$

onde:

$EE$  = economia de energia (Wh);

$CE_{LB}$  = consumo de energia nos cenários linha de base (Wh);

$CE_{PEE}$  = consumo de energia no programa de eficiência energética (Wh);

$FP$  = fração assumida como tendo sido estimulado pelo Procel.

Aplicando na equação 5.14 os 2 efeitos (latitude e clima), as 137 mesorregiões do Brasil, os 12 meses do ano e os 4 tipos de lâmpadas (LI, LFT, LFC e LFCirc), temos a para cada cenário o consumo de energia:

$$CE_{ze} = \sum_{i=1}^{137} \sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^4 CE_{ijk} = N_{ik} \cdot P_k \cdot TU_{ije} \quad (5.16)$$

onde:

$CE_{ze}$  = consumo de energia no cenário “z” (linha de base, real estimado ou potencial estimado) e com efeito “e” (latitude ou clima);

$CE_{ijk}$  = consumo de energia na mesorregião “i”, no mês “j” e efeito “e” (latitude ou clima);

$N_{ik}$  = número estimado de lâmpadas em uso na mesorregião “i” e do tipo “k” (LI, LFT, LFC ou LFCirc);

$P_k$  = potência média das lâmpadas em uso do tipo “k”;

$TU_{ije}$  = tempo de utilização da lâmpada na mesorregião “i”, no mês “j” e efeito “e” (latitude ou clima).

Portanto, a economia de energia real estimada é dada pela equação 5.17 e a economia de energia potencial estimada é dada pela equação 5.18, considerando cada efeito (latitude ou clima) separadamente:

$$EE_{totalR} = (CE_{lb} - CE_{real}).FP \quad (5.17)$$

$$EE_{totalP} = (CE_{lb} - CE_{potencial}).FP \quad (5.18)$$

onde:

$EE_{totalR}$  = economia de energia total, real estimada com efeito “e” (latitude ou clima, em Wh);

$EE_{totalP}$  = economia de energia total, potencial estimada com efeito “e” (latitude ou clima, em Wh);

$CE_{lb}$  = consumo de energia na linha de base (Wh);

$CE_{real}$  = consumo de energia real estimado com efeito “e” (latitude ou clima, em Wh);

$CE_{potencial}$  = consumo de energia potencial estimado com efeito “e” (latitude ou clima, em Wh);

$FP$  = fração assumida como tendo sido estimulado pelo Procel.

O cálculo de EE é a diferença no consumo de energia, sendo este baseado no parque de lâmpadas, nos dados de potência e no TU; desagregados por mesorregião do País e pelo mês do ano. Vale ressaltar que, para estimar o consumo total de energia da iluminação residencial, foi considerado o parque de LFT, o que não modifica os valores de economia de energia, pois são utilizadas as diferenças entre os cenários, que utilizam o mesmo parque de LFT.

Já para determinar a RDP total pelo MDC, utiliza-se:

$$RDP_{total} = \sum_{i=1}^{137} RDP_i = N_i \cdot RMP \cdot FCP \cdot FP \quad (5.19)$$

onde:

$RDP_{total}$  = redução de demanda de ponta total, sob qualquer dos efeitos “e”  
(latitude ou clima, em W);

$RDP_i$  = redução demanda de ponta na mesorregião “i” (W);

$N_i$  = número de lâmpadas eficientes (LFC e LFCirc) na mesorregião “i”  
(unidades);

$RMP$  = redução média de potencia (W);

$FCP$  = fator de coincidência de ponta;

$FP$  = fração assumida como tendo sido estimulado pelo Procel.

### 5.2.2. Iluminação pública

Para a aplicação do MDC na IP, foi necessário realizar uma série de considerações devido à ausência de alguns dados fundamentais para determinar o consumo da linha de base e o consumo potencial. A falta de informações públicas e de fácil acesso do número total de pontos de IP em funcionamento no País (separadas por município) e a respectiva potência destas lâmpadas (separadas individualmente), são as grandes dificuldades para estimar as curvas de consumo. Portanto, neste trabalho, foi estimado a economia real de energia sem o consumo de linha de base, somente através da diferença de energia consumida após a implantação do ReLuz no determinado ano, através de uma redução média de potência. Conseqüentemente, também não serão estimados os consumos e nem a economia potencial, devido à ausência de informações mais detalhadas.

Para o ReLuz, além das características gerais listadas anteriormente, o MDC tem algumas específicas:

- ✓ aplicação do TU variável das lâmpadas de IP, já que todas são susceptíveis às variações (de latitude e clima); portanto o TU constante não é utilizado;
- ✓ estimativa do número total de pontos substituídos e de expansão por mesorregião, através de informações dos Estados e municípios atendidos pelo ReLuz no ano de 2005 (dados oficiais da Eletrobrás);
- ✓ uso de uma redução média de potência na substituição/ expansão do ReLuz em 2005, devido à ausência de dados.

Na tabela a seguir, são apresentados alguns outros parâmetros utilizados no MDC para IP.

Tabela 5.7 – Outros parâmetros do MDC na IP (fonte: elaboração do autor).

Item	Unidades	Aplicação no MDC
FCP	%	100 (ou 1,0)
RMP (estimado a partir de: Eletrobrás, 2006a)	W	40 (aproximado)
TU	horas	Variável
FP	%	100 (ou 1,0)

### a) Determinação do tempo de utilização

No caso do ReLuz, para determinar o TU ou horas de uso nas lâmpadas na IP, os termos também foram desagregados em:

- i) TU padrão –  $TU_{pad}$
- ii) TU variável –  $TU_{var}$

O TU padrão representa a duração média anual do dia claro (12 horas.dia<sup>-1</sup>). Assim como para iluminação residencial, o MDC na IP também tem Fator de Susceptibilidade ( $\alpha$ ) e Fator de Correção do TU ( $\beta$ ), conforme a tabela a seguir:

Tabela 5.8 – Fator de Susceptibilidade (fator  $\alpha$ ) e Fator de Correção do TU (fator  $\beta$ ) das lâmpadas na iluminação pública em relação a variação de latitude e clima (fonte: elaboração do autor).

Efeito	Termo $\alpha$	Termo $\beta$	Observação (iluminação pública)
<b>Latitude</b>	1,0	1,0	Representa que todas as lâmpadas na IP são susceptíveis e ocasionam consumo imediato de energia
<b>Clima</b>	1,0	0,167	Representa que todas as lâmpadas na IP são susceptíveis e que em 16,7% do tempo, ocasiona consumo imediato de energia <sup>(1)</sup>

(1) = termo  $\beta$  para o efeito clima foi estimado empiricamente a partir de Quadros (2006a e 2006b). Ver item 4.5.

### b) Tempo de utilização – Efeito Latitude (TUL)

Para determinar o TUL considerando o efeito latitude na IP é admitido que todas as lâmpadas são susceptíveis a este efeito, portanto é expresso por:

$$TUL = TU_{susceptível} = \alpha.(TU_{pad} + (12 - Td).\beta_L) \quad (5.20)$$

Logo, generalizando para todas as mesorregiões e meses do ano, considerando que  $\alpha$  e  $\beta_L = 1$ , a equação final para efeito latitude na IP fica:

$$TUL_{ij} = TU_{pad} + (12 - Td_{ij}) \quad (5.21)$$

onde:

$TUL_{ij}$  = tempo de utilização devido ao efeito latitude na mesorregião “i” e mês “j”;

$\alpha$  = fator de susceptibilidade devido ao efeito latitude;

$\beta_L$  = fator de correção do TU no efeito latitude;

$TU_{pad}$  = tempo de utilização padrão das lâmpadas em IP (12 horas);

$Td_{ij}$  = duração média do dia claro astronômico na mesorregião “i” e no mês “j”, dada pela equação 2.3 (horas).

### c) Tempo de utilização – Efeito Clima (TUC)

Assim como o efeito latitude, todas as lâmpadas em IP são susceptíveis ao efeito clima, sendo assim, é possível determinar o TUC pela equação:

$$TUC = TU_{susceptível} = \alpha.(TU_{pad} + (12 - Td).\beta_L + (Td - I).\beta_C) \quad (5.22)$$

Generalizando para todas as mesorregiões e meses do ano, considerando  $\alpha$  e  $\beta_L = 1$ , tem-se a equação final para TUC na IP:

$$TUC_{ij} = TU_{pad} + (12 - Td_{ij}) + (Td_{ij} - I_{ij}).\beta_C \quad (5.23)$$

onde:

$TUC_{ij}$  = tempo de utilização devido ao efeito clima na mesorregião “i” e mês “j” (hora);

$\alpha$  = fator de susceptibilidade devido ao efeito clima;

$\beta_C$  = fator de correção do TU no efeito clima;

$TU_{pad}$  = tempo de utilização padrão das lâmpadas em IP (12 horas);

$I_{ij}$  = insolação solar média mensal na mesorregião “i” e mês do ano “j” (horas);

$Td_{ij}$  = duração média do dia claro astronômico, na mesorregião “i” e no mês “j”, dado pela equação 2.3 (horas);

#### d) Economia de energia e redução de demanda de ponta

Conforme já apresentado, no caso da IP não foi possível determinar o consumo de energia da linha de base e também o consumo potencial. Portanto será determinada apenas a economia de energia real estimada, através da expressão:

$$EE_{total} = \sum_{i=1}^{137} \sum_{j=12}^{12} EE_{ij} = N_i \cdot RMP \cdot TU_{ije} \quad (5.24)$$

onde:

$EE_{total}$  = economia de energia total real estimada com efeito “e” (latitude ou clima);

$EE_{ij}$  = economia de energia real estimada na mesorregião “i”, no mês “j”

$N_i$  = número de lâmpadas substituídas e de expansão estimada na mesorregião “i”;

$RMP$  = redução média de potência estimada para todas as lâmpadas de IP no ano;

$TU_{ije}$  = tempo de utilização da lâmpada em IP na mesorregião “i”, no mês “j” e efeito “e” (latitude ou clima).

Finalmente, para a redução de demanda de ponta em IP é utilizada a equação abaixo:

$$RDP_{total} = \sum_{i=1}^{137} RDP_i = N_i \cdot RMP \cdot FCP \quad (5.25)$$

onde:

$RDP_{total}$  = redução de demanda de ponta total, com efeito “e” (latitude ou clima);

$RDP_i$  = redução de demanda de ponto na mesorregião “i”;

$N_i$  = número de lâmpadas substituídas e de expansão estimada na mesorregião “i”;

$RMP$  = redução média de potência estimada para todas as lâmpadas de IP no ano;

$FCP$  = fator de coincidência de ponta para IP.

## **CAPÍTULO 6: RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo, serão apresentados os principais resultados, além de fazer uma discussão do ponto de vista energético e também climático. Foram avaliadas as diferenças climáticas existentes no Brasil e suas respectivas influências nas variações de consumo total de eletricidade através do uso de iluminação, com refinamento espacial (sub-divisão nas 137 mesorregiões) e temporal (12 meses do ano).

Para uma análise mais detalhada na iluminação residencial e pública, foram selecionados casos com valores extremos e padrões sazonais distintos de insolação solar das mesorregiões. Através de uma análise individual, também é apresentado um *ranking* das mesorregiões com os maiores valores de economia de energia estimada, nos cenários real e potencial.

Além dos resultados, na discussão são apresentadas algumas considerações sobre a sazonalidade na demanda de energia por iluminação, limitações do método proposto e outros aspectos que não foram considerados no presente trabalho, além de uma tabela comparativa entre o método adotado pelo Procel/Eletrobrás e o Método por Demanda Climática.

### **6.1. ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL**

Para avaliar o potencial de conservação de eletricidade na iluminação residencial, foi utilizado o conceito de Consumo de Energia Específico, que neste caso, foi adotado como a Economia de Energia Especifica por domicílio, isto é, são os valores diários do consumo evitado de energia em watt hora por domicílio.

É importante destacar, que para os resultados gerais, foi contabilizado o Fator Procel – FP (tabela 5.3), isto é, 20% das LE em uso nos domicílios brasileiros foram adquiridas devido as ações de divulgação do Procel ou estimuladas pela marca do Selo Procel nas embalagens dos fabricantes. Já para os casos extremos, que serão apresentados a

seguir, foram considerados os valores totais de economia de energia pelas mesorregiões, sem a separação da fração assumida como tendo sido estimuladas pelo Procel.

### 6.1.1. Resultados gerais

O Consumo total de energia na iluminação residencial foi estimado utilizando a equação 5.15, através dos cenários previamente estabelecidos, sendo: linha de base, real estimado e potencial estimado. Na figura 6.1, podemos observar os valores de cada cenário, considerando os efeitos latitude e clima.

Para efeito de verificação do modelo, vale destacar, que o consumo de energia do cenário real estimado, com efeito clima, esta relativamente próximo do percentual real observado pelo Balança Energético Nacional (tabela 2.5), com 28% da energia total consumida no Brasil, quando pelo BEN de 2006, o valor esta em 32% da consumo residencial (MME, 2006a).

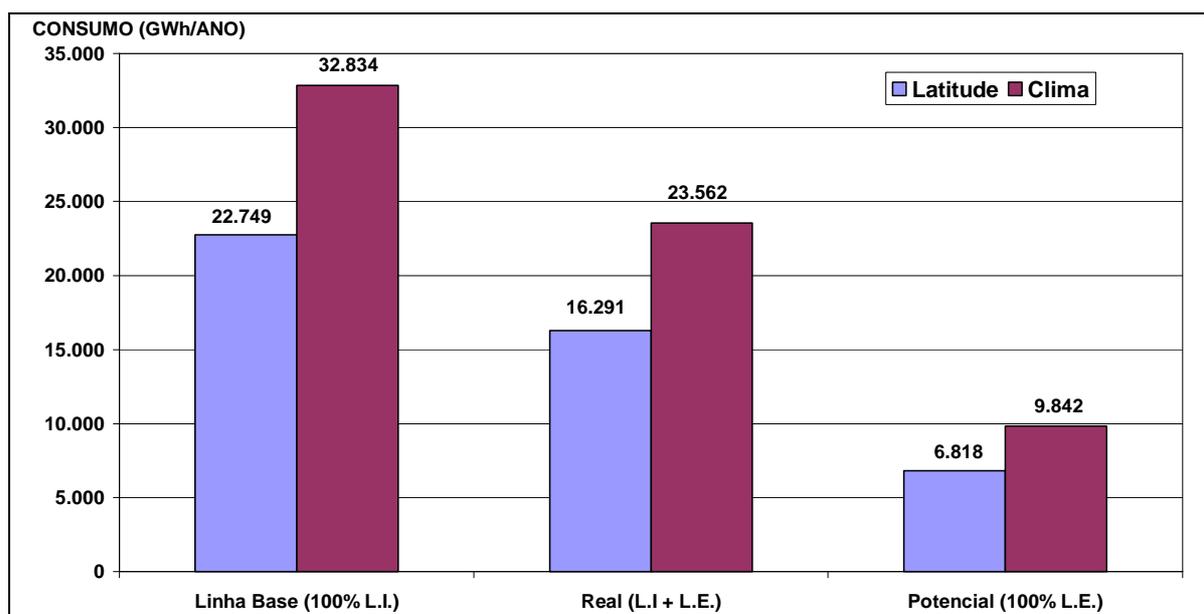


Figura 6.1 – Consumo de energia elétrica total anual estimado para a iluminação residencial, considerando os efeitos de latitude e clima. (fonte: elaboração do autor).

Para a economia de energia total, ou consumo evitado devido ao uso de tecnologias eficientes (valores globais), foram estimados pelo MDC os valores apresentados na figura 6.2, para o cenário real e potencial estimados, considerando os dois efeitos separadamente.

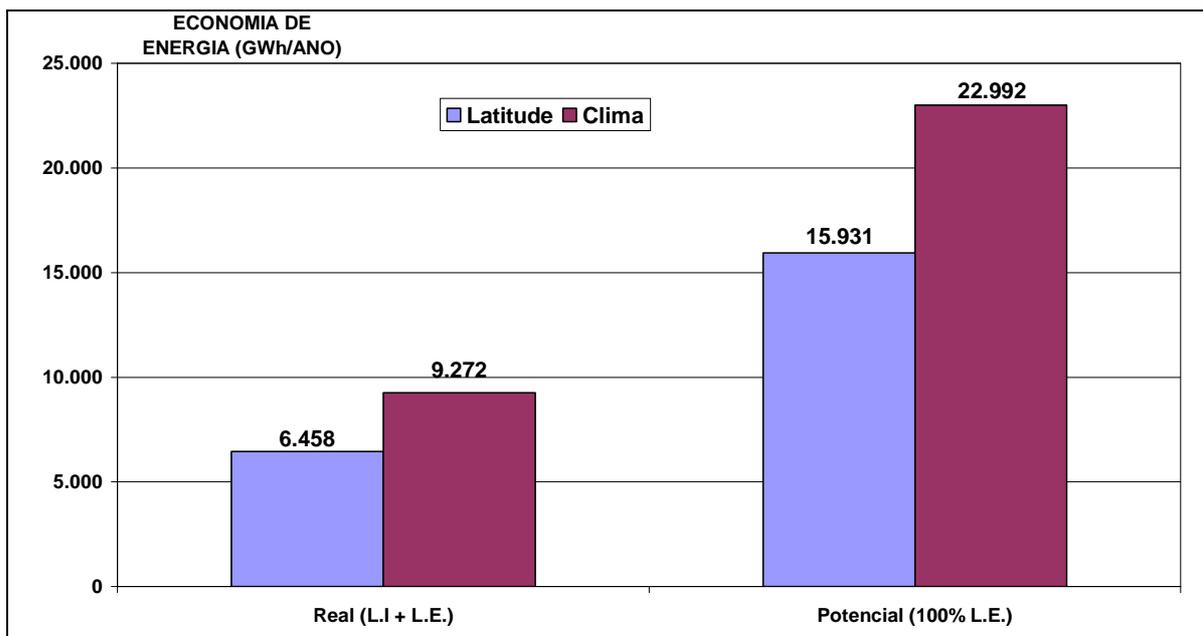


Figura 6.2 – Economia Total de Energia (consumo evitado) anual estimado na iluminação residencial, determinado pelo MDC para efeito latitude e clima. (fonte: elaboração do autor).

Para o consumo evitado como referência comparativa ao valor determinado pelo Procel para o ano de 2005, é considerado o Fator Procel – FP de 20%. Pelo MDC foram obtidos os valores apresentados na figura 6.3, para os cenários estimados real e potencial.

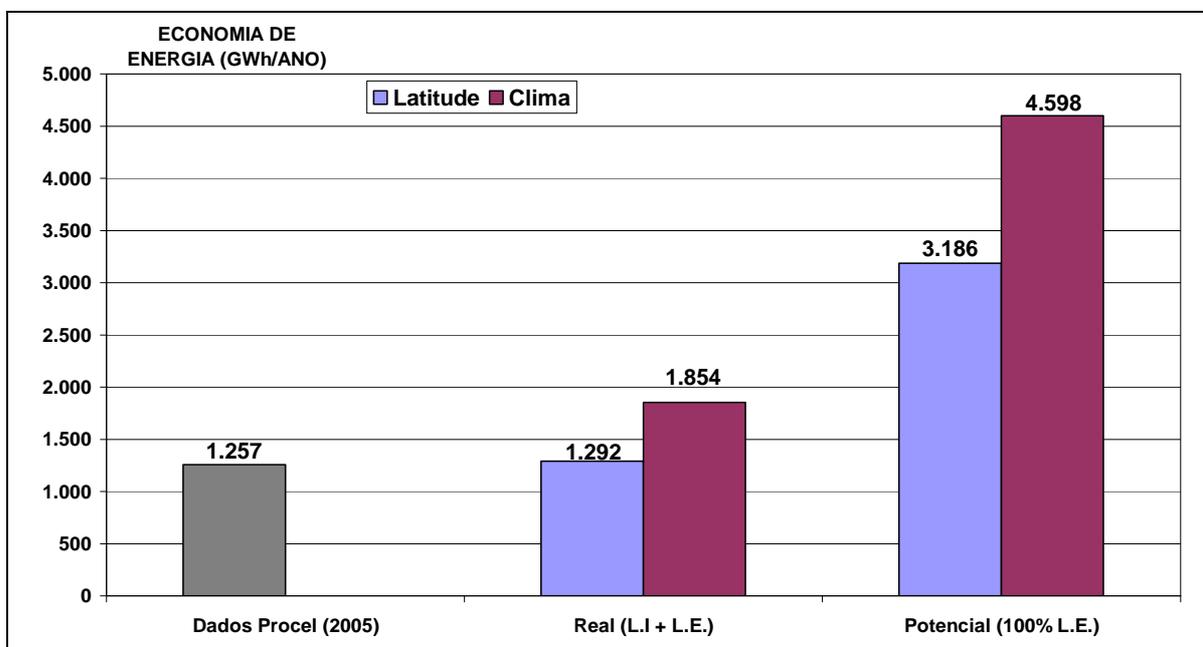
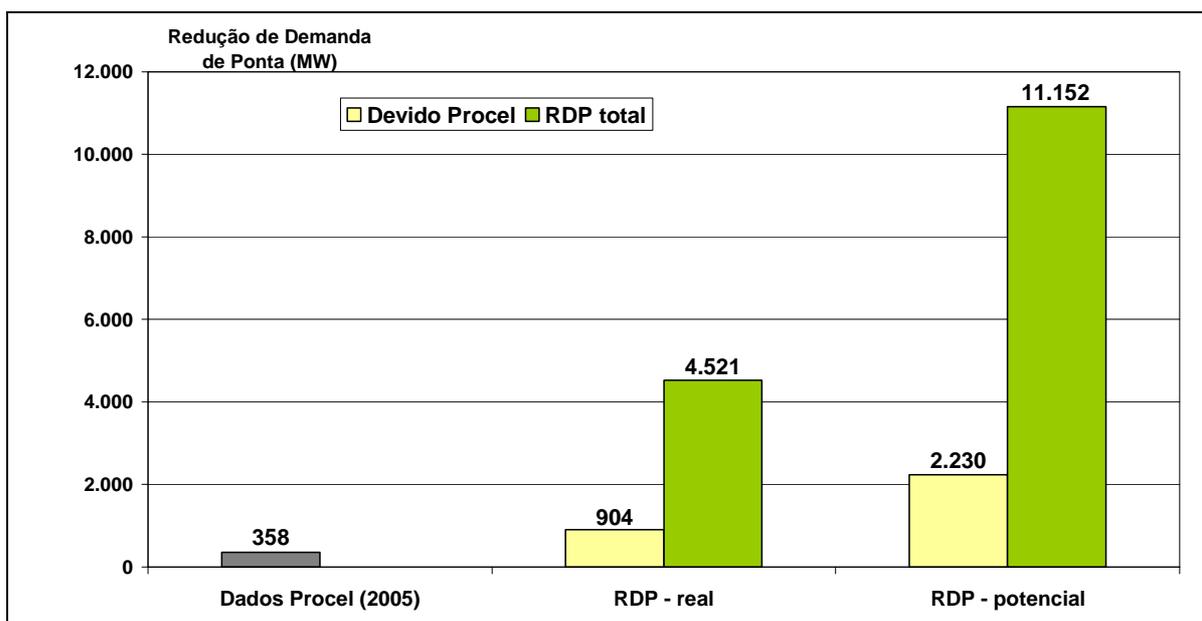


Figura 6.3 – Economia de Energia (consumo evitado) anual estimado na iluminação residencial, considerando o Fator Procel e valores determinado pela Eletrobrás (Eletrobrás, 2006a) e MDC com efeito latitude e clima. (fonte: elaboração do autor).

Para os valores considerando o efeito latitude, temos no cenário real um economia de energia de  $1.292 \text{ GWh.ano}^{-1}$ , muito próximo ao próprio valor estimado pelo Procel, pois a sazonalidade entre o inverno e verão é compensada uma pela outra ao longo do ano. Já para o efeito clima, temos um significativo aumento de 47%, com uma economia estimada de  $1.854 \text{ GWh.ano}^{-1}$ , pois os efeitos climáticos tendem a sempre aumentar o uso de iluminação nas residenciais, em comparação a estimativa considerando apenas os efeito latitude, pois a nebulosidade provoca um aumento na demanda de iluminação.

Para os valores de redução na demanda de ponta, foi utilizado a equação 5.18, onde temos também como comparação de referência o valor determinado pelo Procel. Entretanto, vale destacar, que a RDP não é uma função do TU das lâmpadas, portanto no MDC os valores são numericamente idênticos, considerando os dois efeitos, latitude e clima. Com o Fator Procel, no cenário real estimado, a RDP ficou em 904 MW, valor superior do estimado pelo Procel, de 358 MW e para o potencial estimado, temos uma estimativa de RDP de 2.230 MW (figura 6.4).



*Figura 6.4 – Redução de Demanda de Ponta anual estimado na iluminação residencial, considerando valores determinados da Eletrobrás (Eletrobrás, 2006a) e pelo MDC, com o Fator Procel e total geral. (fonte: elaboração do autor).*

Para a diferença entre os valores de RDP do Procel e do MDC, deve ser considerado que, apesar das equações (5.2, para o Procel e 5.18, pelo MDC) serem semelhantes, a estimativa no número de lâmpadas em uso no ano (N), utiliza metodologias diferentes. O Procel determina o N somente pela venda de LE no ano de 2005, com um

valor estimado de 64,6 milhões (ELETROBRÁS, 2006a). Já o MDC considera como base a pesquisa da PUC-RJ, que determina o número de lâmpadas por domicílio (tabela 4.1) e o número de domicílios brasileiros determinado pelo IBGE (anexo A). Com esta metodologia, o MDC estimou em 2005 o número total de LE em uso no Brasil de 144 milhões (anexo E). Em relação a redução na demanda de ponta totais (valores globais) devido ao uso de LE nos domicílios brasileiros, temos no cenário real estimado uma RDP de 4.521 MW e como potencial, temos estimados pelo MDC em 2005, 11.152 MW.

Já considerando os valores médios mensais de economia de energia, para todo o Brasil, é possível observar a existência de uma pequena sazonalidade nos efeitos latitude e clima, conforme apresentado na figura 6.5. Ao observarmos somente o efeito latitude, existem uma significativo aumento da economia de energia na metade do ano (abril a agosto), período que também acontece o inverno no Hemisfério Sul. Nesta época, devido a posição do Sol, as noites tendem a serem mais longas do que o dia claro, portanto causaria um aumento no consumo de energia devido ao uso de iluminação e proporcionalmente uma aumento na parcela de energia economizada devido aos uso de tecnologias eficientes. Entretanto, ao observarmos os valores considerando o efeito clima, as curvas tendem as condições opostas, como mostra a figura abaixo:

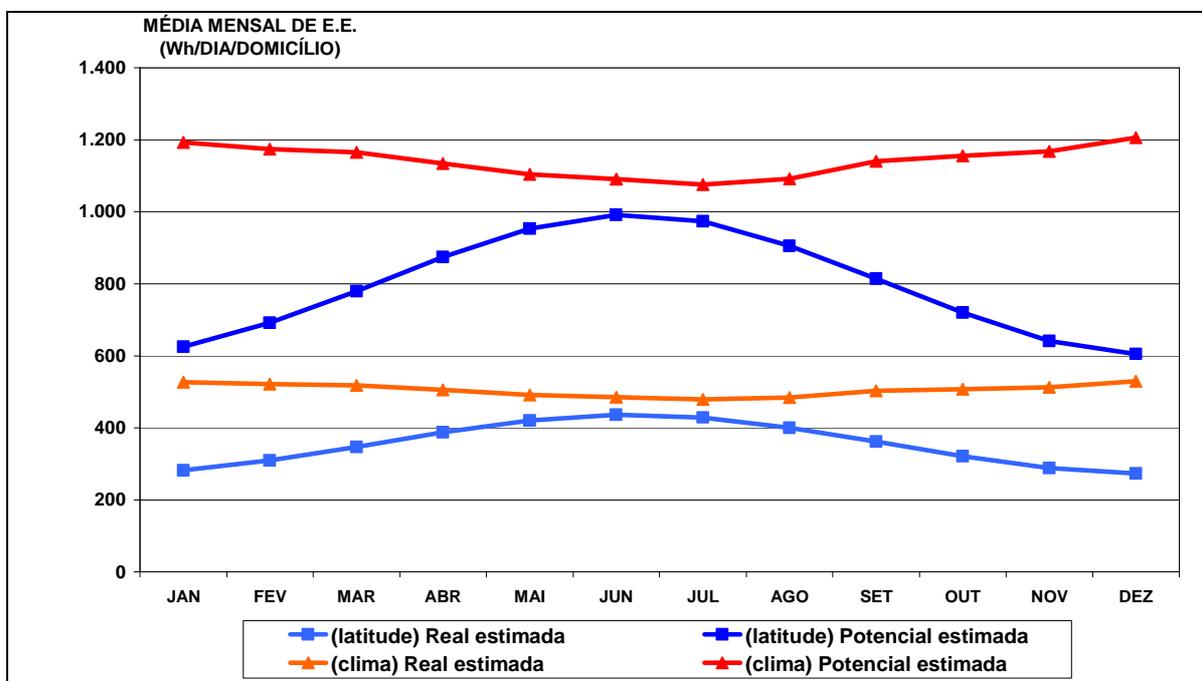
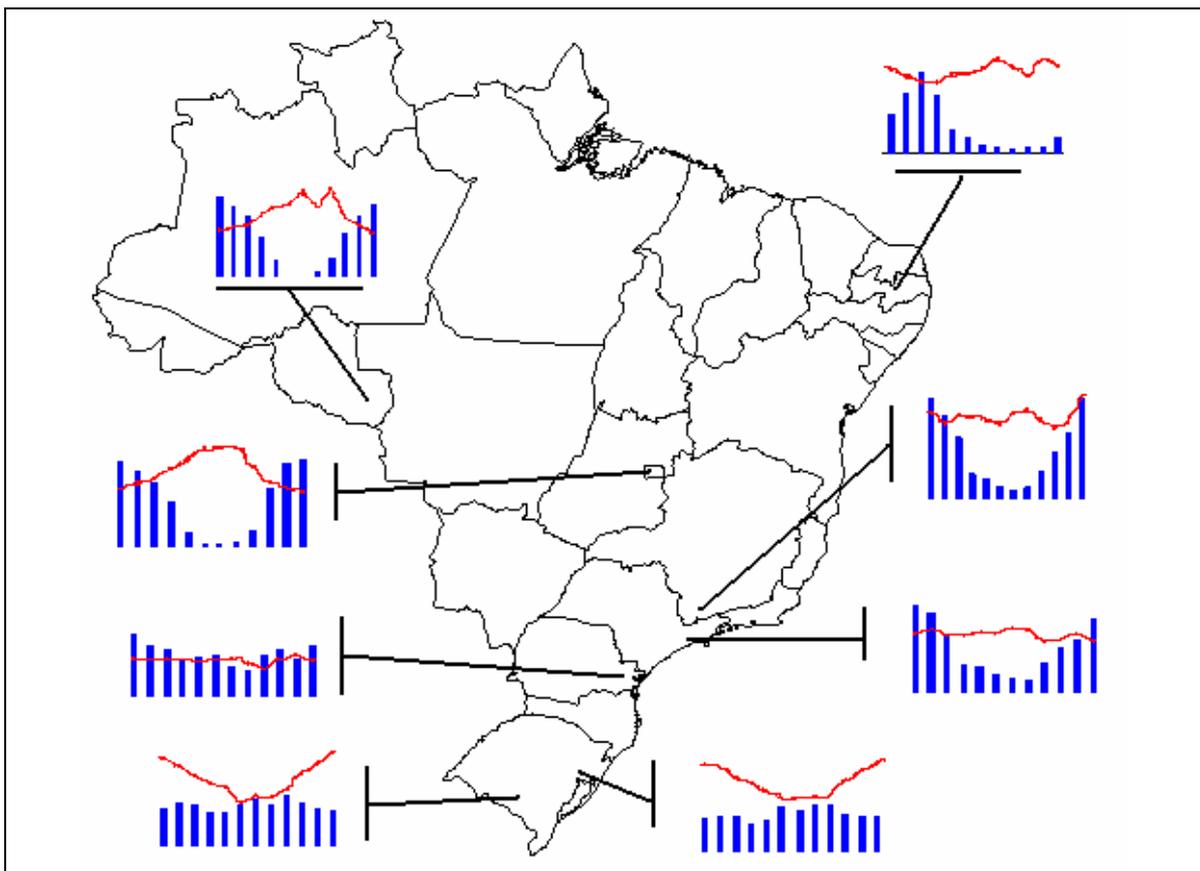


Figura 6.5 – Economia total de Energia Específica, média diária no mês devido ao uso de LE, nos cenários real e potencial para efeito latitude e clima. (fonte: elaboração do autor).

Vale destacar, que o efeito clima sempre provoca um aumento no consumo de energia, pois a nebulosidade reduz a insolação solar e amplia a demanda do uso de iluminação. Entretanto, isso não explicaria este padrão de sazonalidade, que pode ser justificado por dois fatores principais, sendo o primeiro:

- i) condições climáticas no Brasil – o clima brasileiro apresenta em grande parte do País, uma estação chuvosa durante o verão (dezembro a março) e uma estação seca durante o inverno (junho a agosto). A estação seca esta relacionada com a condição de nebulosidade, onde na maior parte do País, provoca um aumenta da insolação solar na superfície e diminui a demanda de energia por iluminação durante o inverno. Entretanto, isso não é uma regra, como pode ser observado na figura 6.6, onde temos algumas dos valores anuais de precipitação e insolação em diversas localidades do País.



*Figura 6.6 – Mapa do Brasil, com gráficos de precipitação (barra azul) e de insolação solar (linha vermelha) em algumas cidade do Brasil. (fonte: elaboração do autor, a partir de INMET, 1992).*

ii) densidade demográfica no Brasil – a grande concentração populacional no Sul e Sudeste no País (figura 6.7), provoca uma tendência que a curva de consumo de energia nacional siga os padrões destas regiões, portanto segue também a consequência dos efeitos das condições climáticas do Sul e Sudeste.

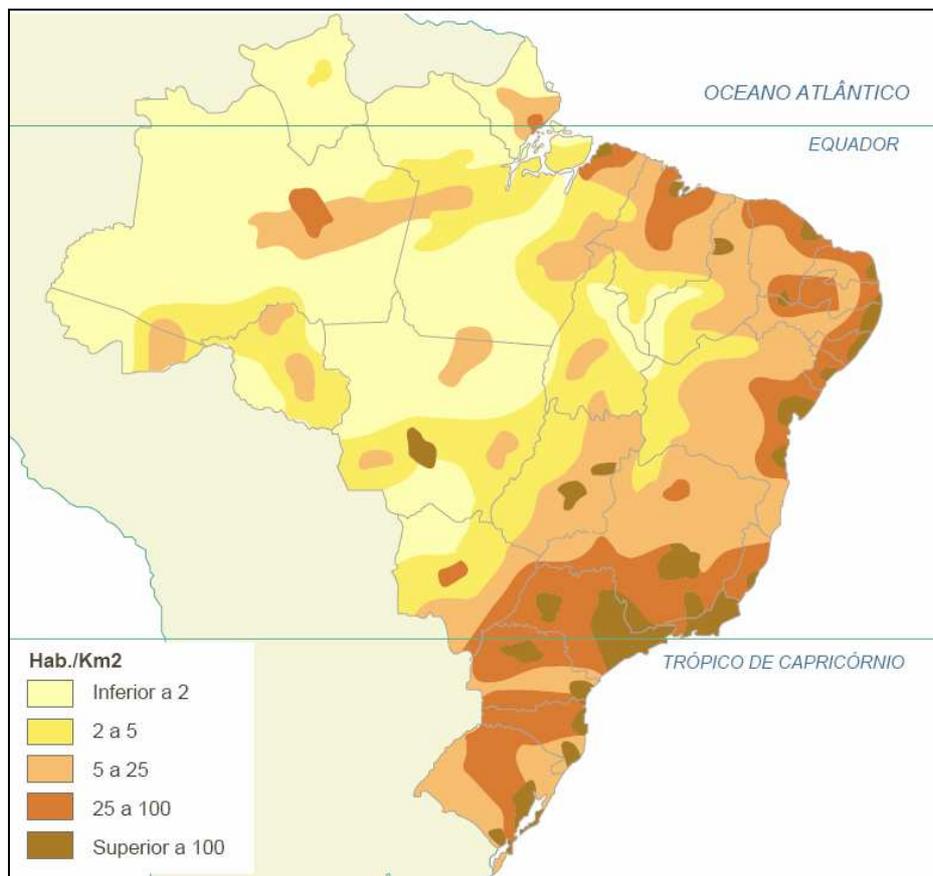


Figura 6.7 – Mapa do Brasil com a densidade demográfica. (fonte: UOL, 2008).

### 6.1.2. Resultados específicos

#### a) Mesorregiões com valores extremos de insolação

Para analisar os efeitos da insolação solar na demanda de energia por iluminação, forma selecionados dois casos extremos de insolação, com valores máximos e mínimos absolutos do Brasil, sendo a mesorregião “Sertão Paraibano” e a “Centro Oriental Paranaense”, respectivamente. Apenas para efeito de comparação, foi escolhida também uma mesorregião com um valor intermediário, sendo a mesorregião “Sul e Sudoeste de

Minas”. A tabela 6.1 apresenta os valores de insolação e demais parâmetros relevantes utilizados para a avaliar do uso de tecnologias eficientes.

*Tabela 6.1 – Características das mesorregiões correspondentes a valores máximo, mínimos e uma com valor de insolação solar intermediário. (fonte: elaboração do autor)*

MESORREGIÃO	Sertão Paraibano	Sul/Sudoeste de Minas	Centro Oriental Paranaense
Características	Máximo de I	Intermediário	Mínimo de I
Insolação solar total (anual)	3.058	2.468	1.210
Num. de municípios	83	146	14
Domicílios 2005 (unidades)	217.699	731.556	199.286
% iluminação elétrica	98,0%	98,1%	98,8%
% lâmpadas instaladas - Brasil	0,41%	1,39%	0,38%
Num. LFC+LI/ domicílio	6,6	7,7	6,2
% LFC/ domicílio	53%	30%	55%
Estação representativa	São Gonçalo	São Lourenço	Castro
Latitude (décimos de graus)	-6,45	-22,06	-24,47
Período série (19XX)	61/90	61/90	61/89

Nas figuras 6.8 e 6.9 podemos observar os valores médios diários de insolação solar e a estimativa do tempo de utilização – TU das três meses mesorregiões selecionadas. A principal característica é a forte correlação inversa entre a insolação e o TU. Isto é, no Sertão Paraibano, que possui os maior valores de insolação, o TU é menor ao longo de todo ano. Já no caso do Centro Oriental Paranaense, onde existem os menores valores do País, o TU é maior ao longo de todos os meses do ano.

Esta correlação é bastante representativa da realidade, pois quanto menor a insolação em um determinado local, maior será a necessidade do uso de iluminação devido ao escurecimento do ambiente.

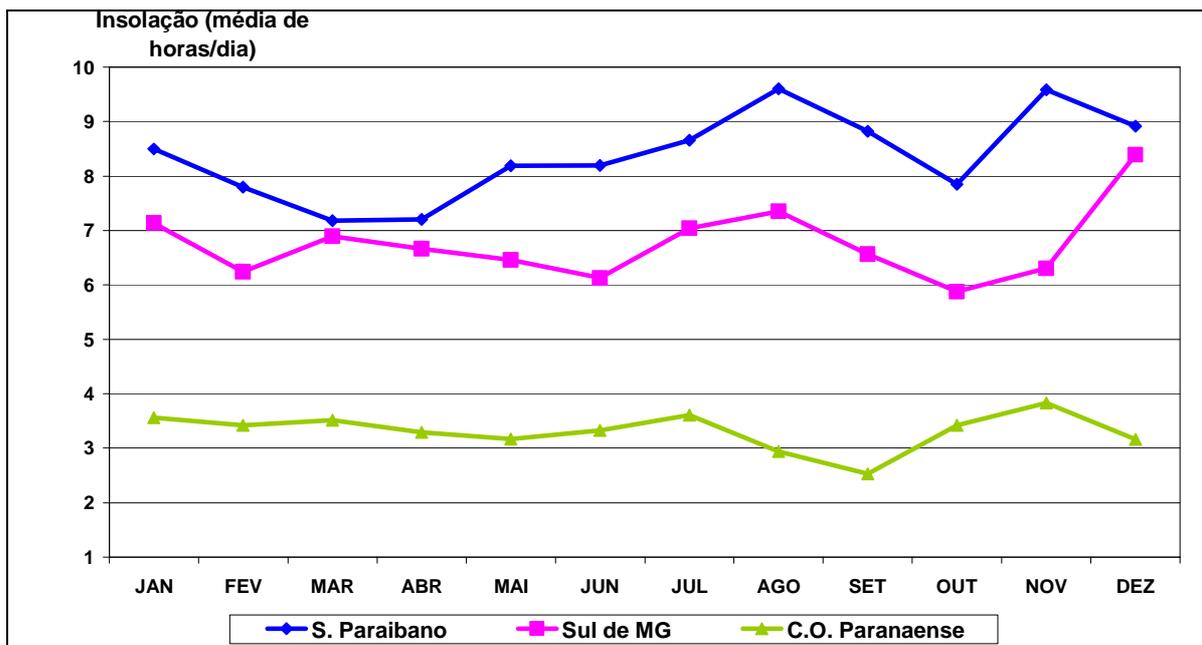


Figura 6.8 – Valores médio diários de insolação solar para três mesorregiões do Brasil, correspondente a máximos, mínimos e intermediário. (fonte: elaboração do autor).

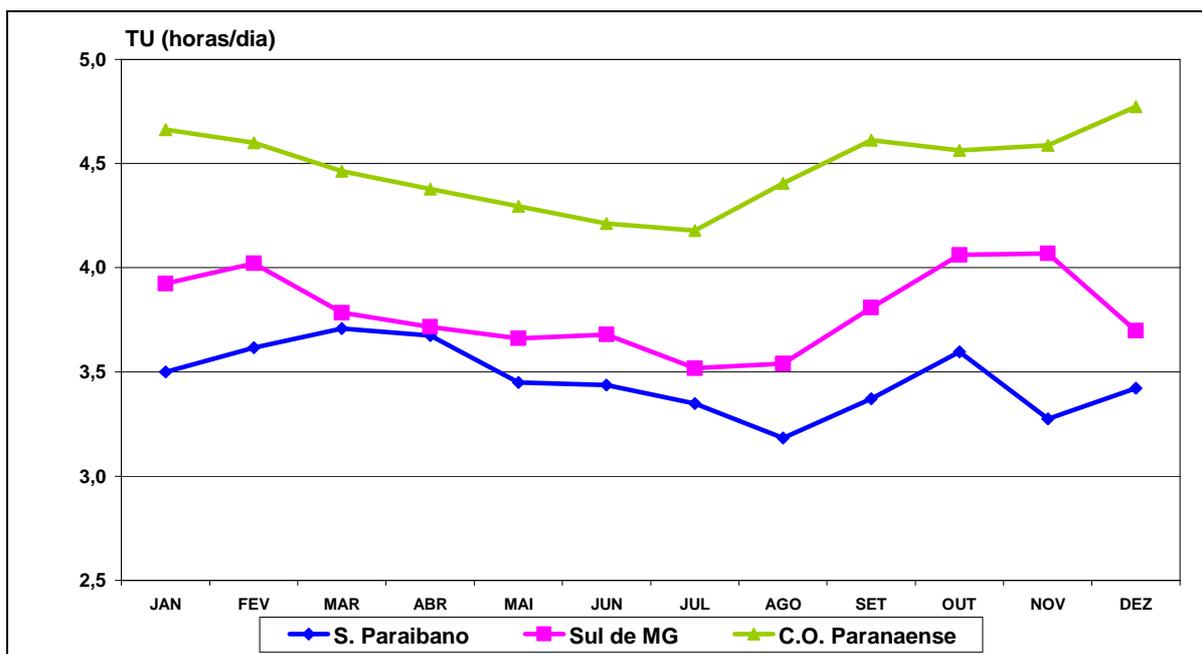
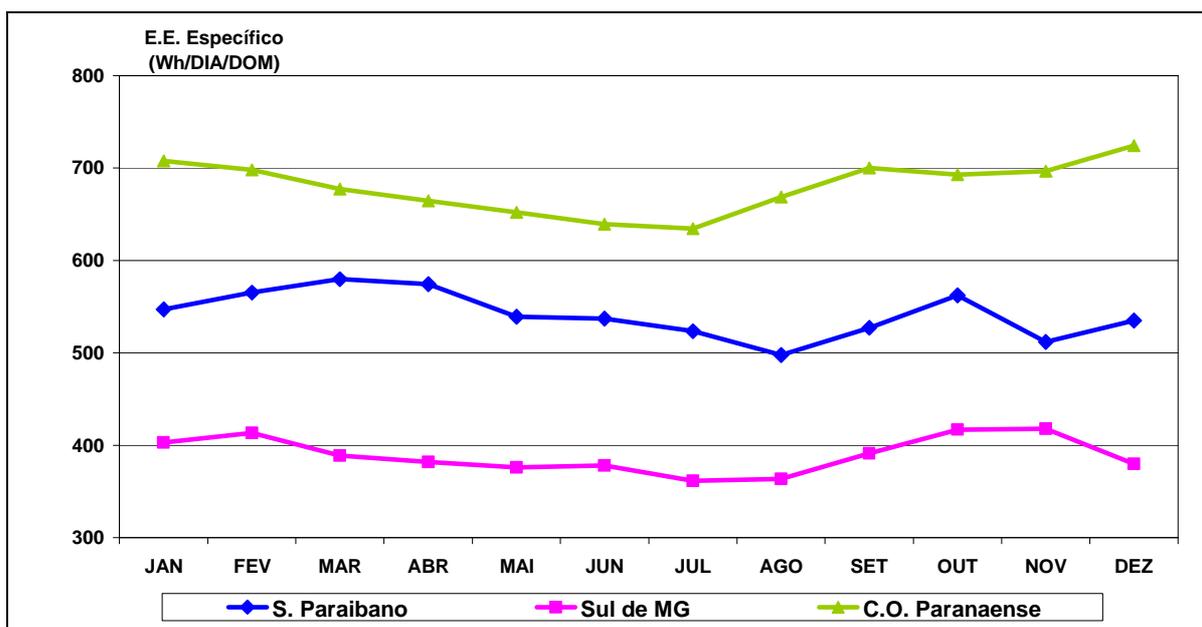


Figura 6.9 – Tempo de utilização estimado para lâmpadas nas três mesorregiões do Brasil, correspondente a máximos, mínimos e intermediário de insolação solar. (fonte: elaboração do autor).

Na economia de energia para as respectivas mesorregiões selecionadas, podemos observar que o Centro Oeste Paranaense tem valores superiores, dentro do cenário real estimado, devido ao efeito clima, seguindo do Sertão Paraibano e Sul e Sudoeste de Minas (figura 6.10). Entretanto, devido ao percentual de uso das LE no mercado residencial

destas mesorregiões, vale destacar que o Sul de Minas esta abaixo do Sertão Paraibano em economia de energia, mesmo com um TU superior ao longo do ano, pois segundo Eletrobrás (2007a e 2007b), o Sul de Minas tem apenas 30% de uso de LE, enquanto o Sertão Paraibano detêm 53% de uso de LE nas residências (tabela 6.1). Portanto, no cenário real estimado, o percentual de uso (grau de penetração no mercado) das LE é fundamental para estimar a economia de energia, mesmo com uma mesorregião que possui uma maior numero de domicílios.



*Figura 6.10 – Economia de Energia Específico (Wh/dia/domicílio) real estimado considerando efeito clima referente as três mesorregiões. (fonte: elaboração do autor).*

Já no caso da economia potencial, o número total de domicílios na mesorregião se torna mais relevante, já que a premissa é de 100% de uso das LE nas residenciais. Na tabela 6.1, vemos que o Sul de Minas tem aproximadamente, 3,5 vezes mais domicílio do que as outras duas, logo a curva de economia potencial é a mais significativa ao longo de quase todo o ano, conforme vemos na figura 6.11.

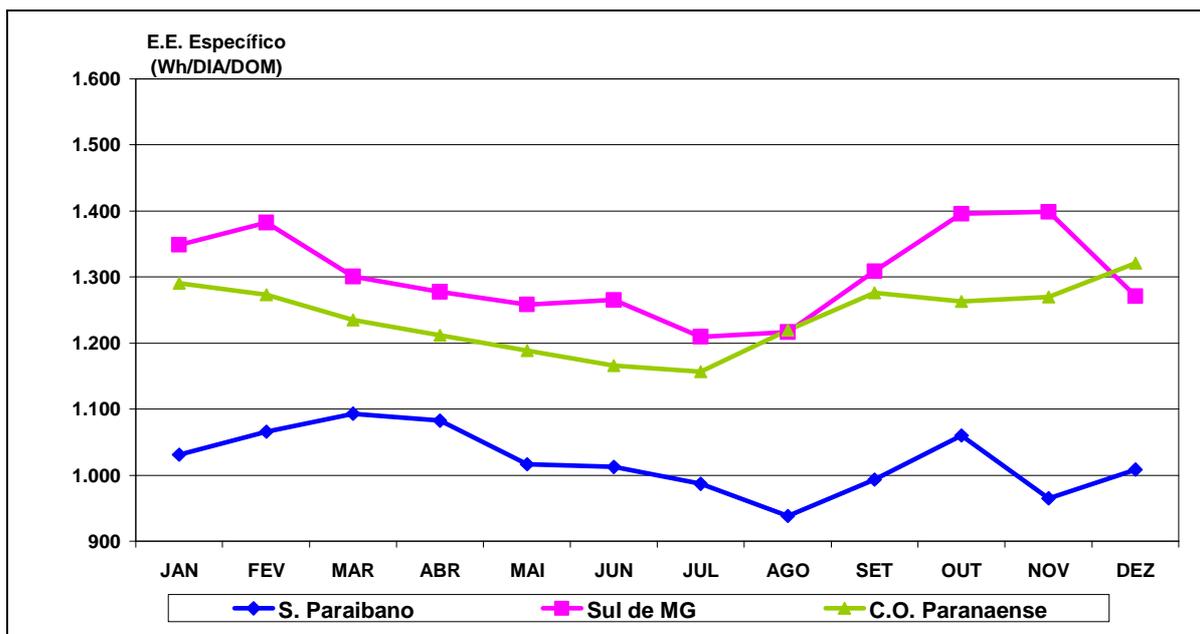


Figura 6.11 – Economia de Energia Específico (Wh/dia/domicílio) potencial estimado considerando efeito clima referente as três mesorregiões. (fonte: elaboração do autor).

Outro ponto relevante que podemos observar que, mesmo sem considerar os hábitos de consumo entre as diferentes classes de renda, temos uma sazonalidade na economia de energia, tanto no caso real como no potencial estimado. Seguindo a mesma tendência da curva do TU, a economia de energia ou consumo evitado para as três mesorregiões analisadas é maior nos meses de verão no Brasil.

Demais valores mensais e outras características destas mesorregiões, estão disponíveis no anexo C.

### b) Mesorregiões com padrão de insolação anual invertido

Apesar da maior parte do Brasil seguir um padrão de estação chuvosa no verão e seca no inverno, conforme descrito no item 6.1.1, isso não é regra para todas as mesorregiões analisadas. Deste modo, foram identificadas duas mesorregiões com uma correlação anual invertida na insolação solar, isto é, com os valores máximos e mínimos opostos entre o verão e o inverno, apesar dos valores totais anuais não terem grandes diferenças. Assim como os valores máximos e mínimos, também como efeito de comparação, foi escolhida uma mesorregião intermediária, que não apresentava uma sazonalidade significativa. A mesorregião “Metropolitana de São Paulo”, além de ser a mesorregião do Brasil com o maior número de domicílio, tem um papel importante na análise o uso de tecnologias eficientes, pois possui um mercado consumidor com mais de

20 milhões de pessoas e representou 12% de todas as lâmpadas em uso no Brasil no ano de 2005, conforme apresentado na tabela a seguir.

Tabela 6.2 – Características das mesorregiões correspondentes a valores padrão anual em U, U invertido e intermediário do valor de insolação solar. (fonte: elaboração do autor)

MESORREGIÃO	Distrito Federal	Metropolitana de São Paulo	Metropolitana de Porto Alegre
Característica	Padrão $\Lambda$	Padrão =	Padrão V
Insolação solar total (anual)	2.365	1.733	2.245
Número de municípios	1	45	98
Domicílios 2005 (unidades)	675.709	6.325.389	1.521.898
% iluminação elétrica	99,8%	99,8%	98,9%
% lâmpadas instaladas - Brasil	1,31%	12,25%	2,92%
Num. LFC+LI/ domicílio	7,3	7,7	6,2
% LFC/ domicílio	41%	30%	55%
Estação representativa	Brasília	São Paulo	Porto Alegre
Latitude (décimos de graus)	-15,47	-23,30	-30,01
Período série (19XX)	63/90	61/90	61/90

Das mesorregiões estudadas, a do “Distrito Federal” segue uma climatologia similar da maior parte do Brasil, chuva no verão e seca no inverno (figura 6.5). Já o estado do Rio Grande do Sul, em particular a “Metropolitana de Porto Alegre”, tem uma climatologia oposta, uma maior quantidade de chuva no inverno e menor no verão, no qual influencia diretamente na insolação solar, como podemos observar na figura 6.12.

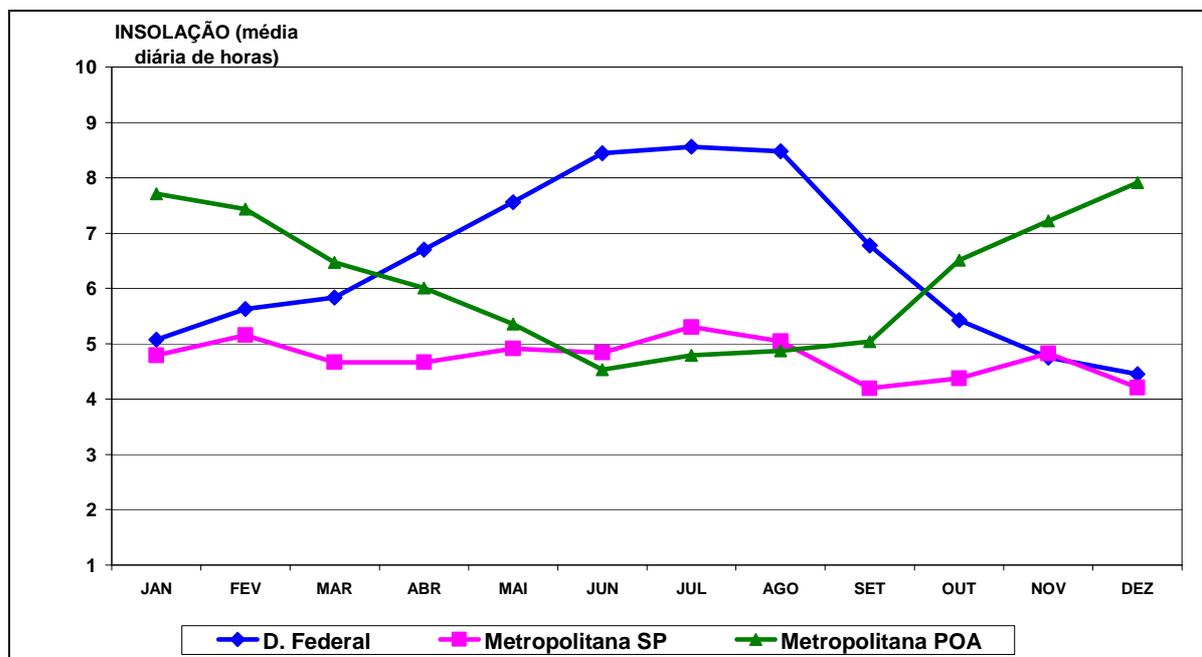


Figura 6.12 – Valores médio diários de insolação solar para três mesorregiões, correspondente ao padrão U, U invertido e intermediário. (fonte: elaboração do autor).

Ao analisarmos o TU destas mesorregiões (figura 6.13), vemos que não existe uma sazonalidade para a Metropolitana de Porto Alegre, mas uma bem definida para o Distrito Federal e Metropolitana de São Paulo. Diferente das demais, a Metropolitana de Porto Alegre não segue a mesma tendência sazonal da insolação, com valores de TU sem grandes amplitudes entre os máximos e mínimos ao longo do ano.

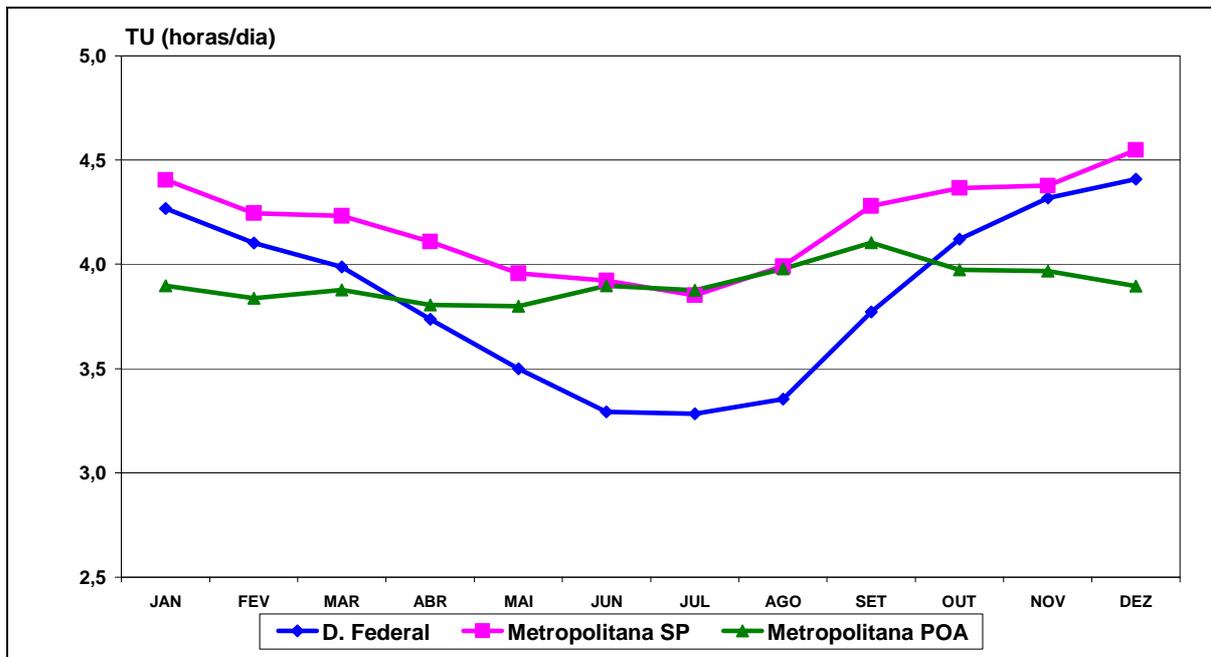


Figura 6.13 – Tempo de utilização estimado no uso de lâmpadas das três mesorregiões, correspondente ao padrão U, U invertido e intermediário de insolação. (fonte: elaboração do autor).

A curva de TU, com destaque para a Metropolitana de Porto Alegre, está diretamente relacionado com a característica do clima no Estado do Rio Grande do Sul. Entretanto, é conveniente recordar que a demanda de energia devido ao uso de iluminação é correspondente a um termo da equação 5.13 (TU para o efeito clima), que é a diferença entre a duração do dia claro astronômico ( $T_d$ ) e a insolação ( $I$ ):

$$(T_d - I) \tag{6.1}$$

Na figura 6.14, é possível observar, que assim com o TU, existe um padrão sazonal no valor de  $T_d - I$  nas mesorregiões do Distrito Federal e Metropolitana de São Paulo, mas isso não ocorre na Metropolitana de Porto Alegre, apesar de existir uma variação do dia claro astronômico ao longo do ano devido a latitude.

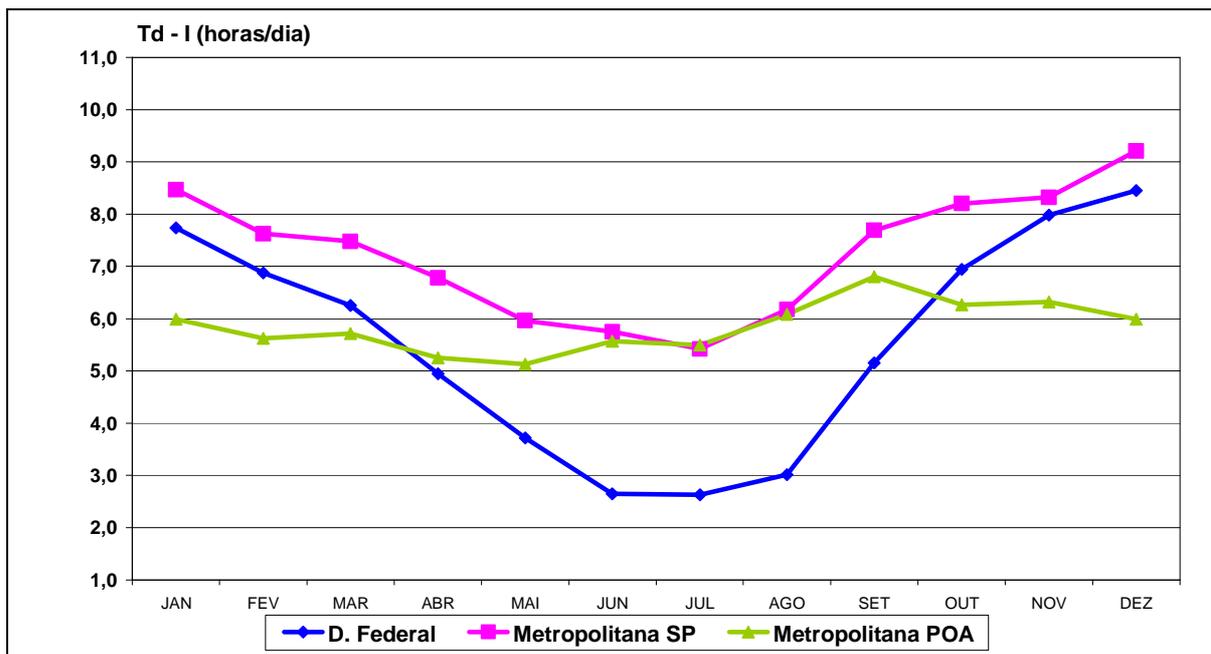


Figura 6.14 – Diferença entre o dia astronômico e a insolação para as três mesorregiões, correspondente ao padrão U, U invertido e intermediário de insolação solar. (fonte: elaboração do autor).

Durante o inverno, com o dia claro mais curto devido a posição da Terra, na mesorregião Metropolitana de Porto Alegre ocorre a estação chuvosa, com uma diminuição da insolação solar, fato oposto do Distrito Federal, onde ocorre a estação seca e uma aumento a insolação devido a redução de nebulosidade. Já durante o verão, com o dia claro mais longo, na Metropolitana de Porto Alegre ocorre a estação com os menores índices pluviométrico do ano, portanto com aumento de insolação solar. Como consequência direta, temos, quanto menor for a diferença de  $Td - I$  (termo 6.1, na equação 5.13), menor é a nebulosidade, maior a insolação e menor será a demanda de energia devido ao uso de iluminação.

Como a nebulosidade sempre aumenta a demanda de iluminação, no caso da Metropolitana de Porto Alegre, a fato de possuir o inverno com menores valores de insolação e o verão com os maiores, significa que uma condição compensa a outra, logo não existe uma sazonalidade na economia de energia. Já se analisarmos o Distrito Federal, no inverno com a estação seca, ocorre uma redução do TU, mesmo sendo o período do ano que o dia claro astronômico mais curto. No verão, a estação chuvosa traz um aumento significativo de nebulosidade em Brasília (Distrito Federal), que consequentemente aumenta o TU, mesmo no período do ano com o dia claro mais longo. Portanto, diferente

de Porto Alegre, no Distrito Federal os efeitos latitude e clima, não são compensado um pelo outro, de modo a suavizar a sazonalidade entre o inverno e verão.

Assim como no TU, esta característica também provoca um efeito direto na sazonalidade de economia de energia. Na figura 6.15, vemos que a economia real estimada não apresenta diferença para Metropolitana de Porto Alegre e alguma sazonalidade para Metropolitana de São Paulo e mais pronunciado para o Distrito Federal. Isso se torna mais evidente quando vemos as curvas de economia de energia potencial estimada, apresentada na figura 6.16, onde as curvas se tornam mais bem definida sob o efeito clima, temos sazonalidade para o Distrito Federal e São Paulo e uma estabilidade para Porto Alegre.

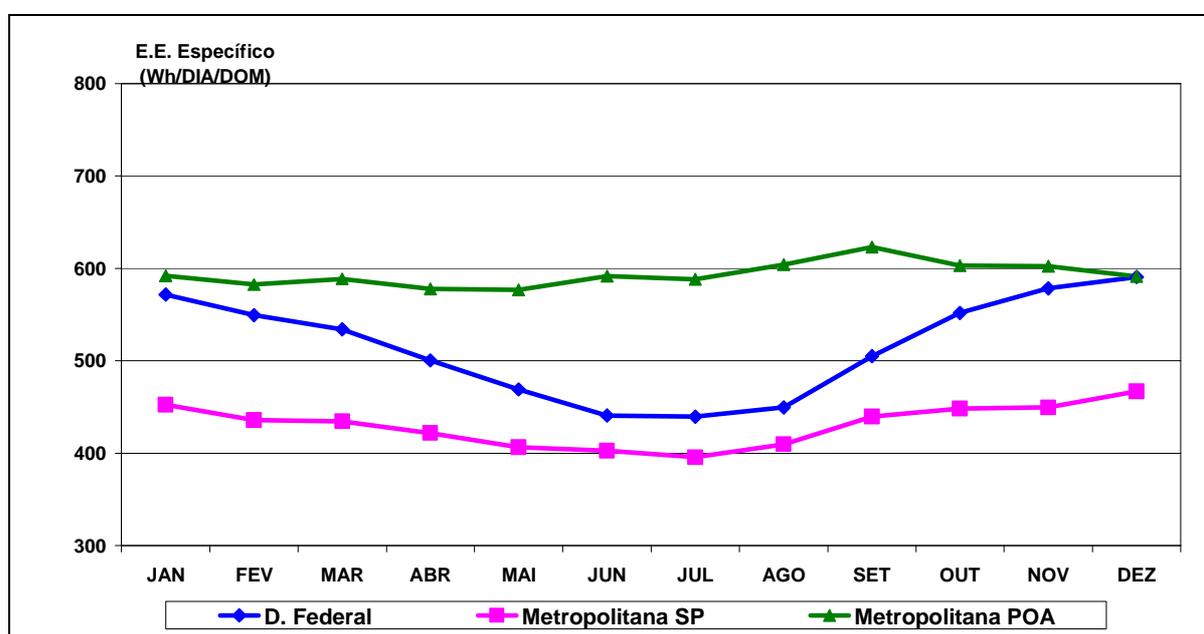


Figura 6.15 – Economia de Energia Específico (Wh/dia/domicílio) real estimado considerando efeito clima referente as três mesorregiões. (fonte: elaboração do autor).

Ainda como destaque, vemos que nas curvas de economia potencial estimada, por não ter a influência nas variações de penetração das LE no mercado, pois considera 100% de uso nas residências, a Metropolitana de São Paulo é a mesorregião com maior potencial de economia de todas as análises, devido a grande concentração demográfica (figura 6.6) e com o maior número de residências por mesorregião no Brasil, com mais de 6,325 milhões de domicílios em 2005.

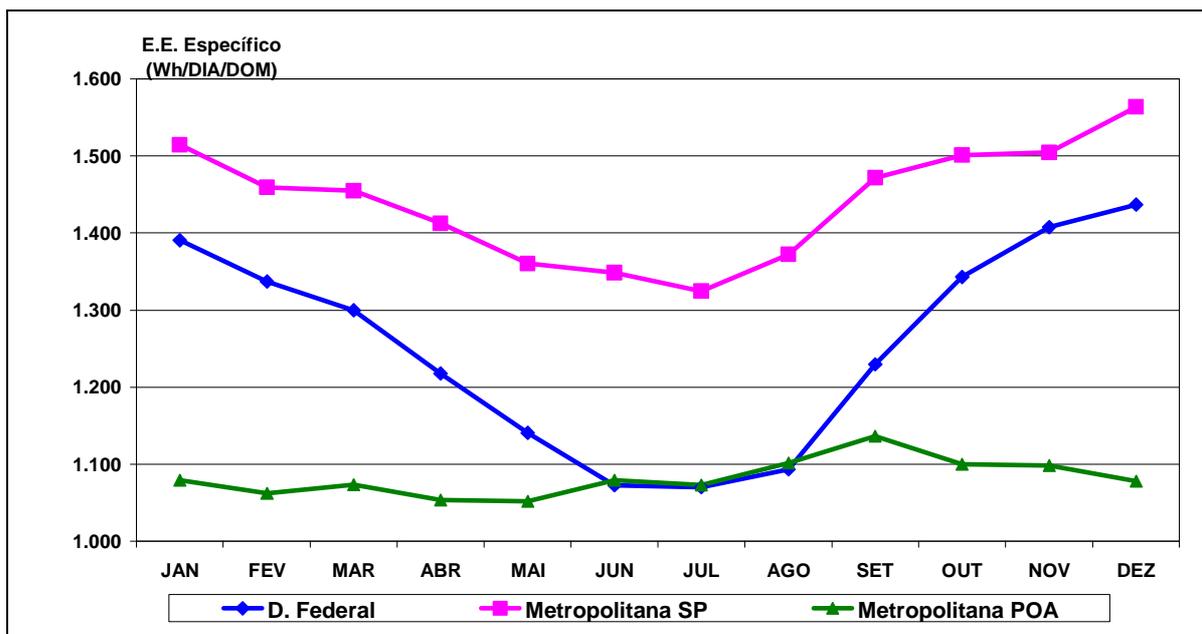


Figura 6.16 – Economia de Energia Específica (Wh/dia/domicílio) potencial estimado considerando efeito clima referente as três mesorregiões. (fonte: elaboração do autor).

Demais valores mensais e outras características destas mesorregiões, estão disponíveis no anexo D.

### c) Ranking das mesorregiões

Através da Economia de Energia Específica por domicílio, foi possível também estivar um ranking das mesorregiões com as maiores economias de energia, baseados nos cenários estimados real e potencial. Vale lembrar, que no cenário real, a economia de energia é também variável do grau de penetração das LE no mercado e no caso do potencial estimado, temos um mercado com uso de 100% de LE, onde a o consumo evitado de energia é uma função somente das condições climáticas e do número total de lâmpadas por domicílios.

Nas tabelas a seguir, temos os ranking das mesorregiões com as maiores economia de energia estimada real (tabela 6.3) e com as maiores economia de energia potencial estimada (tabela 6.4).

*Tabela 6.3 – Ranking das mesorregiões com as maiores economia de energia real estimada, considerando efeito clima. (fonte: elaboração do autor)*

Ranking	Mesorregião Geográfica	UF	Eco. de Energia real (média anual - Wh/dia/dom)
1	Centro Oriental Paranaense	PR	679,7
2	Noroeste Paranaense	PR	670,7
3	Centro-Sul Paranaense	PR	665,9
4	Norte Catarinense	SC	665,9
5	Sudeste Paranaense	PR	665,9
6	Norte Cearense	CE	640,5
7	Metropolitana de Curitiba	PR	637,8
8	Serrana	SC	636,2
9	Vale do Itajaí	SC	634,8
10	Sudoeste Paranaense	PR	626,4
11	Centro Maranhense	MA	617,1
12	Oeste Maranhense	MA	616,9
13	Centro Sul Baiano	BA	615,1
14	Nordeste Rio-grandense	RS	614,0
15	Agreste Paraibano	PB	612,5
16	Centro Norte Baiano	BA	610,6
17	Sul Maranhense	MA	610,0
18	Sul Baiano	BA	609,4
19	Grande Florianópolis	SC	608,5
20	Nordeste Baiano	BA	607,4

*Tabela 6.4 – Ranking das mesorregiões com as maiores economia de energia potencial estimada, considerando efeito clima. (fonte: elaboração do autor)*

Ranking	Mesorregião Geográfica	UF	Eco. de Energia potencial (média anual - Wh/dia/dom)
1	Bauru	SP	1.520,0
2	Araraquara	SP	1.520,0
3	Piracicaba	SP	1.520,0
4	Marília	SP	1.520,0
5	Presidente Prudente	SP	1.519,0
6	Ribeirão Preto	SP	1.506,8
7	Litoral Sul Paulista	SP	1.485,4
8	Vale do Paraíba Paulista	SP	1.470,3
9	Centro Fluminense	RJ	1.451,7
10	Metropolitana de São Paulo	SP	1.440,7
11	Sul Fluminense	RJ	1.431,1
12	Vale do Rio Doce	MG	1.427,4
13	Vale do Mucuri	MG	1.389,8
14	Jequitinhonha	MG	1.387,2
15	Baixadas	RJ	1.375,1
16	Metropolitana do Rio de Janeiro	RJ	1.375,1
17	Itapetininga	SP	1.371,2
18	Macro Metropolitana Paulista	SP	1.371,2
19	Campo das Vertentes	MG	1.365,1
20	Central Espírito-santense	ES	1.350,9

Na tabela 6.3 (real estimada), é possível observar que a relação das mesorregiões é diretamente proporcional aos menores valores de insolação, com a maior penetração das LE no mercado (tabela 4.1), que neste caso, apresenta predominantemente as mesorregiões da região Sul, que possui 55% de uso de LE. Já no caso da tabela 6.4 (potencial), a relação esta mais associada as mesorregiões com os maiores números de lâmpadas por residência (valores totais), do que com valores reduzidos de insolação. Na tabela, são apresentadas na sua totalidade, as mesorregiões da região Sudeste do Brasil, que possui em média 8,7 lâmpadas/domicílio, a maior do País.

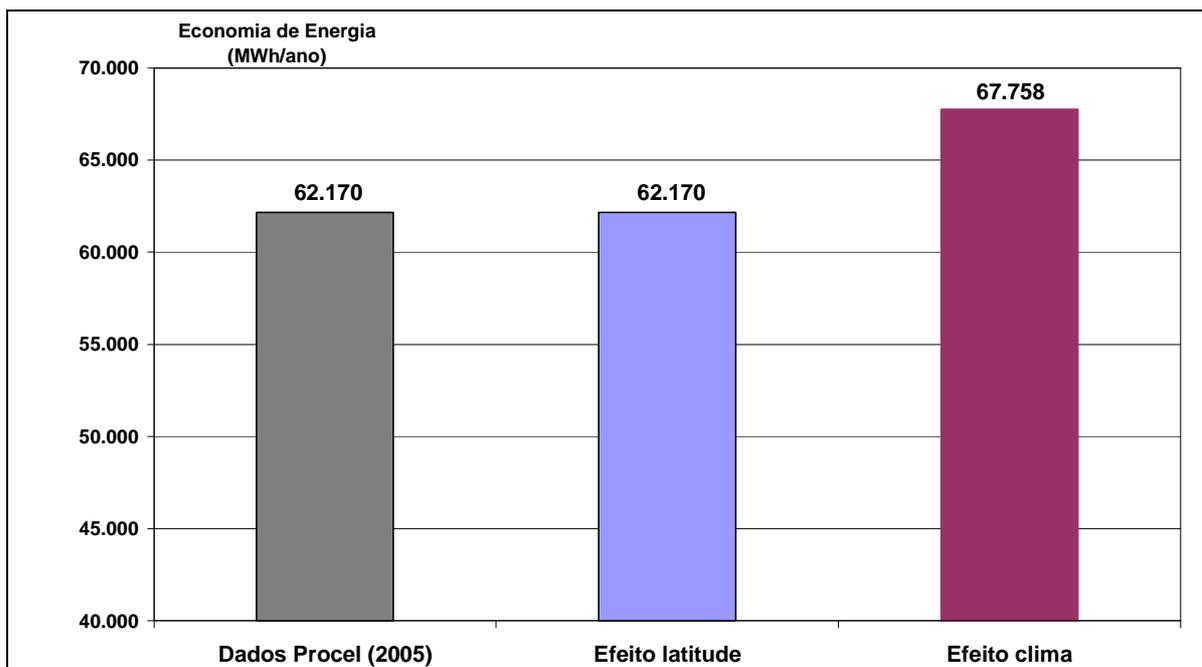
## **6.2. ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Para a iluminação pública – IP, assim como para iluminação residencial, foi utilizado o conceito de Economia de Energia Específica por ponto de IP.

Em relação a metodologia e os respectivos resultados, vale lembrar que, o MDC trabalha com valores médios de redução de potencia na substituição e/ou expansão destes pontos, diferente do Procel, que trabalho com valores individuais. Outra questão importante, é que para IP não foi possível determinar a linha de base, pois para determiná-la são necessários valores mais detalhados das concessionárias de energia elétrica, fato que não estava disponível junto a Eletrobrás para o ano de 2005. Portanto, diferente da avaliação da iluminação residencial, na IP não foi possível determinar a economia potencial, somente a economia de energia real estimada.

### **6.2.1. Resultados gerais**

A economia de energia ou o consumo evitado para IP foi determinado utilizando a equação 5.24, tanto para efeito latitude como para o efeito clima. Os valores gerais são apresentados na figura 6.17, onde diferente do consumo residencial, a IP tem sua operação baseada em níveis pré-determinados de iluminância local, para o acionamento e desligamento. Logo, os pontos de IP operam independente de uma demanda real de usuários na vias públicas, fazendo que elas operem basicamente em função da duração da noite. Entretanto, as condições climáticas provocam variações do TU, que ao longo do ano, podem ampliar ou reduzir a sazonalidade no consumo de energia pela IP.

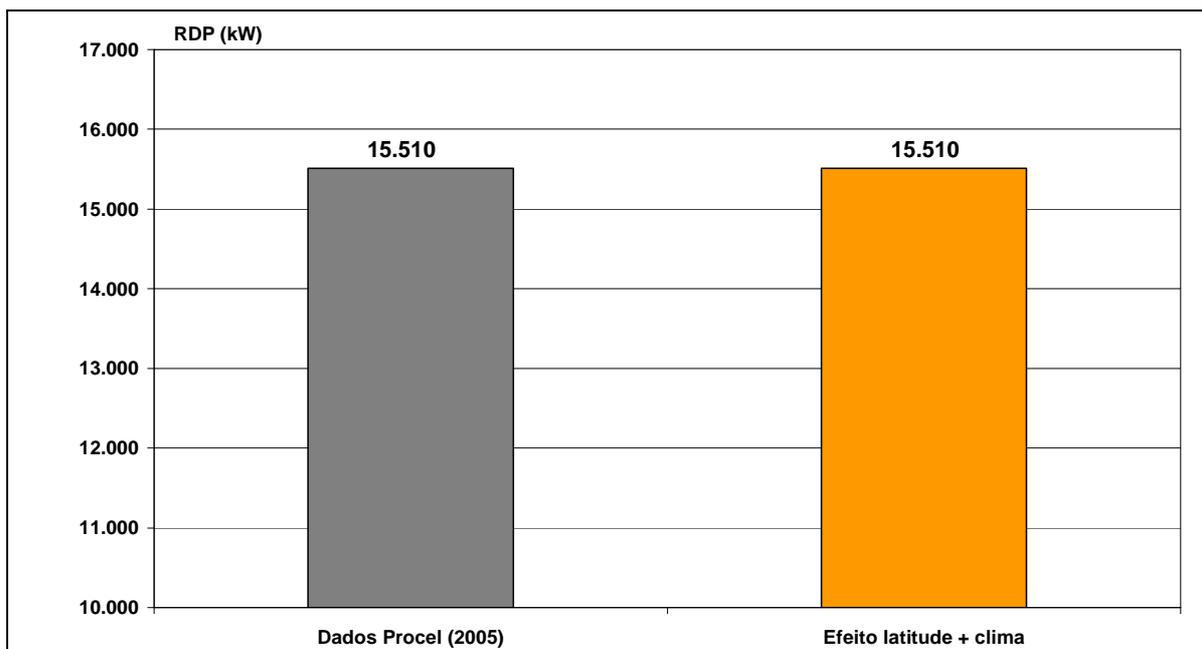


*Figura 6.17 – Consumo de energia elétrica total estimado para iluminação pública, considerando valores determinado pelo Procel e pelo MDC com os efeitos latitude e clima. (fonte: elaboração do autor).*

Para o efeito latitude, não existe diferença numérica entre a economia de energia, pois para a estimativa do Procel, o TU é fixo (tabela 5.2) e para efeito latitude do MDC, o período do ano com a noite mais curta (verão) e compensado pelo período com a noite mais longa (inverno), mantendo na média o TU igual ao do Procel (12 horas.dia<sup>-1</sup>).

Já para o efeito clima, existe um acréscimo na economia de energia, devido ao aumento na demanda de iluminação, pois existe uma redução de insolação, que correspondente a um aumento de precipitação e nebulosidade (figura 6.6).

Já para redução de demanda de ponta, foi considerado que ao longo de todo ano, a IP tem sua operação dentro do período de ponta do Sistema Elétrico Brasileiro, portanto com um FCP = 1. Desde modo, apesar da metodologias serem diferentes na determinação da redução de potencia, os RDP são iguais numericamente, conforme apresentado na figura 6.18. É conveniente ressaltar, que na RDP não existem variações entre os efeitos latitude e clima, pois como o FCP = 1, não existe variação no TU.



*Figura 6.18 – Redução de Demanda de Ponta total anual estimado na iluminação pública, considerando as ações do Selo Procel, estimado pela Eletrobrás, nos efeitos latitude e clima. (fonte: elaboração do autor e Eletrobrás, 2006a).*

No caso da IP, não existem outros fatores externos que podem influenciar a demanda de energia, como na iluminação residencial onde temos o hábito de consumo das diferentes regiões do País e um escalonamento do consumo por faixa de renda. Portanto, o principal fator de demanda na IP é o TU. Tanto para a resolução da Aneel, como para as estimativas do Procel, são utilizados valores fixo de TU, sendo para todo ano o tempo de 12 horas.dia<sup>-1</sup>. Entretanto, existem uma pequena diferença nos valores anuais, onde para Aneel, tem um total de 4.320 horas.ano<sup>-1</sup> (12h X 30dias X 12meses) e na estimativa do Procel um total de 4.380 horas.ano<sup>-1</sup> (12h X 365dias). Em ambos os casos, pelo MDC podemos observar que existe uma subestimação destes valores, pois os efeitos de variação da latitude, associados com as condições climáticas regionais, provocam uma significativa variação nos valores de TU da IP ao longo do ano, como podemos observar nas figuras 6.19 e 6.20.

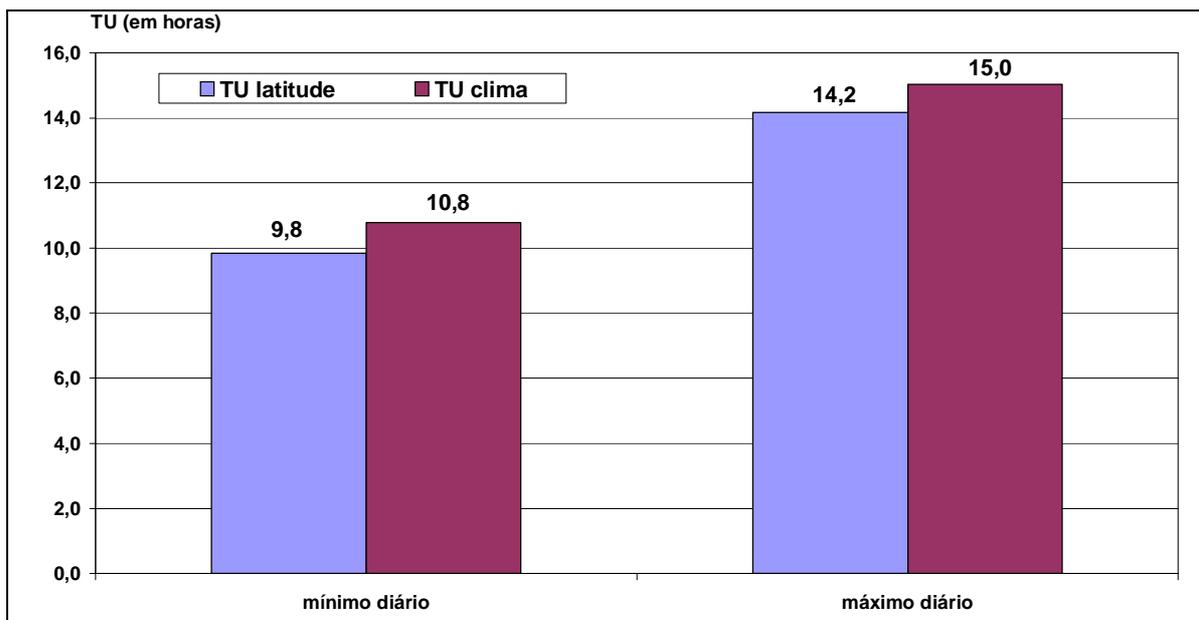


Figura 6.19 – Valores absolutos de TU diários máximos e mínimos, considerando os efeitos latitude e clima individualmente. (fonte: elaboração do autor).

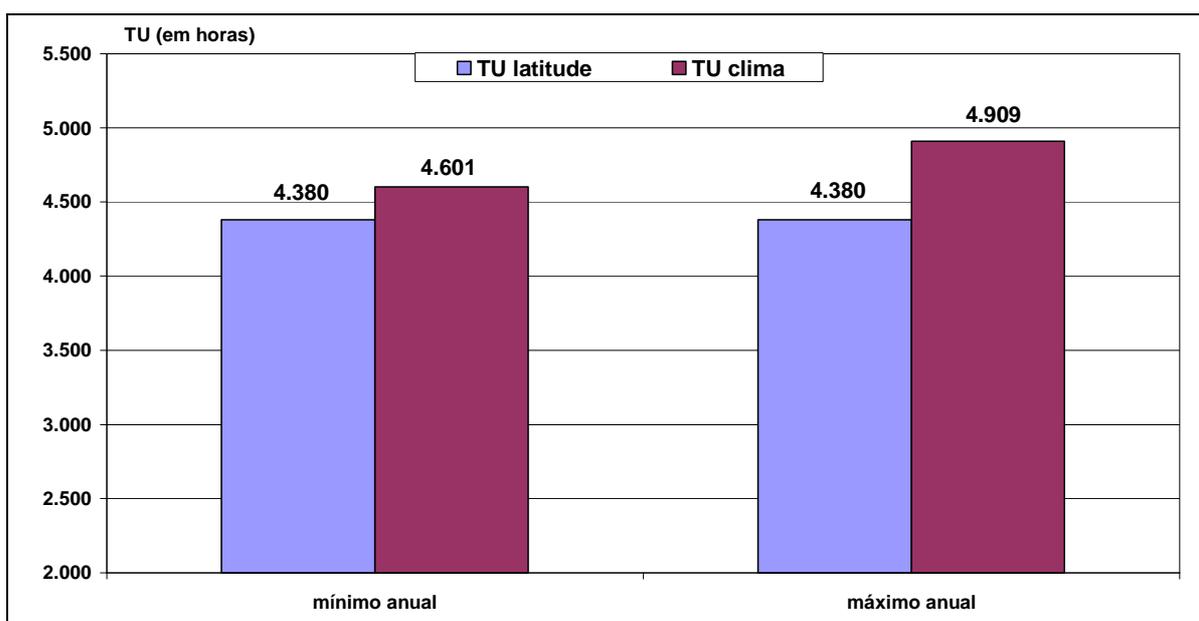


Figura 6.20 – Valores absolutos de TU anuais máximos e mínimos, considerando os efeitos latitude e clima individualmente. (fonte: elaboração do autor).

Nas figuras acima, vemos os valores mínimos e máximos absolutos para o TU de todas as 137 mesorregiões brasileiras. No caso do efeito latitude, conforme já debatido para a média do Brasil, o período no ano com a noite mais curta é compensado pelo período com a noite mais longa, mantendo a média de 12 horas/.dia<sup>-1</sup> com um total de 4.380 horas.ano<sup>-1</sup>. Já para o efeito clima, tem mesorregiões que chega ao valor mínimo absoluto diário chegou a 10,8 horas.dia<sup>-1</sup> e no caso do total anual, chegou a um valor de 4.601

horas.ano<sup>-1</sup>. Já para valores máximos absolutos diário, tem mesorregiões com um TU estimado em 15 horas.dia<sup>-1</sup>, com um valor total anual estimado em 4.909 horas.ano<sup>-1</sup>, muito superior aos valores da resolução da Aneel e do Procel em 2005. Isso demonstra a necessidade de uma revisão das normas na IP, que pelo fato de considerar um TU fixos, sem levar em conta o efeito de variação de latitude e principalmente a variação das condições climáticas regionais, pode provocar um erro na estimativa de TU anual na IP superior a 10%, com consequência diretas para a operação e planejamento da expansão do Sistema Elétrico Brasileiro.

## 6.2.2. Resultados específicos

### a) Mesorregiões com valores extremos de insolação

Assim como para iluminação residencial, na IP foram selecionados casos extremos dos valores de insolação e suas respectivas correlações com a economia de energia. As mesorregiões selecionadas, foram a partir da lista de cidade atendidas pelo ReLuz em 2005, portanto estas mesorregiões não correspondem aos valores mínimos e máximos do Brasil. Das mesorregiões atendidas pelo ReLuz em 2005, a “Centro Oriental Paranaense” obteve o valor mínimo, “Oeste Potiguar” (Rio Grande do Norte) obteve o valor máximo. Para efeito de comparação, foi utilizada a “Metropolitana de Belo Horizonte”, que possui um valor intermediário de insolação total anual, como pode ser observado na tabela 6.5.

*Tabela 6.5 – Características das mesorregiões correspondentes a valores máximo, mínimos e intermediário de insolação para o ReLuz. (fonte: elaboração do autor)*

Mesorregião	Centro Oriental Paranaense	Metropolitana de Belo Horizonte	Oeste Potiguar
Característica (insolação)	Mínimo I	Intermediário I	Máximo I
Insolação solar total (anual)	1.210	2.566	3.001
Num. Municípios atendidos (2005)	1	4	6
Num. lâmpadas ReLuz (subs + exp.)	2.013	389	3.615
Estação representativa	Castro	Belo Horizonte	Apodi
Latitude (graus)	-24,47	-19,56	-5,39
Período série (19XX)	61/89	61/90	61/90

Nas figuras a seguir (6.21 e 6.22) podemos observar os valores médios diários de insolação solar e a estimativa do TU das três mesorregiões selecionadas. Assim como para a iluminação residencial, a principal característica é a forte correlação inversa entre a insolação e o TU. Por conhecida, para o Centro Oriental Paranaense, tem o valor de

insolação menor do País, logo o TU é maior ao em todos os meses do ano em relação as demais mesorregiões selecionadas.

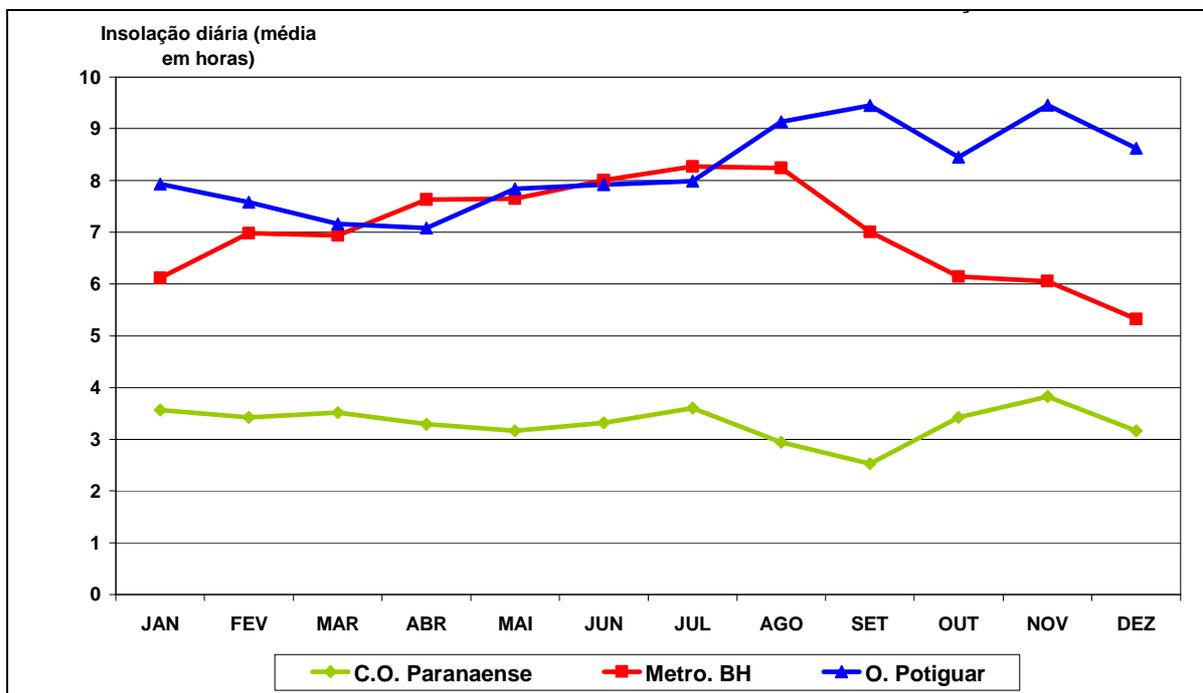


Figura 6.21 – Valores médio diários de insolação solar para as três mesorregiões, correspondente aos máximos, mínimos e intermediário para o ReLuz. (fonte: elaboração do autor).

Na figura 6.22, é possível observar a sazonalidade bem definida para as duas mesorregiões com as latitudes mais altas (C.O. Paranaense e Metropolitana de Belo Horizonte), com um aumento no TU no período de inverno e uma curva sem grandes amplitudes para a mesorregião com a latitude mais baixa (O. Potiguar).

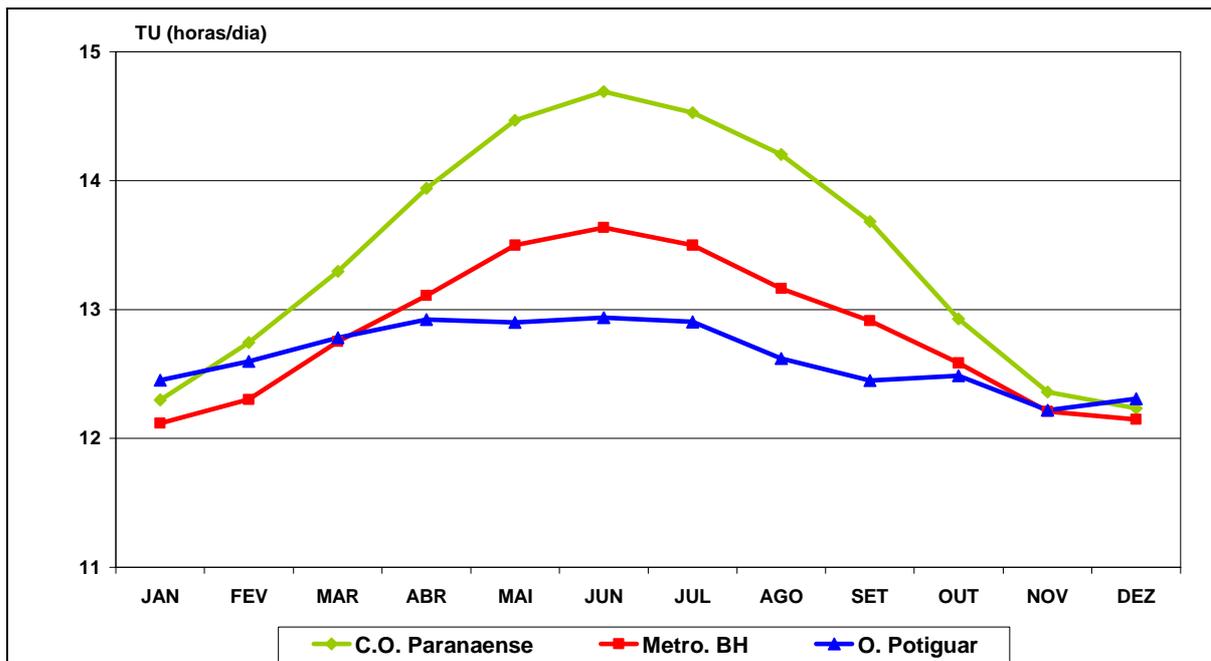
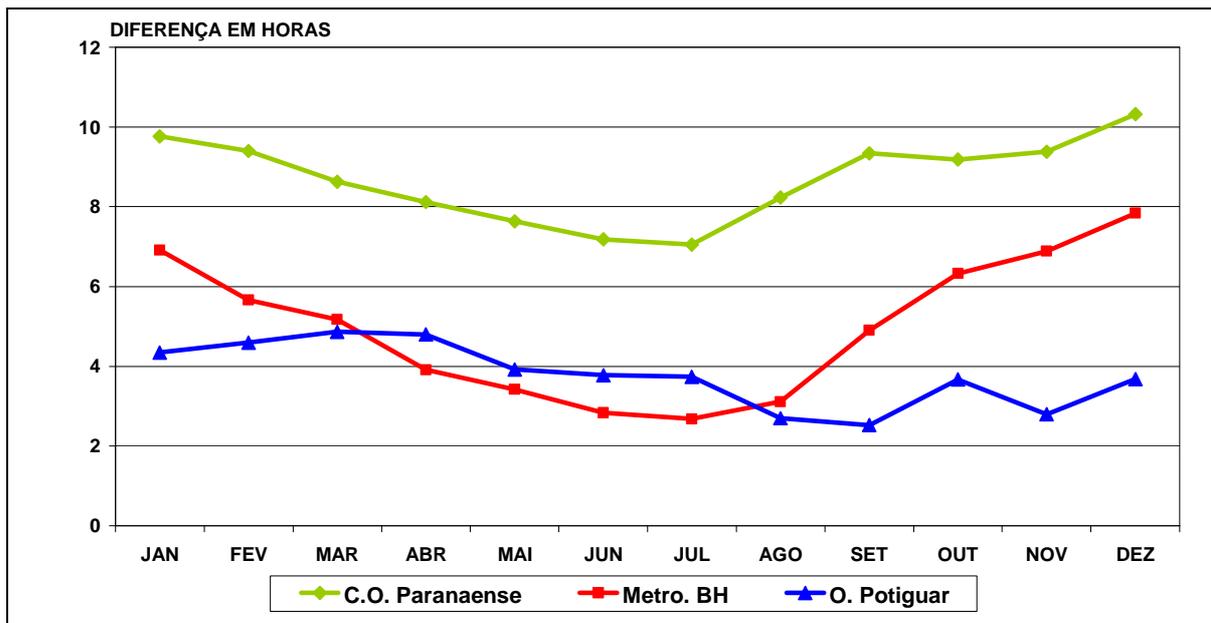


Figura 6.22 – Tempo de utilização estimado para lâmpadas nas três mesorregiões do Brasil, correspondente a máximos, mínimos e intermediário de insolação solar para o ReLuz. (fonte: elaboração do autor).

Como o efeito clima sempre irá aumentar a demanda de energia por iluminação, através de um incremento no TU, pois assim como para a iluminação residencial, na IP também tem o termo da equação que apresenta a diferença entre o dia astronômico e a insolação (equação 5.23). Na figura 6.23, vemos a variação desta diferença ao longo do ano, indicando os menores valores no período de inverno para as duas mesorregiões com latitudes mais altas, isto é durante o período seco com redução da nebulosidade.



*Figura 6.23 – Média da diferença entre o dia astronômico e a insolação para as três mesorregiões, correspondente a máximos, mínimos e intermediário para o ReLuz. (fonte: elaboração do autor).*

Entretanto, diferente da iluminação residencial, a demanda por IP é durante todo o período noturno, até o início do dia claro, logo proporcionalmente, o efeito latitude é muito mais importante na sazonalidade do que o efeito clima, pois em latitude mais baixas, como é o caso da mesorregião Oeste Potiguar, quase não existe sazonalidade na economia de energia, como pode ser observado nas figuras 6.24 e 6.25. Já para as demais mesorregiões, vemos que ela existe e é bem definida com os máximos de economia durante o inverno.

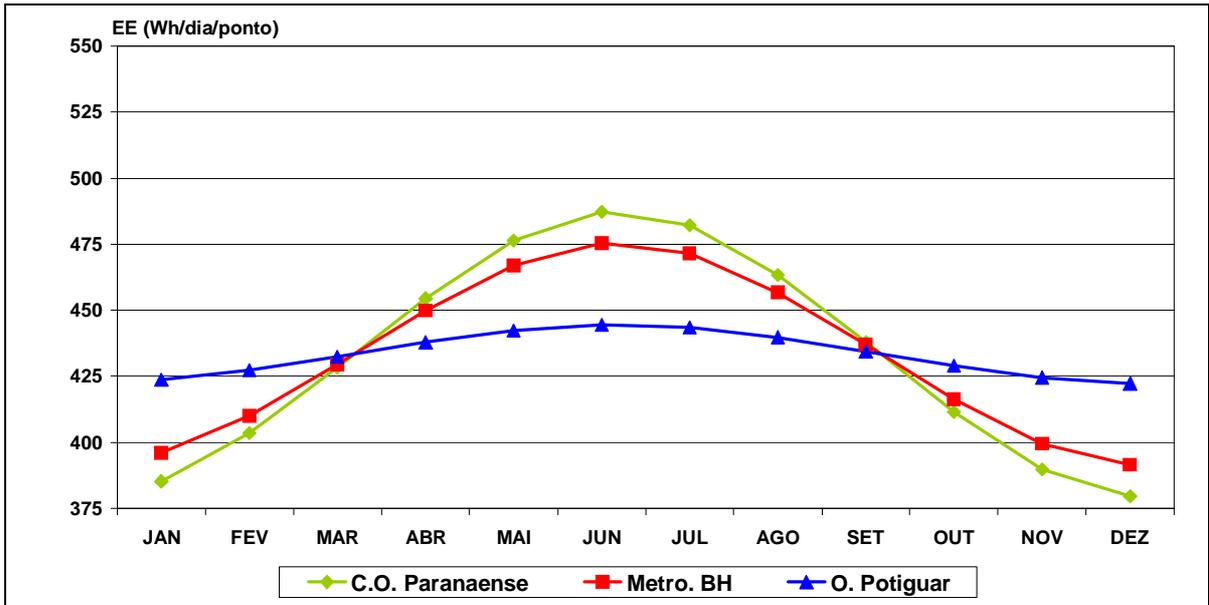


Figura 6.24 – Economia de Energia Específico (Wh/dia/ponto de IP) real estimado considerando efeito latitude referente as três mesorregiões selecionadas para o ReLuz. (fonte: elaboração do autor).

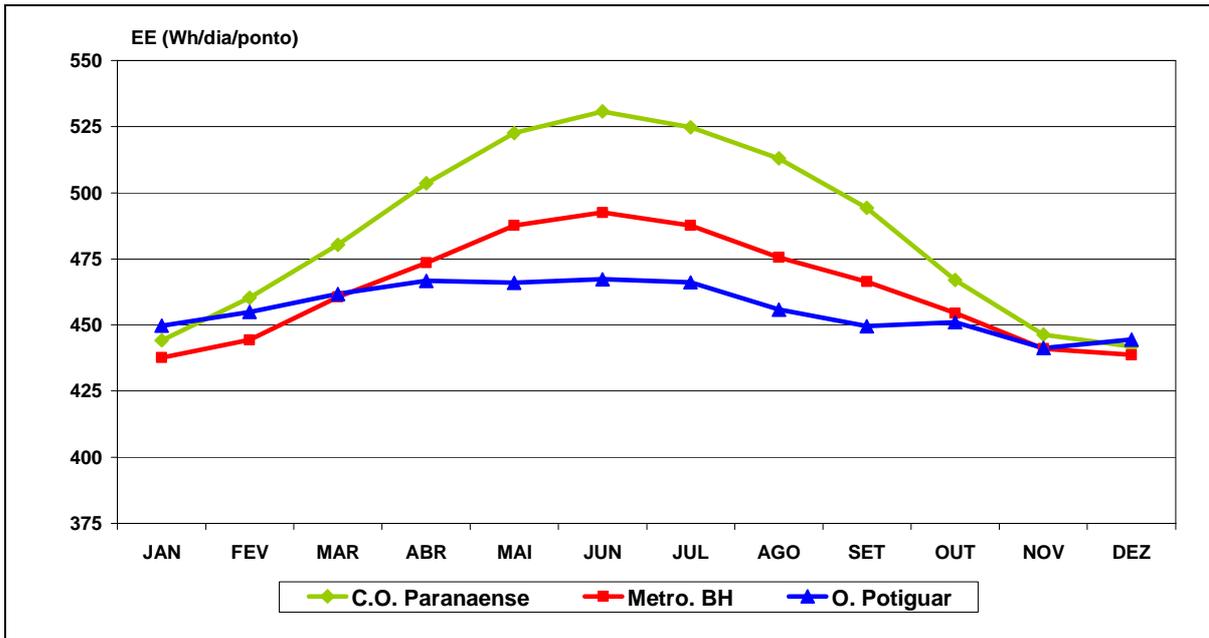


Figura 6.25 – Economia de Energia Específico (Wh/dia/ponto de IP) real estimado considerando efeito clima referente as três mesorregiões selecionadas para o ReLuz. (fonte: elaboração do autor).

Demais valores mensais e outras características destas mesorregiões, estão disponíveis no anexo F.

## b) Mesorregiões com padrão de insolação anual invertido

Assim como para a iluminação residencial, foi identificado nas mesorregiões atendidas pelo ReLuz em 2005, duas com os padrões de insolação solar com correlação anual invertida, além de uma terceira sem uma sazonalidade significativa para efeito de comparação com as demais.

Na tabela 6.6 são apresentados os principais valores para as três mesorregiões escolhidas, sendo a “Sudoeste Rio-Grandense” (padrão U), “Leste Rondoniense” (U invertido) e de “Ribeirão Preto” (intermediário).

*Tabela 6.6 – Características das mesorregiões com valores padrão U, U invertido e intermediário de insolação para os dados do ReLuz. (fonte: elaboração do autor)*

Mesorregião	Sudoeste Rio-grandense	Ribeirão Preto	Leste Rondoniense
Característica (insolação)	Padrão U	Intermediário	Padrão n
Insolação solar total (anual)	2.182	1.383	2.311
Num. Municípios atendidos (2005)	1	19	1
Lâmpadas ReLuz (subs + exp.)	4.522	25.069	60
Estação representativa	Bagé	Franca	Diamantino/MT (*)
Latitude (graus)	-31,20	-20,33	-14,24
Período série	61/90	61/90	62/90

*Obs: (\*) = Estação Climatológica do INMET mais próxima geograficamente da respectiva Mesorregião.*

Para IP, a mesorregião Sudoeste Rio-Grandense apresenta os máximos de insolação no verão. Em contrapartida, Leste Rondoniense segue o mesmo padrão da climatologia do Distrito Federal, com os máximos de insolação durante o inverno e de forma mais sutil a mesorregião Ribeirão Preto, que possui uma leve sazonalidade entre verão e inverno, como pode ser observado na figura 6.26.

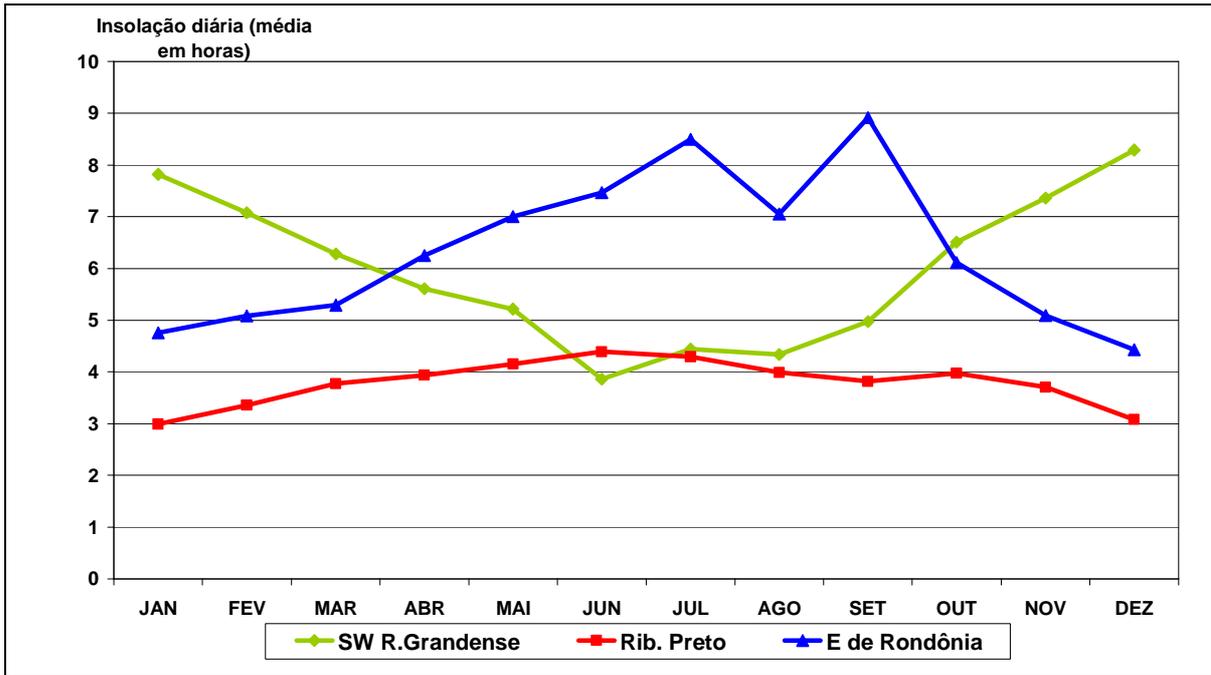


Figura 6.26 – Valores médio diários de insolação para as três mesorregiões, correspondente ao padrão U, U invertido e intermediário para o ReLuz. (fonte: elaboração do autor).

Na figura abaixo, vemos a relação direta entre a latitude da mesorregião e a sazonalidade do TU, isto é, quanto maior a latitude, mais significativa é a sazonalidade entre verão e inverno.

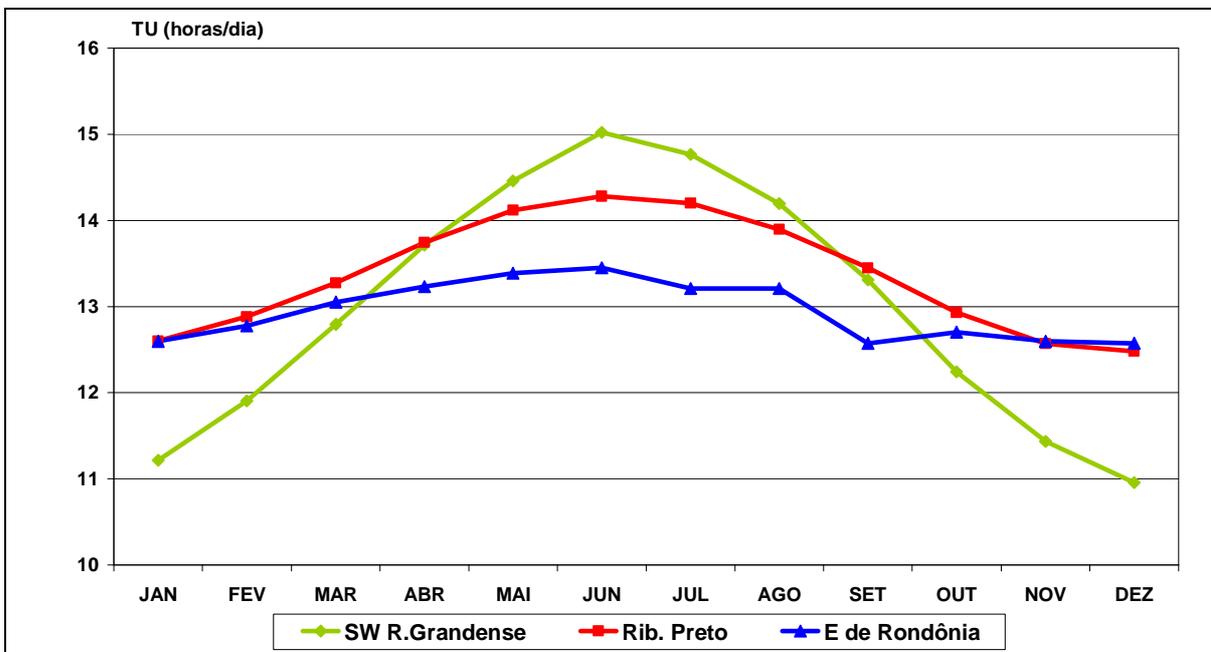


Figura 6.27 – Tempo de utilização estimado para lâmpadas para as três mesorregiões, com padrão U, U invertido e intermediário para o ReLuz, considerando o efeito clima. (fonte: elaboração do autor).

É conveniente relembrar, que no caso do Estado do Rio Grande do Sul, conforme observado na figura 6.6, o balanço entre as noites mais longas no inverno e redução da insolação devido ao aumento de nebulosidade, tende a ser compensada uma pela outra. Isso também pode ser demonstrado na figura 6.28, onde a diferença entre o dia astronômico e a insolação é aproximadamente constante ao longo do ano para o Sudoeste Rio-Grandense, fato que não ocorre nas mesorregiões de Ribeirão Preto e Leste Rondoniense.

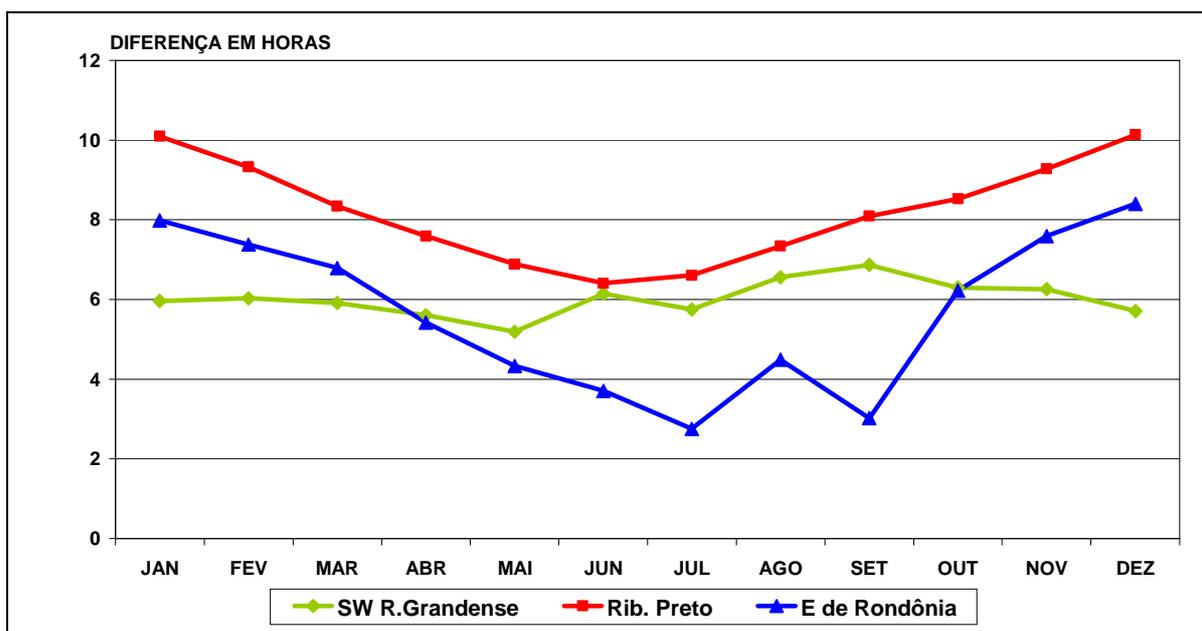


Figura 6.28 – Média da diferença entre o dia astronômico e a insolação para as três mesorregiões, correspondente ao padrão U, U invertido e intermediário para o ReLuz. (fonte: elaboração do autor).

Para a economia de energia na IP, o efeito clima provoca um incremento no TU ao longo de todo ano, que pode ampliar ou reduzir o padrão sazonal na mesorregião. Entretanto, como já apresentado, o fator principal na sazonalidade é o efeito latitude, principalmente nas mesorregiões localizadas no sul do Brasil.

Nas figuras 6.29 e 6.30, é possível observar que a maior economia ocorre durante o inverno no País, onde o uso de IP é intensificado pelas noites mais longas.

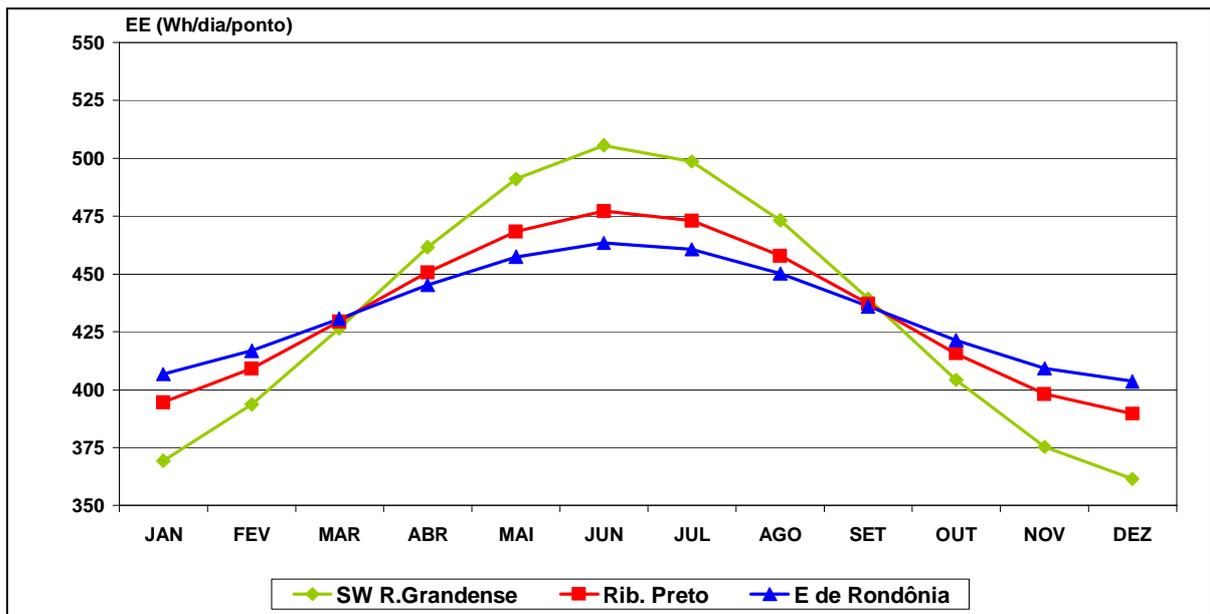


Figura 6.29 – Economia de Energia Específico (Wh/dia/ponto de IP) real estimado considerando efeito latitude para as três mesorregiões, comao padrão U, U invertido e intermediário para o ReLuz. (fonte: elaboração do autor).

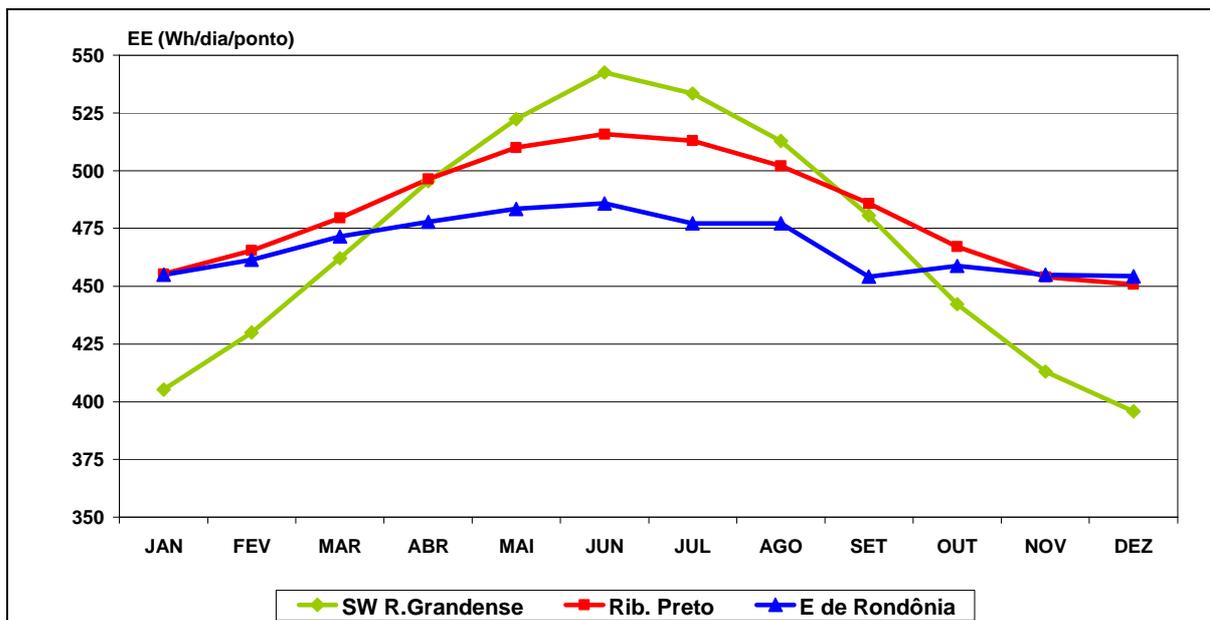


Figura 6.30 – Economia de Energia Específico (Wh/dia/ponto de IP) real estimado considerando efeito clima para as três mesorregiões, com padrão U, U invertido e intermediário para o ReLuz. (fonte: elaboração do autor).

Demais valores mensais e outras características destas mesorregiões, estão disponíveis no anexo G.

### c) Ranking das mesorregiões

Também através da Economia de Energia Específica por ponto de IP, foi possível avaliar, dentro das mesorregiões atendidas pelo ReLuz em 2005, um ranking com as maiores em economia de energia, baseados somente para o cenário estimado real.

Na tabela 6.7, vemos o ranking das mesorregiões com as maiores economias de energia real na IP, estimados pelo MDC.

*Tabela 6.7 – Ranking das mesorregiões com as maiores economia de energia real estimada, considerando efeito clima para o ReLuz. (fonte: elaboração do autor)*

Ranking	Mesorregião Geográfica	UF	Eco. de Energia Real (média anual - Wh/dia/ponto)
1	Centro Oriental Paranaense	PR	485,7
2	Araraquara	SP	484,1
3	Bauru	SP	484,1
4	Marília	SP	484,1
5	Piracicaba	SP	484,1
6	Noroeste Paranaense	PR	484,0
7	Presidente Prudente	SP	484,0
8	Norte Catarinense	SC	483,0
9	Ribeirão Preto	SP	482,9
10	Litoral Sul Paulista	SP	481,0
11	Vale do Paraíba Paulista	SP	479,7
12	Centro Fluminense	RJ	478,1
13	Metropolitana de São Paulo	SP	477,1
14	Serrana	SC	477,1
15	Vale do Itajaí	SC	476,8
16	Sul Fluminense	RJ	476,3
17	Grande Florianópolis	SC	471,6
18	Metropolitana do Rio de Janeiro	RJ	471,4
19	Macro Metropolitana Paulista	SP	471,0
20	Itapetininga	SP	471,0

Vale destacar, que na IP a economia real estimada tem uma relação direta com as mesorregiões que possuem as maiores latitudes (anexo B), associados aos menores valores de insolação, que neste caso são na sua maioria apresentam nos estados de São Paulo e da região Sul do Brasil, dentro das mesorregiões participantes do ReLuz em 2005.

## **6.3. DISCUSSÃO**

### **6.3.1. Aspectos não considerados**

#### **a) Horário de verão**

Dentro da avaliação do MDC, não foi considerado na estimativa de economia de energia devido ao uso de tecnologias eficientes, efeito relacionado ao horário de verão, adotado em alguns estados do Brasil.

Segundo Jannuzzi (199?), a principal idéia do uso do horário de verão é aproveitar o maior número de horas de luminosidade natural disponível durante os meses de verão. O horário de verão no Brasil ocorre durante os meses de Outubro e Março e consiste em adiantar os relógios em uma hora em Outubro e atrasá-los uma hora em Março, permitindo um deslocamento do máximo de consumo durante o demanda de ponta nacional.

#### **b) Degradação das lâmpadas**

Ao longo dos anos, todos os equipamentos elétricos, sejam eficientes ou não, tem uma degradação durante o tempo de operação, que provoca uma redução no desempenho (CARDOSO, 2008). No caso das lâmpadas, esta degradação esta relacionada com a redução na iluminância e com o tempo de vida útil, que pode ser limitada pelas horas de uso, quantidade de acionamentos (ligar e desligar) e/ou pelo tempo de fabricação (idade). Naturalmente, a degradação nas lâmpadas é uma consequência também do perfil sócio-econômico do consumidor e do seu respectivo hábito de consumo. Vale destacar, que este efeito é mínimo para o consumidor, pois muitas vezes não é observada a perda no fluxo luminoso e como consequência continua utilizando a lâmpada de mesma potência na próxima compra. Não obstante, podemos recomendar que este aspecto seja constituído como um dos parâmetros na especificação de qualidade das lâmpadas para o consumidor final.

Para o MDC considerar a degradação das lâmpadas, será necessário um novo ajuste e considerar informações adicionais que não estão disponíveis, como o perfil e hábitos de consumo em escala de mesorregiões brasileiras. Portanto, dentro do horizonte de 1 ano do MDC, esta degradação não é significativa, portanto não foi considerada no cálculo de economia de energia.

### **c) Variação de tensão**

Dentro das causas das degradações das lâmpadas, uma em especial provoca uma redução significativa na vida útil; a variação de tensão no sistema elétrico brasileiro. Neste caso, podemos dividir em dois aspectos: variação durante o uso (CARDOSO, 2008) e aplicação de tensão diferente da específica para a lâmpada (JANNUZZI E PAGAN, 1998).

Jannuzzi e Pagan (1998), afirma que até meados de 1996, as LI eram fabricadas para a tensão nominal de 127 V. Já a partir de 1997 foram produzidos lâmpadas para 120 V devido a norma técnica para lâmpadas incandescentes que não considerava as lâmpada para 127 V. No uso das LI e como também das LE fabricadas para tensão específica na norma, o uso com tensões diferente espalhadas pelo País, provoca de redução da vida útil da lâmpada, diminuindo em 54% quando utilizada na tensão de 127 V, um aumento no consumo de eletricidade em 9% e enquanto que a luminosidade cresce em torno de 21%.

Assim como as outras causas de degradação, não foi possível a incluir a variação de tensão dentro do MDC devido ausência de informações disponíveis.

### **6.3.2. Climatologia do Brasil**

Uma das formas mais marcantes da influência do clima é seu forte controle sobre a distribuição da insolação solar e da precipitação, determinantes para a iluminação natural disponível. No anexo K, é possível observar os valores climatológicos mensais de precipitação e insolação solar no Brasil, conforme apresentado em INMET (2008).

O Brasil, devido basicamente à sua grande extensão territorial, possui uma grande variabilidade de climas com distintas características regionais, que por sua vez, são resultado da interação dinâmica das variáveis atmosféricas. Vale destacar, que a chuva e a insolação são grandezas inversamente proporcionais, independente do tipo de nebulosidade envolvida no processo precipitante.

Como características gerais, temos que todas as regiões do Brasil apresentam, de alguma maneira, uma estação chuvosa e uma estação seca ao longo do ano. Para a maior parte do Sudeste e do Centro-Oeste, sob influência de sistemas tropicais e de latitudes médias devido à sua localização, os períodos de chuva são coincidentes, ou seja, a estação chuvosa concentra-se nos meses de verão e a estiagem, nos meses do inverno, com uma sazonalidade bem definida. Já na região Norte, o clima equatorial chuvoso garante chuva praticamente o ano todo. No Nordeste do Brasil, apesar de manter o padrão de estação chuvosa e seca, o período de sua ocorrência varia, pois a região é largamente influenciado pelas condições atmosféricas e oceânicas atuantes em escala global. Quanto aos estados do

Sul do país, são marcados por uma distribuição quase uniforme de chuva ao longo do ano, com uma elevação durante o inverno, visto que sofrem a influência dos sistemas de latitudes médias, especialmente os sistemas frontais (INPE, 1996).

As regiões Sudestes e Centro-Oeste, devido à sua localização latitudinal, caracterizam-se por ser áreas de transição entre o clima quente tropical e o clima temperado de latitudes médias. Assim, sua porção sul é afetada pela maioria dos sistemas frontais e outros associados, como linhas de instabilidade, que atingem o país e provocam intensa precipitação. Nos meses de inverno, quando estes sistemas de tempo que provocam chuva não ocorrem ou sua frequência é significativamente reduzida, estabelece-se a estação seca do ano.

A região Norte tem a sua estação chuvosa mudando progressivamente ao longo do ano nas áreas sob influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), caracterizada por uma banda de nebulosidade e chuva fortemente influenciada pelos ventos e temperatura da superfície do mar em escala global. Sendo assim, de janeiro a março, a chuva concentra-se no sul da Amazônia e de abril a junho, no noroeste da região. Como a distribuição espacial e sazonal da pluviosidade é muito heterogênea no Norte do Brasil, os períodos de estiagem vão ocorrendo à medida que os mecanismos precipitantes variam localmente (INPE, 1996).

Assim como a região Norte, o Nordeste do Brasil possui a estação chuvosa mudando progressivamente ao longo do ano, não só por conta da posição e intensidade da ZCIT, mas também por outros mecanismos influenciados pela escala global. É a região do País com a maior variabilidade espacial da distribuição de chuva, podendo ser identificados vários regimes. A estação chuvosa para a maior parte da região é de abril a julho e a estação seca ocorre de setembro a dezembro, ou seja, a chuva concentra-se nos meses de outono/inverno e a estiagem, nos meses de primavera/verão; o oposto do que é observado nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Em geral, no sul e sudeste do Nordeste, a chuva ocorre principalmente de dezembro a fevereiro; no norte, precipitação concentra-se de março a maio, e no leste, de maio a julho. Entretanto, fatores locais que vão desde a topografia e proximidade do litoral ao perfil vertical de umidade disponível, são primordiais para a definição do padrão estação chuvosa/seca nesta parte do País. Portanto, é possível observar no interior da região um clima semi-árido, com alto índice de insolação durante o ano e baixíssima precipitação, até um clima chuvoso como o observado na costa leste da região.

Em contraste ao Nordeste do Brasil, a região Sul é a que apresenta distribuição espacial e sazonal da chuva mais homogênea no país, visto sua localização latitudinal e baixa influência de fatores locais como a topografia e a vegetação caso mais uniformes. Os fenômenos atmosféricos mais importantes para a determinação deste padrão, praticamente sem estação seca, são a passagem de sistemas frontais, responsáveis por grande parte dos totais pluviométricos registrados. Apesar de atuarem ao longo de todo o ano na região, ainda é possível identificar um mínimo de insolação solar no Estado do Paraná, onde ocorrem maiores valores locais de chuva, devido às características de clima temperado e a influência de sistemas frontais que contribuem para o aumento da nebulosidade, principalmente durante os meses de inverno (INMET, 1992 e 2008).

### **6.3.3. Benefícios da Eficiência Energética**

Independente de melhorar o conhecimento sobre o uso de tecnologias eficientes, ampliar o conceito de eficiência energética em todos os setores da economia deve ser uma das prioridades nas políticas públicas na área energética.

Para Goldemberg e Lucon (2007), estas políticas podem ser concretizadas por meio de ações relativamente simples e economicamente atrativas. A eficiência energética reduz o consumo e diminui a necessidade de investimentos em expansão do sistema, sem comprometer a qualidade dos serviços prestados aos usuários finais.

A eficiência energética é, sem dúvida, a maneira mais efetiva de reduzir os custos no setor elétrico e os respectivos impactos ambientais.

### **6.3.4. Sazonalidade na demanda de energia**

O consumo de energia elétrica no Brasil tem características de apresentar um movimento sazonal, correlacionada basicamente a grande dimensão territorial (com características climáticas, desenvolvimentos urbanos diferenciados etc) e também aos hábitos de consumo nos diferentes setores da economia.

O MDC proporcionou estimar a sazonalidade do consumo e respectiva economia de energia nas mesorregiões do Brasil, dividindo as contribuições dos efeitos devido a diferença de latitude e das condições climáticas regionais. Este conhecimento sazonal da demanda de energia é extremamente importante para o planejamento na geração, transmissão e distribuição da energia elétrica no País, pois estes são definidos entre outros fatores, pelos picos de consumo e tem o objetivo de manter o equilíbrio seguro entre a oferta e a demanda de eletricidade.

Em complementação, o conhecimento do padrão sazonal regionalizado permite melhorar a eficiência no uso das águas acumuladas nos reservatórios e o equilíbrio de necessidade na geração termo-elétrica, com benefícios diretos para a sociedade.

### 6.3.5. Sazonalidade na iluminação pública

No caso da IP, que apesar de funcionar essencialmente no período noturno, pois raros são os escurecimentos diurnos suficientes para que os sistemas sejam acionados, os períodos de operação da iluminação também têm uma sazonalidade, em função da latitude e do clima, conforme detalhado no item 6.2.

Diferente da iluminação residencial, a IP tem a operação independente da demanda específica dos usuários, logo a IP é muito mais susceptível pela variação de latitude. Neste caso, o efeito clima provoca uma variação positiva no TU, que pode ampliar ou reduzir a sazonalidade. Isto é, o efeito latitude e clima podem ter uma correlação positiva ou negativa, conforme as características climáticas de uma determinada mesorregião.

Na tabela 6.5, temos as correlações de algumas mesorregiões analisadas, entre a insolação solar e a diferença o dia astronômico e da insolação, que correspondente a contribuição do efeito clima na demanda de iluminação.

*Tabela 6.8 – Correlações entre a insolação e a diferença entre o dia astronômico e da insolação (efeito clima) de algumas mesorregiões analisadas. (fonte: elaboração do autor)*

Mesorregião	Insolação	Justificativa
<b>Distrito Federal e Leste Rondoniense</b>		
<b>Diferença Td-I (efeito clima)</b>	(-) correlação negativa (aumenta a amplitude do TU e do consumo de energia)	Estação seca ocorre no inverno e chuvoso no verão
<b>Metropolitana de Porto Alegre e Sudoeste Rio-Grandense</b>		
<b>Diferença Td-I (efeito clima)</b>	(+) correlação positiva (diminui a amplitude do TU e do consumo de energia diminui)	Inverno com chuva mais intensa
<b>Metropolitana de São Paulo e Centro Oeste Paranaense</b>		
<b>Diferença Td-I (efeito clima)</b>	sem correlação definida	A insolação não tem grandes variações ao longo do ano

Em relação às amplitudes do consumo de energia no Brasil, Oliveira et al (2000), destaca que encontrou as menores amplitudes na IP e sugere que não existe grande diferença TU ao longo do ano. Destaca, que este resultado é surpreendente, pois era de se

esperar uma amplitude maior na região sul, onde o dia claro é muito mais longo no verão que no inverno. Este resultado é exatamente o efeito clima do MDC, como apresentado na tabela 6.5, isto é, mesmo com a variação da latitude, o clima na região sul, em particular o Estado do Rio Grande do Sul, tende a reduzir a amplitude, pois a diferenças entre o dia astronômico e a insolação solar não tem grandes variações ao longo do ano, já que a estação chuvosa ocorre no inverno e compensa o efeito latitude.

### **6.3.6. Eficiência energética na iluminação residencial**

O consumo de energia no setor residencial está intimamente ligado à posse e uso de eletrodomésticos, níveis de renda e condições climáticas, conforme vimos neste trabalho. No Brasil, a iluminação é um dos maiores usos finais de energia elétrica nas residências e muitas vezes uma grande possibilidade para redução do consumo de energia. Uma redução do consumo de eletricidade significativa (acima de 50%) é tecnicamente viável empregando o uso de tecnologias mais eficiente e melhor uso da iluminação natural.

Atualmente, grandes variedades de tecnologia eficiente na iluminação já estão disponíveis no mercado, como as LFC, LFCirc, FT, lâmpadas de vapor de sódio, reatores eletrônicos, sensores de presença e refletores para luminárias, entre outros. Entretanto, os custos envolvidos ainda são elevados, considerando a condição de renda da maioria da população brasileira. Programas como o Procel e demais ações correlacionadas das concessionárias de energia elétrica são fundamentais para difundir em grande escala o uso destas tecnologias na iluminação.

Ao difundir o uso de tecnologias eficientes em iluminação, os ganhos diretos e indiretos são significantes. Somente considerando o Fator Procel – FP, na economia de energia potencial estimada pelo MDC para o ano de 2005, tivemos a possibilidade de deixar de consumir quase 4.600 GWh.ano<sup>-1</sup>, o equivalente ao consumo de mais de 3 milhões de residências em um ano. Como uma aproximação, baseado no crescimento de domicílios brasileiro, no ano 2008 temos o potencial de consumo evitado somente na iluminação residencial de mais de 6.000 GWh.ano<sup>-1</sup>, o equivalente a investimentos na expansão do setor elétrico da ordem de R\$ 5 bilhões (ELETROBRÁS, 2006a).

Ao analisarmos os valores totais de economia de energia devido ao uso de tecnologias eficientes, que é aplicação integral de LE na iluminação residencial, tivemos o potencial de consumo evitado para 2005 de aproximadamente 23.000 GWh.ano<sup>-1</sup>, com uma RDP de 11.152 MW, que é quase a potencia instalada da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

### **6.3.7. Eficiência energética na iluminação pública**

A redução do consumo na IP é baseada em ações de políticas públicas, particularmente dos municípios brasileiros e/ou proporcionadas por ações das concessionárias de energia elétrica. Desde da implementação há oito anos, o ReLuz tem estimulado a substituição dos pontos de iluminação mais antigos e a expansão já com as novas LE.

No ano de 2005, o Procel estimou uma economia de energia na IP de 62.170 MWh.ano<sup>-1</sup>, já o MDC estimou uma economia de 67.758 MWh.ano<sup>-1</sup>, superior em quase 5.600 MWh.ano<sup>-1</sup> devido ao ajuste do modelo considerando o efeito clima na operação dos pontos de IP. Vale destacar, que todos estes valores foram baseados em apenas 400 mil pontos de substituição/expansão no ano de 2005.

Baseado na perspectiva do próprio ReLuz, para substituição de 5 milhões de lâmpadas e a expansão de 1 milhão de novos pontos da rede de IP (ELETROBRÁS, 2006a) ou mesmo na estimativa aproximada de um total de 13 milhões de pontos de IP espalhados no Brasil (FRÓES DA SILVA, 2006), o potencial de economia de energia ou consumo evitado é extremamente relevante. Em uma primeira aproximação, teríamos o potencial de deixar de consumir mais de 2.000 GWh.ano<sup>-1</sup> somente na IP.

Como apresentado no item 3.3, vale destacar a operação da IP é muito mais relevante para a redução na demanda de ponta, pois o seu funcionamento coincide com o horário de pico do Sistema Elétrico Brasileiro. Também como uma primeira aproximação, considerando a substituição dos 13 milhões de pontos de IP, teríamos o potencial de RDP da ordem de 500 MW, equivalente a 1/6 da potencia prevista na polêmica Usina Hidrelétrica de São Antonio, no Rio Madeira (Rondônia).

### **6.3.8. Comparação entre os métodos**

#### **a) Iluminação residencial**

Para uma comparação mais direta de todos os termos e variáveis utilizadas entre o Método do Procel/Eletrobrás e do Método por Demanda Climática, são apresentados na tabela 6.9 as principais características destes métodos para o setor de iluminação residencial.

Tabela 6.9 – Tabela geral comparativa entre as diferentes características do métodos Procel/Eletróbrás e do MDC para o setor residencial (fonte: elaboração do autor).

Característica	Método Procel (atual)	MDC (proposto)	Observação
<b>Parque de lâmpadas</b>	Estimado pela importação anual de LE	Estimado pela n° total de domicílio com eletricidade e n° de lâmpadas por domicílio	Eletróbrás, (2006a) e tabela 4.1
<b>LFT na EE?</b>	Não	Não	Item 5.1.1 e 5.2
<b>Utiliza Redução Média de Potência</b>	Sim	Sim	Tabela 5.1 e 5.3
<b>Percentual de vendas estimuladas pelo Selo Procel – FP</b>	20%	20%	Tabela 5.1 e 5.3
<b>Fator de Coincidência de Ponta</b>	0,7	0,7	Tabela 5.1 e 5.3
<b>Escala espacial dos resultados</b>	Nacional	Por mesorregião	Item 5.1 e 5.2
<b>Escala temporal dos resultados</b>	Anual	Mensal	Item 5.1 e 5.2
<b>Valor do TU</b>	Constante	Variável	Tabela 5.1 e item 5.2.1
<b>Considera efeitos externos no TU?</b>	Não, pois TU é fixo	Sim, efeito da latitude e do clima	Item 5.1 e 5.2
<b>Determinação do TU (latitude)</b>	n.a.	$TU_{L_{ij}} = (1 - \alpha) \cdot TU_{cte} + \alpha \cdot (TU_{cte} + (12 - Td_{ij}) \cdot \beta_L)$	Equação 5.9
<b>Determinação do TU (clima)</b>	n.a.	$TUC_{ij} = (1 - \alpha) \cdot TU_{cte} + \alpha \cdot (TU_{cte} + (12 - Td_{ij}) + (Td_{ij} - I_{ij}) \cdot \beta_C)$	Equação 5.13
<b>Equação básica para estimar EE</b>	$EE = N \cdot RMP \cdot TU \cdot FP$	$EE = (CE_{LB} - CE_{PEE}) \cdot FP$	Equação 5.1 e 5.17/5.18
<b>Equação básica para estimar RDP</b>	$RDP = N \cdot RMP \cdot FCP \cdot FP$	$RDP_{total} = \sum_{i=1}^{137} RDP_i = N_i \cdot RMP \cdot FCP \cdot FP$	Equação 5.2 e 5.19

Obs: n.a. = não aplicável

## **b) Iluminação pública**

Na tabela 6.10 temos as principais características dos Métodos do Procel/Eletróbrás e do Método por Demanda Climática, para uma comparação mais direta de todos os termos e variáveis utilizadas nos métodos aplicados para iluminação pública.

Tabela 6.10 – Tabela geral comparativa entre as diferentes características dos métodos Procel/Eletróbrás e do MDC para iluminação pública (fonte: elaboração do autor).

Característica	Método Procel (atual)	MDC (proposto)	Observação
Número de pontos substituídos e de expansão	Relatórios individuais das Concessionárias de Energia Elétrica	Valores do Procel, separados por UF e estimados por mesorregião	Item 5.1.2 e anexos H e J
Utiliza Redução Média de Potencia	Não	Sim	Item 5.1.2 e tabela 5.7
Percentual estimuladas pelo Procel/ReLuz – FP	100%	100%	Item 5.1.2 e tabela 5.7
Fator de Coincidência de Ponta	1,0	1,0	Item 5.1.2 e tabela 5.7
Escala espacial dos resultados	Nacional	Por mesorregião atendida pelo ReLuz	Item 5.1.2 e 5.2.2
Escala temporal dos resultados	Anual	Mensal	Item 5.1.2 e 5.2.2
Valor do TU	Constante	Variável	Tabela 5.2 e item 5.2.2
Considera efeitos externos no TU?	Não, pois TU é fixo	Sim, efeito da latitude e do clima	Item 5.1.2 e 5.2.2
Determinação do TU (latitude)	n.a.	$TU_{ij} = TU_{pad} + (12 - Td_{ij})$	Equação 5.21
Determinação do TU (clima)	n.a.	$TUC_{ij} = TU_{pad} + (12 - Td_{ij}) + (Td_{ij} - I_{ij}) \cdot \beta_C$	Equação 5.23
Equação básica para estimar EE	$EE = N \cdot [(P_1 + R_1) - (P_2 + R_2)] \cdot TU_{IP}$	$EE_{total} = \sum_{i=1}^{137} \sum_{j=12}^{12} EE_{ij} = N_i \cdot RMP \cdot TU_{ije}$	Equação 5.3 e 5.24
Equação básica para estimar RDP	$RDP = N \cdot [(P_1 + R_1) - (P_2 + R_2)] \cdot FCP_{IP}$	$RDP_{total} = \sum_{i=1}^{137} RDP_i = N_i \cdot RMP \cdot FCP$	Equação 5.4 e 5.25

Obs: n.a. = não aplicável

## **CAPÍTULO 7: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **7.1. ILUMINAÇÃO RESIDENCIAL**

Para a iluminação residencial, o Método por Demanda Climática – MDC conseguiu representar bem o consumo total observado em 2005, que apesar da limitação de dados e informações disponíveis, tem uma boa aproximação da realidade.

Nos resultados gerais de economia de energia real, estimulada pelas ações do Procel, o MDC para o efeito latitude se aproximou do valor de referência do Procel, com uma variação inferior a 3%, considerando que ambos os casos os valores anuais de tempo de utilização – TU na iluminação residencial são fixos. Já o MDC para efeito clima, que trabalha com TU variável, tem um aumento na economia de energia da ordem de 47%. Isto é plenamente justificado, pois no caso do efeito clima, a redução da luminosidade do ambiente e da insolação solar, com o respectivo aumento da nebulosidade, provoca um aumento de demanda de energia por iluminação, devido ao escurecimento local. Portanto no MDC, o efeito clima sempre provocará um aumento na demanda de iluminação, que conseqüentemente, também trará uma ampliação no consumo evitado de energia devido ao uso de tecnologias mais eficientes.

Como o MDC se enquadra dentro de diretrizes internacional do M&V, estabelecida pelo PIMVP, através do uso de linha de base para uma avaliação quantitativa dos PEE, também foi possível determinar a economia potencial total, caso as LE tivesse uma aplicação integral nos domicílios brasileiros. Baseado no mercado de 2005, com uma estimativa de 423 milhões lâmpadas, o consumo evitado poderia chegar a 23 GWh.ano<sup>-1</sup>, o que é relevante, mesmo considerando outros PEE pelo mundo (tabela 3.2).

Para a redução de demanda de ponta, o MDC apresentou um valor superior em quase 2,5 vezes do obtido pelo Procel. Como a RDP não trabalha com TU, é basicamente em função do número de lâmpadas em uso no horário de pico do Sistema Elétrico

Brasileiro. Conforme apresentado no item 6.1.1., os dois métodos determinam o número de lâmpadas por estimativas completamente diferentes. Naturalmente, no aperfeiçoamento do MDC, a RDP precisa de uma atenção especial, inclusive na determinação regional do Fator de Coincidência de Ponta – FCP, que é uma estimativa aproximada da Eletrobrás.

Na sazonalidade global de economia de energia, é possível observar tanto no real, como no potencial estimado, que nos meses junho a agosto são os valores mais baixos. Sem considerar as condições climáticas do Brasil, este resultado demonstra estar equivocado, pois as noites mais longas ocorrem no inverno, que no Brasil é justamente nestes meses. Entretanto, a densidade demográfica mais elevada do País coincide com as mesorregiões que possuem o inverno mais seco, portanto devido às características climáticas de pouca nebulosidade, ocorre um aumento na insolação solar e uma redução na demanda de iluminação.

Entretanto, a grande inovação do MDC são os resultados mensais de economia de energia, com a divisão por mesorregião. Nos resultados para as mesorregiões com valores máximos e mínimos de insolação (item 6.1.2.), vemos a relação inversamente proporcional ao consumo de energia, principalmente no caso do cenário potencial. Isto é, nas mesorregiões os maiores valores de insolação, menor é a demanda energia por iluminação. Esta característica também é observada nos resultados obtidos para as mesorregiões com padrões invertidos, que também tem outra característica bastante relevante na redução da sazonalidade. No caso do Distrito Federal, o TU da iluminação tem uma grande amplitude na sazonalidade devido a variação da insolação, que no caso da Metropolitana de Porto Alegre, tem a amplitude reduzida devido a compensação entre os efeitos latitude e clima. Isto é, na época do ano com as noites mais longas (inverno), é também o período com os maiores índices de precipitação, que conseqüentemente reduz a insolação solar. No verão, o padrão é o oposto, noites mais curtas, com o período de menor precipitação e mais insolação, logo para as mesorregiões com este padrão climático, existe uma redução da sazonalidade na economia de energia.

Através da análise individual, também foi possível determinar um *ranking* das mesorregiões que possuem os maiores valores de economia de energia real e potencial estimado. No cenário real, a relação das mesorregiões é também uma função do grau de penetração das LE nos respectivos mercados, mas para o cenário potencial, o *ranking* é de fato a relação das mesorregiões com os maiores ganhos potenciais por domicílio. Neste caso, os maiores valores estão associados as mesorregiões com as maiores densidades

demográficas e também com os maiores números de lâmpadas por domicílio em uso no Brasil.

Já para recomendação de trabalho futuros, podemos apresentar uma série de sugestões, que podem melhorar o MDC e reduzir as incertezas associadas, através de um maior detalhamento das informações que deve ser classificada por mesorregiões e de forma mais refinada, por município, sendo elas:

- ✓ ajustar empiricamente os termos  $\alpha$  e  $\beta$  específico para a iluminação residencial;
- ✓ número de lâmpadas por domicílio;
- ✓ porcentagem de eletrificação residencial;
- ✓ grau de penetração das LE por domicílio;
- ✓ influência dos hábitos de consumo e faixa de renda;
- ✓ influência da variação da tensão;
- ✓ influência do horário de verão (e inverno, eventualmente)
- ✓ ajustar o fator de coincidência de ponta;
- ✓ realizar análise de sensibilidade e cálculo de incerteza dos resultados.

## 7.2. ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Assim como para a iluminação residencial, o MDC também conseguiu representar bem economia de energia estimada em 2005 para IP, que apesar da aproximação utilizando redução média de potência e sem determinar a linha de base, mostra que o MDC é também aplicável na IP.

Nos resultados gerais de economia de energia real, o MDC para o efeito latitude obteve o mesmo valor de referência do Procel, pois em ambos os casos, os valores do TU anual na IP são fixos. No MDC para efeito clima, que trabalha com TU variável, existe um pequeno aumento na economia de energia da ordem de 9%. Na IP, em que o TU é função predominante pela duração da noite (efeito latitude), o efeito clima, isto é a redução da insolação solar com o respectivo aumento da nebulosidade, também provoca um aumento da demanda de energia por iluminação, devido ao escurecimento do ambiente. Esta demanda pode ser através do acionamento antecipado ou do desligamento posterior do ponto de IP no determinado dia. Vale destacar, que em pouquíssimos casos, também deve ocorrer o acionamento do ponto devido ao escurecimento do céu decorrente de uma tempestade severa, com altos índices de precipitação.

Assim como para a iluminação residencial, na IP, o efeito clima sempre provocará um aumento na demanda de iluminação, mas proporcionalmente menor que na iluminação residencial, pois a IP tem a operação independente da demanda do usuário. Conseqüentemente, isso trará uma ampliação no consumo evitado de energia devido ao uso de LE no ponto de IP.

O MDC trabalha com a redução média de potência dos pontos de IP. Apesar desta limitação, pois os Procel desenvolve os resultados a partir da redução de potência individual de cada ponto, a RDP estimada pelo MDC é numericamente igual ao obtido pelo Procel, pois em ambos os casos, foi utilizada o mesmo número de pontos substituídos e/ou expandidos pelo ReLuz em 2005.

Na determinação do TU na IP, apesar da variação no efeito latitude, a média anual é numericamente igual ao Procel, pois os períodos do ano com as noites mais longas e com as mais curtas são compensadas uma pela outra. No efeito clima, existe um pequeno aumento, que dependendo a mesorregião, pode ser entre 5% e 12% do valor anual do Procel (TU fixo). Considerando que a Aneel tem uma resolução normativa para determinar o TU na IP, somente esta variação em função das condições climáticas regionais justificaria o aperfeiçoamento de um método mais detalhado, como é a proposta do MDC.

Nos casos extremos analisados para IP, vemos que também existe uma relação inversamente proporcional entre a insolação solar e a economia de energia, mas na IP o fator predominante do TU é a duração da noite, isto é, a sazonalidade na economia de energia devido ao efeito latitude é mais relevante, sendo que o efeito clima provoca um incremento no TU, que pode ampliar ou reduzir a amplitude a sazonalidade. Esta característica pode ser observada ao compararmos as duas curvas de economia de energia, no efeito latitude e no clima.

Para as mesorregiões com padrões invertidos, esta característica é mais relevante. No caso do Leste Rondoniense, a economia de energia tem uma pequena amplitude na sazonalidade devido a insolação e da latitude mais baixa. Para o Sudoeste Rio-Grandense, tem a amplitude mais pronunciada devido a latitude mais alta. Diferente do efeito na iluminação residencial, nas mesorregiões em que na época do ano com as noites mais longas (inverno) ocorre também o período com os menores índices de precipitação (seca), com aumento da insolação solar, existe a tendência de reduzir a sazonalidade da economia de energia. Nas curvas comparativas entre os cenários, vemos que a economia de energia no efeito clima tem um incremento no valor em relação ao efeito latitude, mas a curva fica mais suave (menos amplitude) para a mesorregião que segue este padrão climático.

Como recomendação para trabalho futuros específicos na IP, segue abaixo sugestões, para melhorar o MDC e reduzir as incertezas, seja através de um detalhamento das informações que deve ser classificada por mesorregiões ou de forma mais refinada, por município:

- ✓ trabalhar com a redução de potência individual (por ponto de IP);
- ✓ detalhamento do número de pontos substituídos e de expansão, anualmente pelo ReLuz;
- ✓ ajustar empiricamente os termos  $\alpha$  e  $\beta$  específico para a IP;
- ✓ determinar o número total de pontos de IP no Brasil (linha de base);
- ✓ influência da variação da tensão;
- ✓ ajustar o fator de coincidência de ponta com a influência do horário de verão;
- ✓ realizar análise de sensibilidade e cálculo de incerteza dos resultados.

### 7.3. CONCLUSÃO FINAL

Com a grande dimensão territorial do Brasil, planejar as ações dos PEE, a análise da sazonalidade do consumo de energia devido às condições climáticas regionais é uma ferramenta relevante neste processo, conforme os resultados debatidos neste trabalho. Além disso, considerando que os recursos financeiros são limitados, priorizar os PEE para as mesorregiões que apresentam os maiores índices em evitar o consumo de energia em iluminação, é uma forma de estabelecer critérios técnicos na implantação destas ações de políticas pública.

É recomendável que estas ações de conservação de energia, associados as características regionais brasileiras, devem ser inseridas no planejamento energético nacional, principalmente junto aos tomadores de decisão (*policy marckers*), que através de políticas públicas ou de ações específicas da iniciativa privada, possibilita melhorar o planejamento dos PEE, seja das Concessionárias de Energia Elétrica, do Estado ou da própria Eletrobrás.

Conforme apresentado neste trabalho, o uso de tecnologias eficientes e ações de racionalização energética oferecem a maior e melhor oportunidade para reduzir os enormes custos financeiros em novos investimentos do setor elétrico, seja na geração, transmissão ou distribuição, além de poder reduzir os impactos sócio-ambientais associados.

## CAPÍTULO 8: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa nº 456, de 29 de Novembro de 2000.** Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2000. 53p. Disponível em: <<http://www3.aneel.gov.br/netacgi/cobaia.exe?S2=&S4=456&S5=&l=20&SECT1=IMAGE&SECT4=e&SECT6=HITOFF&SECT3=PLURON&SECT2=THESON&SECT5=BIBL04&S6=legislacao&S1=ren&S3=aneel&d=BIBL&p=1&u=http://www.aneel.gov.br/biblioteca/pesquisadigitres.cfm&r=1&f=G>>. Acesso em: 29 Set 2007.
- \_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 176, de 28 de Novembro de 2005.** Estabelece critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética. Brasília: ANEEL, 2005a. 4p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27&idPerfil=6>>. Acesso em: 29 Set 2007.
- \_\_\_\_\_. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil.** 2º edição. Brasília: ANEEL, 2005b. 243p. Disponível em: <[http://www3.aneel.gov.br/atlas/atlas\\_2edicao/](http://www3.aneel.gov.br/atlas/atlas_2edicao/)>. Acesso em: 12 Mai 2007.
- \_\_\_\_\_. **Manual para elaboração do Programa de Eficiência Energética: Ciclo 2005/2006.** Brasília: ANEEL, 2006. 122p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27&idPerfil=6>>. Acesso em: 29 Set 2007.
- AHRENS, C.D. **Meteorology today: An introduction to weather, climate and the environment.** Fifth Edition, 1994. 592p.
- ALADOS, I.; FOYO-MORENO, I.; ALADOS-ARBOLEDAS, L. Photosynthetically active radiation: measurements and modelling. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.78, n.1-2, p.121-131, 1996.
- ALMEIDA, M. A.; SCHAEFFER, R.; LA ROVERE, E. L.. The potential for electricity conservation and peak load reduction in the residential sector of Brazil. **Energy**, n.26, p.413–429, 2001.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. ASHRAE Standard 90.1–1999.** Atlanta, GE – USA: 1999.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO – ABILUX. Projeto garante segurança através da iluminação. **Jornal da ABILUX**. São Paulo, 1995, ano V, n.56, 2p.
- AYRES, R.U.; TURTON, H.; CASTEN, T. Energy efficiency, sustainability and economic growth. **Energy**, n.32, p.634–648, 2007.
- BIRNER, S.; MARTINOT, E.. Promoting energy-efficient products: GEF experience and lessons for market transformation in developing countries. **Energy Policy**, n.33, p.1765–1779, 2005.
- BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de Outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia de Assuntos Jurídicos. Brasília, 2001a. Legislação Federal. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/110295.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm)>. Acesso em: 13 Mar 2007.
- \_\_\_\_\_. **Decreto nº 4.059, de 19 de Dezembro de 2001**. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia de Assuntos Jurídicos. Brasília, 2001b. Legislação Federal. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2001/d4059.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/d4059.htm)>. Acesso em: 13 Mar 2007.
- BROTAS, L.; WILSON, M. Iluminação Natural no Espaço Urbano. In XI Congresso Ibérico e VI Congresso Ibero-Americano de Energia Solar. 29 Set – 02 Out 2002. Vilamoura, Portugal. **Proceedings of XI Congresso Ibérico e VI Ibero-americano de Energia Solar**. Portugal: SPES, 2002.
- CAMPOS, A. **Gerenciamento pelo lado da demanda: Um estudo de caso**. 2004, 95f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2004/teses2004.htm>>. Acesso em 22 Out 2007.
- CARDOSO, R.B. **Avaliação da Economia de Energia atribuída ao Programa Selo Procel em Freezers e Refrigeradores**. Jan 2008, 197f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008.
- CHRISTOFFERSEN, J.; PETERSEN, E.; JOHNSEN, K. Avaliação de sistemas de aproveitamento da luz natural e controle de iluminação. **Eletricidade Moderna**, ano XXVI, n.294, p.68-87, Set 1998.
- CLINCH, J.P.; HEALY, J.D. Cost-benefit analysis of domestic energy efficiency. **Energy Policy**, n.29, p.113-124, 2001.
- COLLE, S.; PEREIRA, E.B. **Atlas de irradiação solar do Brasil (1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície)**. Brasília: Inmet, Out 1998. 65p.

COSTA, J.C. **Iluminação Econômica: cálculo e avaliação**. 4ª edição. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2006. 562p. (Coleção Engenharia nº5).

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO – DHN. **Manual do Observador Meteorológico**. 2ª edição. Niterói: DHN/Marinha do Brasil, 2003. 160p. (DG3-2).

ELETROBRÁS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Manual de instruções: Procel/ReLuz**. Rio de Janeiro: Editora Atual, 2004. 60p.

\_\_\_\_\_. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Avaliação dos Resultados do Procel 2005**. Rio de Janeiro: DPST/Eletróbras, Set 2006a. 144p. (Relatório impresso)

\_\_\_\_\_. **Crítérios para a concessão do Selo Procel de Economia de Energia para Lâmpadas Fluorescentes Compactas com reator integrado**. Revisão – I. Rio de Janeiro: DPS/Eletróbras. Out 2006b. 5p. Disponível em: <<http://www.eletróbras.com/elb/procel/main.asp?TeamID={95F19022-F8BB-4991-862A-1C116F13AB71}>>. Acesso em: 22 Ago 2007.

\_\_\_\_\_. Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso: Ano base 2005. Classe Residencial – Relatório Brasil**. Rio de Janeiro: DPST/Eletróbras, Jul 2007a. 184p. (Relatório impresso)

\_\_\_\_\_. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso: Ano base 2005. Classe Residencial – Relatórios Regionais (5 volumes)**. Rio de Janeiro: DPST/Eletróbras, Set 2007b. (Relatórios – versão digital). Disponível em: <<http://www.eletróbras.com/pci/main.asp?View=%7B5A08CAF0%2D06D1%2D4FFE%2DB335%2D95D83F8DFB98%7D&Team=&params=itemID=%7BE6AA7196%2DE64E%2D4FC0%2D9567%2D994B77FB24DE%7D%3B&UIPartUID=%7B05734935%2D6950%2D4E3F%2DA182%2D629352E9EB18%7D>>. Acesso em: 12 Dez 2007.

\_\_\_\_\_. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **2006: Avaliação dos Resultados do Procel**. Rio de Janeiro: DPST/Eletróbras, Nov 2007c. 154p. (Relatório do Procel Avaliação – versão digital). Disponível em: <<http://www.eletróbras.com/pci/main.asp?TeamID={28E0A622-909E-4AF1-BF96-B90EA35B5D3E}>>. Acesso em 12 Dez 2007.

FERRAZ, E.P. Rompimento de antigas tendências poupa energia ao valorizar clima tropical. **Revista eletrônica Comciência**. Campinas, n.61, Dez 2004. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/04.shtml>>. Acesso em 21 Abr 2007.

FRÓES, L.L. et al. Perspectivas e Panorama da Iluminação Pública no Brasil. In: XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. 16 a 21 Out. de 2005, Curitiba. **Trabalhos apresentados: XVIII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**. Curitiba: SNPTEE, 2005, 7p. Grupo XIV (GCE)

- FRÓES DA SILVA, L.L. **Iluminação Pública no Brasil: Aspectos Energéticos e Institucionais**. Mar 2006, 172f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- GELLER, H.S. **Revolução energética: Políticas para um futuro sustentável**. 1º edição. Tradução: Maria Vidal Barbosa. Rio de Janeiro: Editora Relume Dumará: USAid, 2003. 299p.
- GELLER, H.; JANNUZZI, G.M.; SCHAEFFER, R.; TOLMASQUIM, M. The efficient use of electricity in Brazil: progress and opportunities. **Energy Policy**, v.26, n.11, p.859-872, 1998.
- GELLER, H.; SCHAEFFER, R.; SZKLOB, A.; TOLMASQUIM, M. Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. **Energy Policy**, n.32, p.1437–1450, 2004.
- GELLER, H. et al. Policies for increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries. **Energy Policy**, n.34, p.556–573, 2006.
- GHISI, E.; GOSCH, S., LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, n.35, p.4107–4120, 2007.
- GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L.D. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. 3º edição. São Paulo: EDUSP, 2003. 225p.
- GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J.R. Política energética no Brasil. **Estudos Avançados**. São Paulo, v.19, n.55, 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142005000300015&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142005000300015&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 30 Ago 2007. doi: 10.1590/S0103-40142005000300015
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**. São Paulo, v.21, n.59, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142007000100003&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100003&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 30 Ago 2007. doi: 10.1590/S0103-40142007000100003
- GOURLART, S.; LAMBERTS, R.; FIIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras**. 2º edição. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998. 345p.
- GUARNIERI, R.A.; MARTINS, F.R.; SILVA, S.A.B.; PEREIRA, E.B. Avaliação de estimativas de radiação solar incidente baseadas em extrapolação e interpolação na região sudeste do Brasil. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Florianópolis. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Rio de Janeiro: SBMET, 2006.
- HADDAD, J. A lei de eficiência energética e o estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética para equipamentos no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**. Itajubá, v.11, n.1, p.07-20, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2000**. Resultados do Universo – Agregados por Estados. Brasília, 2000. (Banco de dados eletrônicos) Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo/>>. Acesso em 10 Fev 2007.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2005**. Síntese dos indicadores – Resultados. Brasília, 2005. (Banco de dados eletrônicos) Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2005/>>. Acesso em 10 Fev 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normas Climatológicas (1961-1990)**. Brasília: INMET. 1992. 84p.

\_\_\_\_\_. **Manual de Observações Meteorológicas**. 3º edição. Brasília: INMET. 1999. (Diome DO.09.022, 09/08/1999 – RV00).

\_\_\_\_\_. **Mapas das Normais Climatológicas do Brasil: Precipitação e Insolação Solar** (mensal). Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima/mapas/>>. Acesso em: 09 Jan 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Revista Climanálise: Edição especial comemorativa de 10 anos**. São José dos Campos: INPE. 1996. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista/>>. Acesso em: 12 Dez 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2007: Fourth Assessment Report (AR4)**. United Nations Environment Programme. 3 volumes. 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 13 Jun 2007.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **World Energy Outlook 2006**. Sumário e conclusões (em português). 2006. Disponível em: <<http://www.worldenergyoutlook.org/2006.asp>>. Acesso em: 29 Set 2007.

JANNUZZI, G.M. **O horário de Verão: suas origens e seu propósito**. Campinas: Unicamp, 1997. 2p. (Texto técnico-científico). Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/services.html>>. Acesso em: 21 Abr 2007.

\_\_\_\_\_. A conservação e uso eficiente de energia no Brasil. **Revista Eletrônica Comciência**. Campinas, n.61, Dez 2004. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/06.shtml>>. Acesso em: 21 Abr 2007.

\_\_\_\_\_. Power sector reforms in Brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities. **Energy Policy**, n.33, p.1753–1762, 2005.

JANNUZZI, G.M.; SANTOS, V.F. Cost and benefits of a utility rebate program to promote compact fluorescent lamps in Brazilian households. **The Journal of the International Energy Initiative**, v.2, n.6, p.53-56, 1996.

- JANNUZZI, G.M.; SANTOS, V.F.; BITTENCOURT, M.F.L.; LEONELLI, P.A. Avaliação de programas residenciais de iluminação eficiente no Brasil. **Eletricidade Moderna**, ano XXV, n.281, p.112-118, Ago 1997.
- JANNUZZI, G.M.; PAGAN, C.J.B. **O problema com as lâmpadas incandescentes**. Campinas: Unicamp, 1998. 3p. (Texto técnico-científico). Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/services.html>>. Acesso em: 21 Abr 2007.
- JANNUZZI, G.M.; DANELLA, M.A.; SILVA, S.A.S. **Metodologia para avaliação da aplicação de recursos dos programas de eficiência energética**. In: Energy Discussion Paper, n.2.60-01/04, 2004. (série). Disponível em: <<http://www.iei-la.org/reports.asp?File=EDP2-60-01-04.asp>>. Acesso em: 20 Mai 2007.
- JEAN-BAPTISTE, P.; DUCROUX, R. Energy policy and climate change. **Energy Policy**, n.31, p.155–166, 2003.
- KAZAKEVICIUS, E.; GADGIL, A.; VORSATZ, D. Residential lighting in Lithuania. **Energy Policy**, n.27, p.603-611, 1999.
- KRARTI, M.; ERICKSON, P.M.; HILLMAN, T.C. A simplified method to estimate energy savings of artificial lighting use from daylighting. **Building and Environment**, n.40, p.747–754, 2005.
- LAM, J.C. Climatic and economic influences on residential electricity consumption. **Energy, Conversion and Management**. v.39, n.7, p.623-629, 1998.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 1º edição. São Paulo: PW Editores, 1992. 192p.
- LEAL, S.S.; TIBA, C. Iluminância e irradiação solar global na região nordeste do Brasil. In 6º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural. 6-8 Jun 2006. Campinas. **Anais do 6º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural**. Campinas: NIPE/Unicamp, 2006.
- LEONELLI, P.; MONTEIRO, R.; POLLIS, H.; GELLER, H. Evolução do mercado para produtos eficientes de iluminação. **Eletricidade Moderna**, ano XXV, n.281, p.60-76, Ago 1997.
- LI, D.H.W.; LAM, J.C. Measurements of solar radiation and illuminance on vertical surfaces and daylighting implications. **Renewable Energy**, n.20, p.389-404, 2000.
- LI, D.H.W.; CHEUNG, G.H.W.; LAU, C.C.S. A simplified procedure for determining indoor daylight illuminance using daylight coefficient concept. **Building and Environment**, n.41, p.578–589, 2006.
- LOPES, S.B. **Eficiência energética em sistemas de iluminação pública**. 2002, 218f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2002/teses02.htm>>. Acesso em: 21 Jul 2007.

- MAHLIA, T.M.I.; SAID, M.F.M.; MASJUKI, H.H.; TAMJIS, M.R. Cost-benefit analysis and emission reduction of lighting retrofits in residential sector. **Energy and Buildings**, n.37, p. 573–578, 2005.
- MANICCIA, D. Sensores de presença: eles apagam as luzes para você. **Eletricidade Moderna**, ano XXV, n.281, p.78-86, Ago 1997.
- MARTINS, F.R.; PEREIRA, E.B.; LONGO, K. Níveis de iluminância do céu no alvorecer e no ocaso. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2004, Fortaleza. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Rio de Janeiro: SBMET, 2004.
- MARTINS, F.R. et al. Base de dados climático-ambientais aplicados ao setor energético - Projeto SONDA. In XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 16-21 Abr 2005, Goiânia. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2005. p.3563-3570.
- \_\_\_\_\_. Mapeamento dos recursos de energia solar no Brasil utilizando modelo de transferência radiativa Brasil-SR. In: I Congresso Brasileiro de Energia Solar. 8-11 Abr 2007. Fortaleza. **Anais do I Congresso Brasileiro de Energia Solar**. Fortaleza: ABENS, 2007.
- MILANEZ, F.; MENDONÇA DE SOUZA, M.H.; MESQUITA, A. (Tradutores). **Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance**. Brasil, Rio de Janeiro: INEE, Out 2001. 76p. Disponível em <[http://www.inee.org.br/escos\\_mev.asp?Cat=escos](http://www.inee.org.br/escos_mev.asp?Cat=escos)>. Acesso em: 14 Jul 2007.
- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – MME. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Relatório – Balanço de Energia Útil 2005: Ano base 2004**. Brasília: MME, 2005. 71p. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/site/menu/select\\_main\\_menu\\_item.do?channelId=1432&pageId=4060](http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=4060)>. Acesso em: 10 Jul 2007.
- \_\_\_\_\_. Empresa de Pesquisa Energética. **Relatório final – Balanço Energético Nacional 2006: Ano base 2005**. Rio de Janeiro: EPE, 2006a. 188p. Disponível em: <[http://ben.epe.gov.br/BEN2006\\_default.aspx](http://ben.epe.gov.br/BEN2006_default.aspx)>. Acesso em: 12 Jul 2007.
- \_\_\_\_\_. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica: 2006-2015**. Sumário executivo. Brasília: MME/EPE, 2006b. 76p. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/site/menu/select\\_main\\_menu\\_item.do?channelId=8684](http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=8684)>. Acesso em: 10 Jul 2007.
- \_\_\_\_\_. Empresa de Pesquisa Energética. **Apresentação – Plano Nacional de Energia 2030: Eficiência Energética**. Rio de Janeiro: EPE, 2006c. 48p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Lists/Estudos/DispForm.aspx?ID=20&Source=http%3A%2F%2Fwww%2Eepe%2Egov%2Ebr%2FLists%2FEstudos%2FEstudos%2Easp>>. Acesso em: 13 Jul 2007.

- \_\_\_\_\_. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica: 2007-2016**. 11 capítulos. Rio de Janeiro: EPE, 2007. (Consulta pública). Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>>. Acesso em: 29 Set 2007.
- NILSSEN, P.A. Household energy use and the environment - a conflicting issue. **Applied Energy**, n.76, p.189-196, 2003.
- NOGUEIRA, L.A.H. Uso racional: a fonte energética oculta. **Estudos Avançados**. São Paulo, v.21, n.59, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142007000100008&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100008&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 30 Ago 2007. doi: 10.1590/S0103-40142007000100008
- NOGUEIRA, L.A.H. et al. **Avaliação dos resultados do programa Selo Procel de Economia de Energia em Iluminação**. Itajubá: FUPAI, 2007a. 63p. (Relatório Interno – DPST/Eletróbrás).
- \_\_\_\_\_. **Avaliação dos resultados do programa Selo Procel de Economia de Energia em Refrigeradores e Freezers**. Itajubá: FUPAI, 2007b. 141p. (Relatório Interno – DPST/Eletróbrás).
- OLIVEIRA, A.; SILVEIRA, G.B.; BRAGA, J.M. Diversidade sazonal do consumo de energia elétrica no Brasil. **Pesquisa e Planejamento Econômico**. Rio de Janeiro, v.30, n.2, p.211-258. Ago 2000. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/pub/ppe/ppe.html>>. Acesso em: 05 Jul 2007.
- PANÃO, M. J.N. O.; GONÇALVES, H.J.P.; FERRÃO, P.M.C. Optimization of the urban building efficiency potential for mid-latitude climates using a genetic algorithm approach. **Renewable Energy**. ARTIGO NO PRELO. 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09601481>>. Acesso em: 12 Ago 2007.
- PEREIRA, F.O.R.; SOUZA, M.B. **Apostila da disciplina: Conforto Ambiental – Iluminação**. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – UFSC. Florianópolis. 2000. 51p. Disponível em: <[http://www.labee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/Apostila\\_Iluminacao.pdf](http://www.labee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/Apostila_Iluminacao.pdf)>. Acesso em: 21 Jul 2007.
- PEREZ, R. et al. Modeling daylight availability and irradiance components from direct, and global irradiance. **Solar Energy**, v.44, n.5, p.271-289, 1990.
- POLLIS, H; CAMPOS, M.M.; LEONELLI, P.A.; TRAVESSA, A.C. A experiência brasileira em projetos de iluminação eficiente e desafios futuros das lições aprendidas à criação do Selo Procel Inmetro. In: XV Seminário de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Out 1999, Foz do Iguaçu. **Anais do XV Seminário de Produção e Transmissão de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, 1999.

QUADROS, R.A.P. Apuração do consumo de energia elétrica da iluminação pública. In: 2º Seminário do Programa Reluz/ Procel. Mai 2006, Rio de Janeiro. **Apresentações do 2º Seminário do Programa Procel/ ReLuz**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2006a. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?ViewID=%7B8ECB0E0C%2DC71D%2D42EB%2D992D%2D67B0BA0ECD4A%7D&params=itemID=%7B98FE1C11%2D0324%2D43D9%2D9585%2DEBEF9C3CD412%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB%2D05D4%2D4644%2DA8F2%2DFAD4803C8898%7D>>. Acesso em: 21 Jul 2007.

\_\_\_\_\_. **Apuração do Consumo de Energia Elétrica da Iluminação Pública: Estimativa ou Medição? Estudo de Caso – Light**. 1º edição. Rio de Janeiro: IBMEC BUSINESS SCHOOL, Dez 2006b. 43p. (Trabalho final de conclusão do Curso de MBA Executivo em Gestão de Negócios)

\_\_\_\_\_. **Dados do ReLuz e iluminação pública**. (mensagem pessoal). Mensagem eletrônica recebida por <acaruzzo@unifei.edu.br> em 19 Out 2007.

RESENDE, J.W.; SAMESIMA, M.I.; PEREIRA, G.M.V. Substituição de lâmpada incandescente por fluorescente compacta. **Eletricidade Moderna**, ano XXXIV, n.381, p.90-97, Dez 2005.

RODITI, I. **Dicionário Houaiss de física**. 1º edição. Rio de Janeiro: Objetiva, 2005. 248p. (ISBN 85-7302-694-4)

RORIZ, M.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. A first step towards the Brazilian standardisation on thermal performance of buildings. In: COTEDI, 2000, Venezuela. **Proceedings of COTEDI**, 2000. p.297–302.

ROSENQUIST, G. et al. Energy efficiency standards for equipment: Additional opportunities in the residential and commercial sectors. **Energy Policy**, n.34, p.3257–3267, 2006.

SACHS, I. Da civilização do petróleo a uma nova civilização verde. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.19, n.55, 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142005000300014&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142005000300014&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 30 Ago 2007. doi: 10.1590/S0103-40142005000300014

\_\_\_\_\_. A revolução energética do século XXI. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.21, n.59, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142007000100004&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100004&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 30 Ago 2007. doi: 10.1590/S0103-40142007000100004

SAIDEL, M.A.; ALVES, S.S. Energy efficiency policies in the OECD countries. **Applied Energy**, n.76, p.123–134, 2003.

SAILOR, D.J. Relating residential and commercial sector electricity loads to climate – evaluating state level sensitivities and vulnerabilities. **Energy**, n.26, p.645–657, 2001.

- SAMPAIO, H.C.; ASTORGA, O.A.M.; SILVEIRA, J.L. Estudo para substituição de lâmpadas em uma indústria de laticínios. **Eletricidade Moderna**, ano XXX, n.337, p.102-114, Abr 2002.
- SAUER, I.L. (Org.). **Estudo de usos finais de energia elétrica e de avaliação do sistema elétrico de Boa Vista – RR**. São Paulo: IEE/USP: Procel/Eletróbrás: Eletronorte, 1999. 146p. (Relatório final da pesquisa). Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/1999/mono99.htm>>. Acesso em: 03 Nov 2007.
- SAUER, I.L.; VIEIRA, J.P.; KIRCHNER, C.A.R. **O racionamento de energia elétrica decretado em 2001: um estudo sobre as causas e as responsabilidades**. São Paulo: IEE/USP, 2001. 61p. (Monografia apresentada ao Ministério Público Federal). Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2001/mono2001.htm>>. Acesso em: 03 Nov 2007.
- SILVA, J.F. **El Nino: O fenômeno climático do século**. 1º edição. Brasília: Editora Thesaurus, 2000. 139p.
- STEFANO, J. Energy efficiency and the environment: the potential for energy efficient lighting to save energy and reduce carbon dioxide emissions at Melbourne University, Austrália. **Energy**, n.25, p.823–839, 2000.
- STERN, N. **Stern Review: The Economics of Climate Change**. United Kingdom: HM Treasury, 2006. (versão eletrônica com 6 partes e anexos). Disponível em: <[http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/stern\\_review\\_report.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm)>. Acesso em: 12 Set 2007.
- TIBA, C. et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de dados terrestres**. 2º edição. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111p. (Versão impressa)
- TIBA, C. (coordenador). **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Recife: UFPE, Nov 2003. CD-ROM. (ISBN 85-7315-188-9).
- TIBA, C.; FRAIDENRAICH, N.; GROSSI, G.H.; LYRA, F.J.M. CD ROM Atlas Solarimétrico do Brazil. **Renewable Energy**, v.29, n.6, p.991-1001, 2004.
- TIBI, N.; RAMAHI, A. The effect of efficient lighting on the environment: pilot project in Palestine. **Clean Technologies and Environmental Policy**, n.7, p.213–218, 2005.
- UNIVERSO ON-LINE – UOL. **Atlas Geográfico do Brasil: Densidade Demográfica**. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2008. Disponível em: <<http://www.uol.com.br/atlas/>>. Acesso em: 16 Fev 2008.
- VAREJÃO-SILVA M.A. **Meteorologia e Climatologia**. 2º edição. Recife: INMET, 2005. 522p. (Versão digital). Disponível em: <[http://www.agritempo.gov.br/modules.php?name=Downloads&d\\_op=viewdownload&cid=19](http://www.agritempo.gov.br/modules.php?name=Downloads&d_op=viewdownload&cid=19)>. Acesso em: 14 Ago 2007.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. 1º edição. Viçosa: UFV, 1991. 449p.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE – WWF (BRASIL). **Agenda elétrica sustentável 2020: estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo**. 2º edição. Brasília: WWF, 2007. 80p. (Série técnica: v.12). Disponível em:

<[http://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/meio\\_ambiente\\_brasil/clima/mudancas\\_climaticas\\_resultados/asust/index.cfm](http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/meio_ambiente_brasil/clima/mudancas_climaticas_resultados/asust/index.cfm)>. Acesso em: 12 Maio 2007.

ZWAAN, B.; GERLAGH, R. Climate sensitivity uncertainty and the necessity to transform global energy supply. **Energy**, n.31, p.2571–2587, 2006.

## **BIBLIOGRAFIA SUGERIDA**

BICALHO, R.G. (Org.). **Ensaio Sobre Política Energética: Coletânea de artigos do boletim Infopetro**. 1º edição. Rio de Janeiro: Interciência: IBP, 2007. 300p.

GOLDEMBERG, J. Pesquisa e desenvolvimento na área de energia. **São Paulo em Perspectiva**. São Paulo, v.14, n.3, 2000. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-88392000000300014&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-88392000000300014&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 30 Ago 2007. doi: 10.1590/S0102-88392000000300014

HADDAD, J; AGUIAR, S.C. (Org.). **Eficiência energética: Integrando usos e reduzindo desperdícios**. 1º edição. Brasília: Aneel: ANP, 1999. 432p.

LEMES, M.A.M.; MOURA, A.D. **Fundamentos de Dinâmica Aplicados à Meteorologia e Oceanografia**. 1º edição. São José dos Campos: Univap/INPE, 1998. 484p.

MARQUES, M.C.S.; HADDAD, J.; GUARDIA, E.C. (Org.). **Eficiência energética: Teoria e prática**. 1º edição. Itajubá/MG: FUPAI, 2007. 224p.

MARQUES, M.C.S.; HADDAD, J.; MARTINS, A.R.S. (Org.). **Conservação de energia: Eficiência energética de equipamentos e instalações**. 3º edição. Itajubá/MG: FUPAI, 2006. 597p.

OLIVEIRA, L.L.; VIANELLO, R.L.; FERREIRA, N.J. **Meteorologia fundamental**. 1º edição. Erechim/RS: EdiFAPES, 2001. 432p.

# **ANEXOS**

## ANEXO A – Relação das mesorregiões e domicílios eletrificados estimados em 2005

N.	Mesorregião Geográfica	UF	Domicílios 2000 (unid.)	% cresc. resid. 2000-2005	Domicílios 2005	% iluminação elétrica	Num. domicílios c/ eletricidade
1	Vale do Acre	AC	98.313	25,6%	123.513	85,6%	105.727
2	Vale do Juruá	AC	31.126	25,6%	39.104	85,6%	33.473
3	Agreste Alagoano	AL	133.711	17,1%	156.519	96,3%	150.727
4	Leste Alagoano	AL	424.887	17,1%	497.362	96,3%	478.959
5	Sertão Alagoano	AL	90.767	17,1%	106.250	96,3%	102.318
6	Centro Amazonense	AM	461.935	44,4%	667.141	92,5%	617.106
7	Norte Amazonense	AM	17.285	44,4%	24.964	92,5%	23.091
8	Sudoeste Amazonense	AM	49.566	44,4%	71.585	92,5%	66.216
9	Sul Amazonense	AM	42.152	44,4%	60.877	92,5%	56.311
10	Norte do Amapá	AP	6.905	37,1%	9.464	98,3%	9.303
11	Sul do Amapá	AP	91.671	37,1%	125.643	98,3%	123.507
12	Centro Norte Baiano	BA	502.812	16,3%	584.880	91,2%	533.410
13	Centro Sul Baiano	BA	571.717	16,3%	665.031	91,2%	606.508
14	Extremo Oeste Baiano	BA	112.880	16,3%	131.304	91,2%	119.749
15	Metropolitana de Salvador	BA	964.182	16,3%	1.121.553	91,2%	1.022.856
16	Nordeste Baiano	BA	345.082	16,3%	401.405	91,2%	366.082
17	Sul Baiano	BA	477.736	16,3%	555.711	91,2%	506.808
18	Vale São-Franciscano da Bahia	BA	195.994	16,3%	227.984	91,2%	207.921
19	Centro-Sul Cearense	CE	87.988	21,4%	106.783	95,6%	102.084
20	Jaguaribe	CE	117.222	21,4%	142.261	95,6%	136.002
21	Metropolitana de Fortaleza	CE	710.542	21,4%	862.319	95,6%	824.377
22	Noroeste Cearense	CE	264.390	21,4%	320.866	95,6%	306.747
23	Norte Cearense	CE	198.227	21,4%	240.570	95,6%	229.985
24	Sertões Cearenses	CE	197.114	21,4%	239.219	95,6%	228.693
25	Sul Cearense	CE	182.405	21,4%	221.368	95,6%	211.628
26	Distrito Federal	DF	547.656	23,4%	675.709	99,8%	674.358
27	Central Espírito-santense	ES	473.913	19,7%	567.334	99,6%	565.065
28	Litoral Norte Espírito-santense	ES	118.120	19,7%	141.405	99,6%	140.839
29	Noroeste Espírito-santense	ES	104.566	19,7%	125.179	99,6%	124.678
30	Sul Espírito-santense	ES	144.497	19,7%	172.981	99,6%	172.289
31	Centro Goiano	GO	719.955	21,5%	874.495	99,0%	865.750
32	Leste Goiano	GO	229.402	21,5%	278.644	99,0%	275.857
33	Noroeste Goiano	GO	62.386	21,5%	75.777	99,0%	75.020
34	Norte Goiano	GO	76.063	21,5%	92.390	99,0%	91.466
35	Sul Goiano	GO	310.209	21,5%	376.796	99,0%	373.028
36	Centro Maranhense	MA	185.227	16,8%	216.261	84,0%	181.659
37	Leste Maranhense	MA	257.318	16,8%	300.431	84,0%	252.362
38	Norte Maranhense	MA	471.313	16,8%	550.280	84,0%	462.235
39	Oeste Maranhense	MA	266.392	16,8%	311.025	84,0%	261.261
40	Sul Maranhense	MA	55.246	16,8%	64.502	84,0%	54.182

N.	Mesorregião Geográfica	UF	Domicílios 2000 (unid.)	% cresc. resid. 2000-2005	Domicílios 2005	% iluminação elétrica	Num. domicílios c/ eletricidade
41	Campo das Vertentes	MG	137.615	18,1%	162.463	98,1%	159.376
42	Central Mineira	MG	104.455	18,1%	123.315	98,1%	120.972
43	Jequitinhonha	MG	157.799	18,1%	186.291	98,1%	182.752
44	Metropolitana de Belo Horizonte	MG	1.490.049	18,1%	1.759.093	98,1%	1.725.670
45	Noroeste de Minas	MG	86.808	18,1%	102.482	98,1%	100.535
46	Norte de Minas	MG	344.440	18,1%	406.632	98,1%	398.906
47	Oeste de Minas	MG	234.434	18,1%	276.764	98,1%	271.505
48	Sul/Sudoeste de Minas	MG	619.668	18,1%	731.556	98,1%	717.656
49	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	MG	538.780	18,1%	636.062	98,1%	623.977
50	Vale do Mucuri	MG	94.601	18,1%	111.682	98,1%	109.560
51	Vale do Rio Doce	MG	399.666	18,1%	471.830	98,1%	462.865
52	Zona da Mata	MG	556.943	18,1%	657.505	98,1%	645.012
53	Centro Norte de Mato Grosso do Sul	MS	231.075	20,8%	279.151	99,5%	277.755
54	Leste de Mato Grosso do Sul	MS	89.347	20,8%	107.936	99,5%	107.396
55	Pantaneais Sul Mato-grossense	MS	54.232	20,8%	65.515	99,5%	65.188
56	Sudoeste de Mato Grosso do Sul	MS	188.248	20,8%	227.414	99,5%	226.277
57	Centro-Sul Mato-grossense	MT	239.599	22,6%	293.674	94,3%	276.934
58	Nordeste Mato-grossense	MT	58.442	22,6%	71.632	94,3%	67.549
59	Norte Mato-grossense	MT	178.499	22,6%	218.784	94,3%	206.313
60	Sudeste Mato-grossense	MT	97.387	22,6%	119.366	94,3%	112.562
61	Sudoeste Mato-grossense	MT	71.978	22,6%	88.223	94,3%	83.194
62	Baixo Amazonas	PA	124.716	30,1%	162.296	89,9%	145.904
63	Marajó	PA	66.630	30,1%	86.707	89,9%	77.950
64	Metropolitana de Belém	PA	479.537	30,1%	624.033	89,9%	561.006
65	Nordeste Paraense	PA	285.971	30,1%	372.141	89,9%	334.555
66	Sudeste Paraense	PA	266.100	30,1%	346.283	89,9%	311.308
67	Sudoeste Paraense	PA	86.079	30,1%	112.017	89,9%	100.703
68	Agreste Paraibano	PB	285.152	10,6%	315.259	98,0%	308.954
69	Borborema	PB	70.755	10,6%	78.225	98,0%	76.661
70	Mata Paraibana	PB	296.562	10,6%	327.874	98,0%	321.316
71	Sertão Paraibano	PB	196.909	10,6%	217.699	98,0%	213.345
72	Agreste Pernambucano	PE	505.964	14,4%	578.867	98,0%	567.289
73	Mata Pernambucana	PE	281.801	14,4%	322.405	98,0%	315.957
74	Metropolitana de Recife	PE	860.124	14,4%	984.056	98,0%	964.375
75	São Francisco Pernambucano	PE	104.107	14,4%	119.107	98,0%	116.725
76	Sertão Pernambucano	PE	216.765	14,4%	247.998	98,0%	243.038
77	Centro-Norte Piauiense	PI	311.058	17,4%	365.106	88,2%	322.024
78	Norte Piauiense	PI	128.160	17,4%	150.429	88,2%	132.678
79	Sudeste Piauiense	PI	114.473	17,4%	134.363	88,2%	118.508
80	Sudoeste Piauiense	PI	107.675	17,4%	126.384	88,2%	111.471
81	Centro Ocidental Paranaense	PR	96.822	16,8%	113.085	98,8%	111.728
82	Centro Oriental Paranaense	PR	170.627	16,8%	199.286	98,8%	196.895
83	Centro-Sul Paranaense	PR	134.556	16,8%	157.157	98,8%	155.271
84	Metropolitana de Curitiba	PR	864.853	16,8%	1.010.117	98,8%	997.996
85	Noroeste Paranaense	PR	182.354	16,8%	212.983	98,8%	210.427

N.	Mesorregião Geográfica	UF	Domicílios 2000 (unid.)	% cresc. resid. 2000-2005	Domicílios 2005	% iluminação elétrica	Num. domicílios c/ eletricidade
86	Norte Central Paranaense	PR	519.428	16,8%	606.673	98,8%	599.393
87	Norte Pioneiro Paranaense	PR	154.347	16,8%	180.272	98,8%	178.109
88	Oeste Paranaense	PR	313.154	16,8%	365.753	98,8%	361.364
89	Sudeste Paranaense	PR	98.904	16,8%	115.516	98,8%	114.130
90	Sudoeste Paranaense	PR	129.231	16,8%	150.937	98,8%	149.126
91	Baixadas	RJ	132.543	16,2%	154.060	99,9%	153.906
92	Centro Fluminense	RJ	131.409	16,2%	152.742	99,9%	152.590
93	Metropolitana do Rio de Janeiro	RJ	3.443.914	16,2%	4.003.010	99,9%	3.999.007
94	Noroeste Fluminense	RJ	86.107	16,2%	100.086	99,9%	99.986
95	Norte Fluminense	RJ	196.117	16,2%	227.955	99,9%	227.727
96	Sul Fluminense	RJ	263.673	16,2%	306.479	99,9%	306.172
97	Agreste Potiguar	RN	91.444	19,5%	109.235	97,5%	106.504
98	Central Potiguar	RN	89.093	19,5%	106.426	97,5%	103.766
99	Leste Potiguar	RN	310.564	19,5%	370.986	97,5%	361.711
100	Oeste Potiguar	RN	180.892	19,5%	216.085	97,5%	210.683
101	Leste Rondoniense	RO	230.946	24,1%	286.524	93,6%	268.186
102	Madeira-Guaporé	RO	116.248	24,1%	144.223	93,6%	134.993
103	Norte de Roraima	RR	60.862	30,9%	79.675	94,4%	75.214
104	Sul de Roraima	RR	13.589	30,9%	17.790	94,4%	16.793
105	Noroeste Rio-grandense	RS	568.727	13,9%	647.717	98,9%	640.592
106	Nordeste Rio-grandense	RS	272.169	13,9%	309.970	98,9%	306.561
107	Centro Ocidental Rio-grandense	RS	156.058	13,9%	177.733	98,9%	175.778
108	Centro Oriental Rio-grandense	RS	220.978	13,9%	251.669	98,9%	248.901
109	Metropolitana de Porto Alegre	RS	1.336.301	13,9%	1.521.898	98,9%	1.505.157
110	Sudoeste Rio-grandense	RS	214.992	13,9%	244.852	98,9%	242.159
111	Sudeste Rio-grandense	RS	272.814	13,9%	310.705	98,9%	307.287
112	Grande Florianópolis	SC	232.548	20,2%	279.595	99,8%	279.035
113	Norte Catarinense	SC	282.101	20,2%	339.173	99,8%	338.494
114	Oeste Catarinense	SC	303.888	20,2%	365.367	99,8%	364.637
115	Serrana	SC	108.576	20,2%	130.542	99,8%	130.281
116	Sul Catarinense	SC	232.660	20,2%	279.729	99,8%	279.170
117	Vale do Itajaí	SC	338.969	20,2%	407.545	99,8%	406.730
118	Agreste Sergipano	SE	102.086	26,3%	128.944	96,8%	124.818
119	Leste Sergipano	SE	287.771	26,3%	363.482	96,8%	351.850
120	Sertão Sergipano	SE	46.878	26,3%	59.211	96,8%	57.317
121	Araçatuba	SP	183.720	17,7%	216.200	99,8%	215.767
122	Araraquara	SP	204.197	17,7%	240.297	99,8%	239.816
123	Assis	SP	148.378	17,7%	174.610	99,8%	174.260
124	Bauru	SP	368.953	17,7%	434.180	99,8%	433.312
125	Campinas	SP	919.100	17,7%	1.081.587	99,8%	1.079.424
126	Itapetininga	SP	200.473	17,7%	235.915	99,8%	235.443
127	Litoral Sul Paulista	SP	112.905	17,7%	132.865	99,8%	132.600
128	Macro Metropolitana Paulista	SP	611.162	17,7%	719.209	99,8%	717.771
129	Marília	SP	118.225	17,7%	139.126	99,8%	138.848
130	Metropolitana de São Paulo	SP	5.375.122	17,7%	6.325.389	99,8%	6.312.738
131	Piracicaba	SP	338.794	17,7%	398.689	99,8%	397.892

N.	Mesorregião Geográfica	UF	Domicílios 2000 (unid.)	% cresc. resid. 2000-2005	Domicílios 2005	% iluminação elétrica	Num. domicílios c/ eletricidade
132	Presidente Prudente	SP	231.422	17,7%	272.335	99,8%	271.790
133	Ribeirão Preto	SP	591.693	17,7%	696.298	99,8%	694.906
134	São José do Rio Preto	SP	425.283	17,7%	500.469	99,8%	499.468
135	Vale do Paraíba Paulista	SP	534.725	17,7%	629.259	99,8%	628.000
136	Ocidental do Tocantins	TO	186.592	26,8%	236.669	85,0%	201.169
137	Oriental do Tocantins	TO	93.689	26,8%	118.833	85,0%	101.008
<b>VALORES TOTAIS</b>			<b>44.795.101</b>	<b>18,4%</b>	<b>53.052.621</b>	<b>97,2%</b>	<b>51.550.019</b>

## ANEXO B – Relação das estações climatológicas representativas por mesorregião

N.	Mesorregião Geográfica	UF	Estação representativa	N. Sinótico (OMM)	Latitude (décimos de graus)	Período série (19XX)
1	Vale do Acre	AC	Rio Branco	82915	-9,58	69/90
2	Vale do Juruá	AC	Tarauacá	82807	-8,10	69/90
3	Agreste Alagoano	AL	Palmeira dos Índios	82992	-9,27	75/90
4	Leste Alagoano	AL	Maceió	82994	-9,40	61/90
5	Sertão Alagoano	AL	Paulo Afonso/BA (*)	82986	-9,24	61/90
6	Centro Amazonense	AM	Manaus	82331	-3,08	61/90
7	Norte Amazonense	AM	Barcelos	82113	-0,59	64/90
8	Sudoeste Amazonense	AM	Tefé(*)	82317	-3,22	69/90
9	Sul Amazonense	AM	Porto Velho/RO (*)	82825	-8,46	75/90
10	Norte do Amapá	AP	Macapá(*)	82098	-0,02	68/90
11	Sul do Amapá	AP	Macapá	82098	-0,02	68/90
12	Centro Norte Baiano	BA	Jacobina	83186	-11,11	61/90
13	Centro Sul Baiano	BA	Ituaçu	83292	-13,49	61/90
14	Extremo Oeste Baiano	BA	Barreiras	83236	-12,09	61/90
15	Metropolitana de Salvador	BA	Salvador	83229	-13,01	61/90
16	Nordeste Baiano	BA	Serrinha	83190	-11,38	61/90
17	Sul Baiano	BA	Canavieiras	83398	-15,40	61/90
18	Vale São-Franciscano da Bahia	BA	Barra	83179	-11,05	61/90
19	Centro-Sul Cearense	CE	Iguatu	82686	-6,22	61/90
20	Jaguaribe	CE	Morada Nova	82588	-6,05	61/90
21	Metropolitana de Fortaleza	CE	Fortaleza	82397	-3,46	61/90
22	Noroeste Cearense	CE	Sobral	82392	-3,42	61/90
23	Norte Cearense	CE	Guaramiranga	82487	-4,17	61/90
24	Sertões Cearenses	CE	Crateús	82583	-5,10	61/90
25	Sul Cearense	CE	Campos Sales	82777	-7,00	61/90
26	Distrito Federal	DF	Brasília	83377	-15,47	63/90
27	Central Espírito-santense	ES	Linhares(*)	83597	-19,24	70/90
28	Litoral Norte Espírito-santense	ES	Linhares	83597	-19,24	70/90
29	Noroeste Espírito-santense	ES	Aimorés/MG(*)	83595	-19,29	73/90
30	Sul Espírito-santense	ES	Cachoeiro de Itapemirim	83646	-20,51	61/90
31	Centro Goiano	GO	Goiânia	83423	-16,40	61/90
32	Leste Goiano	GO	Formosa	83379	-15,32	61/90
33	Noroeste Goiano	GO	Goiás	83374	-15,55	61/90
34	Norte Goiano	GO	Paraná/TO (*)	83231	-12,33	66/90
35	Sul Goiano	GO	Catalão	83526	-18,11	61/90
36	Centro Maranhense	MA	Barra do Corda	82571	-5,30	71/90
37	Leste Maranhense	MA	Caxias	82476	-4,52	66/90
38	Norte Maranhense	MA	São Luiz	82280	-2,32	71/90
39	Oeste Maranhense	MA	Imperatriz	82564	-5,32	76/90
40	Sul Maranhense	MA	Carolina	82765	-7,20	76/90

N.	Mesorregião Geográfica	UF	Estação representativa	N. Sinótico (OMM)	Latitude (décimos de graus)	Período série (19XX)
41	Campo das Vertentes	MG	Barbacena	83689	-21,15	61/90
42	Central Mineira	MG	Pompéu	83570	-19,13	73/90
43	Jequitinhonha	MG	Itamarandiba	83488	-17,51	63/90
44	Metropolitana de Belo Horizonte	MG	Belo Horizonte	83587	-19,56	61/90
45	Noroeste de Minas	MG	João Pinheiro	83481	-17,42	61/90
46	Norte de Minas	MG	Montes Claros	83437	-16,43	69/90
47	Oeste de Minas	MG	BambuÍ	83582	-20,00	72/90
48	Sul/Sudoeste de Minas	MG	São Lourenço	83736	-22,06	61/90
49	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	MG	Uberaba	83577	-19,45	61/90
50	Vale do Mucuri	MG	Teófilo Otoni	83492	-17,51	70/90
51	Vale do Rio Doce	MG	Governador Valadares	83543	-18,51	67/90
52	Zona da Mata	MG	Viçosa	83642	-20,45	61/90
53	Centro Norte de Mato Grosso do Sul	MS	Campo Grande	83611	-20,27	61/90
54	Leste de Mato Grosso do Sul	MS	Três Lagoas	83618	-20,47	61/90
55	Pantaneis Sul Mato-grossense	MS	Corumbá	83552	-19,05	75/90
56	Sudoeste de Mato Grosso do Sul	MS	Ponta Porã	83702	-22,32	61/90
57	Centro-Sul Mato-grossense	MT	Cuiabá	83361	-15,33	61/90
58	Nordeste Mato-grossense	MT	Aragarças/GO(*)	83368	-15,54	68/70
59	Norte Mato-grossense	MT	Diamantino	83309	-14,24	62/90
60	Sudeste Mato-grossense	MT	Coxim/MS(*)	83512	-18,30	73/90
61	Sudoeste Mato-grossense	MT	Cáceres(*)	83405	-16,03	71/90
62	Baixo Amazonas	PA	Porto de Moz	82184	-1,44	66/90
63	Marajó	PA	Breves	82188	-1,40	71/89
64	Metropolitana de Belém	PA	Belém	82191	-1,27	72/90
65	Nordeste Paraense	PA	Tracuateua	82145	-1,05	73/90
66	Sudeste Paraense	PA	Conceição Araguaia	82861	-8,15	66/90
67	Sudoeste Paraense	PA	Altamira	82353	-3,12	67/90
68	Agreste Paraibano	PB	Campina Grande	82795	-7,13	61/90
69	Borborema	PB	Monteiro	82792	-7,53	61/90
70	Mata Paraibana	PB	João Pessoa	82798	-7,06	61/90
71	Sertão Paraibano	PB	São Gonçalo	82689	-6,45	61/90
72	Agreste Pernambucano	PE	Garanhuns	82893	-8,53	64/89
73	Mata Pernambucana	PE	Surubim(*)	82797	-7,50	61/90
74	Metropolitana de Recife	PE	Recife	82900	-8,03	61/90
75	São Francisco Pernambucano	PE	Cabrobó	82886	-8,31	61/90
76	Sertão Pernambucano	PE	Triunfo	82789	-7,51	61/90
77	Centro-Norte Piauiense	PI	Teresina	82578	-5,05	61/90
78	Norte Piauiense	PI	Parnaíba	82287	-2,55	61/90
79	Sudeste Piauiense	PI	Picos	82780	-7,04	61/90
80	Sudoeste Piauiense	PI	Floriano	82678	-6,46	61/90
81	Centro Ocidental Paranaense	PR	Campo Mourão	83783	-24,03	67/90
82	Centro Oriental Paranaense	PR	Castro	83813	-24,47	61/89
83	Centro-Sul Paranaense	PR	Porto União/SC(*)	83864	-26,14	61/90
84	Metropolitana de Curitiba	PR	Curitiba	83842	-25,25	61/90
85	Noroeste Paranaense	PR	Maringá(*)	83767	-23,25	61/89

N.	Mesorregião Geográfica	UF	Estação representativa	N. Sinótico (OMM)	Latitude (décimos de graus)	Período série (19XX)
86	Norte Central Paranaense	PR	Londrina	83766	-23,23	61/90
87	Norte Pioneiro Paranaense	PR	Jacarezinho	83769	-23,09	61/90
88	Oeste Paranaense	PR	Guaíra	83775	-24,05	63/90
89	Sudeste Paranaense	PR	Porto União/SC(*)	83864	-26,14	61/90
90	Sudoeste Paranaense	PR	Foz do Iguaçu(*)	83826	-25,33	61/75
91	Baixadas	RJ	Rio de Janeiro(*)	83743	-22,55	73/90
92	Centro Fluminense	RJ	Nova Friburgo	83695	-22,17	61/90
93	Metropolitana do Rio de Janeiro	RJ	Rio de Janeiro	83743	-22,55	73/90
94	Noroeste Fluminense	RJ	Itaperuna	83695	-21,12	69/90
95	Norte Fluminense	RJ	Itaperuna(*)	83695	-21,12	69/90
96	Sul Fluminense	RJ	Angra dos Reis	83788	-23,01	61/90
97	Agreste Potiguar	RN	Ceará-Mirim(*)	82596	-5,39	61/90
98	Central Potiguar	RN	Florânia	82691	-6,07	61/90
99	Leste Potiguar	RN	Ceará-Mirim	82596	-5,39	61/90
100	Oeste Potiguar	RN	Apodi	82590	-5,39	61/90
101	Leste Rondoniense	RO	Diamantino/MT (*)	83309	-14,24	62/90
102	Madeira-Guaporé	RO	Porto Velho	82825	-8,46	75/90
103	Norte de Roraima	RR	Barcelos/AM(*)	82113	-0,59	64/90
104	Sul de Roraima	RR	Barcelos/AM(*)	82113	-0,59	64/90
105	Noroeste Rio-grandense	RS	Iraí	83881	-27,11	61/90
106	Nordeste Rio-grandense	RS	Bom Jesus	83919	-28,40	61/90
107	Centro Ocidental Rio-grandense	RS	Santa Maria	83936	-29,42	61/90
108	Centro Oriental Rio-grandense	RS	Santa Maria(*)	83936	-29,42	61/90
109	Metropolitana de Porto Alegre	RS	Porto Alegre	83967	-30,01	61/90
110	Sudoeste Rio-grandense	RS	Bagé	83980	-31,20	61/90
111	Sudeste Rio-grandense	RS	Santa Vitória do Palmar	83997	-33,31	61/90
112	Grande Florianópolis	SC	Florianópolis	83897	-27,35	61/90
113	Norte Catarinense	SC	Porto União	83864	-26,14	61/90
114	Oeste Catarinense	SC	Chapecó	83883	-27,07	73/90
115	Serrana	SC	São Joaquim	83920	-28,17	61/90
116	Sul Catarinense	SC	Torres/RS(*)	83948	-29,20	61/90
117	Vale do Itajaí	SC	Indaial	83872	-26,54	71/87
118	Agreste Sergipano	SE	Cipó/BA (*)	83192	-11,05	61/90
119	Leste Sergipano	SE	Aracajú	83096	-10,55	61/90
120	Sertão Sergipano	SE	Paulo Afonso/BA (*)	82986	-9,24	61/90
121	Araçatuba	SP	Catanduva(*)	83676	-21,08	61/90
122	Araraquara	SP	São Carlos	83726	-22,01	61/90
123	Assis	SP	Jacarezinho/PR(*)	83769	-23,09	61/90
124	Bauru	SP	São Carlos(*)	83726	-22,01	61/90
125	Campinas	SP	São Simão(*)	83669	-21,29	78/89
126	Itapetininga	SP	Itapeva	83774	-23,57	69/89
127	Litoral Sul Paulista	SP	Santos (*)	83782	-23,56	61/90
128	Macro Metropolitana Paulista	SP	Itapeva(*)	83774	-23,57	69/89
129	Marília	SP	São Carlos(*)	83726	-22,01	61/90
130	Metropolitana de São Paulo	SP	São Paulo	83781	-23,30	61/90
131	Piracicaba	SP	São Carlos(*)	83726	-22,01	61/90

N.	Mesorregião Geográfica	UF	Estação representativa	N. Sinótico (OMM)	Latitude (décimos de graus)	Período série (19XX)
132	Presidente Prudente	SP	Maringá/PR(*)	83767	-23,25	61/89
133	Ribeirão Preto	SP	Franca	83630	-20,33	61/90
134	São José do Rio Preto	SP	Catanduva	83676	-21,08	61/90
135	Vale do Paraíba Paulista	SP	Campos do Jordão	83714	-22,44	61/90
136	Ocidental do Tocantins	TO	Peixe	83228	-12,03	75/90
137	Oriental do Tocantins	TO	Porto Nacional	83064	-10,43	61/90

*Obs: (\*) = Estação Climatológica do INMET mais próxima geograficamente da respectiva Mesorregião.*

**ANEXO C – Características gerais das mesorregiões com valores de insolação solar (I) máximo, mínimo e intermediário.**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total ou média (ano)
<b>Sertão Paraibano</b>													
Radiação solar global diária (MJ/m2)	21,8	21,6	22,2	20,4	19,3	17,4	18,6	22,2	23,7	25,2	24,0	22,2	21,8
Precipitação mensal (mm)	120,0	183,7	248,6	178,2	72,5	48,8	23,3	21,6	14,1	20,3	23,0	49,2	1.003
Insolação mensal (horas)	263,3	218,3	222,7	216,1	253,9	245,8	268,4	297,6	264,5	243,3	287,6	276,4	3.057,9
Insolação diária (horas)	8,5	7,8	7,2	7,2	8,2	8,2	8,7	9,6	8,8	7,8	9,6	8,9	8,4
Duração dia (latitude)	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,6	11,7	11,8	12,0	12,2	12,3	12,4	12,0
Diferença (lat-insola)	3,8	4,4	4,9	4,7	3,5	3,4	3,0	2,2	3,2	4,3	2,7	3,5	3,6
TU diário - latitude	2,51	2,60	2,71	2,84	2,95	3,00	2,97	2,88	2,76	2,63	2,53	2,48	2,74
TU diário - clima	3,50	3,62	3,71	3,67	3,45	3,44	3,35	3,18	3,37	3,60	3,28	3,42	3,47
Eco. Real - Latit	392	406	424	444	460	468	465	451	431	412	395	388	428
Eco. Potencial - Latit	739	765	800	837	868	883	876	850	814	776	746	731	807
Eco. Real - Clima	547	565	580	574	539	537	523	497	527	562	512	535	542
Eco. Potencial - Clima	1.031	1.066	1.093	1.083	1.017	1.013	987	938	993	1.060	965	1.008	1.021
<b>Sul/Sudoeste de Minas</b>													
Radiação solar global diária (MJ/m2)	19,9	19,7	18,9	16,9	14,6	12,1	14,3	16,9	17,2	18,8	20,2	20,1	17,5
Precipitação mensal (mm)	278,1	231,5	169,8	71,0	57,4	34,5	24,7	32,3	75,0	131,3	185,1	278,2	1.569
Insolação mensal (horas)	221,2	174,7	213,8	199,8	200,2	183,8	218,3	227,9	197,0	182,1	189,2	260,1	2.468,1
Insolação diária (horas)	7,1	6,2	6,9	6,7	6,5	6,1	7,0	7,4	6,6	5,9	6,3	8,4	6,8
Duração dia (latitude)	13,2	12,7	12,1	11,5	10,9	10,7	10,8	11,3	11,9	12,5	13,1	13,3	12,0
Diferença (lat-insola)	6,0	6,5	5,2	4,8	4,5	4,5	3,8	3,9	5,3	6,7	6,8	4,9	5,2
TU diário - latitude	1,91	2,22	2,65	3,10	3,48	3,67	3,58	3,25	2,82	2,36	1,99	1,81	2,74
TU diário - clima	3,92	4,02	3,78	3,72	3,66	3,68	3,52	3,54	3,81	4,06	4,07	3,70	3,79
Eco. Real - Latit	196	228	272	319	358	377	368	334	289	243	204	186	281
Eco. Potencial - Latit	657	765	911	1.067	1.197	1.261	1.231	1.119	968	812	683	623	941
Eco. Real - Clima	403	413	389	382	376	378	361	363	391	417	418	380	389
Eco. Potencial - Clima	1.349	1.382	1.301	1.278	1.258	1.265	1.210	1.217	1.309	1.396	1.399	1.271	1.303
<b>Centro Oriental Paranaense</b>													
Radiação solar global diária (MJ/m2)	16,2	11,7	12,8	12,1	9,5	8,3	10,1	9,0	10,0	11,2	15,4	18,2	12,0
Precipitação mensal (mm)	192,8	156,2	141,8	110,7	124,6	127,2	89,8	84,1	126,4	145,6	115,8	158,4	1.573
Insolação mensal (horas)	110,6	95,9	108,9	98,8	98,2	99,7	111,7	91,1	76,0	106,1	114,9	98,1	1.210,0
Insolação diária (horas)	3,6	3,4	3,5	3,3	3,2	3,3	3,6	2,9	2,5	3,4	3,8	3,2	3,3
Duração dia (latitude)	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5	12,0
Diferença (lat-insola)	9,8	9,4	8,6	8,1	7,6	7,2	7,0	8,2	9,3	9,2	9,4	10,3	8,7
TU diário - latitude	1,81	2,16	2,64	3,15	3,57	3,78	3,68	3,32	2,82	2,32	1,89	1,70	2,74
TU diário - clima	4,66	4,60	4,46	4,38	4,29	4,21	4,18	4,41	4,61	4,56	4,59	4,77	4,48
Eco. Real - Latit	274	328	400	478	542	574	559	504	429	351	288	257	415
Eco. Potencial - Latit	500	598	730	872	989	1.047	1.020	918	782	641	524	469	758
Eco. Real - Clima	708	698	678	665	652	639	635	669	700	693	696	724	680
Eco. Potencial - Clima	1.291	1.273	1.235	1.212	1.189	1.166	1.157	1.220	1.277	1.263	1.270	1.321	1.239

**ANEXO D – Características gerais das mesorregiões com valores de insolação solar (I) padrão anual em U, U invertido e intermediário**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total/ média (ano)
<b>Distrito Federal</b>													
Radiação solar global diária (MJ/m2)	18,3	18,4	18,1	17,8	16,8	16,5	17,5	18,8	18,5	18,6	17,5	17,2	17,8
Precipitação mensal (mm)	241,4	214,7	188,9	123,8	39,3	8,8	11,8	12,8	51,9	172,1	238,0	248,6	1.552
Insolação mensal (horas)	157,4	157,5	180,9	201,1	234,3	253,4	265,3	262,9	203,2	168,2	142,5	138,1	2.365
Insolação diária (horas)	5,1	5,6	5,8	6,7	7,6	8,4	8,6	8,5	6,8	5,4	4,8	4,5	6,5
Duração dia (latitute)	12,8	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,2	11,5	11,9	12,4	12,7	12,9	12,0
Diferença (lat-insola)	7,7	6,9	6,3	4,9	3,7	2,7	2,6	3,0	5,2	6,9	8,0	8,4	5,5
TU diário - latitude	2,17	2,39	2,68	2,99	3,25	3,37	3,31	3,09	2,79	2,48	2,23	2,11	2,74
TU diário - clima DF	4,27	4,10	3,99	3,74	3,50	3,29	3,28	3,35	3,77	4,12	4,32	4,41	3,85
Eco. Real - Latit	291	320	359	400	435	452	444	414	374	332	298	282	367
Eco. Potencial - Latit	709	778	873	974	1.058	1.099	1.080	1.007	910	809	726	687	892
Eco. Real - Clima	572	550	534	500	469	441	440	449	505	552	579	591	515
Eco. Potencial - Clima	1.391	1.337	1.300	1.218	1.141	1.073	1.070	1.093	1.229	1.343	1.408	1.437	1.253
<b>Metropolitana de São Paulo</b>													
Radiação solar global diária (MJ/m2)	17,1	16,2	14,8	13,1	11,2	10,7	11,2	12,8	13,3	16,2	17,5	17,0	17,6
Precipitação mensal (mm)	238,7	217,4	159,8	75,8	73,6	55,7	44,1	38,9	80,5	123,6	145,8	200,9	1.455
Insolação mensal (horas)	148,6	144,5	144,6	140,0	152,4	145,2	164,4	156,5	125,8	135,6	144,7	130,4	1.733
Insolação diária (horas)	4,8	5,2	4,7	4,7	4,9	4,8	5,3	5,0	4,2	4,4	4,8	4,2	4,7
Duração dia (latitute)	13,3	12,8	12,1	11,4	10,9	10,6	10,7	11,2	11,9	12,6	13,1	13,4	12,0
Diferença (lat-insola)	8,5	7,6	7,5	6,8	6,0	5,8	5,4	6,2	7,7	8,2	8,3	9,2	7,3
TU diário - latitude	1,86	2,19	2,64	3,13	3,53	3,73	3,63	3,29	2,82	2,34	1,94	1,75	2,74
TU diário - clima SP	4,40	4,24	4,23	4,11	3,96	3,92	3,85	3,99	4,28	4,37	4,38	4,55	4,19
Eco. Real - Latit	191	225	271	321	362	383	373	338	290	240	199	180	281
Eco. Potencial - Latit	639	754	909	1.075	1.213	1.281	1.249	1.130	970	804	667	602	941
Eco. Real - Clima	452	436	435	422	406	403	396	410	440	448	449	467	430
Eco. Potencial - Clima	1.514	1.459	1.455	1.413	1.360	1.349	1.325	1.372	1.472	1.501	1.505	1.564	1.441
<b>Metropolitana de Porto Alegre</b>													
Radiação solar global diária (MJ/m2)	22,5	19,3	17,5	12,9	10,1	8,3	9,0	10,2	13,1	17,4	19,9	21,9	16,1
Precipitação mensal (mm)	100,1	108,6	104,4	86,1	94,6	132,7	121,7	140,0	139,5	114,3	104,2	101,2	1.347
Insolação mensal (horas)	239,0	208,1	200,7	180,3	166,1	136,0	148,6	151,1	151,2	201,9	216,6	245,2	2.245
Insolação diária (horas)	7,7	7,4	6,5	6,0	5,4	4,5	4,8	4,9	5,0	6,5	7,2	7,9	6,2
Duração dia (latitute)	13,7	13,1	12,2	11,3	10,5	10,1	10,3	11,0	11,8	12,8	13,5	13,9	12,0
Diferença (lat-insola)	6,0	5,6	5,7	5,2	5,1	5,6	5,5	6,1	6,8	6,3	6,3	6,0	5,9
TU diário - latitude	1,55	2,00	2,61	3,26	3,80	4,07	3,94	3,47	2,85	2,20	1,66	1,41	2,74
TU diário - clima POA	3,90	3,84	3,88	3,81	3,80	3,90	3,88	3,98	4,10	3,97	3,97	3,90	3,91
Eco. Real - Latit	236	304	396	495	577	618	599	527	432	334	253	214	415
Eco. Potencial - Latit	430	555	723	902	1.052	1.127	1.092	962	788	609	461	390	757
Eco. Real - Clima	592	583	589	578	577	592	588	604	623	603	602	591	593
Eco. Potencial - Clima	1.079	1.062	1.073	1.054	1.052	1.079	1.073	1.101	1.136	1.100	1.098	1.078	1.082

## ANEXO E – Parque total estimado de lâmpadas no Brasil para o ano 2005 no setor residencial

### PARQUE TOTAL ESTIMADO DE LÂMPADAS NO BRASIL - ANO 2005

Domicílios c/ luz elétrica	51.550.019
Parque de lâmpadas - Residencial	423.842.149

### DIVISÃO DO PARQUE ESTIMADO DE LÂMPADAS POR TIPO - ANO 2005

RESIDENCIAL	LFT	LFC	LFCircular	Total L.I.
<b>Total 2005</b>	67.035.429	137.405.327	7.231.859	212.169.533
<b>Mercado</b>	15,8%	32,4%	1,7%	50,1%

### PARQUE TOTAL ESTIMADO DE LÂMPADAS EM RESIDENCIAIS BRASILEIRAS (LFT+LFC+LFCirc+LI) - EM UNIDADES (2005)

N.	Mesorregião Geográfica	Todas lâmpadas	LFT (só tubulares)	LFC	LFCirc	LI
1	Vale do Acre	729.516	306.608	210.925	11.101	200.881
2	Vale do Juruá	230.965	97.072	66.779	3.515	63.599
3	Agreste Alagoano	1.160.602	165.800	501.169	26.377	467.255
4	Leste Alagoano	3.687.988	526.855	1.592.540	83.818	1.484.774
5	Sertão Alagoano	787.851	112.550	340.208	17.906	317.187
6	Centro Amazonense	4.258.030	1.789.607	1.231.126	64.796	1.172.501
7	Norte Amazonense	159.330	66.965	46.067	2.425	43.873
8	Sudoeste Amazonense	456.890	192.026	132.101	6.953	125.810
9	Sul Amazonense	388.549	163.303	112.341	5.913	106.992
10	Norte do Amapá	64.191	26.979	18.560	977	17.676
11	Sul do Amapá	852.199	358.171	246.397	12.968	234.664
12	Centro Norte Baiano	4.107.258	586.751	1.773.589	93.347	1.653.571
13	Centro Sul Baiano	4.670.114	667.159	2.016.640	106.139	1.880.176
14	Extremo Oeste Baiano	922.069	131.724	398.166	20.956	371.223
15	Metropolitana de Salvador	7.875.994	1.125.142	3.400.997	179.000	3.170.855
16	Nordeste Baiano	2.818.828	402.690	1.217.221	64.064	1.134.853
17	Sul Baiano	3.902.423	557.489	1.685.137	88.691	1.571.105
18	Vale São-Franciscano da Bahia	1.600.992	228.713	691.337	36.386	644.555
19	Centro-Sul Cearense	786.050	112.293	339.431	17.865	316.462
20	Jaguaripe	1.047.215	149.602	452.206	23.800	421.606
21	Metropolitana de Fortaleza	6.347.700	906.814	2.741.052	144.266	2.555.568
22	Noroeste Cearense	2.361.955	337.422	1.019.935	53.681	950.917
23	Norte Cearense	1.770.881	252.983	764.699	40.247	712.952
24	Sertões Cearenses	1.760.938	251.563	760.405	40.021	708.949
25	Sul Cearense	1.629.534	232.791	703.662	37.035	656.046
26	Distrito Federal	5.664.604	741.793	1.921.919	101.154	2.899.738
27	Central Espírito-santense	4.916.064	565.065	1.234.667	64.982	3.051.350
28	Litoral Norte Espírito-santense	1.225.300	140.839	307.733	16.196	760.531
29	Noroeste Espírito-santense	1.084.699	124.678	272.422	14.338	673.262
30	Sul Espírito-santense	1.498.918	172.289	376.452	19.813	930.363
31	Centro Goiano	7.272.304	952.326	2.467.389	129.863	3.722.727
32	Leste Goiano	2.317.202	303.443	786.194	41.379	1.186.187
33	Noroeste Goiano	630.164	82.522	213.806	11.253	322.584
34	Norte Goiano	768.316	100.613	260.679	13.720	393.305
35	Sul Goiano	3.133.438	410.331	1.063.131	55.954	1.604.022
36	Centro Maranhense	1.398.778	199.825	604.018	31.790	563.144
37	Leste Maranhense	1.943.187	277.598	839.104	44.163	782.322
38	Norte Maranhense	3.559.212	508.459	1.536.933	80.891	1.432.930
39	Oeste Maranhense	2.011.711	287.387	868.694	45.721	809.910
40	Sul Maranhense	417.201	59.600	180.155	9.482	167.964

<b>N.</b>	<b>Mesorregião Geográfica</b>	<b>Todas lâmpadas</b>	<b>LFT (só tubulares)</b>	<b>LFC</b>	<b>LFCirc</b>	<b>LI</b>
41	Campo das Vertentes	1.386.572	159.376	348.237	18.328	860.631
42	Central Mineira	1.052.460	120.972	264.325	13.912	653.251
43	Jequitinhonha	1.589.940	182.752	399.313	21.016	986.859
44	Metropolitana de Belo Horizonte	15.013.333	1.725.670	3.770.590	198.452	9.318.620
45	Noroeste de Minas	874.654	100.535	219.669	11.562	542.889
46	Norte de Minas	3.470.485	398.906	871.610	45.874	2.154.094
47	Oeste de Minas	2.362.094	271.505	593.239	31.223	1.466.127
48	Sul/Sudoeste de Minas	6.243.608	717.656	1.568.079	82.530	3.875.343
49	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	5.428.602	623.977	1.363.390	71.757	3.369.477
50	Vale do Mucuri	953.174	109.560	239.389	12.599	591.625
51	Vale do Rio Doce	4.026.927	462.865	1.011.360	53.229	2.499.472
52	Zona da Mata	5.611.608	645.012	1.409.352	74.176	3.483.067
53	Centro Norte de Mato Grosso do Sul	2.333.145	305.531	791.603	41.663	1.194.348
54	Leste de Mato Grosso do Sul	902.129	118.136	306.080	16.109	461.804
55	Pantaneais Sul Mato-grossense	547.576	71.706	185.785	9.778	280.307
56	Sudoeste de Mato Grosso do Sul	1.900.724	248.904	644.889	33.942	972.990
57	Centro-Sul Mato-grossense	2.326.247	304.628	789.263	41.540	1.190.817
58	Nordeste Mato-grossense	567.409	74.304	192.514	10.132	290.459
59	Norte Mato-grossense	1.733.032	226.945	587.993	30.947	887.148
60	Sudeste Mato-grossense	945.523	123.818	320.802	16.884	484.018
61	Sudoeste Mato-grossense	698.829	91.513	237.103	12.479	357.734
62	Baixo Amazonas	1.006.738	423.122	291.079	15.320	277.218
63	Marajó	537.854	226.055	155.510	8.185	148.105
64	Metropolitana de Belém	3.870.941	1.626.917	1.119.207	58.906	1.065.911
65	Nordeste Paraense	2.308.429	970.209	667.437	35.128	635.654
66	Sudeste Paraense	2.148.025	902.793	621.059	32.687	591.485
67	Sudoeste Paraense	694.851	292.039	200.903	10.574	191.336
68	Agreste Paraibano	2.378.944	339.849	1.027.271	54.067	957.757
69	Borborema	590.289	84.327	254.898	13.416	237.649
70	Mata Paraibana	2.474.134	353.448	1.068.376	56.230	996.080
71	Sertão Paraibano	1.642.757	234.680	709.372	37.335	661.370
72	Agreste Pernambucano	4.368.127	624.018	1.886.237	99.276	1.758.597
73	Mata Pernambucana	2.432.866	347.552	1.050.556	55.292	979.466
74	Metropolitana de Recife	7.425.689	1.060.813	3.206.547	168.766	2.989.563
75	São Francisco Pernambucano	898.785	128.398	388.112	20.427	361.848
76	Sertão Pernambucano	1.871.392	267.342	808.101	42.532	753.418
77	Centro-Norte Piauiense	2.479.581	354.226	1.070.728	56.354	998.273
78	Norte Piauiense	1.021.620	145.946	441.154	23.219	411.302
79	Sudeste Piauiense	912.515	130.359	394.041	20.739	367.376
80	Sudoeste Piauiense	858.325	122.618	370.640	19.507	345.559
81	Centro Ocidental Paranaense	904.994	212.282	360.880	18.994	312.837
82	Centro Oriental Paranaense	1.594.848	374.100	635.970	33.472	551.305
83	Centro-Sul Paranaense	1.257.693	295.014	501.524	26.396	434.758
84	Metropolitana de Curitiba	8.083.767	1.896.192	3.223.527	169.659	2.794.389
85	Noroeste Paranaense	1.704.460	399.812	679.680	35.773	589.196
86	Norte Central Paranaense	4.855.085	1.138.847	1.936.040	101.897	1.678.301
87	Norte Pioneiro Paranaense	1.442.679	338.406	575.290	30.278	498.704
88	Oeste Paranaense	2.927.045	686.591	1.167.205	61.432	1.011.818
89	Sudeste Paranaense	924.454	216.847	368.640	19.402	319.564
90	Sudoeste Paranaense	1.207.920	283.339	481.677	25.351	417.553

<b>N.</b>	<b>Mesorregião Geográfica</b>	<b>Todas lâmpadas</b>	<b>LFT (só tubulares)</b>	<b>LFC</b>	<b>LFCirc</b>	<b>LI</b>
91	Baixadas	1.338.986	153.906	336.286	17.699	831.095
92	Centro Fluminense	1.327.530	152.590	333.408	17.548	823.984
93	Metropolitana do Rio de Janeiro	34.791.365	3.999.007	8.737.831	459.886	21.594.640
94	Noroeste Fluminense	869.877	99.986	218.469	11.498	539.923
95	Norte Fluminense	1.981.228	227.727	497.584	26.189	1.229.728
96	Sul Fluminense	2.663.697	306.172	668.986	35.210	1.653.329
97	Agrete Potiguar	820.080	117.154	354.126	18.638	330.162
98	Central Potiguar	798.996	114.142	345.021	18.159	321.674
99	Leste Potiguar	2.785.174	397.882	1.202.689	63.299	1.121.304
100	Oeste Potiguar	1.622.260	231.751	700.521	36.870	653.118
101	Leste Rondoniense	1.850.484	777.740	535.031	28.160	509.554
102	Madeira-Guaporé	931.452	391.480	269.311	14.174	256.487
103	Norte de Roraima	518.974	218.119	150.051	7.897	142.906
104	Sul de Roraima	115.874	48.701	33.503	1.763	31.907
105	Noroeste Rio-grandense	5.188.794	1.217.125	2.069.112	108.901	1.793.657
106	Nordeste Rio-grandense	2.483.140	582.465	990.191	52.115	858.370
107	Centro Ocidental Rio-grandense	1.423.799	333.978	567.762	29.882	492.177
108	Centro Oriental Rio-grandense	2.016.098	472.912	803.950	42.313	696.923
109	Metropolitana de Porto Alegre	12.191.774	2.859.799	4.861.658	255.877	4.214.440
110	Sudoeste Rio-grandense	1.961.485	460.101	782.172	41.167	678.044
111	Sudeste Rio-grandense	2.489.025	583.845	992.537	52.239	860.404
112	Grande Florianópolis	2.260.186	530.167	901.284	47.436	781.299
113	Norte Catarinense	2.741.803	643.139	1.093.336	57.544	947.784
114	Oeste Catarinense	2.953.556	692.809	1.177.776	61.988	1.020.982
115	Serrana	1.055.275	247.534	420.807	22.148	364.786
116	Sul Catarinense	2.261.275	530.423	901.718	47.459	781.675
117	Vale do Itajaí	3.294.516	772.788	1.313.739	69.144	1.138.845
118	Agrete Sergipano	961.098	137.300	415.020	21.843	386.936
119	Leste Sergipano	2.709.246	387.035	1.169.902	61.574	1.090.736
120	Sertão Sergipano	441.337	63.048	190.577	10.030	177.681
121	Araçatuba	1.877.177	215.767	471.452	24.813	1.165.144
122	Araraquara	2.086.402	239.816	523.999	27.579	1.295.008
123	Assis	1.516.066	174.260	380.759	20.040	941.007
124	Bauru	3.769.812	433.312	946.786	49.831	2.339.883
125	Campinas	9.390.991	1.079.424	2.358.542	124.134	5.828.891
126	Itapetininga	2.048.352	235.443	514.442	27.076	1.271.391
127	Litoral Sul Paulista	1.153.618	132.600	289.730	15.249	716.038
128	Macro Metropolitana Paulista	6.244.606	717.771	1.568.329	82.544	3.875.962
129	Marília	1.207.975	138.848	303.382	15.967	749.778
130	Metropolitana de São Paulo	54.920.819	6.312.738	13.793.332	725.965	34.088.784
131	Piracicaba	3.461.660	397.892	869.394	45.758	2.148.616
132	Presidente Prudente	2.364.576	271.790	593.862	31.256	1.467.668
133	Ribeirão Preto	6.045.679	694.906	1.518.369	79.914	3.752.491
134	São José do Rio Preto	4.345.369	499.468	1.091.337	57.439	2.697.126
135	Vale do Paraíba Paulista	5.463.603	628.000	1.372.181	72.220	3.391.202
136	Ocidental do Tocantins	1.388.064	583.389	401.331	21.123	382.220
137	Oriental do Tocantins	696.955	292.923	201.511	10.606	191.915
<b>VALORES TOTAIS</b>		<b>423.842.149</b>	<b>67.035.429</b>	<b>137.405.327</b>	<b>7.231.859</b>	<b>212.169.533</b>

**ANEXO F – Características gerais das mesorregiões com valores de insolação solar (I) máximo, mínimo e intermediário para o ReLuz.**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total/ média (ano)
<b>Centro Oriental Paranaense</b>													
Insolação mensal (horas)	110,6	95,9	108,9	98,8	98,2	99,7	111,7	91,1	76,0	106,1	114,9	98,1	1.210
Insol. média diária (horas)	3,6	3,4	3,5	3,3	3,2	3,3	3,6	2,9	2,5	3,4	3,8	3,2	3,3
Duração dia (latitute)	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5	12,0
Diferença (lat-insola)	9,8	9,4	8,6	8,1	7,6	7,2	7,0	8,2	9,3	9,2	9,4	10,3	8,7
TU diário - latitude	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,5	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5	12,0
TU diário - clima	12,3	12,7	13,3	13,9	14,5	14,7	14,5	14,2	13,7	12,9	12,4	12,2	13,4
Eco. Real - Latit	385	404	428	455	476	487	482	463	438	412	390	380	433
Eco. Real - Clima	444	460	480	504	523	531	525	513	494	467	446	442	486
<b>Metropolitana de Belo Horizonte</b>													
Insolação mensal (horas)	189,8	195,5	215,1	228,9	237,1	240,1	256,5	255,6	210,1	190,5	181,7	165,1	2.566
Insol. média diária (horas)	6,1	7,0	6,9	7,6	7,6	8,0	8,3	8,2	7,0	6,1	6,1	5,3	7,0
Duração dia (latitute)	13,0	12,6	12,1	11,5	11,1	10,8	10,9	11,4	11,9	12,5	12,9	13,2	12,0
Diferença (lat-insola)	6,9	5,7	5,2	3,9	3,4	2,8	2,7	3,1	4,9	6,3	6,9	7,8	5,0
TU diário - latitude	11,0	11,4	11,9	12,5	12,9	13,2	13,1	12,6	12,1	11,5	11,1	10,8	12,0
TU diário - clima	12,1	12,3	12,8	13,1	13,5	13,6	13,5	13,2	12,9	12,6	12,2	12,1	12,8
Eco. Real - Latit	396	410	429	450	467	475	471	457	437	416	399	391	433
Eco. Real - Clima	438	444	461	474	488	493	488	476	466	455	441	439	463
<b>Oeste Potiguar</b>													
Insolação mensal (horas)	245,9	212,2	222,1	212,5	243,0	237,6	247,6	283,2	283,5	262,1	283,6	267,4	3.001
Insol. média diária (horas)	7,9	7,6	7,2	7,1	7,8	7,9	8,0	9,1	9,5	8,5	9,5	8,6	8,2
Duração dia (latitute)	12,3	12,2	12,0	11,9	11,8	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,2	12,3	12,0
Diferença (lat-insola)	4,3	4,6	4,9	4,8	3,9	3,8	3,7	2,7	2,5	3,7	2,8	3,7	3,8
TU diário - latitude	11,7	11,8	12,0	12,1	12,2	12,3	12,3	12,2	12,0	11,9	11,8	11,7	12,0
TU diário - clima	12,5	12,6	12,8	12,9	12,9	12,9	12,9	12,6	12,4	12,5	12,2	12,3	12,6
Eco. Real - Latit	424	427	432	438	442	445	444	440	434	429	424	422	433
Eco. Real - Clima	450	455	462	467	466	467	466	456	450	451	441	445	456

**ANEXO G – Características gerais das mesorregiões com insolação solar (I) padrão anual em U, U invertido e intermediário para o ReLuz.**

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total/ média (ano)
<b>Sudoeste Rio-grandense</b>													
Insolação mensal (horas)	242,4	198,1	194,6	168,4	161,7	115,9	137,7	134,5	149,1	201,9	220,7	256,9	<b>2.182</b>
Insol. média diária (horas)	7,8	7,1	6,3	5,6	5,2	3,9	4,4	4,3	5,0	6,5	7,4	8,3	<b>6,0</b>
Duração dia (latitute)	13,8	13,1	12,2	11,2	10,4	10,0	10,2	10,9	11,8	12,8	13,6	14,0	<b>12,0</b>
Diferença (lat-insola)	6,0	6,0	5,9	5,6	5,2	6,1	5,8	6,6	6,9	6,3	6,3	5,7	<b>6,0</b>
TU diário - latitude	10,2	10,9	11,8	12,8	13,6	14,0	13,8	13,1	12,2	11,2	10,4	10,0	<b>12,0</b>
TU diário - clima	11,2	11,9	12,8	13,7	14,5	15,0	14,8	14,2	13,3	12,2	11,4	11,0	<b>13,0</b>
Eco. Real - Latit	369	394	426	462	491	506	499	473	439	404	375	361	<b>433</b>
Eco. Real - Clima	405	430	462	495	522	543	533	513	481	442	413	396	<b>470</b>
<b>Ribeirão Preto</b>													
Insolação mensal (horas)	92,8	93,9	117,0	118,1	128,6	131,6	133,2	123,6	114,4	123,2	111,2	95,5	<b>1.383</b>
Insol. média diária (horas)	3,0	3,4	3,8	3,9	4,1	4,4	4,3	4,0	3,8	4,0	3,7	3,1	<b>3,8</b>
Duração dia (latitute)	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,8	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2	<b>12,0</b>
Diferença (lat-insola)	10,1	9,3	8,3	7,6	6,9	6,4	6,6	7,3	8,1	8,5	9,3	10,1	<b>8,2</b>
TU diário - latitude	10,9	11,3	11,9	12,5	13,0	13,2	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,8	<b>12,0</b>
TU diário - clima	12,6	12,9	13,3	13,7	14,1	14,3	14,2	13,9	13,4	12,9	12,6	12,5	<b>13,4</b>
Eco. Real - Latit	394	409	429	451	468	477	473	458	437	416	398	390	<b>433</b>
Eco. Real - Clima	455	465	480	496	510	516	513	502	486	467	454	451	<b>483</b>
<b>Leste Rondoniense</b>													
Insolação mensal (horas)	147,3	142,2	164,1	187,6	217,0	223,9	263,5	218,6	267,3	189,6	152,6	137,2	<b>2.311</b>
Insol. média diária (horas)	4,8	5,1	5,3	6,3	7,0	7,5	8,5	7,1	8,9	6,1	5,1	4,4	<b>6,3</b>
Duração dia (latitute)	12,7	12,5	12,1	11,7	11,3	11,2	11,3	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8	<b>12,0</b>
Diferença (lat-insola)	8,0	7,4	6,8	5,4	4,3	3,7	2,8	4,5	3,0	6,2	7,6	8,4	<b>5,7</b>
TU diário - latitude	11,3	11,5	11,9	12,3	12,7	12,8	12,7	12,5	12,1	11,7	11,3	11,2	<b>12,0</b>
TU diário - clima	12,6	12,8	13,1	13,2	13,4	13,4	13,2	13,2	12,6	12,7	12,6	12,6	<b>12,9</b>
Eco. Real - Latit	407	417	431	445	457	463	461	450	436	421	409	404	<b>433</b>
Eco. Real - Clima	455	461	471	478	484	486	477	477	454	459	455	454	<b>468</b>

## ANEXO H – Relação de pontos substituídos e expandidos pelo ReLuz em 2005.

### Dados do ReLuz 2005 (fonte: Elaboração do autor, a partir de Eletrobrás, 2006a)

num. cidades atendidas	194
num. Mesorregiões atendidas	43
Estados atendidos	11
Pontos de expansão	3.324
Pontos de substituição	389.613
<b>Total de pontos</b>	<b>392.937</b>

Obs: Em Eletrobrás (2006a), é informado a participação de 197 cidades no Programa ReLuz em 2005, mas três cidades (ver anexo I) e os respectivos estados (UF) com o número de pontos substituídos/ expandidos não foram listados, portanto elas não foram consideradas no presente trabalho, que tem um total de 194 cidades listadas.

### RELAÇÃO DE ESTADOS E PONTOS ATENDIDOS PELO RELUZ EM 2005 (fonte: Eletrobrás, 2006a)

ESTADO	Expansão	Substituição (melhoria)	Nº DE PONTOS
Distrito Federal	0	21.336	21.336
Espírito Santo	0	25.510	25.510
Minas Gerais	389	0	389
Paraná	0	16.461	16.461
Pernambuco	0	13.363	13.363
Rio de Janeiro	2.875	16.473	19.348
Rio Grande do Norte	0	6.758	6.758
Rio Grande do Sul	0	22.223	22.223
Rondônia	60	0	60
Santa Catarina	0	96.030	96.030
São Paulo	0	171.459	171.459
	<b>3.324</b>	<b>389.613</b>	<b>392.937</b>

**ANEXO I – Relação das cidades atendidas pelo ReLuz em 2005, com as respectivas mesorregiões.**

**RELAÇÃO DE CIDADES ATENDIDAS PELO RELUZ EM 2005  
(CLASSIFICADAS POR MESORREGIÃO)**

<b>UF</b>	<b>Mesorregião</b>	<b>Cidade</b>
DF	Distrito Federal	Brasília
ES	Central Espírito-santense	Serra
ES	Central Espírito-santense	Vila Velha
ES	Litoral Norte Espírito-santense	Aracruz
ES	Litoral Norte Espírito-santense	Ibiraçu
MG	Metropolitana de Belo Horizonte	Belo Horizonte
MG	Metropolitana de Belo Horizonte	Confins
MG	Metropolitana de Belo Horizonte	Lagoa Santa
MG	Metropolitana de Belo Horizonte	Vespasiano
PE	Agreste Pernambucano	Angelim
PE	Agreste Pernambucano	Calçado
PE	Agreste Pernambucano	Passira
PE	Agreste Pernambucano	Pedra
PE	Agreste Pernambucano	Riacho das Almas
PE	Agreste Pernambucano	Sairé
PE	Agreste Pernambucano	São Joaquim do Monte
PE	Mata Pernambucana	Sirinhaém
PE	Metropolitana de Recife	Itapissuma
PE	São Francisco Pernambucano	Jatobá
PE	São Francisco Pernambucano	Tacaratu
PE	Sertão Pernambucano	Brejinho
PE	Sertão Pernambucano	Carnaíba
PE	Sertão Pernambucano	Mirandiba
PE	Sertão Pernambucano	Moreilândia
PE	Sertão Pernambucano	Solidão
PE	Sertão Pernambucano	Trindade
PR	Centro Oriental Paranaense	Castro
PR	Noroeste Paranaense	Altônia
PR	Noroeste Paranaense	Guairaçá
PR	Noroeste Paranaense	Iporã
PR	Noroeste Paranaense	Paraíso do Norte
PR	Noroeste Paranaense	São Jorge do Patrocínio
PR	Oeste Paranaense	Toledo
RJ	Centro Fluminense	Sapucaia
RJ	Metropolitana do Rio de Janeiro	Niterói
RJ	Metropolitana do Rio de Janeiro	Petrópolis
RJ	Sul Fluminense	Barra Mansa
RJ	Sul Fluminense	Pinheiral
RJ	Sul Fluminense	Rio das Flores

UF	Mesorregião	Cidade
RN	Agreste Potiguar	Bom Jesus
RN	Agreste Potiguar	Riachuelo
RN	Agreste Potiguar	Ruy Barbosa
RN	Agreste Potiguar	Serrinha
RN	Central Potiguar	Afonso Bezerra
RN	Central Potiguar	Angicos
RN	Central Potiguar	Pedro Avelino
RN	Leste Potiguar	Taipu
RN	Oeste Potiguar	Doutor Severiano
RN	Oeste Potiguar	Encanto
RN	Oeste Potiguar	Frutuoso Gomes
RN	Oeste Potiguar	José da Penha
RN	Oeste Potiguar	Messias Targino
RN	Oeste Potiguar	Umarizal
RO	Leste Rondoniense	Ouro Preto D'oeste
RS	Noroeste Rio-grandense	Carazinho
RS	Sudeste Rio-grandense	Pelotas
RS	Sudoeste Rio-grandense	Bagé
SC	Grande Florianópolis	Biguaçu
SC	Grande Florianópolis	Florianópolis
SC	Grande Florianópolis	Palhoça
SC	Norte Catarinense	Joinville
SC	Oeste Catarinense	Concórdia
SC	Oeste Catarinense	Videira
SC	Serrana	Urubici
SC	Sul Catarinense	Balneário Arroio do Silva
SC	Sul Catarinense	Capivari de Baixo
SC	Sul Catarinense	Criciúma
SC	Sul Catarinense	Garopaba
SC	Sul Catarinense	Lauro Muller
SC	Sul Catarinense	Tubarão
SC	Vale do Itajaí	Itajaí
SC	Vale do Itajaí	Rio do Sul
SP	Araçatuba	Birigui
SP	Araçatuba	Ilha Solteira
SP	Araçatuba	Valparaíso
SP	Araraquara	Américo Brasiliense
SP	Araraquara	Araraquara
SP	Araraquara	Boa Esperança do Sul
SP	Araraquara	Itápolis
SP	Araraquara	Rincão
SP	Araraquara	Tabatinga
SP	Bauru	Arealva
SP	Bauru	Avaí
SP	Bauru	Bariri
SP	Bauru	Barra Bonita
SP	Bauru	Botucatu
SP	Bauru	Conchas

UF	Mesorregião	Cidade
SP	Bauru	Dois Córregos
SP	Bauru	Getulina
SP	Bauru	Guarantã
SP	Bauru	Jaú
SP	Bauru	Lençóis Paulista
SP	Bauru	Lucianópolis
SP	Bauru	Promissão
SP	Bauru	Reginópolis
SP	Campinas	Aguas de Lindoia
SP	Campinas	Americana
SP	Campinas	Campinas
SP	Campinas	Elias Fausto
SP	Campinas	Espirito Santo do Pinhal
SP	Campinas	Monte Alegre do Sul
SP	Campinas	Nova Odessa
SP	Campinas	Santa Barbara d'Oeste
SP	Campinas	Santo Antônio de Posse
SP	Campinas	Santo Antonio do Jardim
SP	Campinas	São João da Boa Vista
SP	Campinas	Serra Negra
SP	Campinas	Valinhos
SP	Campinas	Vargem Grande do Sul
SP	Itapetininga	Apiáí
SP	Itapetininga	Guapiara
SP	Itapetininga	Itaporanga
SP	Itapetininga	Nova Campina
SP	Itapetininga	Ribeirão Branco
SP	Itapetininga	Taquarivaí
SP	Litoral Sul Paulista	Itanhaém
SP	Litoral Sul Paulista	Mongaguá
SP	Macro Metropolitana Paulista	Itatiba
SP	Macro Metropolitana Paulista	Jarinu
SP	Macro Metropolitana Paulista	Morungaba
SP	Macro Metropolitana Paulista	Piracaia
SP	Marília	Fernão
SP	Marília	Gália
SP	Marília	Marília
SP	Metropolitana de São Paulo	Arujá
SP	Metropolitana de São Paulo	Franco da Rocha
SP	Metropolitana de São Paulo	Mairiporã
SP	Metropolitana de São Paulo	São Paulo
SP	Piracicaba	Limeira
SP	Presidente Prudente	Álvares Machado
SP	Presidente Prudente	Euclides da Cunha Paulista
SP	Presidente Prudente	Marabá Paulista

UF	Mesorregião	Cidade
SP	Presidente Prudente	Mirante do Paranapamema
SP	Ribeirão Preto	Batatais
SP	Ribeirão Preto	Bebedouro
SP	Ribeirão Preto	Buritizal
SP	Ribeirão Preto	Cajuru
SP	Ribeirão Preto	Cássia dos Coqueiros
SP	Ribeirão Preto	Fernando Prestes
SP	Ribeirão Preto	Franca
SP	Ribeirão Preto	Ituverava
SP	Ribeirão Preto	Jaboticabal
SP	Ribeirão Preto	Monte Alto
SP	Ribeirão Preto	Monte Azul Paulista
SP	Ribeirão Preto	Orlândia
SP	Ribeirão Preto	Pirangi
SP	Ribeirão Preto	Pontal
SP	Ribeirão Preto	Serra Azul
SP	Ribeirão Preto	Serrana
SP	Ribeirão Preto	Taiapu
SP	Ribeirão Preto	Taquaritinga
SP	Ribeirão Preto	Vista Alegre do Alto
SP	São José do Rio Preto	Altair
SP	São José do Rio Preto	Ariranha
SP	São José do Rio Preto	Aspásia
SP	São José do Rio Preto	Bálsamo
SP	São José do Rio Preto	Cajobi
SP	São José do Rio Preto	Dirce Reis
SP	São José do Rio Preto	Embaúba
SP	São José do Rio Preto	Estrela d'Oeste
SP	São José do Rio Preto	Floreal
SP	São José do Rio Preto	Guaraci
SP	São José do Rio Preto	Guarani d'Oeste
SP	São José do Rio Preto	Jaci
SP	São José do Rio Preto	Jose Bonifacio
SP	São José do Rio Preto	Macedônia
SP	São José do Rio Preto	Mirassol
SP	São José do Rio Preto	Nova Granada
SP	São José do Rio Preto	Onda Verde
SP	São José do Rio Preto	Palestina
SP	São José do Rio Preto	Pindorama
SP	São José do Rio Preto	Potirendaba
SP	São José do Rio Preto	Rubinéia
SP	São José do Rio Preto	Santa Adélia

UF	Mesorregião	Cidade
SP	São José do Rio Preto	Santa Clara d'Oeste
SP	São José do Rio Preto	Santa Salete
SP	São José do Rio Preto	Santana da Ponte Pensa
SP	São José do Rio Preto	São João das Duas Pontes
SP	São José do Rio Preto	Sao José do Rio Preto
SP	São José do Rio Preto	Ibirá
SP	São José do Rio Preto	Turmalina
SP	São José do Rio Preto	Urânia
SP	São José do Rio Preto	Vitória Brasil
SP	São José do Rio Preto	Votuporanga
SP	São José do Rio Preto	Zacarias
SP	Vale do Paraíba Paulista	Arapeí
SP	Vale do Paraíba Paulista	Areias
SP	Vale do Paraíba Paulista	Bananal
SP	Vale do Paraíba Paulista	Campos do Jordão
SP	Vale do Paraíba Paulista	Cunha
SP	Vale do Paraíba Paulista	Lavrinhas
SP	Vale do Paraíba Paulista	Paraibuna
SP	Vale do Paraíba Paulista	Silveiras
SP	Vale do Paraíba Paulista	Ubatuba
MS	Leste de Mato Grosso do Sul	Andradina (**)
MS	Leste de Mato Grosso do Sul	Três Lagoas (**)
PB	Sertão Paraibano	Quixabá (**)

Obs: (\*\*) = São cidades que constam como participantes do Programa ReLuz em 2005 (Eletrobrás, 2006a), mas os respectivos estados (UF) com o número de pontos substituídos/ expandidos não foram listados, portanto elas não foram consideradas neste trabalho.

**ANEXO J – Relação das mesorregiões com o número de cidades atendidas e com a distribuição estimadas dos pontos de substituição e expansão para o ReLuz em 2005.**

Mesorregião	UF	Num. de cidades atend. ReLuz 2005	Estimativa de pontos no Reluz (sub+exp)
Distrito Federal	DF	1	21.336
Central Espírito-santense	ES	2	20.420
Litoral Norte Espírito-santense	ES	2	5.090
Metropolitana de Belo Horizonte	MG	4	389
Agreste Pernambucano	PE	7	7.643
Mata Pernambucana	PE	1	608
Metropolitana de Recife	PE	1	1.856
São Francisco Pernambucano	PE	2	449
Sertão Pernambucano	PE	6	2.807
Centro Oriental Paranaense	PR	1	2.013
Noroeste Paranaense	PR	5	10.755
Oeste Paranaense	PR	1	3.694
Centro Fluminense	RJ	1	326
Metropolitana do Rio de Janeiro	RJ	2	17.063
Sul Fluminense	RJ	3	1.960
Agreste Potiguar	RN	4	1.218
Central Potiguar	RN	3	890
Leste Potiguar	RN	1	1.034
Oeste Potiguar	RN	6	3.615
Leste Rondoniense	RO	1	60
Noroeste Rio-grandense	RS	1	11.963
Sudoeste Rio-grandense	RS	1	4.522
Sudeste Rio-grandense	RS	1	5.738
Grande Florianópolis	SC	3	17.771
Norte Catarinense	SC	1	7.186
Oeste Catarinense	SC	2	15.481
Serrana	SC	1	2.766
Sul Catarinense	SC	6	35.558
Vale do Itajaí	SC	2	17.269
Araçatuba	SP	3	1.229
Araraquara	SP	6	2.732
Bauru	SP	14	11.518

Mesorregião	UF	Num. de cidades atend. ReLuz 2005	Estimativa de pontos no Reluz (sub+exp)
Campinas	SP	14	28.693
Itapetininga	SP	6	2.682
Litoral Sul Paulista	SP	2	504
Macro Metropolitana Paulista	SP	4	5.451
Marília	SP	3	791
Metropolitana de São Paulo	SP	4	47.944
Piracicaba	SP	1	755
Presidente Prudente	SP	4	2.064
Ribeirão Preto	SP	19	25.069
São José do Rio Preto	SP	33	31.295
Vale do Paraíba Paulista	SP	9	10.731
<b>VALORES TOTAIS</b>		<b>194</b>	<b>392.937</b>

**ANEXO K – Mapas da climatologia de precipitação mensal (esquerda) e de insolação solar total mensal (direita) no Brasil (fonte: INMET, 2008)**

