



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – CDS

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**Economia de Energia na Perspectiva do Plano Nacional de Energia
2030: O papel do aquecimento solar**

Roberto Wagner Lima Pereira

Orientador: João Nildo de Souza Vianna

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Brasília – DF, agosto de 2010



PEREIRA, ROBERTO

Economia de energia na perspectiva do plano nacional de energia 2030: o papel do aquecimento solar./Roberto Wagner Lima Pereira.

Brasília, 2010.

231 p.: il

Dissertação de Mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, Brasília.

- | | |
|---------------------------|---------------------------------|
| 1. Eficiência Energética. | 2. Aquecimento Solar de Água. |
| 3. Políticas Públicas. | 4. Desenvolvimento Sustentável. |

I. Universidade de Brasília. CDS II. Título

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Roberto W. L. Pereira



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**Economia de Energia na Perspectiva do Plano Nacional de Energia
2030: O papel do aquecimento solar**

Roberto Wagner Lima Pereira

Dissertação de Mestrado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do Grau de Mestre em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração Política e Gestão Ambiental, opção profissionalizante.

Aprovado por:

João Nildo de Souza Vianna. Doutor (CDS-UNB)
(Orientador)

Antonio Cesar Pinho Brasil Jr. Doutor (CDS-UNB)
(Examinador Interno)

Máximo Luiz Pompermayer. Doutor (ANEEL)
(Examinador Externo)

Brasília – DF, 22 de julho de 2010



AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, a dedicação, paciência e a orientação do Prof. João Nildo de Souza Vianna, que proporcionou o sucesso na finalização desta dissertação.

A todos os professores do CDS que sempre incentivaram o progresso desta pesquisa.

Agradeço aos meus colegas do Ministério de Minas e Energia, e em especial a Sra. Laura Porto, a responsável e incentivadora pelo meu aprimoramento acadêmico.

Em fim, agradeço minha esposa Vera Lucia, por sua compreensão, carinho e apoio, sem o qual não seria possível a conclusão desta jornada.



RESUMO

O objetivo desta dissertação é a construção de projeções que identifiquem o potencial de economia de energia elétrica pela disseminação do uso de sistemas de aquecimento solar de água sob a ótica das políticas públicas instituídas. Procura-se comprovar por meio das projeções que os sistemas de aquecimento solar de água são uma alternativa viável a expansão do sistema elétrico brasileiro a longo prazo. A base da pesquisa foi estruturada nos fundamentos do Plano Nacional de Energia – PNE 2030, considerando os critérios de evolução do consumo de energia elétrica e a necessidade de expansão do sistema de geração para o seu atendimento. Procurou-se entender a dinâmica do mercado de energia associado ao incremento populacional e econômico, bem como estimar o potencial de mercado para utilização de sistemas alternativos para o aquecimento de água para uso sanitário. Como resultado obteve-se uma economia de energia suficiente para prescindir da construção de novas usinas termoelétricas a carvão mineral previstas no PNE 2030. Concluindo, portanto, sobre a viabilidade econômica, energética, social e ambiental de investimentos no fomento a utilização de sistemas de aquecimento solar de água para uso residencial.

Palavras-Chave: Eficiência Energética, Aquecimento Solar de Água, Desenvolvimento Sustentável.



ABSTRACT

The objective of this thesis is the construction of projections to identify potential energy saving by the widespread use of solar heating of water from the standpoint of public policies in place. Seeks to prove through the projections that the solar heating of water is a viable alternative to expansion of the Brazilian electrical system in the long term. The basis of the research was structured in the grounds of the National Energy Plan - PNE 2030, considering the evolution of energy consumption and the need for expansion of the generation system for your attendance. We sought to understand the dynamics of market power associated with population and economic growth, and estimate the market potential for the use of alternative systems for heating water for sanitary use. As a result we obtained an energy saving enough to dispense with the construction of new coal plants under mineral PNE 2030. In conclusion, therefore, on the economic viability, energy, social and environmental investments in promoting the use of solar heating of water for residential use.

Keywords: Energy Efficiency, Solar Water Heating, Sustainable Development.



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relações geométricas entre um ponto na superfície horizontal e a irradiação solar incidente.....	41
Figura 2: Incidência de Radiação Solar.....	42
Figura 3: Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre..	43
Figura 4: Componentes da Radiação Solar.....	45
Figura 5: Irradiação Solar Média Anual.....	50
Figura 6: Radiação solar global diária - média anual típica (Wh/m^2 .dia).....	52
Figura 7: Média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro (kWh/m^2).....	55
Figura 8: Principais componentes de um coletor solar térmico.....	61
Figura 9: Fluxos de energia do coletor solar.....	62
Figura 10: Estratificação térmica do tanque de armazenagem.....	66
Figura 11: Média mensal horária de consumo de energia, referente ao mês de fevereiro de 2004.....	71
Figura 12: Média horária de consumo de energia para os domicílios amostrados entre janeiro e março de 2004.....	72
Fig. 13: Fração solar horária para o mês de fevereiro de 2004.....	73
Figura 14: Demanda instantânea para domicílios sem coletores solares.....	74
Figura 15: Demanda instantânea para domicílios com coletores solares.....	74
Figura 16: Valores médios do consumo energético em Sapucaias.....	77
Figura 17: Exemplo de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE.....	82
Figura 18: Consumo Médio do Chuveiro por Domicílio.....	83
Figura 19: Número de modelos no Mercado por sua Eficiência Energética.....	84
Figura 20: Consumo máximo e mínimo de energia elétrica ($kWh/mês$) por potência nominal do Chuveiro (W).....	86
Figura 21: Projeção da população total para o ano de 2030 (milhares).....	93
Figura 22: Projeção da população total Regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste (milhares).....	93
Figura 23: Projeção do número de domicílios particulares permanentes no Brasil.....	96
Figura 24: Projeção do número de domicílios particulares permanentes por Regiões (milhares).....	93
Figura 25: Projeção do número de habitantes por domicílios particulares permanentes.....	97
Figura 26: Projeção da evolução do PIB brasileiro. Dólar Médio Anual (Milhões de US\$).....	100
Figura 27: Participação estadual no PIB total brasileiro em 2030.....	101
Figura 28: Evolução do PIB per capita brasileiro até 2030 (US\$).....	102
Figura 29: PIB per capita por Estado 2030 (US\$).....	102
Figura 30: Intensidade Energética ($GWh \times R\$ 1.000,00 \text{ PIB}$).....	104
Figura 31: Projeção do Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial (MWh/ano).....	111



Figura 32: Projeção do Consumo Residencial de Energia Elétrica por Região (TWH/ano).....	112
Figura 33: Projeção do Consumo Residencial de Energia Elétrica por Estado (TWH/ano).....	112
Figura 34: Projeção do Consumo Residencial de Energia Elétrica por Estado (TWH/ano).....	113
Figura 35: Projeção do Consumo de Energia Elétrica por Domicílio (kWh/mês).....	114
Figura 36: Projeção do Consumo de Energia Elétrica por Domicílio para o Brasil (kWh/mês).....	115
Figura 37: Fonte energética utilizada para o aquecimento de água para fins sanitários.....	117
Figura 38: Posse média de chuveiros elétricos por domicílio.....	117
Figura 39: Domicílios que possuem pelo menos um chuveiro elétrico.....	118
Figura 40: Evolução do Número de Chuveiros Elétricos até 2030 (milhares).....	119
Figura 41: Evolução do Número de Chuveiros Elétricos até 2030 por Região (milhares).....	120
Figura 42: Mercado de Sistemas de Aquecimento Solar de Água no Brasil.....	122
Figura 43: Área de coletores instalados no Brasil por 1.000 habitantes.....	122
Figura 44: Capacidade dos Sistemas de Aquecimento Solar de Água Instalados.....	123
Figura 45: Penetração de Mercado dos Sistemas de Aquecimento Solar de Água.....	124
Figura 46: Percentual de participação dos chuveiros elétricos no consumo residencial (%).....	127
Figura 47: Projeção do consumo de energia elétrica residencial e dos chuveiros elétricos de uso doméstico (MWh/ano).....	128
Figura 48: Projeção do consumo de energia elétrica por domicílio e dos chuveiros elétricos por domicílio (MWh/mês).....	131
Figura 49: Projeção estadual do consumo de energia elétrica por domicílio e dos chuveiros elétricos por domicílio, em 2030 (MWh/mês).....	131
Figura 50: Projeção estadual do consumo dos chuveiros elétricos por domicílio, em 2030 (MWh/mês).....	132
Figura 51: Área de coletores solares em uso no Brasil – Dados de venda ABRAVA (m ²).....	134
Figura 52: Área de coletores solares instalados em 2006 (m ²).....	135
Figura 53: Projeção da área de coletores instalados e o número de residências atendidas.....	141
Figura 54: Projeção do número de residências atendidas por coletores solares em 2030 (Norte e Nordeste).....	142
Figura 55: Projeção do número de residências atendidas por coletores solares em 2030 (Sul, Sudeste e Centro-oeste).....	143
Figura 56: Curvas de produção de energia mensal (2 m ²), partir da radiação diária média para a cidade de Porto Alegre (RS).....	145
Figura 57: Curvas de produção de energia mensal (2,5 m ²), partir da radiação diária média para a cidade de Porto Alegre (RS).....	146
Figura 58: Curvas de produção de energia mensal (2,5 m ²), partir da radiação diária média para a cidade de São Paulo (SP).....	147



Figura 59: Curvas de produção de energia mensal (2,0 m2), partir da radiação diária média para a cidade de Belo Horizonte (SP).....	148
Figura 60: Projeção do Consumo médio dos chuveiros por residência (kWh/mês).....	152
Figura 61: Projeção de economia de energia elétrica pela adoção de sistemas de aquecimento solar de água em 2030 (GWh/ano).....	153
Figura 62: Projeção de economia de energia elétrica pela adoção de sistemas de aquecimento solar de água em 2030 (GWh/ano).....	153
Figura 63: Projeção de custo da energia elétrica e seu consumo por domicílio em 2030 (R\$/mês e kWh/mês).....	157
Figura 64: Projeção economia de energia elétrica e o custo evitado por consumidor em 2030 (R\$/mês e kWh/mês).....	157
Figura 65: Projeção de emissões de CO ₂ evitadas (tCO ₂).....	163
Figura 66: Projeção de emissões de CO ₂ evitadas pelos principais Estados no período de 2010 a 2030 (tCO ₂).....	164
Figura 67: Comportamento das temperaturas média, mínima e máxima mensais da estação do INMET/DF.....	204
Figura 68: Totais mensais de Precipitação Pluviométrica da estação do INMET/DF.....	205
Figura 69: Normais de nebulosidade medidos na estação do INMET/DF.....	206
Figura 70: Valores médios de radiação solar global diária e insolação diária, apresentadas nos Mapas Isolinhas.....	208
Figura 71: Mapa isolinhas de radiação solar global diária para o mês de agosto (MJ/m2.dia).....	209
Figura 72: Mapa isolinhas de radiação solar global diária para o mês de junho (MJ/m2.dia).....	210



LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Incidência de Radiação Solar.....	41
Tabela 2: Especificações técnicas do sistema se aquecimento solar.....	70
Tabela 3: Ensaios do PBE/Coletores Solares para ETIQUETAGEM, por aplicação e em ordem de Realização.....	80
Tabela 4. Projeção da população total residente.....	92
Tabela 5: Taxas médias de crescimento do número de domicílios (%).....	95
Tabela 6: Projeção do Consumo de Eletricidade por Setor (TWh).....	107
Tabela 7: Percentuais de Projeção para o Consumo de Energia Elétrica.....	109
Tabela 8: Consumo Final de Energia Elétrica Por Setor Econômico (TWh/ano).....	109
Tabela 9: Percentuais de Participação no Consumo Final de Energia Elétrica.....	110
Tabela 10: Projeção de consumo de energia elétrica – Chuveiros Elétricos (MWh/ano).....	130
Tabela 11: Percentual estimado de crescimento da área de coletores instalados.....	135
Tabela 12: Percentual estimado de fração solar.....	151
Tabela 13: Estimativa Usina Termoelétrica Equivalente.....	155
Tabela 14: Estimativa Usina Hidroelétrica Equivalente.....	155
Tabela 15: Tarifas Médias de Fornecimento de Energia elétrica (R\$/MWh).....	156
Tabela 16: Resultados da análise econômica para adoção de sistemas de aquecimento solar residencial.....	160
Tabela 17: Custos de Investimento Referenciais na Geração de Energia Elétrica (US\$/kW).....	161
Tabela 18: Resumo das projeções de emissões evitadas até o ano de 2030.....	168
Tabela 19: Resumo da projeção de crescimento populacional até o ano de 2030.....	168
Tabela 20: Resumo da projeção de crescimento domiciliar até o ano de 2030.....	169
Tabela 21: Resumo da projeção de crescimento do PIB per capita até o ano de 2030.....	170
Tabela 22: Resumo dos índices de intensidade energética (elétrica) até o ano de 2030.....	171
Tabela 23: Resumo da projeção de crescimento do consumo de energia elétrica residencial.....	171
Tabela 24: Resumo da projeção do número absolutos de chuveiros elétricos até o ano de 2030.....	172
Tabela 25: Resumo das projeções do consumo de energia elétrica de chuveiros e do setor residencial.....	173
Tabela 26: Comparação da expansão dos sistemas de aquecimento solar entre vegetativo e incentivado.....	174
Tabela 27: Resumo das projeções de emissões evitadas até o ano de 2030.....	175
Tabela 28: Índices de Clareza Incidente, Direta e Difusa.....	200
Tabela 29: Coeficientes empíricos de correlação de Bennett Modificada.....	201
Tabela 30: Banco de Dados Solarimétricos – Distrito Federal.....	207
Tabela 31: Radiação Solar extraterrestre e dados relacionados.....	213



SIGLAS E ABREVIATURAS

ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE - International technical society organized to advance the arts and sciences of heating, ventilation, air-conditioning and refrigeration
BCB – Banco Central do Brasil
BEN - Balanço Energético Nacional
BEU - Balanço de Energia Útil
CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina
CMMAD - Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz
CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
GEF - Fundo Global para o Meio Ambiente
GLD – Gerenciamento pelo Lado da Demanda
GREEN - Laboratório Solar da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
IBGE – Instituto Brasileiro de geografia e Estatística
IDH – Índice de desenvolvimento Humano
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO - Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais
IPEA - Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas
LABSOLAR - Laboratório de Energia Solar
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MME – Ministério de Minas e Energia
OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDE - Plano Decenal de Energia
PIB – Produto Interno Bruto



PNE – Plano Nacional de Energia

PNMC - Plano Nacional sobre Mudança do Clima

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

ReLuz - Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes

SONDA - Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais para o Setor de Energia

SWERA - Solar and Wind Energy Resource Assessment

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas

WCED - World Commission on Environment and Development

ZCIT - Zona de convergência intertropical



SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	x
SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xi
SUMÁRIO.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	15
2. ESTADO DA ARTE	21
3. ANÁLISE TÉCNICA – POTENCIAL SOLAR E EQUIPAMENTOS DE AQUECIMENTO	39
3.1. A ENERGIA SOLAR.....	39
3.2. SOLARIMETRIA – BRASIL E SUAS REGIÕES.....	47
3.2.1. Atlas de Irradiação Solar do Brasil.....	48
3.2.2. ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL.....	50
3.2.3. ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR	53
3.2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS MODELOS SOLARIMÉTRICOS	56
3.3. TECNOLOGIA BÁSICA E ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS AQUECEDORES SOLARES DE ÁGUA	58
3.4. EXPERIÊNCIAS BRASILEIRAS COM A INSTALAÇÃO DE AQUECEDORES SOLARES DE ÁGUA	68
3.5. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS AQUECEDORES SOLARES DE ÁGUA NO BRASIL.....	78
3.6. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS CHUVEIROS ELÉTRICOS NO BRASIL	85
4. CARACTERIZAÇÃO DO MERCADO CONSUMIDOR DE ENERGIA.....	87
4.1. PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO POPULACIONAL.....	88
4.2. PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO DOMICILIAR	94
4.3. PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO DO PRODUTO INTERNO BRUTO - PIB.....	98
4.4. INTENSIDADE ENERGÉTICA.....	103
4.5. PROJEÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	105
4.6. PROJEÇÃO DO NÚMERO DE CHUVEIROS ELÉTRICOS	116
4.7. MERCADO PARA SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA	121
5. POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA E ANÁLISE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA NO BRASIL	125
5.1. PROJEÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DOS CHUVEIROS ELÉTRICOS	126
5.2. PROJEÇÃO DA DISSEMINAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA.....	133
5.3. PROJEÇÃO DE ECONOMIA DE ENERGIA COM A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA.....	149



5.4. PROJEÇÃO DE EMISSÕES EVITADAS DE CO ₂ E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS COM A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA	162
6. ANÁLISE DE RESULTADOS NO HORIZONTE DO PNE 2030	168
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	176
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	180
ANEXO I - DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS SOLARIMÉTRICOS – ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL	195
ANEXO II - CÁLCULO DA RADIAÇÃO TOTAL INCIDENTE	212
ANEXO III - FÓRMULAS BÁSICAS DE FUNCIONAMENTO DO CHUVEIRO ELÉTRICO	217
ANEXO IV - LEIS MUNICIPAIS DE INCENTIVO A IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR	219



1. INTRODUÇÃO

O objetivo principal da dissertação é de formular as Projeções de Economia de Energia com a Disseminação do Uso de Aquecimento Solar de Água na Perspectiva do Plano Nacional de Energia 2030 (MME/EPE, 2007), tendo como principal foco à substituição de chuveiros elétricos. Baseando-se em uma pesquisa crítica e histórica sobre a implementação de políticas públicas voltadas a ações de eficiência energética no Brasil, bem como considerado principalmente o contexto institucional brasileiro e sua sustentabilidade como indutor de políticas públicas, será construída uma série de projeções a respeito do potencial desenvolvimento do mercado de sistemas de aquecimento solar de água no Brasil.

A construção de perspectivas para a eficiência energética qualificada como política pública de fomento ao aquecimento solar de água para uso sanitário, prioritariamente deve-se entender como a conservação de energia tornou-se um instrumento de gestão ambiental de extrema importância, contrapondo-se a visão do setor energético, em décadas anteriores, que a enxergava apenas como um meio de postergar investimentos na ampliação do fornecimento de energia.

A eficiência energética deve ser encarada como uma necessidade real e indispensável, para almejarmos a sustentabilidade do desenvolvimento, considerando que a energia esta na base e na estrutura do processo civilizatório humano. A eficiência energética não deve ser encarada pela sociedade apenas como um fato político, tratando-se de um conceito com alcance muito mais abrangente. A eficiência como fato real foi problematizada durante o racionamento de 2001, quando a sociedade vislumbrou o problema de desabastecimento energético. Porém as principais lições não foram absorvidas, foram sim perdidas, pela não compreensão real de seu significado. O significado da eficiência energética é a sustentabilidade que surge do modo eficiente da utilização da energia, percorrendo todas as dimensões da sociedade humana, econômica, social, ambiental, institucional e cultural.

A partir dos anos 80, com a publicação dos estudos do Clube de Roma, com os movimentos em prol do meio ambiente e com os tratados relacionados à mudança climática, seguiu-se o estabelecimento dos Protocolos de Montreal e Quioto, que alçaram a eficiência energética à condição de instrumento privilegiado e, algumas vezes, preferencial de mitigação de efeitos decorrentes das emissões de gases de efeito estufa e destruidores da Camada de Ozônio, e de poluentes ambientais. Ao mesmo tempo, ressaltou-se a percepção de que o aumento de eficiência pode constituir uma das formas mais econômica e ambientalmente



favoráveis de atendimento de parte da demanda de energia.

A Assembléia Geral da ONU, criou em 1983 a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento – CMMAD. Essa Comissão deveria propor novas normas de cooperação internacional que pudessem orientar políticas e ações internacionais de modo a promover as mudanças que se faziam necessárias (WCED, 1987, p.4). No trabalho surgido dessa Comissão, presidida por Gro Harlem Brundtland e Mansour Khalid, chamado “*Our Common Future*”, porém mais conhecido por relatório “*Brundtland*”, apareceu pela primeira vez de forma clara, o conceito de “*Desenvolvimento Sustentável*”. O relatório diz que “*Desenvolvimento sustentável é desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades*”.

Neste conceito foram embutidos pelo menos dois importantes princípios: o de necessidades e o da noção de limitação. O primeiro trata da equidade e o outro se refere às limitações que o estágio da tecnologia e da organização social determina ao meio ambiente (WCED, 1991, p.46). Já que as necessidades humanas são determinadas social e culturalmente, isto requer a promoção de valores que mantenham os padrões de consumo dentro dos limites das possibilidades ecológicas. O desenvolvimento sustentável significa compatibilidade do crescimento econômico, com desenvolvimento humano e qualidade ambiental. Portanto, o desenvolvimento sustentável preconiza que as sociedades atendam às necessidades humanas em dois sentidos: aumentando o potencial de produção e assegurando a todos as mesmas oportunidades, tanto para gerações presentes como para as futuras.

Este cenário remete ao grande desafio de pensar em profundamente nas alternativas para fornecer maior quantidade de energia e ao mesmo tempo garantirmos a sustentabilidade ambiental, social e a sustentabilidade do desenvolvimento. O conhecimento sistematizado da disponibilidade de recursos energéticos, o de desenvolvimento de tecnologias de conservação e sistemas de aproveitamento mais eficientes tornam-se imprescindíveis para a segurança energética e ambiental.

A produção e o uso de energia elétrica decorrentes principalmente do aumento populacional e o incremento de demanda por energia, associados à crescente modernização da sociedade pressionam pela implantação de novos empreendimentos voltados a geração que inevitavelmente causam grandes impactos a biosfera, os quais estão vinculados a problemas sócio-ambientais que podemos considerar severos.

Vislumbra-se, portanto, que no atual contexto de consumo mundial, a eficiência energética encaixa-se como um dos principais instrumentos para garantir a sustentabilidade do



desenvolvimento, conforme o conceito construído pelo Relatório Brundtland, cujo ideal de desenvolvimento encontra-se em garantir as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades.

Todos os cenários para atendimento à demanda de energia elétrica construídos para o Plano Nacional de Energia 2030 (MME/EPE, 2007), indicam a necessidade de investimentos crescentes na oferta, portanto, podemos inferir que às políticas voltadas à promoção da eficiência energética podem contribuir de forma eficaz para a diminuição dos impactos negativos desta expansão tanto os econômicos como os ambientais.

Deve-se observar ainda que se não houver mudanças no padrão de consumo da humanidade todo o esforço em prol da eficiência será em vão. O estabelecimento de padrões de desenvolvimento mais justos adaptados às condições sociais, culturais e ambientais dos povos, garantindo que estes pratiquem formas de consumo racionais, evitando maiores pressões sobre a exploração dos recursos naturais disponíveis, deverão contribuir de forma significativa para o gerenciamento inteligente da biosfera. Os limites para o consumo são estabelecidos pelas Leis da Termodinâmica, principalmente por meio do conceito de irreversibilidade das transformações de energia que ocorrem em sistemas abertos no sentido que interage com sua área circunvizinha e evolui simultaneamente, ou seja, sempre que houver alguma transformação no sistema este nunca retornará ao seu estado original. Os processos naturais, aqueles que ocorrem espontaneamente na natureza, são todos do tipo irreversível.

O universo se degrada energeticamente de forma irreversível, sendo que esta realidade deveria levar a humanidade a pensar racionalmente sobre a disponibilidade da energia e as limitações que são cada vez mais perceptíveis. O conceito atual de produtividade não deveria ser medido pela maior quantidade de bens econômicos produzidos num determinado período de tempo, mas sim pela eficiência energética de sua produção, gerando expectativas de minimizar o processo entrópico caótico que nossa civilização tem acelerado de forma irracional.

Deve-se entender que o ser humano é uma parte da teia imensurável e inseparável de relações, sendo sua a responsabilidade de perceber as possibilidades do futuro considerando os reflexos de suas ações no universo. O pensamento voltado aos processos e não as estruturas, proporcionará as ferramentas essenciais para o entendimento do princípio da sustentabilidade, buscando o caminho possível para delinear a tênue margem entre o pensamento clássico cartesiano e o sistêmico totalmente integrativo, sendo possível desenhar o objetivo mestre para a sociedade moderna, perpetuar o futuro por meio do equilíbrio.

Considerando o contexto descrito, a escolha específica de estudar as perspectivas e



projeções de economia de energia elétrica com a difusão de sistemas de aquecimento solar, fundamenta-se principalmente na larga utilização de chuveiros elétricos para aquecimento de água e seus efeitos nocivos sobre o meio ambiente, devido ao excessivo consumo de energia. Lembramos que o Brasil é um dos poucos países do mundo que utiliza a tecnologia de chuveiros elétricos para o aquecimento de água.

Os chuveiros elétricos, de acordo com os dados da ELETROBRÁS/PROCEL (2007), estão presentes em aproximadamente 73% dos domicílios brasileiros, com maior concentração nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. O PROCEL estima que os chuveiros elétricos instalados no Brasil sejam responsáveis pelo consumo de aproximadamente 5% de toda a eletricidade produzida no país, e também são responsáveis por aproximadamente de 18% do pico de demanda do sistema elétrico nacional.

O grande desafio implica na estruturação de uma política nacional de eficiência energética, apoiada em um modelo de gestão eficaz que garanta a sua implementação e disseminação do uso da energia solar. A gestão estratégica para implementação de políticas de eficiência energética deve considerar o processo institucional de diferenciação e complementaridade de funções entre Estado, mercado e sociedade civil organizada, sendo um processo essencialmente político.

Portanto, o **objetivo geral** da dissertação será a construção de projeções que identifiquem o potencial de economia de energia elétrica considerando as perspectivas de futuro para as políticas públicas voltadas à disseminação do uso de sistemas de aquecimento solar de água em substituição a chuveiros elétricos, tendo como referência as metas para economia de energia e os cenários para a demanda interna de energia traçados pelo Plano Nacional de Energia 2030 (MME/EPE 2007).

Como **objetivos específicos** da dissertação, podemos definir o seguinte:

- a. Projetar os parâmetros inerentes à formação de mercado para os sistemas de aquecimento solar de água, principalmente o crescimento populacional e do número de domicílios, crescimento do Produto Interno Bruto e finalmente projetar o consumo residencial de energia elétrica no horizonte de 2030.
- b. Avaliar o atual estágio de desenvolvimento do mercado nacional para produtos e serviços eficientes, em especial equipamentos voltados ao aproveitamento da energia solar para aquecimento de água, com o intuito de aclarar o seu potencial de desenvolvimento tecnológico e o potencial de crescimento para atendimento das demandas futuras.



- c. Quantificar, por meio de projeções, os ganhos econômicos, ambientais e sociais inerentes à economia de energia elétrica propiciada pela adoção de sistemas de aquecimento solar de água.

Partindo das questões e dos pressupostos que balizam a eficiência energética, o trabalho procura **sustentar a hipótese que os sistemas de aquecimento solar de água são uma alternativa viável à expansão do sistema elétrico, considerando seus efeitos positivos sobre o meio ambiente, a economia e a sociedade.** Contando que somente com a adequação da estrutura institucional do Governo, de modo a torná-la sustentável, propiciará a correta implementação das políticas de eficiência energética voltadas para a disseminação do uso de sistemas de aquecimento solar de água em substituição aos chuveiros elétricos.

Em consideração aos aspectos mencionados, o trabalho de pesquisa será estruturado em cinco etapas distintas.

- a. A primeira etapa da pesquisa priorizará os aspectos teóricos das políticas públicas de eficiência energética, com levantamento bibliográfico e documental sobre conservação de energia, aquecimento solar de água, políticas públicas de fomento a eficiência energética e aquecimento solar de água, políticas públicas com ênfase no setor energético, experiência internacional na implementação de políticas de eficiência energética e aquecimento solar de água, e por fim, políticas de desenvolvimento sustentável com ênfase ambiental. Esta etapa procura ainda verificar se já foram realizados trabalhos semelhantes sob o mesmo formato, procurando garantir o ineditismo da pesquisa.
- b. A segunda etapa da pesquisa será realizada com o levantamento de informações técnicas que justifiquem a utilização de sistemas de aquecimento solar de água, considerando o atual estágio de desenvolvimento dos equipamentos e o potencial solar brasileiro. A pesquisa será realizada principalmente por meio de material bibliográfico.
- c. A terceira etapa da pesquisa procura identificar os principais parâmetros a serem utilizados nas projeções, considerando aspectos inerentes à dinâmica populacional, econômica e energética. A pesquisa se concentrará em agentes públicos como Ministério de Minas e Energia – MME, Empresa de Pesquisa Energética – EPE, Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, ELETROBRÁS, Ministério de Meio Ambiente – MMA, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Instituto de



Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA e Banco central do Brasil.

- d. A quarta etapa do trabalho será a construção dos modelos de projeção para identificar os potenciais de economia de energia elétrica, pertinentes à disseminação do uso de sistemas de aquecimento solar de água. Por meio destas projeções pretende-se comprovar a viabilidade da eficiência energética em garantir a postergação da expansão do sistema elétrico, incluindo definitivamente o conceito de conservação de energia elétrica no planejamento energético. A pesquisa será realizada por meio de consulta de material bibliográfico e entrevistas com os principais formuladores do planejamento do setor elétrico brasileiro.
- e. A quinta etapa de pesquisa será a identificação das principais ações de políticas públicas que possam viabilizar o fomento à disseminação do uso de sistemas de aquecimento solar de água de forma contínua no Brasil. A pesquisa será baseada nas principais políticas voltadas à eficiência energética em curso no País e em previsões de planejamento para o setor elétrico.

A estrutura da dissertação está disposta em cinco capítulos principais:

- a. O primeiro capítulo traz a revisão da literatura pertinente ao tema, retratando os autores mais importantes e revendo as principais noções e conceitos. O capítulo enfatiza os principais aspectos das políticas energéticas voltadas à conservação de energia e sua interface com o desenvolvimento sustentável e conservação do meio ambiente. Aborda ainda a concepção e implementação de políticas públicas, além do arranjo institucional e do arcabouço legal vigente. A revisão abrange os principais parâmetros sobre a utilização de chuveiros elétricos no Brasil e retrata as principais noções sobre o aquecimento solar de água, retratando a sua importância como instrumento de economia de energia.
- b. O segundo capítulo aborda o potencial solarimétrico do Brasil, enfatizando a distribuição regional deste potencial e a metodologia adotada para sua obtenção, ressaltando as condições mais favoráveis à implantação de sistemas termosolares. Do ponto de vista tecnológico, aborda os principais sistemas de aquecimento de água de uso doméstico, concentrando a descrição nos aspectos construtivos e operacionais dos chuveiros elétricos e dos sistemas de aquecimento solar de água, ressaltando o estado da arte destas tecnologias. Além disso, retrata-se no capítulo a comparação



- técnica entre os sistemas, levando-se em consideração o consumo de energia, instalações elétricas e hidráulicas e os custos de aquisição, montagem, operação e manutenção.
- c. O terceiro capítulo traz a tipificação do mercado consumidor de energia elétrica brasileiro, principalmente o residencial, enfatizando os hábitos de consumo, as curvas de demanda típicas e a penetração dos diversos sistemas de aquecimento de água. O capítulo enfatizada os principais parâmetros do mercado nacional sistemas de aquecimento de água projetando a penetração das tecnologias no horizonte de 2030, com base nas projeções realizadas para o crescimento populacional, econômico e de consumo de energia.
 - d. O quarto capítulo retrata a metodologia utilizada e os resultados obtidos para as projeções de penetração dos sistemas de aquecimento solar de água até 2030, de economia de energia elétrica proporcionada e os principais benefícios obtidos.
 - e. O capítulo cinco traz síntese analítica dos resultados baseadas nas informações dos capítulos anteriores comparando os principais aspectos da eficiência energética abordados no PNE 2030 com os resultados obtidos pelas projeções.
 - f. O capítulo seis apresenta as conclusões da pesquisa e as recomendações sugeridas.

Na última parte da dissertação apresenta-se às conclusões e considerações finais sobre o demonstrado nos capítulos anteriores.

2. ESTADO DA ARTE

A comunidade internacional começa a expressar suas preocupações com os limites do desenvolvimento do planeta durante a década de 60, paralelamente a eclosão das discussões sobre os riscos da degradação do meio ambiente. Tais discussões ganharam tanta intensidade que levaram a ONU a promover uma Conferência sobre o Meio Ambiente em Estocolmo no ano de 1972. No mesmo ano, Dennis Meadows publicou o estudo “*Limites do Crescimento*”. Este estudo concluía que, mantidos os níveis de industrialização, poluição, produção de alimentos e exploração dos recursos naturais, o limite de desenvolvimento do planeta seria atingido, no máximo, em 100 anos, provocando uma repentina diminuição da população mundial e da capacidade industrial.

Em 1973, o canadense Maurice Strong lançou o conceito de ecodesenvolvimento, cujos princípios foram formulados por Ignacy Sachs. Os caminhos para o desenvolvimento, de acordo



com os autores, seriam seis: satisfação das necessidades básicas; solidariedade com as gerações futuras; participação da população envolvida; preservação dos recursos naturais e do meio ambiente; elaboração de um sistema social que garanta emprego, segurança social e respeito a outras culturas; programas de educação. Esta teoria referia-se principalmente às regiões subdesenvolvidas, envolvendo uma crítica à sociedade industrial. Foram os debates em torno do ecodesenvolvimento que abriram espaço ao conceito de desenvolvimento sustentável.

Uma nova leitura que Sachs (1986) faz do desenvolvimento dentro da nova proposta de ecodesenvolvimento, que propõe ações que explicitam a necessidade de tornar compatível a melhoria nos níveis e qualidade de vida com a preservação ambiental tinham como pressuposto a existência de cinco dimensões do desenvolvimento: a sustentabilidade social, a sustentabilidade econômica, a sustentabilidade ecológica, a sustentabilidade espacial e a sustentabilidade cultural. Esses princípios se articulam com teorias de autodeterminação, que estavam sendo defendidas pelos países não alinhados desde a década dos 60 (Sachs, 1986; Guzman, 1997, Jacobi, 1997).

A teoria do desenvolvimento sustentável, ou ecodesenvolvimento, parte do ponto em que a maior parte das teorias que procuraram desvendar os mistérios sociais e econômicos das últimas décadas não obteve sucesso. O modelo de industrialização tardia ou modernização, que ocupou o cerne de diversas teorias nos anos 60 e 70, é capaz de modernizar alguns setores da economia, mas incapaz de oferecer um desenvolvimento equilibrado para uma sociedade inteira. De acordo com Brüseke (2003), a modernização, não acompanhada da intervenção do estado racional e das correções partindo da sociedade civil, desestrutura a composição social, a economia territorial, e seu contexto ecológico. Emerge daí a necessidade de uma perspectiva multidimensional, que envolva economia, ecologia e política ao mesmo tempo, como busca fazer a teoria do desenvolvimento sustentável. Para o autor, o conceito desenvolvimento sustentável sinaliza uma alternativa às teorias e aos modelos tradicionais do desenvolvimento, desgastadas numa série infinita de frustrações.

Barbier (1987) sugere que o desenvolvimento sustentável pode ser visto como uma interação entre três sistemas: ambiental, econômico e social. Neste sentido o desenvolvimento sustentável dependeria do uso equilibrado dos recursos naturais, respeitando-se tanto o ritmo dos ecossistemas, quanto o atendimento das necessidades básicas das sociedades apontadas pela própria sociedade. Levando-se em conta que a energia tem um papel fundamental no desenvolvimento e crescimento de um país, são cada vez mais necessários: a produção e o uso das fontes energéticas para se poder produzir maior quantidade de alimentos, bens de



consumo e de serviços, lazer e, principalmente, para promover os desenvolvimentos econômicos, sociais e culturais (CARNEIRO; ROCHA, 2006).

O conceito de eficiência energética está ligado à minimização de perdas na conversão de energia primária em energia útil. As perdas ocorrem para qualquer tipo de energia, seja térmica, mecânica ou elétrica. A criação e aplicação de políticas voltadas ao fomento da eficiência energética, formada por um conjunto de práticas coesas e associadas à realidade ambiental, podem influenciar positivamente os esforços de aproximar o crescimento econômico aos modelos de sustentabilidade ambiental (Alves, 2007).

Vislumbra-se, portanto, que no atual contexto de consumo mundial, a eficiência energética encaixa-se como um dos principais instrumentos para garantir a sustentabilidade do desenvolvimento. A eficiência energética enquanto política governamental e empresarial é uma área de atuação relativamente nova e inovadora. Conquanto as Leis da Termodinâmica sejam datadas do século XIX, a intensificação dos esforços para a obtenção de maior eficiência energética somente ocorre de forma estruturada a partir das últimas décadas do século XX, sobretudo em resposta às crises do petróleo, em 1973 e 1979.

Vários países vem adotando políticas de eficiência energética de modo sistemático, principalmente por implicações ambientais. O Energy Efficiency: A Worldwide Review – Indicators, Policies, Evaluation (WEC, 2004) traz informações sobre o estado atual das políticas de eficiência energética em execução ou implementação no cenário mundial, demonstrando de forma alentadora que existem soluções para a diminuição da intensidade energética, principalmente dos países desenvolvidos.

Geller (2003) apresenta-se como um dos autores que preconizam estudos sobre a necessidade de adequação das políticas públicas para atendermos o objetivo de sermos mais eficientes no consumo de energia, adequando-nos a um futuro sustentável.

Anteriormente, Jannuzzi (2000) já procurava identificar as motivações e os mecanismos para preservação dos “bens públicos” no contexto energético mundial e nacional. Enfocando as reformas do setor de energia e suas implicações para eficiência energética, energias renováveis e pesquisa e desenvolvimento.

O Desafio do Planejamento Governamental (MP, 2002) aponta que, após cerca de três anos de implantação de um novo modelo de gestão pública no governo federal, no contexto do Plano Plurianual 2000-2003, podem-se contabilizar mudanças importantes na administração pública brasileira. Do mesmo modo, vão se tornando cada vez mais evidentes os imensos desafios a serem vencidos para a consolidação de uma gestão pública empreendedora. A



contribuição deste documento, em primeiro lugar, é mostrar as etapas principais da construção do novo modelo de gestão pública orientada para resultados. A avaliação do documento aponta, ainda, um conjunto de desafios que se apresentam para o planejamento governamental, como desdobramento natural dos avanços realizados nos últimos anos, principalmente no setor energético.

O estado brasileiro vem aprimorando alguns de seus instrumentos de políticas públicas voltados ao setor energético, introduzindo diretrizes que contribuirão para a disseminação de ações de eficiência energética. O Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030, MME/EPE, 2007), cujo objetivo é promover melhoria na confiabilidade e qualidade do suprimento energético, atualizando previsões de crescimento de demanda e consumo, bem como descrevendo as principais ações e implementações que serão necessários para o atendimento energético do País. O PNE dedica um capítulo à eficiência energética, inclusive traçando metas audaciosas de atender aproximadamente 10% do consumo de energia elétrica em 2030 por meio de conservação de energia.

Não há como negar o papel fundamental do estado na indução de políticas públicas voltadas a ações de eficiência energética, seja pelo seu papel de regulador e planejador, devendo garantir suprimentos energéticos adequados, seja pela necessidade de nos adaptarmos as novas demandas climáticas. Em seu trabalho, Landi (2006) procura demonstrar a evolução do papel do Estado e sua relação com as políticas públicas voltadas à infra-estrutura nacional, destacando o papel das agências reguladoras e o novo planejamento energético. Landi demonstra a passagem de uma política setorial com forte intervenção estatal para um modelo mais mercantil, porém mantendo o Estado no papel de regulador e fomentador de políticas. O setor de energia se recente de certa forma de um modelo de planejamento mais voltado ao desenvolvimento sustentável e não apenas o seguido pelo apelo econômico.

Neste sentido, Alves (2007) preconiza que a criação e aplicação de uma política, ou conjunto de políticas, de incentivo à eficiência energética, composta por um conjunto harmônico e coeso de instrumentos adequados à realidade nacional resultará em um aumento da competitividade da indústria nacional; expansão da oferta de energia a custo mínimo; e avanços no sentido de aproximar a economia nacional de um modelo ambientalmente sustentável. Alves ressalta que as implementações de políticas públicas de apoio à eficiência energética, muitas vezes necessitaram de uma larga escala de aplicação e muitos dos investimentos em eficiência energética precisam ser coordenados, alguns destes forçosamente devem ser públicos por serem destinados a corrigir falhas de mercado. O conhecimento dos diversos instrumentos de



políticas de incentivo à eficiência energética existentes propiciará às instâncias decisórias envolvidas melhores condições para a elaboração e implantação daqueles que se mostrarem mais necessários e eficazes para a realidade nacional.

Sobre a caracterização das políticas públicas voltadas a eficiência energética, Cohen (2002) questiona em seu trabalho, observando a forte correlação entre PIB¹ e consumo de energia, que tipo de consumo de energia será delineado para países em desenvolvimento, indagando sobre qual a relação entre intensidade energética e renda domiciliar em metrópoles brasileiras e qual o tipo de energia mais consumido, a forma direta por meio de utilização de fontes energéticas primárias ou o consumo de energia indireto pela aquisição de produtos e serviços. Parte da análise elaborada por Cohen parte do princípio que não só o crescimento econômico influencia o consumo de energia, mas também o crescimento humano pode evocar influências no modo de consumo e na quantidade energia utilizada nos domicílios brasileiros. O autor ressalta, utilizando dados do IDH², que países com maior grau de desenvolvimento humano consomem até dez vezes mais energia *per capita* do que países com baixo desenvolvimento humano. Caracterizando assim uma correlação direta entre consumo de energia e entre o bem estar humano. Esta correlação parece ser válida para o Brasil onde uma parcela pequena da população, de maior renda, consome a maior parte da energia direta, sem mencionar a energia indireta embutida em produtos e serviços.

Menkes (2004) analisa a experiência brasileira, mostrando o arranjo institucional das ações de eficiência energética e oscilações que ocorreram ao longo do tempo, face, principalmente às mudanças político-institucionais. A autora aborda a reforma do setor elétrico, especialmente no que se refere às implicações para a política de eficiência energética e ambiental. Neste sentido foi ressaltada, a importância da atuação do Estado como regulador das ações que dizem respeito a essas políticas. Entre as conclusões da tese de Menkes (2004) destacam-se que o principal motivo para a implementação de eficiência energética nos países desenvolvidos é de ordem ambiental; cuja interação entre programas de eficiência como água, energia, reciclagem, possibilitam a economia de recursos naturais.

Para Menkes (2004) o objetivo da política energética deve ser contribuir para o desenvolvimento sustentável da sociedade. Proporcionando por meio da eficiência energética e a utilização de fontes alternativas o suprimento das necessidades de conforto e abastecimento para a sociedade, porém utilizando para isto a menor quantidade possível de energia. De todas

¹ Produto Interno Bruto

² Índice de Desenvolvimento Humano – Relatório de Desenvolvimento Humano de 1999 - PNUD



as opções de políticas energéticas, o desenvolvimento de fontes energéticas renováveis e a adoção da eficiência energética, são, sem dúvida, os instrumentos mais afinados aos critérios de desenvolvimento sustentável (OECD, 2000).

Hoje se busca delinear o novo papel do Estado, no qual este se afasta da implementação de ações e age mais como regulador das ações de outros segmentos da sociedade.

Para Menkes (2004) o debate sobre a regulação pública vem precedido de uma premissa básica: *sem condições institucionais sólidas não há como considerar a possibilidade de tornar os instrumentos de intervenção ou indução efetivos*. A regulação pública entendida como a ação do Estado no sentido de assegurar o interesse público mediante as diversas forças da sociedade, pode se dar de diversas formas, direta ou indiretamente.

No caso específico da eficiência energética, a regulamentação é implementada quando se reconhece que as falhas do mercado, principalmente envolvendo custos e tecnologia, não permitem que instrumentos econômicos sozinhos alcancem os objetivos requeridos.

“Por mais que haja uma conscientização ampla da importância da eficiência energética para a sociedade e para o meio ambiente, não há meio de instituí-la, definitivamente, se não for por meios legais. A força da lei é que vai fazer com que sejam implementadas as políticas públicas”. (Menkes, 2004).

A transparência é fundamental para se garantir a legitimidade social à atuação independente dos mecanismos de regulação. Nesse sentido, deve-se assegurar, por meio de estruturas estatutárias e mecanismos práticos, a maior quantidade possível de canais de comunicação com sociedade e seus órgãos de representação, de forma a obter uma visão pluralista e balanceada dos pontos de vista específicos dos grupos de interesse. Para auxiliar essa tarefa, os mecanismos regulatórios devem utilizar a prática usual de elaboração de consultas públicas, em audiências prévias às tomadas de decisões e com a publicação de documentos preliminares para a apreciação dos interessados. Outro aspecto importante para o controle social dos processos regulatórios se dá pela aprovação de balanços anuais das atividades das agências ou órgãos envolvidos, bem como a necessidade de existência de processos de auditoria, para que haja controle social sobre as agências ou órgãos equivalentes.

A implementação de ações de eficiência energética intervém em praticamente todas as atividades do dia a dia da sociedade (residências, comércio, indústria, transporte e hábitos de consumo). Neste sentido a participação social é imprescindível para o sucesso de qualquer política pública voltada a fomentar a eficiência energética. A sociedade deve ter o direito e o dever de intervir em ações e programas que vão ser direcionados a elas. A participação da



sociedade requer conscientização, principalmente pela divulgação dos conceitos de eficiência energética e seus inerentes benefícios ao meio ambiente. Portanto são necessários programas educacionais voltados a todos os níveis de instrução, além de um programa de marketing bem estruturado.

Sola (2006) analisa os fatores determinantes para Eficiência Energética, identificando o modo pelo qual as forças externas, políticas, culturais e econômicas, atuam sobre esses fatores e os impactos no objeto de estudo, para subsidiar um futuro planejamento de cenários em Gestão Energética. O resultado da análise, com base em trabalhos científicos, estudo de caso com universidades, pesquisas com empresas, estudos do Governo Federal e de especialistas, mostra que eficiência energética depende: da eficácia das ações governamentais para o desenvolvimento tecnológico; do desenvolvimento tecnológico; de iniciativa das universidades para a transferência de tecnologia às empresas; do modo de relacionamento entre indivíduos e pequenas empresas para estruturação corporativa. Além disso, a estrutura política e regulatória associadas a incentivos econômicos tornam-se vitais ao fomento de eficiência energética.

As políticas públicas voltadas à eficiência energética necessitam de incentivos econômicos para sua implementação, sejam estes taxas ou multas, adequação tarifária ou a garantia de diminuição de custos para o consumidor. Um claro exemplo desta política foi dado durante o racionamento de energia ocorrido entre os anos de 2001 e 2002, quando foram adotadas medidas restritivas ao consumo de energia elétrica por meio de penalidades aos consumidores que não cumprissem a meta de redução do seu consumo. A estratégia adotada durante o racionamento teve apoio de uma maciça campanha de esclarecimento da população sobre os riscos de desabastecimento de energia, tendo como resposta a mobilização inequívoca da sociedade em prol da diminuição do consumo de energia elétrica. Além disso, incentivos fiscais podem incrementar a produção e comercialização de produtos energeticamente eficientes. A retirada de subsídios ao preço dos energéticos pode incentivar também a adoção de medidas de eficiência energética. Porém, cabe ressaltar que no Brasil, a tarifa de energia elétrica tem um caráter forte de redistribuição de renda, por meio de fundos setoriais que financiam atividades como Luz Para Todos, o Reluz, as contas CCC na forma de concessão de subsídio à utilização de diesel para a geração de energia elétrica na região norte, e principalmente subsidiar as contas de energia elétrica para os consumidores baixa renda enquadrados na Tarifa Social.

Nota-se que a presença regulatória do Estado é fundamental para implementação de políticas de eficiência energética, porém o suporte para as políticas de fomento à eficiência



energética necessita de um claro engajamento da sociedade, seja por sua mobilização, seja pelo desenvolvimento tecnológico promovido por suas ações. Torna-se inequívoco comentar que Estado deve fornecer os instrumentos de fomento para que a sociedade possa usufruir dos efeitos benéficos da eficiência energética, principalmente a redução de impactos ambientais inerentes ao consumo e produção de energia.

O trabalho de Teixeira (2007) parte da problemática relacionada aos mecanismos que proporcionam o envolvimento do cidadão no modelo de gestão energética implementado em âmbito nacional e estadual e no processo de formulação de políticas públicas participativas, em especial às ligadas ao setor energético, o qual envolve princípios de sustentabilidade e desenvolvimento ambiental. A pesquisa objetivou “verificar se o Modelo de Gestão Energética implementado em âmbito Nacional e Estadual sob a ótica ambiental e o desenvolvimento sustentável é congruente com o processo de formação de Políticas Públicas Participativas”. A Pesquisa revelou que apesar da crescente conscientização da necessidade de participação cidadã na discussão das normas e no discurso formal do governo, a participação direta da comunidade na implementação de políticas públicas e nos modelos de gestão, especialmente as que envolvem bens coletivos (como é o caso do setor energético) necessita ser mais bem articulada para o bem do interesse público e para a tão necessária eficiência da Administração Pública, em seus três diferentes níveis: o federal, o estadual e o municipal.

Neste sentido, em sua tese, Achão (2003) determina e analisa a estrutura de consumo de energia pelo setor residencial brasileiro, onde demonstra o impacto do nível de renda e das diferenças regionais no consumo familiar de energia. Desta forma, a ótica deste estudo é importante na medida em que procura identificar a relação existente entre consumo residencial e bem-estar: *tem-se claro que a utilização de fontes de energia nos domicílios está intrinsecamente ligada ao nível de renda a que pertencem* COHEN (2002) Desta forma, uma pequena parcela da população brasileira, detentora de importante parte da renda global, consome uma quantidade de energia comparável, em termos absolutos, a países da América do Norte e Europa, enquanto que grande parte da população não consome o suficiente para o atendimento das suas necessidades mais essenciais.

A análise da autora mostra que o consumo de energia elétrica destina-se principalmente à conservação de alimentos (34,9%), iluminação (17,2%) e aquecimento de água (17%). Os 30% restantes ficam divididos entre serviços gerais (12%), condicionamento ambiental (11,2%) e lazer (7,6%). De acordo com autora, mais da metade de toda a energia elétrica consumida pelo setor residencial (51,7%) é destinada à classe de maior renda, acima de dez salários mínimos,



enquanto que a classe de menor renda, até um salário mínimo consome apenas 5,9% do total de energia elétrica do setor residencial.

Para o caso específico do aquecimento de água por fonte elétrica os consumidores com renda acima de cinco salários mínimos são responsáveis pelo consumo de 86,6% de toda a energia elétrica destinada a este uso final. Enquanto as classes de renda cujo rendimento está abaixo de cinco salários mínimos são responsáveis por apenas 13,4% do consumo de energia elétrica para este uso final.

Segundo Achão (2003) o aquecimento de água residencial é muito expressivo nas regiões Sul e Sudeste do País, onde mais de 85% dos domicílios possuem chuveiro elétrico. Nas regiões Norte e Nordeste, o uso da água quente é reduzido, devido ao menor nível de renda e às temperaturas médias maiores.

A escolha do chuveiro elétrico pela maior parte dos consumidores residenciais se deve, entre outras razões, ao seu baixo custo inicial e a extrema facilidade de instalação e operação. Pode-se acrescentar ainda o fato de outras alternativas, como o aquecimento solar, ainda não constituírem opções economicamente viáveis para a maioria dos consumidores.

Resultados de trabalhos de pesquisa (MATAJS, 1997) que incluíram medições e levantamentos de dados por questionários, que a Universidade de São Paulo (USP) realizou em conjunto com a ELETROPAULO, no setor residencial, demonstraram que os chuveiros elétricos provocam aumento de potência média instalada de 121%, ou seja, a potência do chuveiro ultrapassa a soma de todos os outros eletrodomésticos juntos. Demonstra, ainda, que a inclusão do chuveiro elétrico eleva a demanda máxima média em 365%, ou seja, no momento em que é utilizado o chuveiro elétrico, a demanda sobe para mais de 4,5 vezes o consumo médio. A substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar traduz-se em economia, em médio prazo, principalmente para o usuário final, pois exige baixíssima manutenção e possui vida útil, em média, superior a quinze anos, proporciona economia na conta de energia elétrica e recupera o investimento num período de três a cinco anos.

Arouca (1982) confirma que “a eletricidade é a principal energia utilizada para aquecimento de água no Brasil. Em segundo lugar aparece a energia térmica proveniente de gás encanado, utilizado principalmente no Rio de Janeiro e em menor escala em São Paulo.”

Corroborando com esta visão Graça (1990) afirma que, para a maior parte das famílias brasileiras que habitam residências sem instalações hidráulicas adequadas e sem reservatórios de água quente, o chuveiro elétrico é a única opção viável.

Segundo Ferreira (2004) o consumidor brasileiro foi induzido a acreditar que a energia



elétrica era limpa, abundante e inesgotável. De acordo com Ferreira este quadro proporcionou o estabelecimento de algumas características muito próprias do Brasil, entre elas o fato de o Brasil ser um dos poucos países do mundo onde a utilização de chuveiros elétricos é difundida.

Zoellner (2005) descreve a incidência da utilização de chuveiros elétricos para aquecimento de água nas edificações brasileiras. O autor argumenta que devido ao seu baixo custo e facilidade de instalação, o chuveiro elétrico é o grande democratizador do acesso à água quente no Brasil. O chuveiro elétrico tem como característica possuir um ótimo desempenho em converter energia elétrica em térmica, além de não precisar de tubulações específicas para água quente. Zoellner refere-se à De Marchi³ comentando que o chuveiro elétrico é um produto genuinamente brasileiro, concebido no início do século XX para suprir as deficiências específicas das construções brasileiras. Zoeller afirma ainda, que após pesquisa entre grandes empresas de projeto e construção civil, o chuveiro elétrico é previsto para a totalidade de empreendimentos voltados para a classe C, previsto ainda para algo próximo a 40% para empreendimentos imobiliários para a classe B e em apenas 5% dos projetos voltados à classe A. Observa ainda que para projetos voltados a classe A o chuveiro elétrico é previsto em 95% dos casos para uso nos banheiros de empregada. Apesar destes percentuais o autor afirma que no estado de São Paulo 97% dos domicílios contam ao menos com um chuveiro elétrico.

Segundo o BEN 2008 o setor residencial consome aproximadamente 22,1% da energia elétrica comercializada no Brasil, sendo que se estima, com base em dados mais recentes da ELETROBRÁS, que aproximadamente 33% da energia consumida nos domicílios é utilizada para aquecimento de água por meio da utilização de chuveiros elétricos. Raimo (2007) comenta que apesar da energia solar ser compatível com o aquecimento de água residencial, esta não aparece contabilizada no Balanço Energético Nacional. Comenta ainda que os dados fornecidos pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento – ABRAVA, que no ano de 2005 a economia de energia elétrica com a utilização de aquecedores solares de água foi de aproximadamente 333,2 GWh, equivalentes a 0,40% do consumo total de energia elétrica no País.

Dada a importância do consumo de energia elétrica especificamente para o aquecimento de água residencial, não podemos nos furtar a pensar em formas alternativas e sustentáveis para prover este aquecimento. A alternativa mais adequada a este desafio, no entendimento da

³ Ítalo M. De Marchi. Engenheiro e estudioso que trabalha com patentes de chuveiros elétricos desde a década de 1970. entrevistado por Zoellner em 2004.



maioria dos autores, é o aquecimento solar de água. A adoção dessas formas alternativas de prover energia para o aquecimento de água, especificamente no caso da energia termossolar, passa necessariamente por uma intervenção do Estado, principalmente pelo fomento de políticas públicas que induzam a substituição do chuveiro elétrico, cujo custo inicial é muito baixo em comparação com sistemas de aproveitamento solar.

Para Madureira (1996) a utilização de aquecimento solar não deixa de ser uma forma de conservação de energia elétrica e como tal, tem impacto sobre três aspectos importantes. O primeiro é o econômico, podendo ser subdividido em macroeconômico, quando a conservação de energia elétrica permite que o Estado diminua seus investimentos na geração de eletricidade e em microeconômico, quando o aumento da eficiência diminui o consumo energético de determinados equipamentos e acarreta uma redução do custo de produção. O segundo aspecto é do planejamento do setor energético, quando, ao se evitar ou retardar os investimentos na geração de eletricidade, tem-se maior flexibilidade para se planejar a expansão dos sistemas de produção de energia elétrica. O terceiro é o social e ambiental, quando na substituição de uma tecnologia por outra de menor consumo energético ocorre uma diminuição do impacto ambiental intrínseco àquela atividade.

Segundo Mesquita (1996) a utilização de sistemas de aquecimento solar em larga escala pode contribuir também para o desenvolvimento econômico do país, uma vez que a tecnologia já é dominada nacionalmente e gera muitos empregos na fabricação, nas vendas e na área de projeto e instalação. Graças à distribuição de empresas em quase todo o Brasil, o aquecedor solar permite o emprego de mão de obra local, principalmente nas fases de instalação e manutenção.

As colocações de Leite (1997) deixam claro que: “a utilização da energia solar para aquecimento de água já pode ser introduzida sem problemas técnicos em residências e outros ambientes”. Complementa que: “no caso do Brasil, o aquecimento por via solar direta teria papel relevante, porque poderia substituir, em parte, a inconveniente carga representada pelos chuveiros elétricos, cujo consumo é estimado em mais de 2% do consumo total nacional. É matéria que merece atenção especial pela substancial redução da demanda de energia elétrica e, portanto, redução de investimentos em geração maiores do que os representados pela instalação dos aquecedores solares.” O uso da energia solar em substituição aos chuveiros elétricos no aquecimento de água é indicado por ser a energia solar uma das únicas que apresentam características suficientemente distributivas para esse uso. A ABRAVA (1996) (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento) afirma em



suas publicações que mais de 6% de todo o consumo nacional de energia elétrica, é utilizado para alimentar chuveiros elétricos. O mesmo percentual de 6% é estimado pela Eletrobrás (ANEEL, 1998), três vezes mais que as estimativas referenciadas por Leite (1997). Observamos que o contraste de percentuais alimentam dúvidas quanto à exatidão numérica, porém, deixa clara a relevância percentual.

O uso de eletricidade para aquecimento de água é um problema cultural. Simplesmente criou-se o costume de se aquecer água desta maneira equivocada. Isto se deu principalmente devido ao incentivo dado pelo governo, através de subsídio da tarifa de energia elétrica, para que se trocasse combustíveis fósseis por eletricidade na intenção de fugir da dependência externa de energia. Em nenhum outro país utiliza-se tanta energia elétrica para aquecimento de água quanto no Brasil (Leite, 1997), tanto que os chuveiros elétricos estão presentes em 70% dos lares brasileiros (ANEEL, 1998).

A viabilidade econômica e técnica da energia solar era bastante controverso nas décadas de 1970 e 1980, como pode ser visto na literatura da época e particularmente na frase: *“Ainda que pareça surpreendente aos atuais consensos sobre energia, a conclusão dessa última sondagem sobre a tecnologia solar é que tal tecnologia não é viável.”* (Georgescu, 1979). Georgescu argumentava que a energia necessária para produzir coletores solares viria de uma instalação não solar, provavelmente a base de combustível fóssil, que também supriria a produção de equipamentos de capital para o novo processo. E concluiu que, desta maneira, qualquer utilização da radiação solar nada mais é do que um parasita das tecnologias existentes. Para ele uma tecnologia para ser viável deve ser capaz de se auto reproduzir e além disso, ser independente de fontes externas (Georgescu, 1983). No caso da geração de energia elétrica por meio de equipamentos solares fotovoltaicos, estes eram feitos, na grande maioria, de selênio (William, 1975) e sendo este um recurso exaurível, e relativamente raro, as conclusões eram que não existia diferença entre usar energia solar ou qualquer outro combustível fóssil. Entretanto, a tecnologia de silício monolítico desenvolveu-se rapidamente, e o silício é farto na natureza, de forma que os últimos argumentos de Georgescu não são mais tão fortes quanto eram antes.

Com relação a estudos datados da mesma época já eram publicados trabalhos que demonstravam baixos custos, de equipamentos solares, a níveis competitivos com métodos clássicos (Behrman, 1979). Outros trabalhos concluíam que o valor de um investimento solar era muito dependente do critério econômico selecionado (Lunde, 1980), ou que o retorno do investimento era um critério econômico a ser usado para a avaliação do valor de uma instalação



solar (Simonson, 1984).

Segundo Prado (1991) apesar do grande potencial hidroelétrico, o Brasil não estará imune a longo prazo dos efeitos nocivos do aumento de custos para o aproveitamento de seu potencial, devido principalmente às grandes distâncias a serem vencidas para levar a energia elétrica aos centros consumidores e ainda referente aos problemas de custo ambiental, pois os maiores aproveitamentos hidráulicos disponíveis concentram-se na região amazônica. Devemos ainda considerar que o custo da utilização de energia elétrica para aquecimento de água é bastante alto, representando uma parcela significativa da energia residencial consumida. Em habitações de baixa renda, aproximadamente 32% da energia elétrica consumida é destinada ao aquecimento de água por meio de chuveiros elétricos (Prado, Gonçalves, 1992), justificando-se assim o desenvolvimento de meios de otimizar e incentivar o aproveitamento de outras fontes energéticas.

Em um projeto para otimização do consumo de energia elétrica em residências japonesas, descrito por Udagawa, Kimura (1997), a utilização de sistemas de aquecimento solar de água, isolamento térmico de paredes e geração de energia por meio de células fotovoltaicas reduziram o consumo em 50%.

A maior barreira para a difusão do aproveitamento da energia solar refere-se aos custos iniciais relativamente altos dos equipamentos e instalações. Porém, segundo Healey (1997) o custo de manutenção e operação são muito baixos em comparação a fontes energéticas tradicionais, sendo equivalente a aproximadamente 12% do custo inicial de implementação ao longo de 20 anos de utilização. Outro fator que se estima restringir o uso de sistemas de aquecimento solar é a pouca confiabilidade dos usuários. Neste sentido, Tsilingiris (1997) propõe a implementação de um sistema de garantias para o usuário. Esta garantia poderia ser dada por fabricantes e instaladores, por meio da reposição do montante aplicado pelo usuário caso este não se sinta satisfeito com os benefícios dos sistemas. Ou ainda incentivar que empresas especializadas forneçam o serviço terceirizado de água quente, ou seja, a empresa seria responsável pelo projeto, construção, financiamento e manutenção dos sistemas de aquecimento solar de água e o cliente pagaria com a economia de energia proporcionada.

Para a consolidação da tecnologia de aquecimento solar de água será sempre necessária a consolidação e o desenvolvimento de avanços tecnológicos, principalmente o desenvolvimento de novos materiais mais eficientes no aproveitamento da luz solar. Além disso, a disseminação destas novas tecnologias garantirão o crescimento do mercado (Almanza, 1997).



Segundo Silva (1999), o alto investimento inicial na aquisição e instalação de sistemas de aquecimento solar de água deverá requerer uma ação governamental que possibilite que o investimento inicial ser estendido no tempo a juros baixos. Caberia ao governo abrir uma linha de crédito para a instalação de aquecedores solares e dupla tubulação, regulamentar a construção da dupla tubulação para as empresas de construção civil, cobrar as devidas taxas às concessionárias de energia elétrica pela externalidade. Com isso, o consumidor também seria beneficiado a longo prazo, porém, estaria nesse tempo numa curva de indiferença mais alta, porque após o término do financiamento só caberia a ele a manutenção do equipamento e esse valor monetário é bem inferior à tarifa de energia elétrica. O governo tem as mesmas vantagens que na proposta anterior com a diferença negativa do financiamento. A construção civil novamente não perde. A concessionária de energia elétrica pode novamente vender a energia liberada ou pelo menos não precisar fazer outros investimentos. E finalmente a empresa solar teria um baixo investimento e mercado garantido.

No ano de 2004 o Brasil contava com uma área de coletores solares instalada de 2.200.458 m², gerando uma potencia térmica acumulada de 1.540,32 MW⁴, resultando em uma capacidade instalada de 0,89 MW/100 mil habitantes (Faria, 2006). Como comparação países como Israel, Grécia e China tem respectivamente 52, 19 e 3,33 MW/100 mil habitantes de capacidade instalada (EIA, 2004). Estes dados mostram que o Brasil tem um enorme potencial de crescimento na utilização de sistemas de aquecimento solar de água.

Segundo Lima (2003) no Brasil a maioria dos sistemas de aquecimento solar de água são dimensionados utilizando tabelas fornecidas pelos fabricantes, que indicam o numero de placas de acordo com o numero de pessoas que habitam a residência e o numero de pontos de utilização de água quente. Este dimensionamento está baseado na intuição e experiência dos fabricantes do que em dados científicos. Lima propõe em seu trabalho o dimensionamento otimizado dos coletores solares levando em consideração dados e análises científicas, garantindo o melhor desempenho e a eventual redução de custos.

A implantação de sistemas de coletores solares representa para a concessionária uma das alternativas para se aplicar o Gerenciamento pelo Lado da Demanda. Um dos objetivos do GLD é minimizar a carga na ponta, reduzindo-a ou deslocando-a para outro horário, fazendo com que os consumidores finais sejam estimulados a transferir seus horários de consumo de energia (CHADE, 2004). As atividades de GLD incluem o gerenciamento de carga, a conservação de energia, a eletrificação e o crescimento estratégico do mercado. Para a

⁴ 1m² de coletor solar instalado gera aproximadamente 0,7 kWth – Fator de conversão adotado pela EIA



concessionária, a atuação em GLD pode representar um recurso para minimizar casos de furtos de energia, aumentar o fator de carga do sistema elétrico e manter a confiabilidade. Para o consumidor, pode significar uma melhoria da qualidade do serviço recebido da concessionária (OLIVA e BORGES, 1996).

Segundo Chade (2004), os principais tipos de programas de GLD utilizados são a redução da ponta de carga, redução estratégica de carga, preenchimento de vales, crescimento estratégico de carga, deslocamento de carga e flexibilidade da carga. No programa em que se busca a alteração do nível de consumo através da substituição de equipamentos mais eficientes ou alternativos, pode-se considerar a substituição dos chuveiros elétricos por aquecedores solares. O chuveiro elétrico é considerado o grande responsável pelo valor da conta de eletricidade do setor residencial; seu uso torna-se inadequado para o sistema elétrico em função do horário de uso (principalmente no horário de ponta), de sua elevada potência (que vem aumentando nos últimos anos) e de seu reduzido período de uso (baixo fator de carga) (OLIVA e BORGES, 1996).

Para Batista (2006) a disseminação da utilização de sistemas de aquecimento solar ainda depende da implantação de medidas de incentivo que ajudem a ultrapassar as barreiras técnicas, econômicas e de mercado existentes. Medidas como alteração do código de construção civil, maior divulgação da tecnologia, capacitação do pessoal envolvido no processo de instalação, pesquisa e desenvolvimento de novos materiais e de equipamentos mais eficientes, determinação de metas ambientais e de utilização de fontes renováveis, dentre outras, podem impulsionar o crescimento da tecnologia no Brasil. Batista conclui, de acordo com as simulações aqui realizadas em seu trabalho, que os sistemas solares de aquecimento de água apresentam grande viabilidade para o segmento hoteleiro e podem representar em alguns anos, uma economia significativa para os empreendimentos, reduzindo seu consumo de energia elétrica, tanto na ponta como fora de ponta.

No Brasil varias ações para difusão e implementação de sistemas de aquecimento solar de água já foram desenvolvidas ou estão em curso, porém ainda de forma limitada a alguns programas específicos como o PROCEL e o Programa de Eficiência Energética regulado pela ANEEL⁵, não se caracterizando como uma política pública propriamente dita. Fantelli (2006) em sua tese de doutorado aborda a difusão do uso de aquecedores solares em unidades residências de baixa renda no município de Contagem – MG. Fantelli demonstra o comportamento da população e os resultados positivos da economia de energia elétrica no

⁵ Refere-se à aplicação da Lei nº 9.991/2000



projeto implementado pela ELETROBRÁS em parceria com a CEMIG e o GREEN Solar da PUC de Minas Gerais.

Para Baptista (2006) apesar dos efeitos benéficos ao meio ambiente e os aspectos econômicos positivos da tecnologia solar, um grande número de barreiras ainda impede sua grande difusão, como, por exemplo, os custos iniciais de instalação ainda considerados elevados quando comparados às alternativas convencionais, a falta de financiamento a juros adequados para empresas e consumidores, padrões de qualidade pouco difundidos ou inadequados e o relativo desconhecimento da tecnologia. Além disso, a maioria dos potenciais usuários ainda precisa estar motivada para fazer os investimentos necessários e para isso, a divulgação é um ótimo meio de esclarecer dúvidas e derrubar alguns mitos.

No plano internacional Diakoulaki (2001) demonstra a importância estratégica da adoção, pela Grécia, de uma política de incentivo ao uso de aquecimento solar de água, revelando os benefícios da economia de combustíveis fósseis, que são à base da geração elétrica no país, e os inerentes benefícios ambientais associados. Hoje a Grécia destaca-se com um dos países que mais utilizam aquecimento solar de água, junto com Israel e a China. Porém na China, de acordo com Zahi (2006) a energia solar está recebendo muito mais atenção na construção de sistemas energéticos nos últimos anos. A utilização de sistemas térmico-solares estão sendo integrados as edificações de forma maciça inclusive com a utilização de suas fachadas.

Como vários outros países, a Nova Zelândia está avançando na utilização de energias renováveis, e recentemente anunciou uma política de incentivos para a utilização de sistemas solares de aquecimento de água, implementada por meio da Autoridade Para a Eficiência Energética e Conservação (ELAC). Roulleau (2008) descreve o novo programa e opiniões políticas internacionais em matéria de aquecimento solar de água, analisando os aspectos que têm sido eficazes em conquistar uma maior penetração de sistemas solares para aquecimento da água. Além disso, analisa os fatores que levam ao êxito da implementação destas políticas e os possíveis impactos negativos. A discussão é referendada pela experiência internacional em políticas de fomento.

Segundo Souza (2007) a utilização de sistemas de aquecimento solar no Brasil e no resto do mundo, mais notadamente na Europa, China, Índia, América do Norte, Austrália e Israel, é motivada por uma série de medidas governamentais, públicas e pela sociedade civil organizada. Tais iniciativas nem sempre são replicáveis em outros países sem os devidos “ajustes” particulares a cada um, considerando-se seus aspectos políticos, socioeconômicos, tecnológicos, ambientais, climáticos e culturais.



O Reino Unido apresentou em julho de 2007 o seu “Plano de Transição Para uma Economia de Baixo Carbono”. Os documentos mostram como o País pretende cumprir o compromisso de reduzir em 34% a quantidade de CO₂ lançada na atmosfera até 2020, substituir 15% da energia utilizada no País com a produção de eletricidade, aquecimento, aquecimento de água e transporte por fontes renováveis. Aproximadamente 75% da energia consumida nas residências inglesas são utilizadas para aquecimento dos cômodos e para o aquecimento de água, sendo que este aquecimento é conseguido majoritariamente pela utilização de caldeiras a gás. O Plano prevê a redução de 29% das emissões domésticas até 2050, sendo que em parte será conseguido por meio de programas de “reembolso por energia limpa”, ou seja, o governo beneficiará as residências que optarem em utilizar energias limpas por meio de incentivos financeiros, sendo que neste caso, principalmente para aquecimento de água, a energia solar deverá ser a principal opção.

Em seu trabalho Alves, (2007) aborda a tipificação dos instrumentos de políticas de apoio à eficiência energética comparando à experiência mundial e o cenário nacional, analisando os instrumentos e medidas de fomento à eficiência energética em utilização no mundo e os utilizados na Brasil. São comparadas as condições de implementação e marcos legais pertinentes, considerando-se principalmente os países da OCDE.

Raimo (2007) em seu trabalho demonstra a relação entre os custos de instalação e operação de distintos sistemas de aquecimento de água. Demonstra que na comparação direta, considerando o mesmo volume de água quente consumido, a sistema de aquecimento baseado em gás natural é mais econômico que o sistema elétrico.

Quanto à disponibilidade de energia solar, segundo Martins (2005), como o esperado, pode-se observar que o Brasil, devido a sua localização predominantemente tropical, possui uma grande disponibilidade de recursos de energia solar em todo o seu território. Os maiores valores de fluxo de radiação são observados na região central do país durante o verão. É interessante notar que durante o verão, os valores de irradiação solar global observados na região sul do País são superiores aos valores obtidos para a região norte.

De acordo com Martins (2005), mesmo durante o inverno, a irradiação solar na superfície é elevada apresentando os valores mínimos da ordem de 2,5 kWhm²/dia no Sul do Brasil. Vale observar que, durante a estação seca, as estimativas de irradiação solar apresentam incertezas maiores em função da ocorrência de queimadas na região central e norte do país que lançam grande quantidade de aerossóis na atmosfera capazes de absorver a radiação solar. Trabalhos realizados (Pereira et al., 2000) indicam desvios que montam da ordem de 11% entre valores



calculados e medidos sobre essas regiões, em comparação com os desvios bem menores, da ordem de 6% sobre as regiões onde não ocorrem queimadas.

De acordo com o Atlas de Energia Elétrica no Brasil (ANEEL, 2005) a maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações na duração solar do dia. Contudo, a maioria da população brasileira e das atividades socioeconômicas do País se concentra em regiões mais distantes do Equador. Em Porto Alegre, capital brasileira mais meridional (cerca de 30° S), a duração solar do dia varia de 10 horas e 13 minutos a 13 horas e 47 minutos, aproximadamente, entre 21 de junho e 22 de dezembro, respectivamente. Desse modo, para maximizar o aproveitamento da radiação solar, pode-se ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia. No Hemisfério Sul, por exemplo, um sistema de captação solar fixo deve ser orientado para o Norte, com ângulo de inclinação similar ao da latitude local.

No Brasil, entre os esforços mais recentes e efetivos de avaliação da disponibilidade de radiação solar, destacam-se os seguintes: Atlas Solarimétrico do Brasil, iniciativa da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF, em parceria com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB; Atlas de Irradiação Solar no Brasil, elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e pelo Laboratório de Energia Solar – LABSOLAR, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

O Atlas Solarimétrico do Brasil (2000) apresenta uma estimativa da radiação solar incidente no país, resultante da interpolação e extrapolação de dados obtidos em estações solarimétricas distribuídas em vários pontos do território nacional. Devido, porém, ao número relativamente reduzido de estações experimentais e às variações climáticas locais e regionais, o Atlas de Irradiação Solar no Brasil faz estimativas da radiação solar a partir de imagens de satélites.

Como lembrado por pesquisadores do Centro de Pesquisas de Eletricidade – CEPEL, ambos os modelos apresentam falhas e limites e não devem ser vistos como concorrentes. Ao contrário, devem ser complementares, na medida em que reúnem o máximo possível de dados e podem, dessa forma, melhorar as estimativas e avaliações da disponibilidade de radiação solar no Brasil (CRESESB, 2000).

Oliveira (2006) demonstra em seu trabalho o potencial solar incidente no Estado de Goiás. Observa-se que 46,65% da área de Goiás recebe anualmente entre 2.250 e 2.394 horas



de brilho solar, sendo 15,41% com valor médio de 2.610 horas. A média do total anual de horas de brilho solar para todo o Estado foi de 2.421 horas, das 4.388,9 horas possíveis de ocorrência, representando 55,2% do total que chega ao topo da atmosfera. Levando-se em consideração que os aquecedores solares classificados pelo INMETRO como classes econômicas (A, B e C), com eficiência média de 55,26%, a irradiância média mensal por m² de área necessária deveria ser de 41,0 kWh m² mês⁻¹. Esse valor é inferior ao analisado para Goiás, de 44,79 kWh m² mês⁻¹, mostrando, assim, a grande potencialidade da utilização do aquecedor solar em substituição ao chuveiro elétrico.

3. ANÁLISE TÉCNICA – POTENCIAL SOLAR E EQUIPAMENTOS DE AQUECIMENTO

3.1. A ENERGIA SOLAR

O nosso universo se degrada energeticamente de forma irreversível, e esta realidade deveria levar-nos a pensar racionalmente sobre a disponibilidade da energia e as limitações que são cada vez mais perceptíveis. O conceito atual de produtividade não deveria ser medida pela maior quantidade de bens econômicos produzidos em um determinado período de tempo, mas sim pela eficiência energética de sua produção, gerando expectativas de minimizar o processo entrópico caótico que nossa civilização tem acelerado de forma irracional.

Devemos entender que somos todos parte da teia imensurável e inseparável de relações, sendo nossa a responsabilidade de perceber as possibilidades do futuro, pois antes de tudo somos os únicos responsáveis por nossas descobertas, nossas palavras, nossas ações, e os reflexos das mesmas no universo em que estamos inseridos. O pensamento voltado aos processos e não as estruturas nos darão as ferramentas essenciais para poder entender o princípio e o caminho possível para delinear a tênue margem entre o pensamento clássico cartesiano e o sistêmico totalmente integrativo, sendo possível desenhar o objetivo mestre para a sociedade moderna, perpetuar o futuro por meio do equilíbrio.

A verdadeira fonte de energia disponível na Terra provém do Sol. A energia solar é indispensável para a existência de vida na Terra, da maneira em que a conhecemos e concebemos. A radiação solar é fonte primária de energia para os processos biológicos, químicos e meteorológicos que ocorrem na superfície do planeta. É a partir da energia do Sol que ocorrem os processos de evaporação, dando origem ao ciclo das águas, que possibilita a



formação de rios e lagos, e a conseqüente geração de eletricidade por meio de seu represamento. A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, produzindo as correntes de ar, os ventos. Além disso, todos os recursos fósseis existentes no planeta, petróleo, carvão e gás natural, foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento da radiação solar.

Bezerra (1998) corrobora em seu trabalho a importância da energia solar para o planeta, garantindo que quase a totalidade da energia incidente sobre a Terra é proveniente de radiações eletromagnéticas oriundas do Sol. Littlefair (1985) confirma que apenas parte da radiação que chega a atmosfera, a Fig. 2 mostra que aproximadamente 47%, está sob a forma de luz visível, com comprimento de onda entre 0,38 a 0,78 μm . Esta faixa de irradiação é responsável pela maior parte do calor produzido (Arruda, 2004). O restante da radiação solar incidente está dividida em 46% de radiação infravermelha e 7% em radiação ultravioleta.

Segundo as leis clássicas da dinâmica e da gravidade Newtoniana (Kreider e Kreith, 1979), pode-se afirmar que a Terra se move em um plano fixo ao redor do Sol, e que a órbita da Terra é uma elipse onde o Sol está situado em um ponto conhecido como foco. O plano fixo que contém a órbita da Terra é denominado plano eclíptico e, embora seja elíptica a órbita, ela se apresenta muito próxima da geometria circular devido ao valor da excentricidade⁶ cuja medida é estimada em 0,0167. As estações climáticas do ano solar terrestre ocorrem devido ao movimento de translação da Terra, bem como, à inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à linha perpendicular do plano eclíptico⁷. O valor do ângulo de inclinação é de 23,45° e permanece constante durante todo o percurso de translação da Terra (Guimarães, 2003). A partir da análise dos movimentos de translação e rotação da Terra é possível concluir que um plano recebe os raios do Sol com ângulos de incidência diferentes, segundo a hora do dia e a época do ano, e que eles se modificam com a orientação e a inclinação do plano. Esta análise é particularmente importante para a configuração e o posicionamento dos sistemas de aquecimento solar de água, principalmente por ter interferência direta no rendimento dos coletores.

A Fig. 1 e a Tab. 1 definem as relações geométricas mais importantes entre um ponto na superfície horizontal terrestre, sob coordenadas geométricas quaisquer, e a irradiação solar incidente, ou seja, a posição do Sol em relação àquele ponto (Guimarães, 2003).

⁶ Excentricidade de uma elipse é a razão entre a distância de um foco ao centro da elipse e seu semi-eixo maior. A circunferência possui excentricidade igual a zero. Excentricidade é uma razão que não possui unidade específica.

⁷ A **eclíptica** é o plano da órbita da Terra ao redor do Sol, ou a órbita descrita neste plano. A razão do nome provém do fato que os eclipses somente são possíveis quando a Lua está muito próxima deste plano.

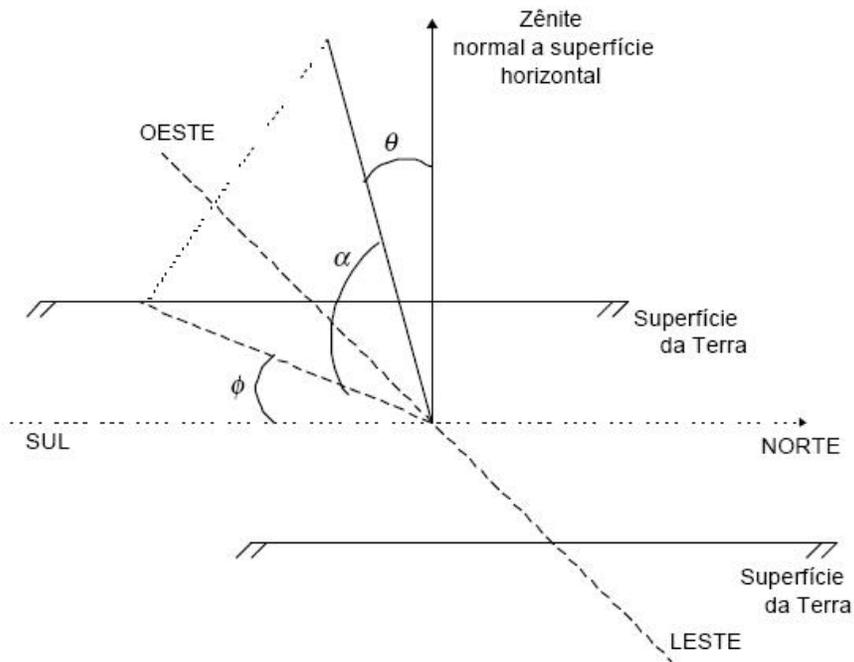


Figura 1: Relações geométricas entre um ponto na superfície horizontal e a irradiação solar incidente.
Fonte: **Guimarães, 2003**. Estimativa de Parâmetros da Camada Atmosférica para Cálculo da Irradiação Solar Incidente na Superfície Terrestre

Segundo Duffie; Beckman (1991), o Sol irradia energia para Terra a uma distância equivalente a 149,5 milhões de quilômetros, com uma variação média de 1,7% sob um ângulo de 32 minutos, devido à excentricidade da órbita terrestre (Arruda, 2004).

Tabela 1: Incidência de Radiação Solar

Radiação Solar Extra-Atmosférica	Radiação Ultravioleta (UV)	Radiação Visível (VIS)	Radiação Infravermelha (IV)	Total
	96 W/m ²	642 W/m ²	629 W/m ²	1.367 W/m ²
	7%	47%	46%	100%
	0,25 a 0,38 μm	0,38 a 0,78 μm	0,78 a 2,5 μm	0,25 a 2,5 μm

Fonte: Guimarães, 2003. Estimativa de Parâmetros da Camada Atmosférica para Cálculo da Irradiação Solar Incidente na Superfície Terrestre

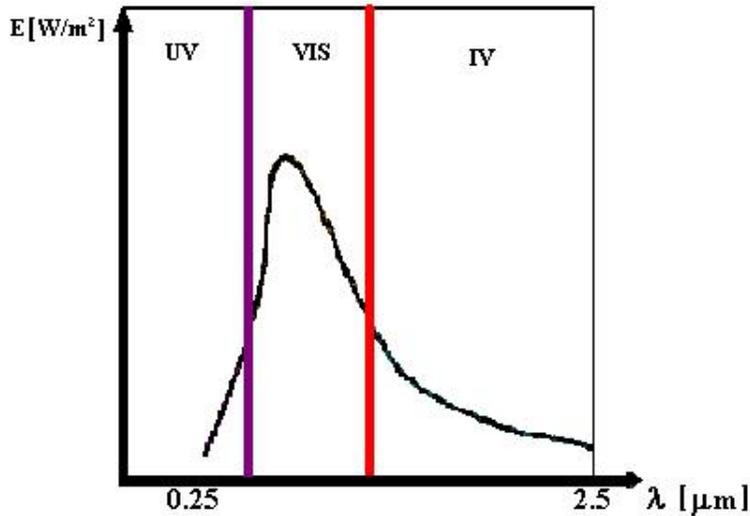


Figura 2: Incidência de Radiação Solar
Fonte: SPES, 1996

O processo de fusão nuclear que ocorre no centro e na superfície do Sol dá-se pela fusão de dois núcleos de hidrogênio a um núcleo de hélio, radiando para o espaço uma grande quantidade de energia. A energia proveniente desta fusão é radiada para o espaço em forma de ondas eletromagnéticas, sendo que apenas uma fração desta chega até a Terra. O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia, nomeada de radiação solar direta. Porém, para termos um nível de comparação, a energia fornecida pelo Sol durante quinze minutos é superior à energia utilizada durante um ano por todo o planeta. Parte substancial da energia recebida sobre a superfície terrestre é refletida para o espaço, designando-se por radiação refletida. As nuvens, as massas de gelo e neve e a própria superfície terrestre são elementos refletores, reenviando para o espaço entre 30 e 40% da radiação recebida. A esta razão entre a radiação refletida e incidente chama-se albedo. A radiação difusa é outra componente, junto com a radiação direta, da radiação solar global. A radiação difusa observa-se por meio da difusão de moléculas de ar e partículas de pó suspensas na atmosfera. A radiação difusa inclui também a radiação refletida pela superfície terrestre (ALTENER, 2004).

A Fig. 3 demonstra que ao atravessar a atmosfera, a radiação solar é atenuada por processos físicos de espalhamento e absorção com os constituintes atmosféricos e a superfície do planeta. As nuvens, os gases, partículas atmosféricas e a superfície refletem cerca de 30% da radiação incidente no topo da atmosfera. Os 70% restantes são absorvidos produzindo aquecimento do sistema e causando evaporação de água (calor latente) ou convecção (calor



sensível). A energia absorvida pelo sistema Terra-Atmosfera é reemitida na faixa do infravermelho do espectro de radiação eletromagnética – 4 a 100 μ m – sendo que 6% é proveniente da superfície e 64% tem origem em nuvens e constituintes atmosféricos (ABES, 2006).

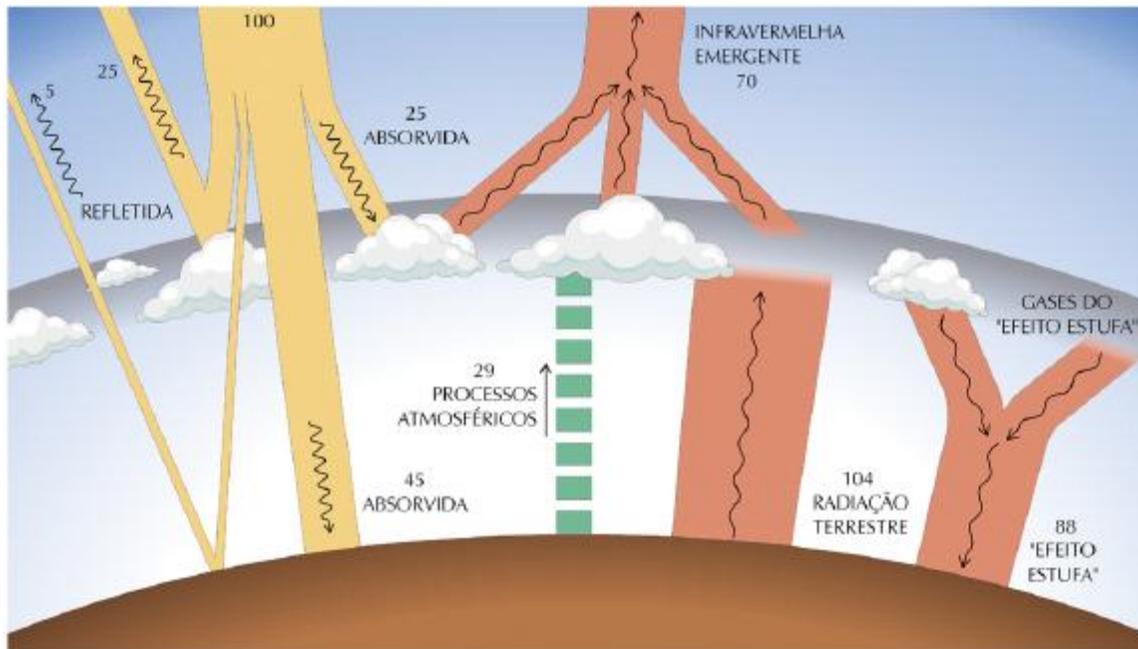


Figura 3: Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre.
Fonte: ABES, 2006. Modificado de Gambi, 1998.

A disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende das condições atmosféricas locais, como nebulosidade e umidade relativa do ar, além disso, depende ainda da latitude local e da posição no tempo, horas e dias do ano. Essas variações devem-se à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente em seu movimento de rotação e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol, descrito como translação ou revolução. Desse modo, a duração solar do dia, ou seja, o período de visibilidade do Sol ou de claridade varia para as regiões do planeta e para os períodos do ano. A menor duração do dia solar é de zero hora, quando o Sol está abaixo da linha do horizonte durante o dia todo, e a maior de 24 horas, quando o Sol está sempre acima da linha do horizonte. Estes casos são observados nas latitudes mais elevadas. Portanto, as variações são mais intensas são observadas nas regiões polares e nos períodos de solstício. O inverso ocorre próximo à linha do Equador e durante os equinócios (ANEEL, 2005).

A energia irradiada pelo Sol para a atmosfera terrestre é praticamente constante. A



intensidade de radiação é descrita como a constante solar relativa a uma área de 1 m^2 . Esta constante está sujeita a pequenas alterações, provocadas pela variação da atividade solar e com a excentricidade da órbita da Terra. Estas variações, que se detectam para a gama dos raios ultravioleta são menores que 5%, e não são significativas para as aplicações de tecnologia solar. O valor médio da constante solar é $E_0 = 1.367 \text{ W/m}^2$.

O calor pode ser transmitido no interior da atmosfera por meio de três processos: condução, convecção e radiação.

- a. Condução: processo de transferência de energia de molécula a molécula;
- b. Convecção: processo em que há movimentação de uma massa de ar em função de diferença de densidade;
- c. Radiação: processo de transferência de energia entre dois corpos sem haver, necessariamente, um contato entre eles. Esse é o principal processo de troca de energia entre a Terra e o Sol.

A Fig. 4 representa graficamente a radiação solar que incide uma sobre a superfície e a atmosfera terrestre, cujas componentes principais são: (SPES, 1996):

- a. A radiação direta (I_{DN});
- b. Radiação difusa (I_d). A radiação, ao atravessar a atmosfera tem uma de suas partes refletida pelos componentes atmosféricos, como as nuvens, por exemplo, outra parte é absorvida na forma de O_3 , O_2 e H_2O , e o restante é difundida por moléculas, gotas de água ou pó em suspensão.
- c. Radiação refletida (I_r), proveniente da reflexão da radiação no solo e em estruturas circundantes. A refletividade do solo designa-se por “*albedo*” e depende unicamente da composição e coloração do solo, afetado pela existência de neve, água ou vegetação.

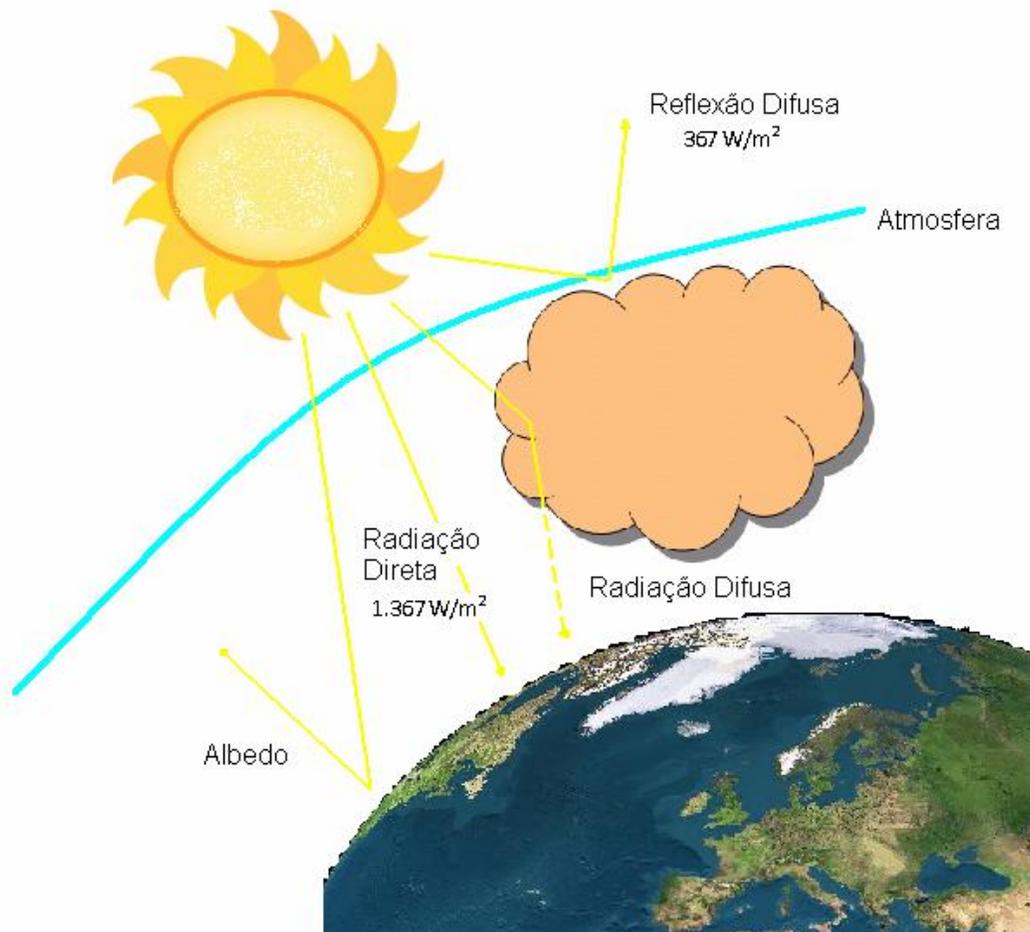


Figura 4: Componentes da Radiação Solar
Fonte: Projeto ALTENER, 2004

A atmosfera terrestre absorve naturalmente as radiações de ondas curtas cujos comprimentos de onda variam de 0,3 a 3,0 μm . A absorção da radiação solar resulta um aquecimento da superfície terrestre e das camadas atmosféricas. Cada corpo aquecido por sua vez irradia calor, de acordo com a sua temperatura. A emissão de calor, contudo, tem lugar numa gama de comprimentos de onda maior, entre 3,0 e 30 μm . As moléculas de CO_2 são capazes de reter parte do calor que é irradiado da superfície terrestre para a atmosfera. Este processo é chamado de efeito de estufa, uma vez que o CO_2 nas camadas da atmosfera apresenta características semelhantes aos vidros de uma estufa, que deixam a luz sair, mas retêm parte do calor. Por meio do processo natural de retenção de calor pelo CO_2 na atmosfera terrestre a temperatura média da Terra é mantida próximo de 15° C. Sem este processo natural a temperatura média seria de 15°C negativos, não permitindo a existência de vida como a conhecemos.



Porém, com a utilização maciça de combustíveis fósseis para a geração de energia e atendimento das necessidades humanas, a quantidade de CO₂ produzida e absorvida pela atmosfera aumentou de forma exponencial, alterando o equilíbrio natural capaz de compensar o efeito estufa. Como consequência o aumento do efeito de estufa leva, inexoravelmente a um aumento crescente da temperatura terrestre. Somente com a redução do consumo de energia, maior eficiência do uso das fontes de energia disponíveis e o aumento do uso de energias renováveis, como o caso do aquecimento solar de água, será possível reduzir as emissões de CO₂ (Goldemberg, 2008).

Um dos parâmetros mais importantes que afetam o desempenho de sistemas de aquecimento solar de água é o ângulo de inclinação da placa coletora em relação ao plano horizontal. O ângulo de inclinação procura posicionar da melhor maneira o coletor a fim de garantir que o ângulo de incidência da radiação solar aproxime-se de 90° em relação ao coletor, maximizando seu desempenho. Duffie e Beckman (1991) simularam a radiação diária mensal para a latitude 45° Norte, com o coletor voltado para o equador, ângulo azimutal igual à zero, considerando a refletância da superfície igual a 0,2 e o índice de claridade média igual a 0,5 e constante durante o ano. Os resultados obtidos permitiram concluir que a maior energia total anual foi obtida quando foram igualados os ângulos de inclinação do coletor e o ângulo de incidência da radiação solar, ou seja, quando a inclinação da placa coletora coincide com a latitude tornando os raios solares perpendiculares a superfície coletora (Lima, 2003). Cabe ressaltar que para maximização do desempenho dos coletores solares, deve-se considerar os movimentos de translação e rotação da Terra que interferem diretamente no modo em que um plano recebe os raios do Sol com ângulos de incidência diferentes, segundo a hora do dia e a época do ano, e que eles se modificam com a orientação e a inclinação do plano (Guimarães, 2003).

O Anexo II apresenta as formulas relevantes para o cálculo da irradiação solar incidente sobre a superfície do coletor.



3.2. SOLARIMETRIA – BRASIL E SUAS REGIÕES

O Brasil desenvolve à vários anos iniciativas para obtenção de dados sobre a disponibilidade de radiação solar em seu território. Em 1993 foi criado o Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES, sob a coordenação do Centro de Pesquisa de Energia Elétrica – CEPEL, diretamente ligado as ações do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESESB. Em 1995, por meio GTES, foram estabelecidas, dentro do contexto solarimetria, duas propostas de trabalho, sendo “O Atlas Solarimétrico do Brasil”, publicado em agosto de 1997 pelo Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas (FAE/UFPE) e o “Atlas de Irradiação Solar do Brasil” publicado em outubro de 1998 pelo Laboratório de Energia Solar (LABSOLAR/UFSC) e Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

Entre os esforços mais recentes e efetivos de avaliação da disponibilidade de radiação solar, destacam-se os seguintes: “Atlas Solarimétrico do Brasil (2000)”, iniciativa da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF, em parceria com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB, sendo este uma reedição do anterior, citado acima; O “Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006)” foi desenvolvido dentro do escopo do projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment), financiado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e co-financiado pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF).

De acordo com o “Atlas Brasileiro de Energia Solar” (ABES, 2006), existem basicamente dois métodos para o levantamento dos recursos de energia solar em uma região extensa, o primeiro utiliza uma rede de radiômetros distribuídos pela região em conjunto com técnicas de interpolação dos dados de radiação coletados. O segundo método faz uso de modelos computacionais para determinação de estimativas da radiação solar incidente por meio de relações empíricas ou da solução da equação de transferência radiativa na atmosfera.

Como lembrado por pesquisadores do Centro de Pesquisas de Eletricidade – CEPEL, ambos os modelos apresentam falhas e limites e não devem ser vistos como concorrentes. Ao contrário, devem ser complementares, na medida em que reúnem o máximo possível de dados e podem, dessa forma, melhorar as estimativas e avaliações da disponibilidade de radiação solar no Brasil (CRESESB, 2000).

De modo geral os dados de radiação obtidos por meio de radiômetros apresentem níveis de confiabilidade superiores àqueles que podem ser obtidos por meio de modelos radiativos, o mesmo não pode ser generalizado para os resultados de interpolações entre os radiômetros. O



modelo adotado para elaboração do “Atlas Brasileiro de Energia Solar” utiliza imagens de satélite. A justificativa para a utilização deste método em especial vem de Perez (1997), cujo trabalho demonstrou que, quando as distâncias entre os radiômetros de uma rede de observação forem superiores a 45 km, os dados interpolados de totais diários de irradiação apresentam níveis de confiabilidade inferiores às estimativas obtidas com modelos que utilizam imagens de satélite. Resultado similar foi obtido em um estudo empregando-se dados obtidos em 16 plataformas de coleta de dados operadas pelo CPTEC/INPE na região Sudeste do Brasil (Guarnieri, 2006).

3.2.1. Atlas de Irradiação Solar do Brasil

O Atlas de Irradiação Solar do Brasil (1998) foi resultado de um projeto desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar – LABSOLAR da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC e pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, sob a coordenação do Prof. Dr. Sergio Colle e tendo como pesquisador principal Dr. Enio Bueno Pereira do INPE⁸.

O Atlas é uma consolidação de dados de irradiação global, computados com o algoritmo do modelo físico BRAZILSR, com base em dados de satélite geostacionário.

O modelo BRAZILSR emprega imagens do canal visível do satélite geostacionário GOES-8 para estimar a irradiância solar na superfície terrestre. O modelo pressupõe que as nuvens são o principal fator de modulação do fluxo de radiação solar que atinge a superfície. Como a transmitância e refletância das nuvens são inversamente correlacionadas à irradiância solar refletida de volta para o espaço no topo da atmosfera, cresce com a espessura ótica das nuvens, enquanto que a irradiância solar na superfície decresce. Assim, o valor mínimo da irradiância no topo da atmosfera, observado em condições de céu claro, é função da transmitância atmosférica e do albedo de superfície. Em condições de céu completamente nublado, a espessura ótica das nuvens alcança seu valor máximo; e a irradiância no topo da atmosfera, atinge seu valor máximo que é função do albedo das nuvens.

O modelo emprega dados do sensor de radiação visível do satélite GOES-8, cujos comprimentos de onda variam entre 0,52 μm e 0,72 μm . Este satélite está localizado a 75° W sobre a linha do equador e tem uma órbita geostacionária. Os dados brutos, na forma digital, são coletados a cada três horas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Satélites Ambientais (INPE/DAS), localizado em Cachoeira Paulista, SP. A resolução espacial

⁸ INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



em superfície das imagens adquiridas é de 8 km por 4,6 km. Após qualificação, as imagens são armazenadas em discos ópticos e documentadas em um arquivo histórico de imagens. O modelo também requer informações sobre os constituintes da atmosfera, do albedo de superfície e da altitude, para poder gerar os perfis atmosféricos realistas.

Os resultados principais sobre a irradiação incidente no território brasileiro podem ser observados na Fig. 5, a qual ilustra as imagens de irradiação solar média anual. As imagens foram construídas efetuando-se as médias de irradiação mês a mês no período de 1995 a 1998, empregando-se todos os dados disponíveis neste período.

As imagens de irradiação foram obtidas por interpolação, a partir de uma matriz de estimativas geradas pelo modelo, com resolução de $0,5^\circ$ de latitude por $0,5^\circ$ de longitude, o que corresponde a um setor de, aproximadamente 50 km por 50 km na região do equador. A escala de cores correspondentes às faixas de interpolação o que permite uma comparação visual direta entre cada imagem.

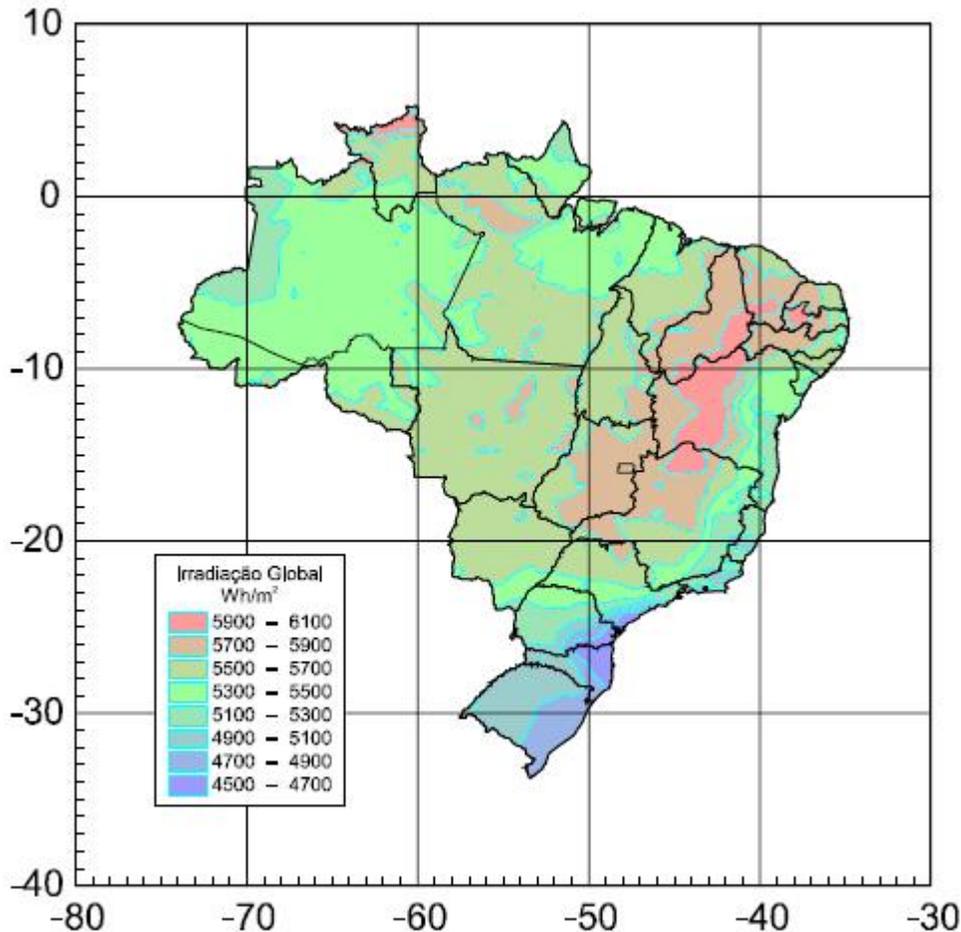


Figura 5: Irradiação Solar Média Anual
Fonte: Atlas de Irradiação Solar no Brasil, 2000.

3.2.2. ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL

Em 1993 foi criado o Grupo de Trabalho em Energia Solar Fotovoltaica – GTEE, sob a coordenação do Centro de Pesquisa em Energia Elétrica – CEPEL, e constituído por empresas do setor elétrico, grupos de pesquisas, universidades e fabricantes de equipamentos. No âmbito do GTEE foi criado um grupo de trabalho específico para o desenvolvimento de ferramentas e coleta de dados solarimétricos sob a coordenação da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e da Companhia Hidro Elétricas do São Francisco – CHESF.

A primeira ação do grupo foi o desenvolvimento de uma base de dados solarimétricos para o Brasil, cuja organização consistia em classificar e padronizar os dados medidos e publicados por diversos autores e instituições ao longo das últimas décadas. O compêndio de



dados padronizado em conjunto com novos mapas isolinhas resultaram na publicação do “Atlas Solarimétrico do Brasil” (2000).

O “Atlas Solarimétrico do Brasil” apresenta uma base de dados solarimétricos construídos a partir de medições terrestres, onde foram utilizados equipamentos como os heliógrafos, actinógrafos e piranômetros. O Atlas utiliza estudos recentes sobre a variabilidade espacial do recurso solar (Grossi Gallegos, 1998), em regiões fitogeográficas⁹ homogêneas, que demonstram a radiação solar global e a média mensal podem ser extrapoladas para um raio de até 200 km de distância, apresentando margem de erro de 15% e nível de confiança de 90%. A metodologia empregada privilegiou as macro-regiões e suas peculiaridades climáticas e de cobertura.

Os instrumentos solarimétricos utilizados para as medições destacamos o heliógrafo mede a duração da insolação, ou seja, o período de tempo que a radiação supera um dado valor de referência. O actinógrafo, conhecidos também por piranógrafos, é utilizado para a medição da radiação solar total ou sua componente difusa, possuindo sensor e um registrador na mesma unidade. Os piranômetros medem a radiação global. Este instrumento caracteriza-se pelo uso de uma termopilha que mede a diferença de temperatura entre duas superfícies, uma pintada de preto e outra pintada de branco igualmente iluminadas. A expansão sofrida pelas superfícies provoca um diferencial de potencial que, ao ser medida, mostra o valor instantâneo da energia solar.

Os valores da radiação global diária obtidas para o banco de dados solarimétricos foram alquiladas em mapas geográficos do território brasileiro, com projeção policônica centrada no meridiano 54° Oeste em escala de 1:5.000.000. Os valores da radiação global diária foram expressos em MJ/m². dia. Por convenção os valores foram alocados de forma crescente nas isolinhas. Também por convenção, o espaçamento adequado entre as isolinhas foi fixado em 2 MJ/m². dia.

O resultado obtido pelo projeto de preparação do “Atlas Solarimétrico do Brasil” pode ser observado na Fig. 6.

⁹ A fitogeografia é o ramo da Biologia que versa sobre a distribuição geográfica dos vegetais nas diversas regiões do globo conforme as zonas climáticas e fatores que possibilitam a sua adaptação.

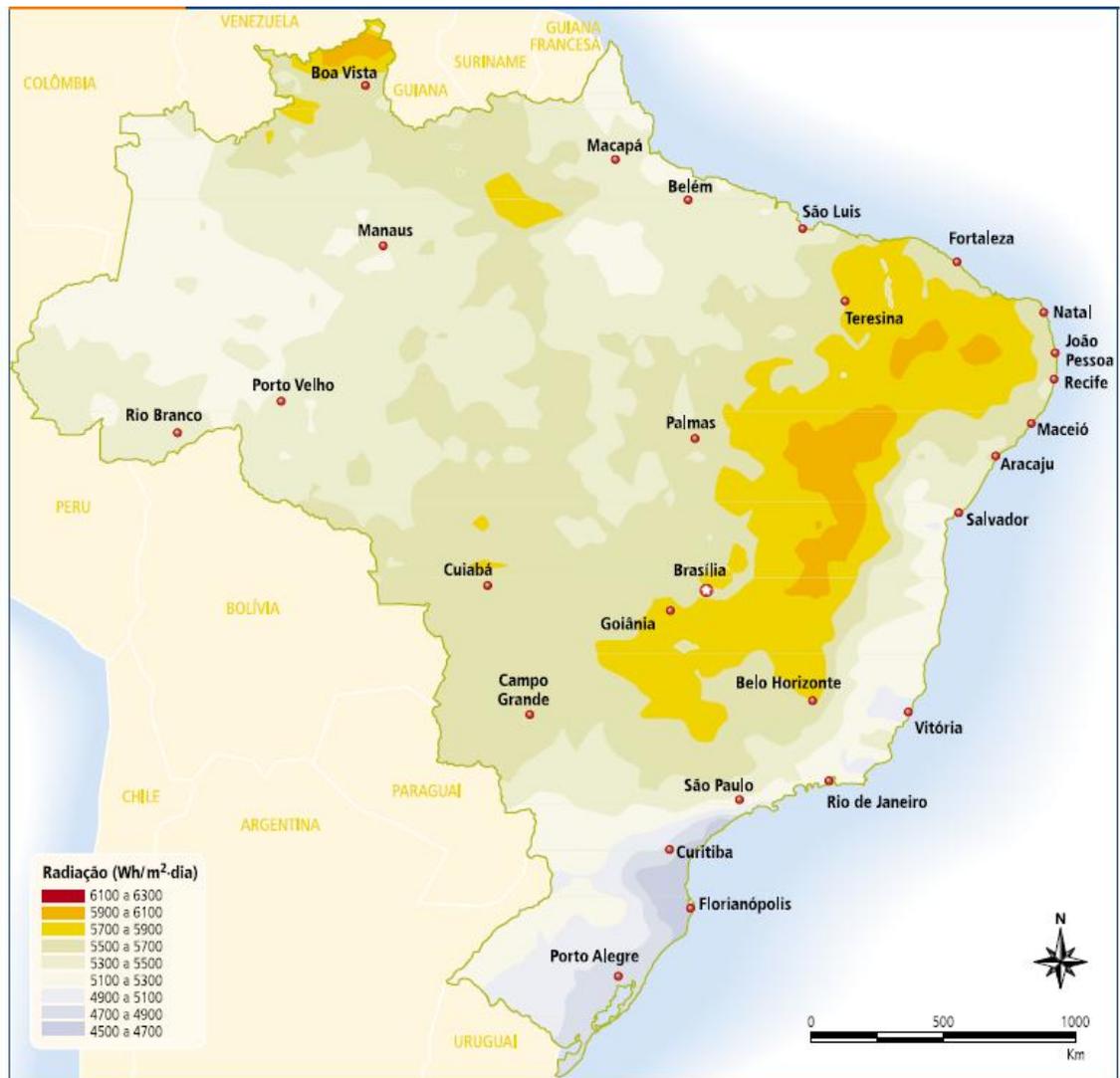


Figura 6: Radiação solar global diária - média anual típica (Wh/m²·dia)
Fonte: Atlas de Irradiação Solar no Brasil. 1998. Adaptado em ANEEL, 2005.

O **Anexo I** traz a descrição detalhada sobre o desenvolvimento do Banco de Dados Solarimétricos adotado como base para o “Atlas Solarimétrico do Brasil”



3.2.3. ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR

O projeto do “Atlas Brasileiro de Energia Solar”, foi iniciado em 2001 sob a coordenação da Divisão de Clima e Meio Ambiente do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DMA/CPTEC/INPE), tendo como foco principal promover o levantamento de uma base de dados confiável e de alta qualidade visando auxiliar no planejamento e desenvolvimento de políticas públicas de incentivo a projetos nacionais de energia solar e eólica. O Atlas foi desenvolvido por meio de uma parceria entre a DMA/CPTEC/INPE e o Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR /UFSC), fazendo uso do modelo de transferência radiativa BRASIL-SR e de uma base geo-referenciada de dados ambientais e sócio-econômicos disponibilizados por diversos parceiros nacionais e internacionais.

Para estimar o fluxo de radiação solar na superfície, o modelo do “Atlas Brasileiro de Energia Solar” utilizou parametrizações que simulam os processos físicos na atmosfera. As parametrizações basearam-se em dados coletados por satélites, que permitem inferir as propriedades óticas da atmosfera e, portanto, a contribuição de cada processo radiativo na transmitância atmosférica total da radiação solar.

O “Atlas Brasileiro de Energia Solar” adota o modelo BRASIL-SR, sendo este um modelo físico para obtenção de estimativas da radiação solar incidente na superfície que combina a utilização da aproximação de “Dois-Fluxos” na solução da equação de transferência radiativa com o uso de informações climatológicas e parâmetros determinados a partir de imagens de satélite (Martins, 2001). O modelo BRASIL-SR foi desenvolvido com base no modelo IGMK de autoria de pesquisadores do GKSS Forschungszentrum e descrito por Stuhlman (1990).

O modelo BRASIL-SR fornece estimativas de fluxo de radiação solar na superfície terrestre por meio de dados sobre nebulosidade extraídos de imagens de satélite geostacionário e de dados climatológicos utilizados para modelar a composição da atmosfera e os processos radiativos que nela ocorrem. Dessa forma, foi necessário a montagem de uma base de dados de satélite e dados coletados em superfície para possibilitar o mapeamento do fluxo de radiação solar incidente no território brasileiro.

A obtenção da estimativa do fluxo de radiação solar incidente na superfície é dividida em três etapas:

- a. Tratamento dos dados climatológicos e das imagens de satélite;
- b. Solução da equação de transferência radiativa utilizando a aproximação de “Dois-



Fluxos¹⁰;

- c. Cálculo de cada uma das componentes do fluxo de radiação solar (global, direta e difusa).

A primeira etapa tem como objetivo preparar os dados de entrada necessários para alimentar o modelo. A base de dados é constituída de 6 variáveis: temperatura do ar, albedo de superfície, umidade relativa, visibilidade atmosférica, cobertura efetiva de nuvens e elevação da superfície.

Nas duas etapas seguintes, o modelo assume três hipóteses básicas:

- a. A cobertura de nuvens é o principal fator de modulação da transmitância atmosférica de modo que o modelo BRASIL-SR utiliza valores climatológicos das variáveis atmosféricas para estimar as demais propriedades óticas da atmosfera;
- b. O fluxo de radiação solar no topo da atmosfera está linearmente distribuído entre as duas condições atmosféricas extremas: céu claro e céu completamente encoberto;
- c. O modelo assume, também, a existência de uma relação linear entre o fluxo de radiação solar global na superfície e o fluxo de radiação refletida no topo da atmosfera.

Dessa forma, a determinação do fluxo de radiação solar global incidente na superfície pode ser estimada a partir de duas componentes independentes: a primeira componente corresponde à condição de céu claro e a segunda refere-se à condição de céu totalmente encoberto.

O banco de imagens de satélite é composto por imagens do satélite GOES-EAST obtidas no período entre 1995 a 2005, e fornecidas pela Divisão de Satélite Ambientais do CPTEC/INPE.

As informações de temperatura e a visibilidade para a o Brasil foram obtidas a partir da base de dados “Global Surface Summary of Day Data” desenvolvida e mantida pelo National Climatic Data Center (NCDC).

As estimativas de irradiação solar fornecidas pelo modelo BRASIL-SR, que podem ser observadas na Fig. 7, foram validadas por meio de comparação com valores medidos em superfície em estações distribuídas pelo território brasileiro. Foram utilizados dados coletados em estações da rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais para o setor de energia) e dados medidos em plataformas de coleta de dados (PCD). Ambas as redes

¹⁰ Descrito em **Pereira**, E. B.; **Martins**, F. R.; **Abreu**, S. L.; **Couto**, P.; **Stuhlmann**, R.; **Colle**, S. Effects of burning of biomass on satellite estimations of solar irradiation in Brazil. *Solar Energy*, 68(1): 91-107, 2000.



de coleta de dados foram implantadas e são gerenciadas pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE).

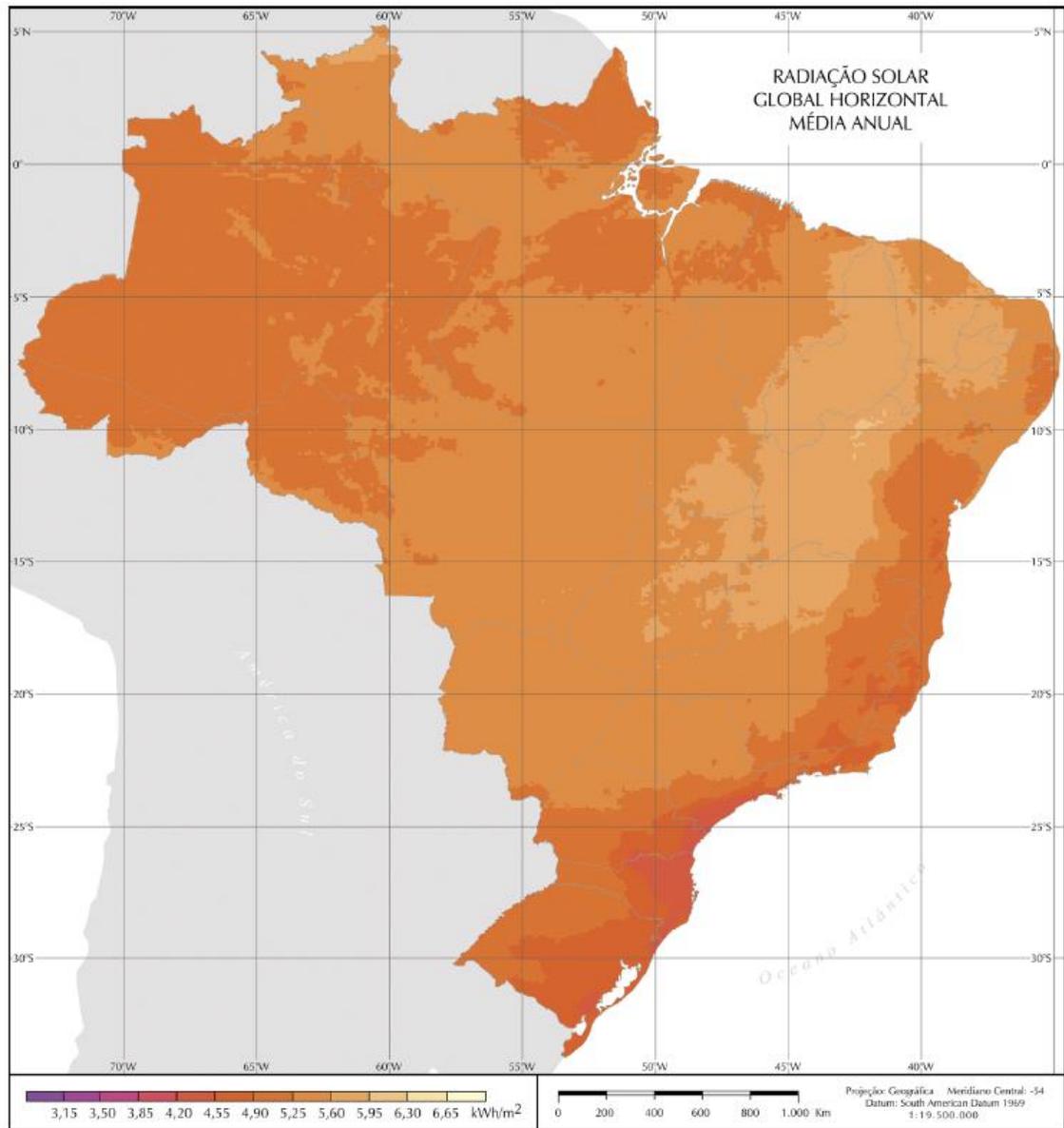


Figura 7: Média anual do total diário de irradiação solar global incidente no território brasileiro (kWh/m²).
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006.



3.2.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS MODELOS SOLARIMÉTRICOS

A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações na duração solar do dia. Contudo, a maioria da população brasileira e das atividades socioeconômicas do País se concentra em regiões mais distantes do Equador. Em Porto Alegre, capital brasileira mais meridional, cerca de 30° S, a duração solar do dia varia de 10 horas e 13 minutos a 13 horas e 47 minutos, aproximadamente, entre 21 de junho e 22 de dezembro, respectivamente (ANEEL, 2005). Podemos observar no Brasil características climáticas bem distintas em seu extenso território. Porém, apesar dessas diferenças, pode-se constatar que a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo País.

Os vários trabalhos citados anteriormente sobre a disponibilidade de radiação solar apresentam métodos diferentes para o cálculo da radiação solar diária global, em sua média anual. Observa-se que os valores de irradiação são estimados em Wh/m² ou kWh/m², sendo estas unidades as usuais. Contudo, o “Atlas Solarimétrico do Brasil” (2000) apresenta seus resultados adotando o Sistema Internacional de Unidades, expresso em kJ/m². Para converter os valores de irradiação para o Sistema Internacional, basta multiplicar por 3,6 os valores de irradiação expressos em Wh/m².

O “Atlas Brasileiro de Energia Solar” (2006) indica, conforme o demonstrado na Fog. 7, que o valor máximo de irradiação global no Brasil equivale a 6.500 Wh/m² ou 23,4 MJ/m² e ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à fronteira com o estado do Piauí. Essa área apresenta um clima semi-árido com baixa precipitação ao longo do ano, aproximadamente 300mm/ano e a média anual de cobertura de nuvens é a mais baixa do Brasil (INMET, 1990). A menor irradiação solar global, equivalente a 4.250 Wh/m² ou 15,3 MJ/m² ocorre no litoral norte de Santa Catarina, caracterizado pela ocorrência de precipitação bem distribuída ao longo do ano. Observamos ainda uma média superior a 5.600 Wh/m² ou 20,16 MJ/m² na maior parte do território brasileiro, englobando principalmente as regiões Sudeste, Centro-Oeste e partes significativas das regiões Norte e Nordeste. As médias mais baixas, porém superiores a 5.200 Wh/m² ou 18,7 MJ/m², são observadas principalmente na região Sul, regiões litorâneas do Sudeste e Nordeste e também em uma extensa área da região Norte, principalmente em sua porção oeste.

A irradiação solar global apresenta maior variação inter-sazonal na região Sul. A região Sul também apresenta os menores valores de irradiação global no Brasil, notadamente na costa



norte do estado de Santa Catarina, litoral do Paraná e litoral sul de São Paulo. As características de clima temperado dessa região e a influência de sistemas frontais associados ao Anticiclone Polar Antártico¹¹ contribuem para o aumento da nebulosidade na região, principalmente durante os meses de Inverno.

A região central do Brasil recebe maior incidência de radiação solar durante as estações secas, outono e inverno, particularmente entre os meses de julho e setembro, quando a precipitação é baixa e o número de dias com céu claro é maior.

Ainda de acordo com os dados observados no “Atlas Brasileiro de Energia Solar” (2006), a região Norte recebe menor incidência de radiação solar durante o verão, quando comparado com a região Sul, apesar de sua localização próxima à linha do Equador. Durante os meses de inverno, ocorre o inverso e a região amazônica recebe maior irradiação solar global. Isso se deve às características climáticas da região amazônica que apresenta fração de cobertura de nuvens e precipitação elevadas durante o Verão, devido principalmente à forte influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)¹². A variação da incidência de radiação solar entre o inverno e verão é menor na região Norte do que nas regiões Sul e Sudeste.

O “Atlas Solarimétrico do Brasil” (2000) apresenta algumas variações em relação aos dados apresentados pelo “Atlas Brasileiro de Energia Solar” (2006). De acordo com as informações apresentadas pelo “Atlas Solarimétrico do Brasil” (2000), observada a Fig. 6, indica que o valor máximo de irradiação global no Brasil, equivalente a 6.150 Wh/m² ou 22 MJ/m², ocorre principalmente no oeste do Estado da Paraíba e no sul do Estado do Rio Grande do Norte, além de uma área restrita do norte de Pernambuco. O menor valor de irradiação são observados no litoral da região Sul, cujos valores são em média equivalentes a 3.900 Wh/m² ou 14 MJ/m².

O “Atlas Solarimétrico do Brasil” (2000) apresenta uma média de irradiação de 4.400 Wh/m² ou 16 MJ/m² para a maior parte de território brasileiro, considerando a quase totalidade da região Norte e uma parcela significativa da região Sudeste. Médias mais altas, próximas a 5.000 Wh/m² ou 18 MJ/m², são observadas na faixa central do Brasil, indo do estado do Mato Grosso do Sul até o Ceará.

¹¹ A fonte desse anticiclone é a região polar de superfície gelada, constituída pelo continente antártico. De sua superfície anticiclônica divergem ventos que se dirigem para a zona depressionária subantártica, originando as massa de ar polar.

¹² A zona de convergência intertropical - ZCIT é um dos mais importantes sistemas meteorológicos atuando nos trópicos. Devido à sua estrutura física, a ZCIT tem se mostrado decisiva na caracterização das diferentes condições de tempo e de clima em diversas áreas da Região Tropical. No caso específico do norte do nordeste brasileiro, Uvo (1989) apresenta um estudo bem detalhado da ZCIT e sua importância nas precipitações no setor norte do Nordeste do Brasil.



O “Atlas de Irradiação Solar no Brasil” (1998) apresenta características de irradiação solar próximas aos trabalhos vistos anteriormente, apontando os maiores índices de irradiação solar na área interiorana da região Nordeste, principalmente na Bahia em partes significativas de Pernambuco e da Paraíba, cujos valores são próximos a 6.000 Wh/m^2 ou $21,6 \text{ MJ/m}^2$. Os menores valores de irradiação podem ser observados na área litorânea da região Sul, principalmente em Santa Catarina e no Paraná, com valores próximos a 4.800 Wh/m^2 ou $17,3 \text{ MJ/m}^2$. Ainda de acordo com o “Atlas de Irradiação Solar no Brasil” (1998) a maior parte do território brasileiro apresenta médias de irradiação solar entre 5.300 e 5.700 Wh/m^2 ou 19 e $20,5 \text{ MJ/m}^2$.

Ressaltasse que o “Atlas Brasileiro de Energia Solar” (2006) apresenta evoluções metodológicas em relação aos trabalhos anteriores, proporcionando um maior precisão das informações apresentadas.

Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro, que variam entre 4.250 e 6.300 Wh/m^2 , são superiores aos valores apresentados pela maioria dos países da União Européia, como Alemanha, entre 900 e 1.250 kWh/m^2 , a França, entre 900 e 1.650 kWh/m^2 e a Espanha, entre 1.200 e 1.850 kWh/m^2 . Considerando que os projetos de aproveitamento de energia solar, principalmente para o aquecimento de água, contam em praticamente toda a Europa com fortes incentivos governamentais (European Database for Daylight and Solar Radiation, 2005), pode-se inferir sobre a viabilidade do aproveitamento da energia solar como fonte de energia limpa e vantajosa para o meio ambiente. Observa-se ainda que o grande potencial solar brasileiro pode ser aproveitado com vantagens inerentes a sua posição tropical, garantindo que no futuro o aquecimento solar de água seja uma alternativa viável economicamente e preferência do ponto de vista ambiental.

3.3. TECNOLOGIA BÁSICA E ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS AQUECEDORES SOLARES DE ÁGUA

Antigas sociedades, nos primórdios da civilização humana, engendraram as primeiras tentativas em decifrar o Sol como o possuidor de segredos celestiais e terrenos. Nestas civilizações o Sol era cultuado de forma religiosa como um verdadeiro “Deus”. Porém, de certa forma, já entendiam sobre a importância do astro em relação a diversos fenômenos que circundavam a sua sobrevivência. Todas as manifestações da natureza, tanto de grande como de pequena dimensão, eram tidas como revelações do sagrado e assim celebradas. Os



Equinócios e Solstícios destacavam-se entre as principais hierofanias¹³ como revelações de grande fulgor, ou manifestações do transcendente observado como momentos sagrados por excelência. Seu principal significado refere-se às recriações do mundo, em cuja gesta o homem sentia-se como parte. Tal participação tinha especial importância no Equinócio de Primavera, celebrado com grande magnificência, pois conjugava dois eventos importantes: o retomar da ordem cósmica, a partir do caos do Inverno e o retorno da vida vegetal, após a longa morte invernal, ou seja, a sobrevivência seria garantida pela chegada da estação propícia à agricultura.

Além da clara ligação religiosa relacionada à onipresença do Sol, a humanidade, desde muitos séculos, utilizava a energia solar de forma mais direta, principalmente para secagem de peles e alimentos. Achados arqueológicos comprovam que, já no século VII a.c, se utilizavam lentes rústicas de vidro para concentrar a luz do Sol e desta forma obter o fogo¹⁴. Na Grécia antiga já existiam conceitos arquitetônicos que buscavam privilegiar o aquecimento natural das residências, evitando o consumo exagerado de lenha e carvão.

Galeano em *De Temperamentis*¹⁵ cita uma façanha científica de Arquimedes, que em 212 aC., utilizou espelhos de vidro para concentrar fochos solares e incendiar as velas de barcos inimigos próximos que sitiavam a cidade de Siracusa (Hinrichs, 2008). Os historiadores Lívio e Plutarco não se reportaram a esta aplicação da energia solar, embora houvessem se referido a outras armas bem mas complexas, imaginadas por Arquimedes.

Durante os séculos XVII e XVIII, cientistas já realizavam estudos avançados com a concentração de raios solares por meio de espelhos ou lentes de vidro, cujo objetivo era derreter e fundir metais. O cientista francês Antoine Lavoisier (1743-1794), construiu uma grande lente de vidro com um diâmetro de aproximadamente 1,3 metros e mais uma lente complementar de 20 centímetros de diâmetro. Com este aparato, Lavoisier, utilizou o Sol para atingir uma temperatura próxima a 1.700°C, por pouco não conseguindo fundir um bloco de platina. Foi, indubitavelmente, a maior temperatura atingida naquela época pelo homem. Lavoisier ajudou também a evolução da fornalha solar quando provocou combustões no vácuo e em atmosferas controladas empregando recipientes de quartzo (Hinrichs, 2008).

Diversos inventores começaram a trabalhar com máquinas solares quase ao mesmo

¹³ Hierofania, é uma metáfora da criação do mundo, presente desde as sociedades mais primitivas até as religiões contemporâneas. Termo etimológico que significa “*algo sagrado que se mostra*”.

¹⁴ (www.geocities.yahoo.com.br/saladefisica5/leituras/solar.html).

¹⁵ Galen, *De temperamentis*. Latin Publisher Parisiis : Apud Jacobum Gazellum, 1549. Description [8], 81, [7] p. ; 29 cm. Séries French books before 1601 ; roll 362, item 1. Reproduction Microfilm. Watertown, Mass. : General Microfilm Co., [19--]. (French books before 1601, roll 362, item 1.)



tempo. Com o apoio de Napoleão III, August Mouchot, desenvolveu entre 1866 e 1872 uma máquina a vapor, cuja energia utilizada para o aquecimento era provida pelo Sol. Seu trabalho foi exibido na cidade de Tours e testado mais tarde na Argélia em bombeamento de água.

O engenheiro norte-americano Frank Shuman, em 1913, concebeu e operou a primeira usina solar de larga escala no Cairo, Egito. O projeto previa fornecer água para irrigação bombeando-a a partir do rio Nilo. O projeto foi concebido utilizando um coletor solar parabólico do tipo “calha” que concentrava os raios solares em um tubo metálico de cor preta, produzindo vapor. A produção de pico do sistema chegava a uma potência de 50 kW.

A energia solar foto-térmica está diretamente ligada na quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente. A utilização dessa forma de energia implica saber captá-la e armazená-la, para tanto, os coletores solares são os equipamentos comumente utilizados para captar a energia solar foto-térmica. Os coletores solares são aquecedores de fluídos, líquidos ou gasosos, sendo classificados em coletores concentradores e coletores planos, dependendo da existência ou não de dispositivos de concentração da radiação solar. O fluído aquecido é mantido em reservatórios termicamente isolados até o seu uso final.

A Fig. 8 representa os coletores solares planos que são utilizados para aquecimento de água, para uso sanitário, até a temperatura máxima de 93°C, conforme descreve Hudson; Markell (1985). Os coletores planos são equipamentos relativamente simples. São constituídos essencialmente por um invólucro contentor¹⁶, que tem como função abrigar e proteger mecanicamente os demais componentes. O invólucro possui normalmente uma cobertura, que na maioria das vezes utiliza-se um vidro temperado, sendo que em equipamentos de melhor qualidade este vidro apresenta propriedades ópticas adequadas a sua função (Arruda, 2004). A parte principal do equipamento é seu trocador de calor, normalmente uma placa plana projetada para absorver a maior quantidade possível de energia e transferi-la de forma efetiva ao fluído circulante. As placas¹⁷ são prioritariamente produzidas de cobre ou alumínio pintadas com tintas especiais de cor escura que ajuda na absorção máxima da radiação solar. Além da pintura, é possível melhorar capacidade de absorção de energia e diminuir emissividade térmica por meio de tratamentos especiais às chapas metálicas, neste caso utilizam-se revestimentos seletivos formados por uma estrutura com diferentes camadas que melhora a conversão de radiação

¹⁶ Os invólucros contentores ou caixas podem ser isolados termicamente, utilizados principalmente em países de clima frio. No Brasil não é comum a utilização de caixas isoladas termicamente.

¹⁷ As placas planas dos coletores solares são constituídas de aletas de cobre ou alumínio que transferem o calor absorvido para serpentinas, normalmente feitas do mesmo material. www.soletrol.com.br.



solar de onda-curta minimizando as perdas. Geralmente os revestimentos seletivos são tratamentos eletroquímicos, a base de cromo-preto ou níquel-preto (ALTENER, 2004).

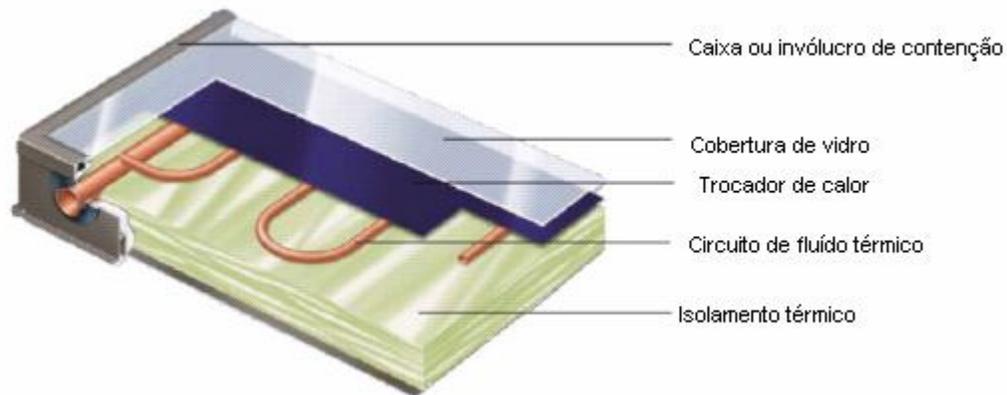


Figura 8: Principais componentes de um coletor solar térmico
Fonte: Teixeira, Samuel. CENFIM, 2004

A Fig. 9 apresenta o esquema funcional para os coletores solares planos, descrevendo a irradiação solar total (E_0) que incide sobre a cobertura transparente do coletor, sendo que uma parte desta radiação (E_1) é refletida pelas superfícies internas e externas do vidro. A superfície seletiva do trocador de calor também reflete uma pequena parte da radiação total (E_2), convertendo o restante da radiação calor. O isolamento térmico do coletor ajuda a diminuir as perdas energia por meio de condução térmica (Q_2), reduzindo-as o máximo possível.

A cobertura transparente tem a função de reduzir perdas na superfície do trocador de calor, traduzidas na forma de radiações térmicas e convectivas (Q_2). Isto significa que perdas por convecção e irradiação ocorrem somente para o exterior através da cobertura de vidro aquecida.

Assim, da irradiação de energia solar total (E_0), diminuída dos diferentes tipos de perdas (E_1 , E_2 , Q_1 e Q_2), temos como produto o calor remanescente (Q_3) que confere o funcionamento efetivo do sistema (ALTENER, 2004).

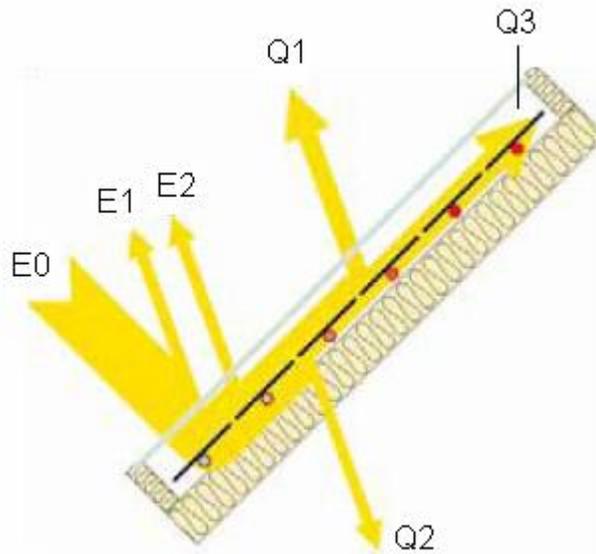


Figura 9: Fluxos de energia do coletor solar
Fonte: ALTENER, 2004.

A eficiência de um coletor pode ser definida como o produto da energia térmica utilizada pelo total da irradiação de energia solar incidente. A eficiência é influenciada diretamente pelas características do coletor, principalmente pelas perdas por reflexão, expressas por E1 e E2 e por perdas térmicas, Q1 e Q2.

$$\eta = Q_N / I$$

Onde:

η – Rendimento;

Q_N – Potência térmica disponível (W/m^2);

I – Irradiação que atinge a superfície do coletor (W/m^2).

As perdas ópticas descrevem a proporção de irradiação solar que não pode ser absorvida pela placa do trocador de calor, sendo diretamente dependente da transparência da cobertura de vidro, expressa pelo coeficiente de transmissão (τ) e pela capacidade de absorção da superfície da placa do trocador de calor, coeficiente de absorção (α) e são descritas pela eficiência óptica:

$$\eta_o = \tau \times \alpha$$



As perdas térmicas totais são diretamente dependentes da diferença de temperatura entre o trocador de calor e o ar exterior, da insolação incidente e dos aspectos construtivos do coletor. A influência da construção é descrita através do coeficiente global de perdas (U_L) expresso por W/m^2K .

A potência térmica disponível é calculada por meio da irradiação disponível no trocador de calor plano que é convertida em calor útil, diminuído das perdas térmicas de transmissão, convecção e irradiação:

$$Q_N = Q_V - E_N$$

Onde:

Q_V – Irradiação disponível (W/m^2);

E_N – Perdas térmicas (W/m^2).

A irradiação disponível é obtida matematicamente, através do produto da irradiação que atinge a cobertura de vidro (I) e o coeficiente de transmissão do vidro (τ) e o coeficiente de absorção do trocador de calor (α):

$$Q_V = I \times \tau \times \alpha$$

As perdas térmicas dependem da diferença de temperatura entre o trocador de calor e ar (ΔT). Consideramos esta uma relação linear e pode ser descrita com a utilização do coeficiente global de perdas (U_L):

$$E_N = U_L \times \Delta T$$

As fórmulas características, apresentadas acima, servem como critério de comparação de qualidade e eficiência para diferentes tipos de coletores solares (Arruda, 2004).

De modo, geral os coletores planos devem apresentar uma eficiência óptica (η_o) inferior a 0,8 e um valor do coeficiente global de perdas (U_L) inferior a $6 W/m^2K$, para serem considerados equipamentos eficientes.

A eficiência média anual de um sistema completo com coletores planos apresenta valores entre 35 e 40%, ou seja, para um montante anual de $1.000 kWh/m^2$ de radiação solar incidente, a produção de energia útil correspondente deve ser de aproximadamente 350 ou 400 kWh/m^2 (ALTENER, 2004).

Além do conceito básico de um coletor solar plano, conforme mostrado na Figura 6,



existem diversos tipos e desenhos de sistemas de aproveitamento solar para diferentes aplicações com variados desempenhos e custos.

Os “coletores sem cobertura” consistem apenas numa placa de troca de calor, responsável em absorver a radiação solar. Comumente são utilizados para o aquecimento de água para piscinas e são construídos com termoplásticos de cor escura. Existem ainda outros tipos que utilizam placas absorvedoras seletivas de aço inoxidável, utilizado para preaquecimento de água potável. Os “coletores sem cobertura” apresentam menor eficiência quando comparados os coletores planos, ocasionado principalmente pela falta de cobertura e de isolamento térmico adequado, sofrendo perdas de calor elevadas. A sua vantagem está em seu custo de aquisição reduzido (Teixeira, 2004).

Outra tecnologia desenvolvida no intuito de aumentar a eficiência da conversão térmica da energia solar são os coletores solares de tubos a vácuo. Estes coletores utilizam tubos de vidro de borossilicato¹⁸, construídos com paredes duplas separadas pela existência de vácuo. Normalmente as paredes internas são cobertas com nitrato de alumínio, material com excelente capacidade de absorção de calor (Goerck, 2008). Na parte interna dos tubos de vidro são instalados tubos de cobre, que funcionam como linhas de alimentação de fluido, ao qual são fixados receptores solares de alumínio seletivo (ENAT, 2008). A existência de vácuo entre as paredes do tubo favorecem a diminuição de perdas por condução térmica. A transferência do calor produzido para o fluido condutor é feito por meio do tubo de cobre da linha central de alimentação.

Os coletores de tubo de vácuo são concebidos utilizando-se um determinado número de tubos em paralelo, interligados no topo por meio de um distribuidor ou caixa coletora, no qual se localizam o isolamento e as linhas de alimentação e retorno.

Nos coletores de escoamento direto o fluido de transferência de calor é conduzido através de um sistema de tubos coaxiais para a base do trocador de calor, de onde flui para a caixa coletora, tendo como resultado o aumento significativo da temperatura do fluido, podendo chegar a 120°C (ALTENER, 2004).

Os coletores solares de concentração utilizam sistemas especiais a fim de aumentar a intensidade da radiação sobre a superfície absorvente do trocador de calor e, dessa maneira, atingir altas temperaturas no fluido portador do calor. Estes equipamentos requerem um sistema especial que permite que o coletor seja permanentemente apontado para o Sol. Os coletores

¹⁸ O **vidro borossilicato** é um tipo de vidro resistente ao calor e aos químicos, sendo usado nos laboratórios e indústrias químicas, em equipamento de cozinha, iluminação e em janelas especiais. Houaiss, Antônio. *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*, Lisboa: Circulo dos Leitores



solares de concentração são apresentados em duas formas básicas, os concentradores cilíndricos e os parabolóides (Goerck, 2008).

Os concentradores cilíndricos apresentam a sua superfície refletora na forma da metade de um cilindro. Os cilindros possuem a superfície espelhada que auxiliam na concentração dos raios solares que incidem sobre os tubos receptores que contêm o fluido de transferência de calor. Este fluido pode ser aquecido até a temperatura de 390 °C, sendo bombeado através de uma série de trocadores de calor para produzir vapor superaquecido, que alimenta uma turbina convencional para produzir eletricidade (MANCINI, 1997).

Os concentradores parabolóides têm uma superfície refletora em forma de parabolóide de revolução, que absorve a energia dos raios solares concentrados e a transforma em calor, transferido para um gerador ou máquina térmica, que transformará o calor do receptor em energia elétrica. Sua aplicação principal é a produção de vapor em uma central térmica (Goerck, 2008).

Os coletores parabólicos compostos (CPC) foram desenvolvidos como uma forma a reduzir as perdas térmicas existentes nos coletores planos. O desenvolvimento tem por princípio uma tecnologia baseada na redução da área de absorção, em comparação com a área de captação da radiação solar, considerando que as perdas térmicas são proporcionais à área do trocador de calor em contraposição com a sua área de abertura.

O modo de funcionamento dos coletores parabólicos compostos prevê a concentração da radiação solar, na placa trocadora de calor, por meio de um sistema duplo de absorção da radiação. Esses coletores são constituídos basicamente por um sistema de absorção de energia que semelhante aos coletores planos, auxiliado por um sistema de reflexão da radiação que permite a absorção da radiação na parte inferior do trocador de calor. Esses coletores são conhecidos como concentradores devido à configuração da superfície refletora em forma de parábola. A superfície refletora, por meio de sua configuração parabólica, permite a concentração da radiação solar devido à utilização de materiais espelhados com elevado nível de refletividade. O ângulo de abertura dessas superfícies permite captar a radiação direta e a difusa tal como nos coletores planos (ALTENER, 2004).

O padrão de fornecimento de energia pelo Sol não pode ser controlado por ações humanas, sendo que raramente este fornecimento de energia coincide com a variação das necessidades de energia térmica solicitadas pelo usuário. A solução típica para este dilema é o armazenamento da energia solar, na forma de calor, utilizando-o quando for necessário.

Os sistemas de aquecimento solar de água de uso doméstico utilizam tanques de



armazenagem que acumulam gradativamente a água aquecida ao longo do dia. O volume armazenado normalmente é determinado em função do perfil de demanda, do volume do consumo diário e da temperatura de armazenamento (Goerck, 2008). O dimensionamento do tanque de armazenamento considera a utilização de um volume de cobertura entre 1,5 e 2 vezes a quantidade de água quente diária utilizada. Considera-se, portanto, um volume médio entre 50 e 70 litros de água quente por pessoa.

O reservatório de água quente é caracterizado pelo seu funcionamento dinâmico, pois, recebe, armazena e cede calor a taxas variadas ao longo de seu funcionamento. O calor recebido provém do coletor solar e do sistema auxiliar de aquecimento, o calor cedido inclui as perdas para o ambiente, consumo de água quente e a circulação de água pelos coletores.

Devido à variação diária da radiação solar, o tanque de armazenamento deve conter um volume de água quente para garantir o consumo de pelo menos dois dias. A distribuição de temperatura no interior do tanque de armazenamento considera duas possibilidades. A primeira pressupõe que ocorra uma mistura total da água no interior do reservatório. A segunda, e mais realista, considera a estratificação térmica devido às diferenças de densidade do líquido. Esta última é a possibilidade mais importante, pois interfere diretamente no rendimento do sistema de aquecimento solar de água (DUFFIE; BECKMAN, 1991).

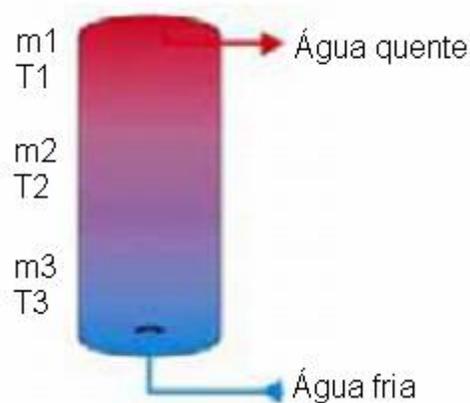


Figura 10: Estratificação térmica do tanque de armazenagem
Fonte: ALTENER, 2004

Considerando o esquema de estratificação térmica, apresentado na Fig. 10, temos que a temperatura T_1 é a mais elevada, normalmente algo próximo a 70°C , para um determinado massa de líquido m_1 , normalmente um terço da massa total. A temperatura T_2 apresenta-se como intermediária, próximo a 35°C , para a massa de líquido m_2 . A temperatura T_3 e a massa



de líquido m_2 correspondem à entrada de água fria no sistema a temperatura ambiente.

A energia (Q) contida no tanque de armazenamento pode ser demonstrada pela fórmula:

$$Q = m \times C_{H_2O} \times \Delta T$$

Considerando a estratificação temos:

$$Q = m_1 \times C_{H_2O} \times \Delta T_{(T_3-T_2)} + m_2 \times C_{H_2O} \times \Delta T_{(T_2-T_1)} + m_3 \times C_{H_2O} \times \Delta T_{(T_1-T_1)}$$

Para o caso de termos uma mistura uniforme da água no tanque de armazenamento, a temperatura média (T_M) é dada pela fórmula:

$$T_M = (m_1 \times T_1 + m_3 \times T_3) / (m_1 + m_3)$$

A formulação apresentada não considera a perda de estratificação ao longo do tempo devido à difusão e condução de calor através das paredes do reservatório.

A transferência do calor, captada pelos coletores, pode realizar-se de duas maneiras: circulação forçada por meio da instalação de uma bomba ou circulação natural, conhecida pelo termo *termossifão*. A escolha do tipo de sistema depende da carga energética a cobrir e da possibilidade de colocar o depósito a um nível superior aos coletores. Normalmente o sistema de *termossifão* é aconselhado para pequenas instalações e o sistema de circulação forçada para instalações médias ou grandes (ALTENER, 2040).

A circulação de fluido por *termossifão* é aconselhável quando o depósito de armazenamento de água quente estiver em um nível mais elevado que os coletores solares. Neste caso, o fluido em contato com o trocador de calor aumenta de temperatura e a sua densidade diminui, o que permite a sua ascensão até ao depósito sendo substituído no interior do coletor pelo fluido de transferência térmica mais frio, proveniente do fundo do depósito. Desta forma estabelece-se um processo natural de circulação do fluido. A circulação por *termossifão*, aconselhável para pequenas instalações, é um sistema auto-regulado e isento de partes mecânicas ou controles eletrônicos e que não consome energia adicional. A sua instalação é mais barata e não está sujeita a avarias mecânicas. Em contrapartida tem o inconveniente de poder ocorrer inversão do sentido de circulação do fluido durante a noite, o que tem como consequência o arrefecimento do fluido do depósito (DUFFIE; BECKMAN, 1991).

Quando a circulação por *termossifão* não é possível, ou porque os coletores estão



colocados a um nível superior ao do depósito, ou porque a diferença de densidades não é suficiente para vencer a resistência do atrito na tubulação, recorre-se à circulação forçada do fluido por intermédio de uma bomba. O uso de energia elétrica no funcionamento das bombas deve ser mantido o mais baixo possível, evitando o sobre-dimensionamento da potência das bombas (Goerck, 2008).

3.4. EXPERIÊNCIAS BRASILEIRAS COM A INSTALAÇÃO DE AQUECEDORES SOLARES DE ÁGUA

Vários países do mundo têm utilizado os sistemas termosolares como uma estratégia para diminuir a dependência da energia elétrica gerada a partir de combustíveis fósseis. O uso de recursos solares agrega o objetivo de integrar ações que auxiliem a formação de uma consciência ambiental mundial, promovendo e incentivando mudanças de comportamento referentes ao uso de fontes energéticas que provocam impactos negativos ao meio ambiente.

A maior parte dos países que adotam as tecnologias solares como estratégia de preservação ambiental são considerados desenvolvidos e possuidores de índices elevados de desenvolvimento humano. Porém, alguns países que possuem um nível mais baixo de desenvolvimento sócio-econômico, têm conseguido ganhos efetivos com a exploração de seus potenciais solarimétricos em substituição a fontes convencionais de energia, principalmente no que diz respeito ao aquecimento solar de água para fins sanitários.

Os estudos sobre os potências da energia solar no Brasil iniciaram-se ainda na década de 1950, porém, a instalação efetiva de coletores solares para aquecimento de água foi iniciada de forma incipiente a partir da década de 1970. O desenvolvimento de pesquisas estruturadas sobre a inserção e o desempenho de sistemas de aquecimento solar de água específicos para residências no Brasil são relativamente recentes.

De acordo com Fantinelli (2006), uma das primeiras pesquisas realizadas, e cujos resultados foram publicados, teve início em 1989 com um convênio firmado entre a Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP e a Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, cujo objetivo era o desenvolvimento de um sistema em que o coletor solar fornecesse água pré-aquecida para a utilização de chuveiros de potência reduzida, ou seja, um coletor solar do tipo plano acoplado a chuveiro de baixa potência, com aproximadamente 2 kW (Oliva e Borges, 1996). O estudo comparou os resultados da análise econômica para um sistema de aquecimento solar de água convencional e para o sistema que utilizava os coletores solares



como sistema pré-aquecedor, demonstrando que este possuía uma grande vantagem competitiva em relação a formas convencionais de fornecimento de energia.

A análise econômica do projeto mostra que o sistema de aquecimento solar convencional possuía um custo de instalação de US\$ 532,00¹⁹, o custo por kWh gerado era equivalente a US\$ 0,07 e o tempo de retorno do investimento foi estimado em 3,2 anos. No caso do sistema de pré-aquecimento o custo de instalação foi de aproximadamente US\$ 446,00, o custo por kWh gerado foi de US\$ 0,11 e o tempo de retorno do investimento foi calculado em 2,4 anos (Jannuzzi, 1995).

Quanto à aceitação da tecnologia, os resultados mostraram elevada satisfação dos usuários, redução de consumo de energia e da demanda de ponta, embora tenha sido constatado uma maior vazão de água quente e o aumento do número e duração do tempo de banho (Oliva, 1999). Com a conclusão do convênio e a privatização da concessionária, não foram encontrados mais dados e referências sobre a experiência (Fantinelli, 2006).

Colle (2004) desenvolveu um estudo experimental em escala reduzida, na cidade de Florianópolis, com o objetivo de estudar o efeito da energia solar sobre a redução e desagregação do pico de demanda de energia para chuveiros elétricos conjugados a sistemas de aquecimento solar compactos de baixo custo. O projeto foi realizado por meio de uma parceria da CELESC²⁰ e do LABSOLAR²¹. Para o projeto foram criteriosamente selecionados sessenta consumidores que receberam sistemas de aquecimento solar de água e trinta consumidores não contemplados com aquecimento solar foram considerados para termos de comparação. Os chuveiros elétricos foram monitorados por meio de medidores digitais de consumo de energia elétrica, em intervalos de cinco minutos. Os sistemas de aquecimento solar foram instalados no Condomínio Residencial Solar Buona Vita, localizado na praia de Canasvieiras - Florianópolis, sendo estes financiados pela Caixa Econômica Federal, cujos moradores adquiriram os apartamentos sob o contrato de leasing.

Os sistemas escolhidos para o projeto operam na modalidade de termossifão. O equipamento é fabricado pela empresa SOLARES – Ltda, de Florianópolis. O sistema, cujas especificações são apresentadas na Tab. 2, tem por característica a facilidade de instalação em telhados de edificações unifamiliares de condomínios de baixa e média renda. O reservatório do sistema é provido de uma resistência elétrica de pré-aquecimento, que inicialmente foi mantida desativada. O chuveiro elétrico pode ser controlado manualmente pelo usuário de sorte a

¹⁹ O valor do dólar (US\$) em janeiro de 1995 equivalia a R\$ 0,845.

²⁰ CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina

²¹ LABSOLAR - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina



reduzir a energia consumida. A água quente do coletor é pré-misturada por um misturador termostático fabricado pela empresa suíça Taconova. O coletor solar foi testado no ITW – Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik – University of Stuttgart (Müller-Steinhagen, 2002).

Tabela 2: Especificações técnicas do sistema de aquecimento solar.

Coletor solar plano		
	Área útil	1.36 m ²
	Placa absorvedora	1.32 m ²
	Cobertura	Vidro ordinário
	Placa - aleta	Cobre
	Tubos	Cobre
	Isolamento térmico	Camada de lã de vidro (20kg/m ³) de 50mm de espessura
	Cobertura absorvedora	Tinta orgânica negra solúvel em água com absorvância de 0,95
Reservatório térmico		
	Volume	100 litros
	Isolamento térmico	Camada de lã de vidro (20kg/m ³) de 50mm de espessura
	Aquecedor elétrico	1.5 kW (desligado)
Chuveiro elétrico regulado manualmente e disponível no mercado		
	Potência	De 0 a 6.8 kW

Fonte: Colle, 2004.

A medição da energia elétrica referente ao consumo dos chuveiros elétricos das noventa residências amostradas foram totalizados em intervalos de uma hora. Foram considerados, para a classificação de dados, os diferentes dias da semana, divididos em *dias de trabalho*, *fins de semana e feriados* e *todos os dias*. Essa classificação foi realizada com a intenção de observar as diferenças existentes nos perfis de consumo em função da alternância de dias com e sem trabalho.

Colle (2004) apresenta o perfil de consumo de energia elétrica, amostrado na Fig. 11, para os dois grupos observados de domicílios tem por característica um baixo consumo entre 2h00 e 5h00. A partir das 6h00 o consumo de energia atinge um nível mediano, que se mantém até as 16h00. Durante este período um pequeno pico ocorre após as 12h00. Próximo ao final da tarde ocorre o pico de demanda torna-se crítico, atingindo seu máximo por volta das 19h00 horas. A relação entre o consumo médio e o pico de consumo (fator de carga) é da ordem de



0,37. A Fig. 11 mostra que o perfil e a intensidade de consumo de energia, considerando dias de trabalho e fins de semana, não apresentam diferenças significativas.

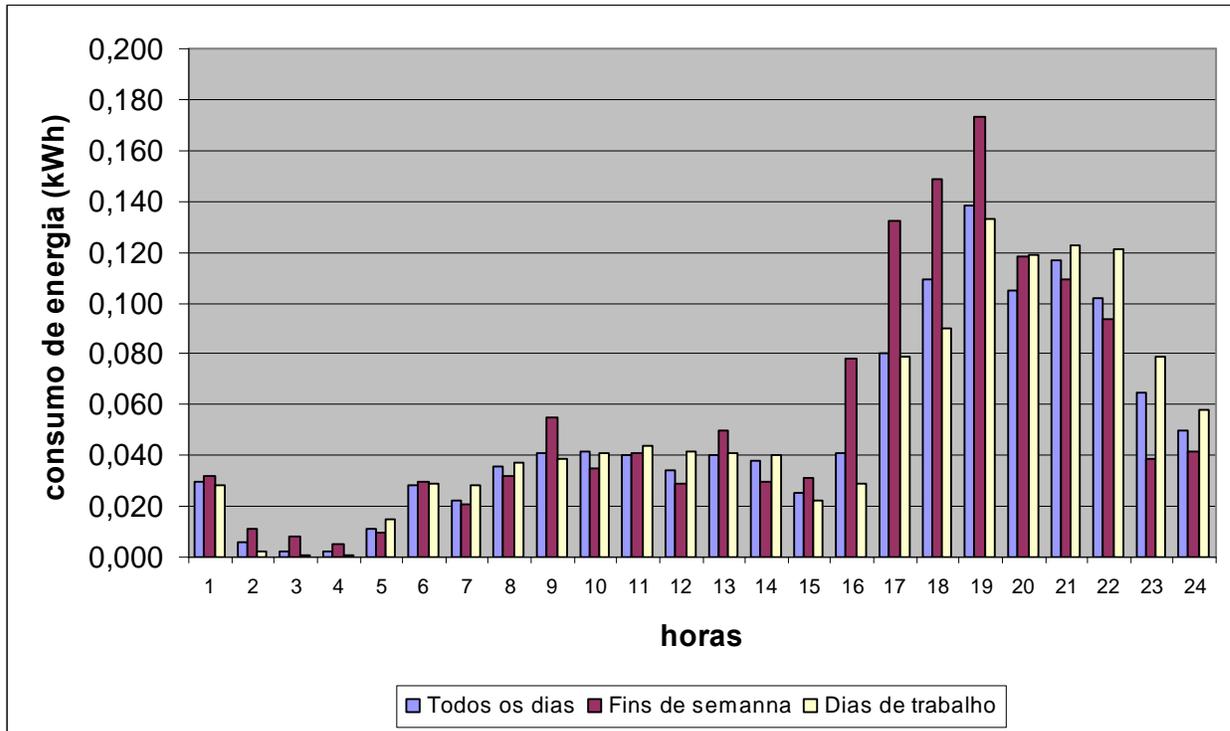


Figura 11: Média mensal horária de consumo de energia, referente ao mês de fevereiro de 2004.
Fonte: Colle, 2004.

A Fig. 12 mostra o consumo médio horário de energia por grupo de domicílios, com e sem sistemas de aquecedores solares de água, para o período correspondente aos meses de janeiro, fevereiro e março de 2004. O Gráfico demonstra que os consumidores que possuem sistemas de aquecimento solar continuam a ter picos de consumo de energia no horário de ponta, entre as 18h00 e as 22h00. Porém, podemos observar que este consumo de energia na ponta é significativamente menor quando comparado ao consumo correspondente do grupo de consumidores não usuários da energia solar. O fator de carga medido no período é da ordem de 0,38. Comparando-se os picos de consumo dos dois grupos é verificado que o valor numérico do pico correspondente ao grupo não usuário de energia solar é da ordem de 2,5 vezes o valor numérico correspondente ao grupo de usuários de energia solar.

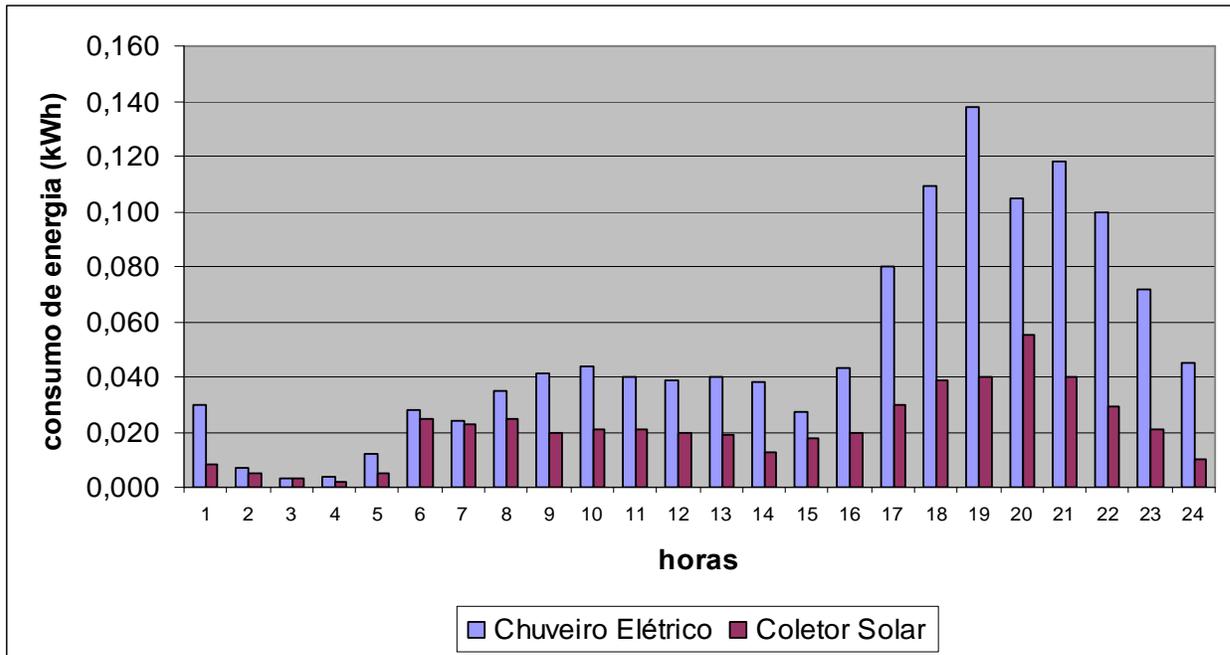


Figura 12: Média horária de consumo de energia para os domicílios amostrados entre janeiro e março de 2004
Fonte: Colle, 2004.

A Fig. 13 mostra a fração solar horária calculada para os sistemas de aquecimento solar considerando o mês de fevereiro de 2004, assumido a hipótese de mesmo consumo de água para os dois conjuntos de consumidores. Pode-se observar que a fração solar varia de 40% a 80% durante a maior parte do dia, sendo menor no período da manhã. A fração solar média para o mês considerado é da ordem de 58%.

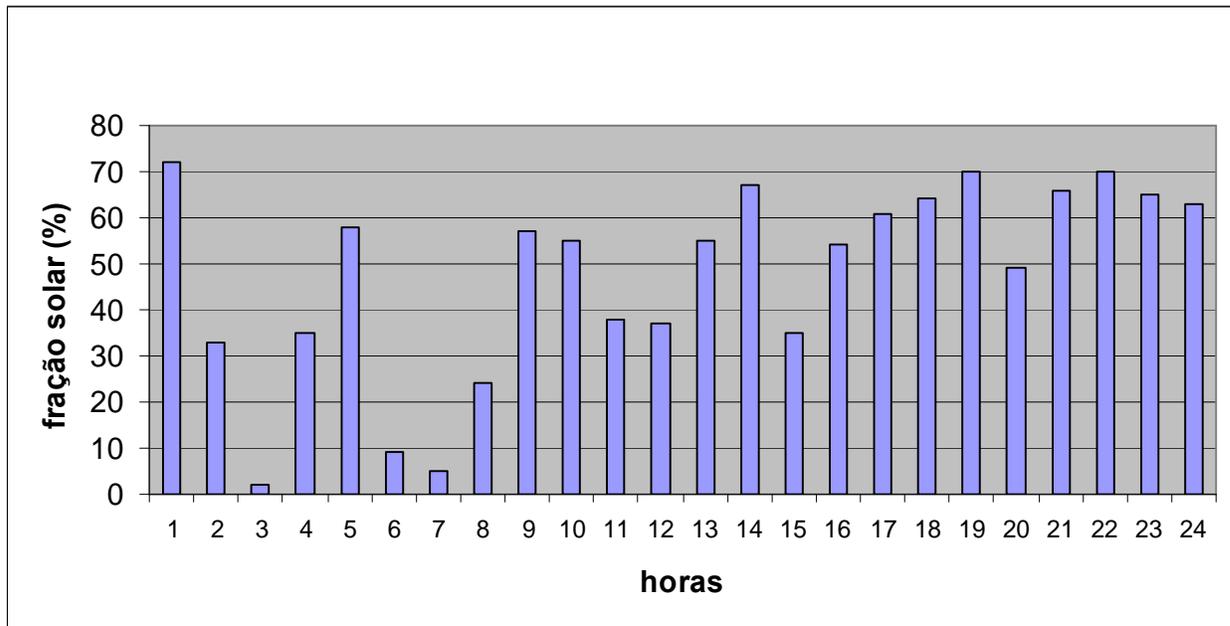


Fig. 13: Fração solar horária para o mês de fevereiro de 2004.
Fonte: Colle, 2004.

Os picos reais de demanda de energia elétrica podem ser mais facilmente identificados por meio das Fig. 14 e Fig. 15, onde são mostrados os valores totalizados de energia elétrica medidos nos chuveiros para intervalos de cinco minutos. A Fig. 14 corresponde ao perfil de consumo dos domicílios que não possuem sistemas de aquecimento solar de água e a Fig. 15 corresponde ao perfil de consumo dos domicílios que possuem os sistemas solares. Observa-se de forma clara que o consumo de energia máximo na ponta dos domicílios que possuem aquecedores solares corresponde a aproximadamente metade da energia consumida pelos domicílios que não possuem aquecedores solares.

A conclusão principal da pesquisa de Colle (2004) é de que o uso da energia solar em grupos de consumidores de baixa e média renda reduz sensivelmente o pico de consumo de energia dos chuveiros elétricos no horário de ponta. Os resultados da pesquisa ainda são preliminares, contudo, representam uma amostragem consistente e com resultados promissores quanto ao uso de sistemas de aquecimento solar de água, mesmo para Florianópolis, cidade localizada na região correspondente a menor média anual e maior variabilidade mensal da radiação solar incidente, conforme (Colle e Pereira, 1998).

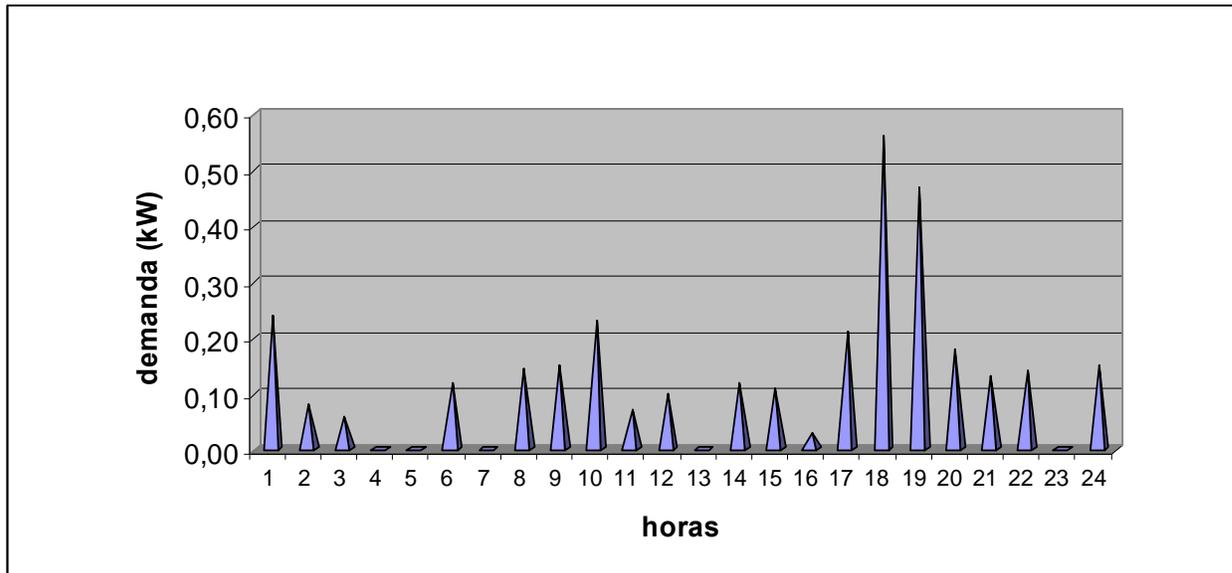


Figura 14: Demanda instantânea para domicílios sem coletores solares.
Fonte: Colle, 2004.

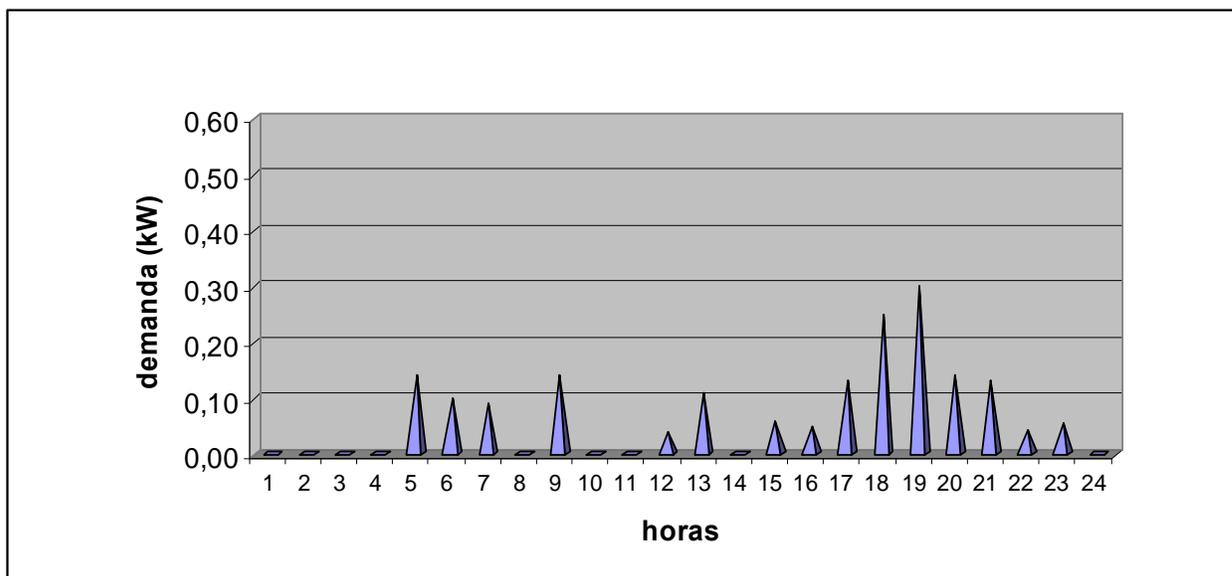


Figura 15: Demanda instantânea para domicílios com coletores solares.
Fonte: Colle, 2004.



O Laboratório Solar da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – GREEN firmou em 1999 uma parceria com as Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRÁS para a consecução de um projeto que visava à construção e instalação de sistemas de aquecimento solar de água no conjunto habitacional Sapucaias, na cidade de Contagem em Minas Gerais. O principal objetivo do projeto era avaliar a economia de energia e monetária proporcionada pela utilização de sistemas solares, bem como a adaptação dos usuários a nova tecnologia (Pereira, 2005).

O conjunto habitacional de Sapucaias, construído em 1999, possui 578 casas, cuja média é de 6 moradores por residência, construídas em regime de mutirão. As casas foram construídas em TIJOLITOS²², em um projeto especial para habitações de interesse social de 49 m². A adesão dos moradores ao projeto foi voluntária, motivada principalmente pela preocupação das famílias com a economia de energia. No início do projeto uma grande parte das casas já estavam concluídas, o que exigiu um estudo de adaptação para a implantação dos equipamentos, motivando algumas modificações no projeto original. A chamada para participação voluntária ao Projeto foi realizada pela associação de moradores que liderava o movimento de autoconstrução das moradias. No total de 150 famílias se inscreveram, sendo que 100 famílias foram selecionadas considerando-se critérios como ordem de registro, pré-requisitos técnicos, número máximo de 6 habitantes por domicílio e casas que cuja orientação do telhado fosse para o Norte, com desvio máximo de 20° do norte verdadeiro (Fantinelli, 2006).

Os estudos realizados para o dimensionamento do equipamento termosolar, para o atendimento de uma demanda de água quente para uma família de 6 pessoas, levaram à definição de uma placa coletora de área de 2 m² e um reservatório de 200 litros, com funcionamento em termosifão. O projeto previu a utilização de dois sistemas diferentes para o aquecimento de água. O primeiro o coletor solar foi inserido na cobertura da edificação e o reservatório de água quente colocado no átrio interno da cobertura, bem acima do sanitário. Trinta residências receberam este sistema. O segundo sistema foi apresentado pelos próprios fabricantes na licitação. Foi escolhido o que dispunha de todos os componentes integrados e fixos em uma única estrutura portante, com flexibilidade para ser direcionado para a posição geográfica mais favorável ao aumento da eficiência do sistema. Este segundo sistema foi instalado em 70 domicílios (Pereira, 2005).

Os sistemas auxiliares de aquecimento elétrico foram instaladas de duas formas

²² Projeto Tijolito, desenvolvido pelo professor João Batista Santos de Assis, do departamento de Engenharia Civil da PUC/MG e patrocinado pela Construtora Andrade Gutierrez. Os tijolitos são bloco de encaixe macho e fêmea, fabricado em solo-cimento prensado.



diferentes, a resistência elétrica dentro do reservatório ou com chuveiro elétrico. Em 58 sistemas integrados e 21 sistemas convencionais foram utilizadas resistências elétricas de 1.500 W nos reservatórios, com possibilidade de serem acionadas manualmente no momento oportuno. Em 12 sistemas integrados e em 9 sistemas convencionais foram instalados chuveiros elétricos.

O custo unitário do sistema, incluindo todas as ligações e infra-estrutura de canalizações de água quente, ficou em aproximadamente R\$ 900,00 ou US\$ 410,00²³ (Fantinelli, 2006).

Foi implementado sistema de monitoramento mensal do consumo de energia elétrica durante 26 meses consecutivos, sendo que nos dois primeiros meses, setembro e outubro de 2000, são referentes ao período antes da instalação dos coletores solares. Após a instalação dos coletores, a avaliação mensal das contas de energia foi efetiva até março de 2002. Após este período mantiveram-se visitas anuais de monitoramento.

Foi adotada a investigação conforme a Metodologia Avaliação Pós-ocupação – APO. Esta metodologia, a partir da avaliação de fatores técnicos, funcionais, econômicos, estéticos e comportamentais e com o parecer de técnicos e usuários, diagnostica aspectos positivos e negativos do ambiente em uso, definindo recomendações para intervenções que sejam necessárias (Ornstein, 1992). A coleta, análise e interpretação sistematizada das informações de intervenções humanas para aperfeiçoar condições sociais e comunitárias pode avaliar as expectativas psicocomportamentais dos usuários, através da coleta de suas opiniões.

Considerando a análise dos dados obtidos, demonstra-se que os resultados foram bastante significativos. A redução média do consumo de energia elétrica, para as residências avaliadas antes e após a instalação dos sistemas de aquecimento solar, foi de 41,6%. A redução no valor monetário da conta de energia elétrica foi de 58,2%, resultante das menores tarifas incidentes e redução proporcional da taxa de iluminação pública.

Em 2003 foi criado um segundo grupo de controle, envolvendo 15 residências sem os sistemas de aquecimento solar de água, para que fossem avaliados possíveis alterações no perfil de consumo de energia por parte dos moradores do conjunto Sapucaias. De acordo com os dados levantados, e que podem ser visualizados na Fig. 16, constatou-se que a nova média de consumo mensal de energia elétrica foi de 145 kWh, o que difere em apenas 5,5% da média mensal de consumo do primeiro grupo de controle que era de aproximadamente 137 kWh.

²³ Dólar em setembro de 2000: R\$ 2,20; em março de 2004: R\$ 2,90; em julho de 2005: R\$ 2,4; em janeiro 2006: R\$ 2,30

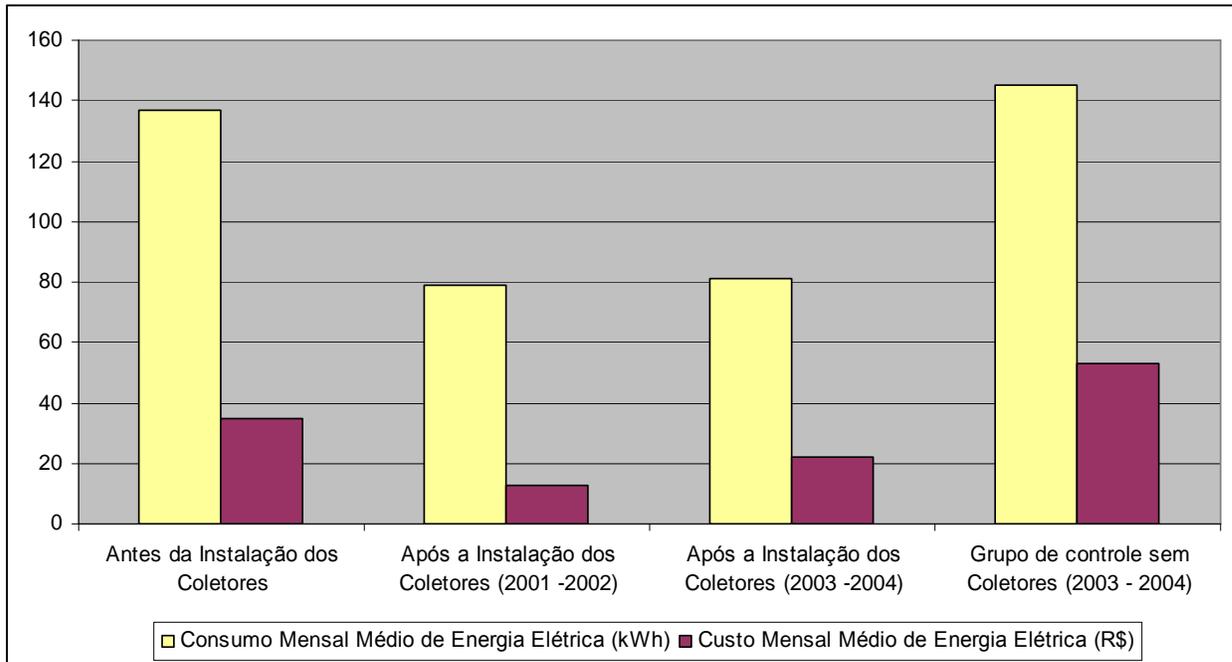


Figura 16: Valores médios do consumo energético em Sapucaias
Fonte: Modificado de Pereira, 2005.

Observamos no Fig. 16 que a redução de consumo de energia elétrica no período entre 2001 e 2002, em favor dos usuários de sistemas de aquecimento solar, foi de aproximadamente 42,3%. Para o período entre 2003 e 2004, considerando o grupo de controle, a redução foi de aproximadamente 44,13%.

Com relação à aceitação da tecnologia solar pelos moradores do grupo social avaliado, os resultados e depoimentos são positivos. A insatisfação perante a tecnologia solar foi manifestada por apenas 13% da amostra. As principais alegações para a insatisfação referem-se a pouca quantidade de água quente disponível, custo alto com o pagamento das contas de energia elétrica, além da existência de vazamentos. Investigadas as famílias que manifestadamente desaprovam a quantidade de água quente e o aumento de consumo de energia elétrica, verificou-se que não houve por parte dos moradores a periodicidade necessária de limpeza e manutenção dos sistemas, creditando-se a falta de eficiência dos sistemas ao descaso com a manutenção.



3.5. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS AQUECEDORES SOLARES DE ÁGUA NO BRASIL

O Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE é decorrente do Protocolo firmado em 1984 entre o então Ministério da Indústria e do Comércio e a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABINEE, com a interveniência do Ministério das Minas e Energia. O PBE é coordenado pelo Instituto de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, com o apoio do Programa de Conservação de Energia Elétrica– PROCEL. Com a criação do PBE, o INMETRO passou a informar os consumidores sobre o desempenho energético dos principais equipamentos consumidores de energia comercializados no País, por intermédio de etiquetas que lhes permitam selecionar produtos de maior eficiência.

Sempre desenvolvido por meio da adesão voluntária dos fabricantes, o PBE serviu de base para a publicação da Lei nº 10.295/2001, que determina que o Poder Executivo estabelecerá os níveis máximos de consumo ou mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia comercializados no País. Estabelece ainda que, num prazo de até 1 ano a partir da regulamentação específica de cada produto, será elaborado um programa de metas, para uma progressiva evolução dos índices.

Os coletores solares, reservatórios térmicos e sistemas acoplados têm o seu desempenho energético e térmico avaliados e normalizados pelo INMETRO no âmbito do PBE. Os ensaios experimentais dos coletores solares são realizados em laboratórios acreditados pelo INMETRO, sendo que para o caso de sistemas solares o laboratório de referência é o GREEN Solar²⁴. Os ensaios têm por objetivo fornecer informações sobre a eficiência térmica média e a produção mensal de energia fornecida pelos sistemas de aquecimento solar de água, com critérios de comparação e avaliação em condições iguais e hipotéticas de operação.

As normas técnicas aplicáveis aos ensaios de coletores solares no PBE/INMETRO são (INMETRO, 2008):

- a. ABNT / NBR10184 / 1988 - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Coletores Solares Planos para Líquidos - Determinação do Rendimento Térmico – Método de Ensaio.
- b. EN 12975:2006 - European Committee for Standardization (publication date 2006-

²⁴ Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Térmica - GREEN Solar – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – O GREEN Solar foi criado devido a uma conjugação de esforços entre a União, por seu Ministério de Ciência e Tecnologia - MCT, e pelo Ministério da Indústria, do Comércio, e do Turismo - MICT, a Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - SECT, a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas e a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar condicionado, Ventilação e Aquecimento -Abrava, conforme Convênio assinado em 5 de novembro de 1997 em Brasília



- 03-29). Thermal solar systems and components. Solar Collectors o Part 1: General Requirements o Part 2: Test Methods.
- c. ANSI / ASHRAE 93-2003 - American National Standards Institute American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning, INC. Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors.
 - d. ANSI / ASHRAE 96-1980 RA1989 - American National Standards Institute American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning, INC. Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Unglazed Flat-Plate Liquid- Type Solar Collectors.
 - e. ASTM E 823-81 / Reaprovada em 2001 - American Society for Testing and Materials. Standard Practice for Nonoperational Exposure and Inspection of a Solar Collector .
 - f. FSEC-GP-5-80 Jan 1985 Florida Solar Energy Center. Test Methods end Minimum Standards for Certifying Solar Collectors.
 - g. Procedimentos do Laboratório de Ensaios de Equipamentos Solares GREEN.

Para que os coletores solares para aquecimento solar de água obtenham Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE²⁵ é necessário que estes sejam submetidos a uma série de ensaios, citados na Tab. 7, e especificados pelo Regulamento de Avaliação da Conformidade de Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água²⁶ (INMETRO, 2008).

Os equipamentos que já possuem a etiqueta são submetidos, anualmente, a procedimentos para a manutenção da autorização de uso da ENCE. Este procedimento é chamado pelo INMETRO de Acompanhamento da Produção – AcP, cujo objetivo é verificar e validar a conformidade dos equipamento em relação aos ensaios iniciais. Os ensaios são realizados em amostras escolhidas diretamente na linha de produção do fabricante (INMETRO, 2008). Esses ensaios são realizados em uma única fase, equivalente a Fase 1 descrita na Tab. 3.

²⁵ A Ence tem por objetivo informar o desempenho térmico de sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água, definidos neste Regulamento de Avaliação de Conformidade, segundo Normas Brasileiras específicas e/ou internacionais.

²⁶ Portaria INMETRO nº 395, de 10 de novembro de 2008.



Tabela 3: Ensaio do PBE/Coletores Solares para ETIQUETAGEM, por aplicação e em ordem de Realização.

ENSAIOS DE ETIQUETAGEM					
Fase 1: Ensaio Preliminares			Fase 2: Ensaio Completos		
Coletores Solares Fechados	Coletores Solares Abertos	Coletores Solares Fechados com Placa Absorvedora em Polímero	Coletores Solares Fechados	Coletores Solares Abertos	Coletores Solares Fechados com Placa Absorvedora em Polímero
1. Choque Térmico	1. Pressão Hidrostática	1. Pressão Hidrostática	1. Exposição Não Operacional	1. Exposição Não Operacional	1. Exposição Não Operacional
		2. Resistência a Alta Temperatura	3. Choque Térmico	3. Choque Térmico	3. Choque Térmico
2. Eficiência Térmica Instantânea	2. Eficiência Térmica Instantânea	3. Choque Térmico	4. Eficiência Térmica Instantânea	4. Eficiência Térmica Instantânea	4. Eficiência Térmica Instantânea
		4. Eficiência Térmica Instantânea	5. Fator de Correção para o Ângulo de Incidência da Radiação Direta	5. Fator de Correção para o Ângulo de Incidência da Radiação Direta	5. Fator de Correção para o Ângulo de Incidência da Radiação Direta
3. Destrutivo	3. Destrutivo	5. Destrutivo	6. Constante de Tempo	6. Constante de Tempo	6. Constante de Tempo
			7. Pressão Hidrostática	7. Destrutivo	7. Destrutivo
			8. Destrutivo		

Fonte: Portaria INMETRO nº 395, de 10 de novembro de 2008 (INMETRO, 2008)

Para o caso dos reservatórios térmicos as normas aplicáveis para os ensaios de obtenção da ENCE, temos (INMETRO, 2008):

- a. Norma ISO / DIS 9459-2E (Adaptação);
- b. IEC 60335-2-21 – Safety of household and similar electrical appliances – Particular requirements for storage water heaters;
- c. NBR NM IEC 335-1
- d. NBR 5410 - Instalações Prediais de baixa tensão
- e. NBR 14013 - Aquecedores Instantâneos de água e torneiras elétricas - Determinação da potência elétrica;
- f. NBR 14016 - Aquecedores Instantâneos de água e torneiras elétricas - Determinação da corrente de fuga.

Os ensaios requeridos para os reservatórios térmicos, na ordem indicada, são os



seguintes:

- a. Ensaio de marcações e instruções
- b. Ensaio de volume
- c. Ensaio de desempenho térmico
- d. Ensaio para determinação da potência absorvida
- e. Ensaio para determinação da corrente de fuga
- f. Ensaio de tensão suportável
- g. Ensaio de pressão hidrostática
- h. Ensaio de resistência ao calor e fogo
- i. Ensaio de resistência ao enferrujamento

A ENCE tem por objetivo informar ao consumidor o consumo de energia elétrica e a eficiência energética de produtos comercializados no País. Para o caso específico do desempenho energético de coletores solares, as etiquetas informam a produção média mensal de energia específica por metro quadrado de área do coletor (kWh/mês.m²). Para os reservatórios térmicos a principal informação disponibilizada é a perda específica de energia mensal (kWh/mês/litro). A Fig. 17 representa como a ENCE classifica os produtos em uma escala de “A”, mais eficiente, a “E”, menos eficiente. Desta forma, o consumidor pode comparar qual produto consome menos energia dentro de cada categoria. Na etiqueta, o consumidor também poderá encontrar outras informações como marca e modelo, valor do consumo de energia ou do rendimento energético (%), e algumas especificações técnicas que poderão variar segundo o tipo de produto. O processo de etiquetagem de um produto inicia-se de forma voluntária passando posteriormente para compulsório. (www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp).



Energia (Solar) Fabricante Marca Modelo Pressão de Funcionamento (kPa) (m.c.a) Aplicação	COLETOR SOLAR PLANO ABCDEF XYZ(Logo) IPQR XYZ XYZ piscina
Mais eficiente Menos eficiente	
Produção Mensal de Energia: - Por m2 de coletor (kWh/mês.m2) - Por coletor (kWh/mês) Área externa do Coletor (m ²) Eficiência Energética Média (%)	00,0 00,0 0,00 XY,Z
<small>Regulamento Específico para Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água - RESP/006-SOL Instruções de instalação e recomendações de uso, leia o Manual do aparelho.</small> PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 	
IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA ESTÁ EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR	

Figura 17: Exemplo de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE

Fonte: Portaria nº 395, de 10 de novembro de 2008. Regulamento de Avaliação da Conformidade de Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água

Os resultados dos ensaios realizados pelo GREEN Solar, sob acreditação do INMETRO, são tabulados e disponibilizados para consulta pública²⁷. A edição da tabela de classificação de coletores solares editada em julho de 2009, traz os resultados dos ensaios realizados em 215 equipamentos, sendo, 139 modelos para aquecimento de água para banho, 2 modelos de coletores acoplados e 74 modelos para aquecimento de água para piscina.

Os coletores solares utilizados para aquecimento de água para banho tem que apresentar Produção de Energia Mensal Especifica em m² superior a 77 kWh/mês.m², e uma eficiência energética superior a 54,8%, para terem direito à classificação “A”. Os modelos mais eficientes do mercado apresentam uma Produção de Energia Mensal Especifica em m² de 88,6

²⁷ www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp.



kWh/mês.m², e uma eficiência energética equivalente a 62,4%. Os coletores solares para aquecimento de água para banho classificados como “A” somam 87 modelos, equivalentes a 62,6% do total.

Os reservatórios térmicos mais eficientes, considerando a capacidade de armazenamento de água de 200 litros, apresentam uma perda mensal de energia específica menor que 0,20 kWh/mês/litro, e menor que 0,15 kWh/mês/litro para capacidades de armazenamento superiores a 300 litros²⁸.

Infere-se que os sistemas de aquecimento solar de água com área de absorção de 2 m² e possuidores da classificação “A” de eficiência energética, considerando 77 kWh/mês.m² de produção de energia e com uma eficiência energética média de 54,8%, cujo reservatório apresente perdas de 0,20 kWh/mês/litro, podem disponibilizar, em seu modo de operação padrão, energia útil de aquecimento equivalente a 44,39 kWh/mês.

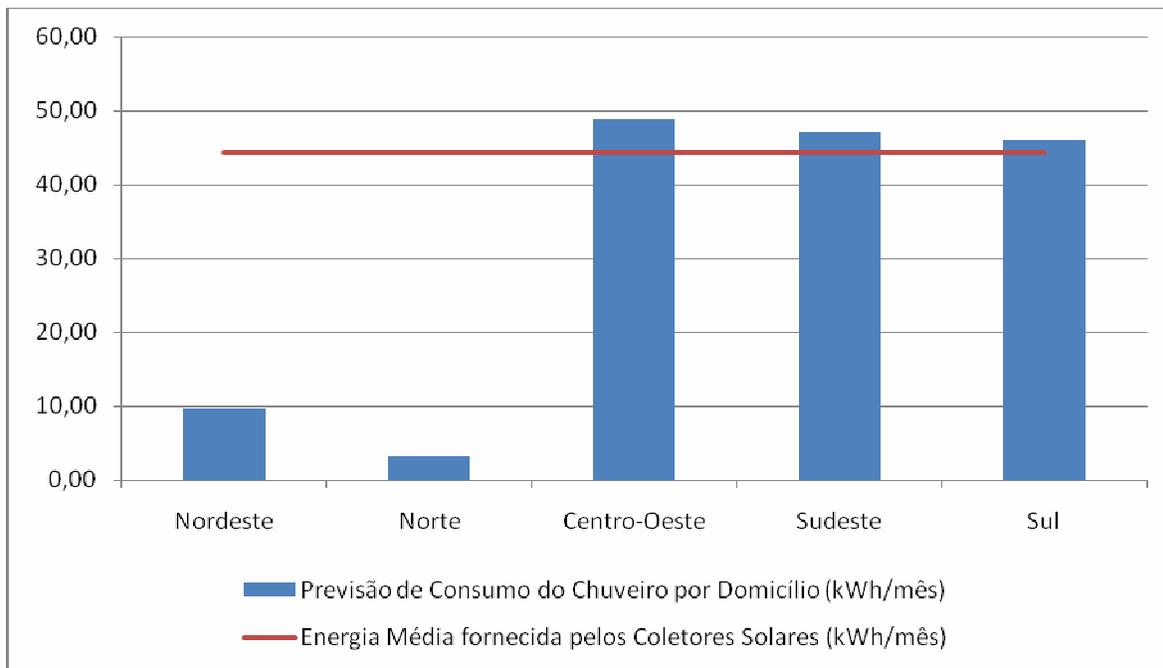


Figura 18: Consumo Médio do Chuveiro por Domicílio
Fonte: Modificado de PROCEL, 2007

A Fig. 18 indica que o maior consumo médio de energia associado ao uso de chuveiros elétricos encontra-se na região Centro-Oeste equivalendo a 48,87 kWh/mês. As regiões

²⁸ Informações obtidas nas tabelas de consumo do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp.



Sudeste e Sul apresentam consumo médios de 47,11 kWh/mês e 45,96 kWh/mês respectivamente. As regiões Norte e Nordeste apresentam valores de consumo médio de energia para aquecimento de água, por meio do chuveiro elétrico, inferiores a 10 kWh/mês.

Considerando informações do relatório de “Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil” (PROCEL, 2007), a disponibilização de energia útil dos aquecedores solares utilizados no Brasil seria suficiente para atender a demanda de água quente de uma família média, composta de quatro pessoas.

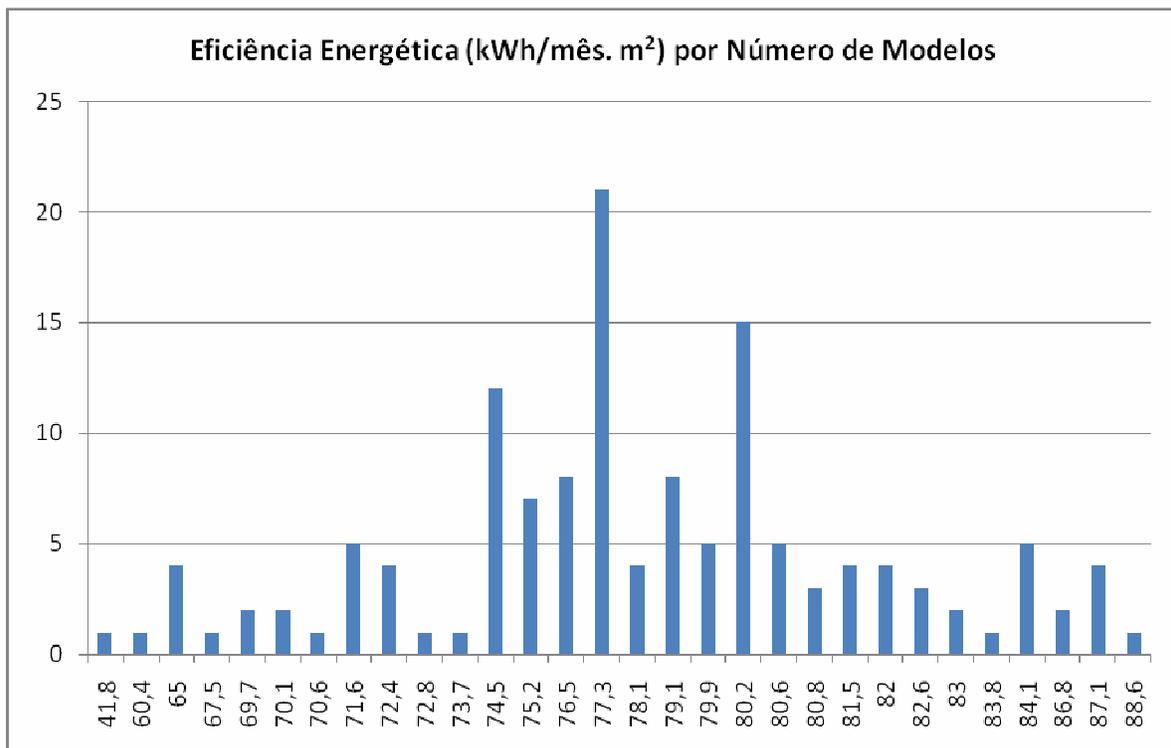


Figura 19: Número de modelos no Mercado por sua Eficiência Energética
Fonte: INMETRO – Tabela de Consumo PBE Coletores Solares – modificado em agosto de 2009

A Fig. 19 mostra o número de modelos de aquecedores solares de água para banho, classificados por sua eficiência energética. Podemos notar que a maioria dos modelos concentram-se na faixa entre 74,5 kWh/mês.m² e 80,6 kWh/mês.m² com aproximadamente 85 modelos, equivalendo a 61% dos modelos, concentrados nas etiquetas “A” e “B”. Os modelos classificados com a etiqueta “A” encontram-se entre 77,3 kWh/mês.m² e 88,6 kWh/mês.m², somando 87 modelos ou 62,5% do total de modelos.

Os dados apresentados na Fig. 19 esclarecem que à maior parte dos modelos de aquecedores solares de água que abastecem o mercado brasileiro contam com uma eficiência energética compatível com a função a eles atribuída.



3.6. A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS CHUVEIROS ELÉTRICOS NO BRASIL

O chuveiro elétrico foi desenvolvido no Brasil a partir do início do século XX como uma alternativa a substituição do gás como principal insumo para o aquecimento de água para uso sanitário. A relativa abundância de energia elétrica, aliada aos aspectos construtivos das residências brasileiras, contribuíram para a disseminação do uso de chuveiros elétricos, caracterizado pelo seu baixo custo de aquisição e facilidade de instalação.

Os primeiros chuveiros elétricos começaram a ser comercializados nos meados da década de 1910. Esses aparelhos utilizavam um interruptor elétrico, normalmente instalado em uma parede próxima ao encanamento de água, sendo acionado depois de iniciado o fluxo de água.

No final da década de 1920 surgiram os chuveiros elétricos que se valiam de uma alavanca para o acionamento do fluxo de água e uma botoeira para o acionamento da parte elétrica. Caso a operação fosse realizada de modo contrário a resistência elétrica se fundia e o chuveiro deixava de funcionar. Como solução para este problema, a evolução natural foi à utilização de uma alavanca de ação dupla que primeiro liberava o fluxo de água e no final de seu curso acionava a resistência elétrica.

Os chuveiros elétricos modernos, com acionamento automático da resistência, surgiram na década de 1940. O equipamento funcionava com o acionamento de um diafragma, que sob a pressão do fluxo de água movimentava os contatos elétricos que permitiam a passagem de corrente elétrica para a resistência (Zoellner, 2005).

O funcionamento do chuveiro elétrico é relativamente simples, dependendo diretamente da dissipação de potência pelo elemento resistivo e da vazão de água que por ele flui. Os resistores do chuveiro elétrico em geral, são confeccionados de uma liga Níquel–Cromo, cuja característica é possuir uma alta resistividade elétrica, com o propósito de garantir o aquecimento. O fio resistivo pode ter contato direto com a água ou ser do tipo blindado, ou seja, o fio é isolado da água por meio de um material dielétrico, normalmente utiliza-se óxido de magnésio.

O **Anexo III** apresenta as fórmulas básicas para o cálculo do desempenho dos chuveiros elétricos, descrevendo suas principais características do ponto de vista físico.

Os chuveiros elétricos são objeto do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, no qual, por meio de ensaios laboratoriais, são definidos os consumos máximos e mínimos de energia elétrica. Os procedimentos de ensaio são definidos pelo Regulamento Específico para Uso da



Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – Linha de Aparelhos Elétricos Fixos de Aquecimento Instantâneo de Água (INMETRO, 2005).

Os ensaios de etiquetagem garantem que a potência absorvida pelo chuveiro elétrico na tensão nominal e na temperatura de operação normal não deve diferir da potência nominal em mais ou menos de que 10%. Os ensaios também garantem que a eficiência energética dos chuveiros elétricos, em tensão nominal e potência elétrica máxima nominal, seja superior a 95%.

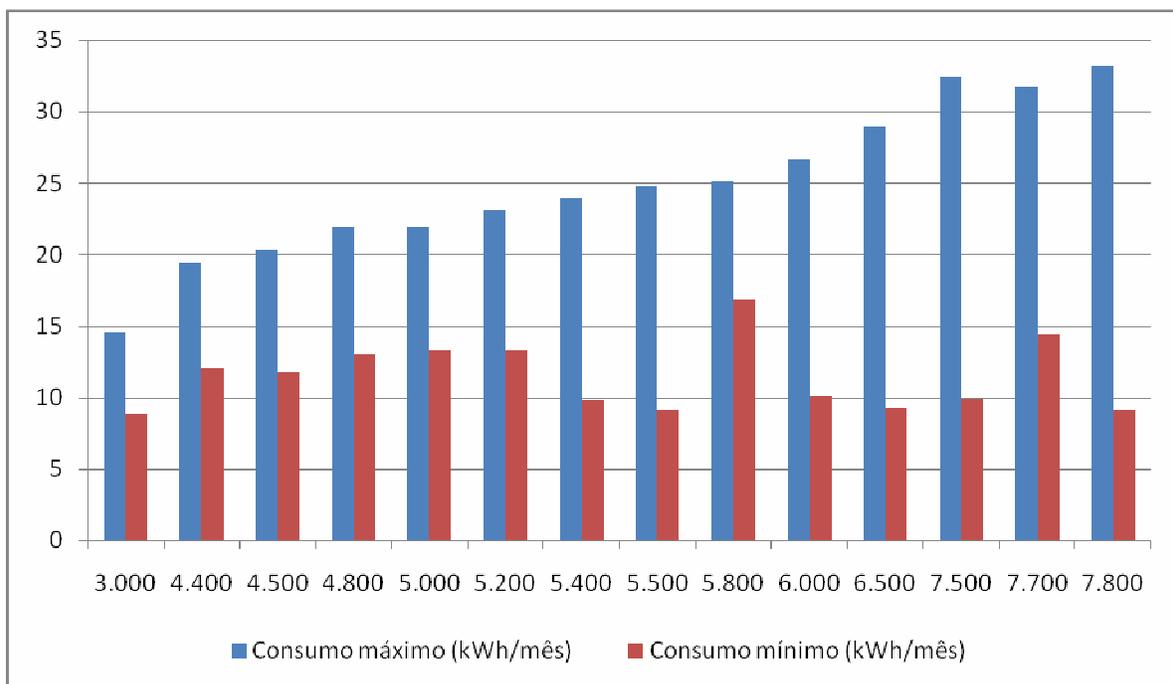


Figura 20: Consumo máximo e mínimo de energia elétrica (kWh/mês) por potência nominal do Chuveiro (W)
Fonte: INMETRO – Tabela de Consumo PBE Chuveiros Elétricos 10/06/09 – modificado em setembro de 2009

A Fig. 20 mostra os consumos máximos e mínimos de energia elétrica (kWh/mês) em função da potência nominal dos chuveiros elétricos (W). Os valores foram retirados da Tabela de Consumo do PBE Chuveiros Elétricos, versão de 10 de junho de 2009, fornecida pelo INMETRO.

Podemos observar que são consideradas potências que variam de 3.000W a 7.800W e que o consumo máximo de energia elétrica varia de 14,5 a 33,2 kWh/mês, sendo relativamente proporcional à potência nominal dos equipamentos analisados. Já no caso do consumo mínimo, podemos observar que estes não seguem o mesmo padrão do consumo máximo. Isso se explica pelas diversas regulagens de potência que os modelos de chuveiros elétricos oferecem,



portanto chuveiros de menor potência nominal que oferecem níveis menores de regulação acabam por ter consumos mínimos mais elevados em relação aos chuveiros de maior potência, que permitem regulagens em potências menores.

Cabe ainda observar que os consumos disponibilizados pelas Tabelas de Consumo do PBE/INMETRO, condizem a ensaios em laboratórios sob condições controladas, não correspondendo necessariamente aos consumos de energia elétrica verificados na utilização real dos chuveiros elétricos, onde as variações de tempo e intensidade de utilização diferem dos ambientes de ensaio.

4. CARACTERIZAÇÃO DO MERCADO CONSUMIDOR DE ENERGIA

Este Capítulo tem a intenção de caracterizar o mercado de energia elétrica residencial, principalmente no que se refere ao consumo de energia para aquecimento de água, cujo principal equipamento utilizado atualmente para este fim é o chuveiro elétrico.

A construção dos indicadores necessários para caracterizar o mercado, até 2030, leva em consideração:

- a. Evolução do crescimento populacional;
- b. Evolução do número de domicílios permanentes;
- c. Crescimento do PIB;
- d. Intensidade Energética;
- e. Projeção do consumo residencial de energia elétrica nas diversas regiões do País;
- f. Posse média de chuveiros elétricos de uso residencial;
- g. Mercado para sistemas de aquecimento solar de água.

A utilização de indicadores de crescimento populacional está diretamente ligada ao crescimento vegetativo do consumo de energia elétrica pelo aumento do número de consumidores. O crescimento populacional será cruzado com os indicadores de crescimento do número de domicílios, sendo que a tendência verificada mostra que o número de domicílios crescerá a uma taxa superior ao do crescimento populacional. Por conseqüência, teremos maior número de equipamentos eletrodomésticos introduzidos no mercado, pois independente do número de moradores por domicílio, que tende a diminuir, os domicílios novos tendem a estar equipados com uma variedade maior de equipamentos consumidores de energia. Essa tendência de aumento de aquisições de equipamentos está relacionada ao aumento da renda *per capita*, proporcionada pelo aumento médio do PIB no horizonte pesquisado.



Os indicadores de intensidade energética ajudarão a demonstrar a eficácia do consumo de energia elétrica em comparação com a produção, cuja tendência aponta para uma diminuição da energia elétrica consumida para a geração de unidades financeiras do PIB.

A confluência desses indicadores pode ser verificada nos indicadores de consumo residencial, que de certa forma, demonstram que as projeções anteriores levam ao aumento de consumo médio de energia elétrica no setor residencial.

Observamos que o progresso autônomo de eficiência energética refere-se ao que podemos denominar de substituição tecnológica tendencial²⁹, por pressões de mercado ou ambientais, ou por programas e medidas de conservação em vigor no País. Além disso, considerou-se, a partir de 2012, um aumento adicional da eficiência energética, obtido a partir da instituição de programas e ações específicas, orientadas para determinados setores e refletindo políticas públicas, e que pode ser chamada de conservação ou eficiência induzida.

A fim de projetar a conservação de energia elétrica obtida mediante progresso autônomo, tomou-se por base a evolução da energia útil e a da energia final em cada setor, por tipo de uso, sendo referência para essas estimativas o Balanço de Energia Útil – BEU e o Balanço Energético Nacional – BEN, 2008, do Ministério de Minas e Energia.

4.1. PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO POPULACIONAL

A dinâmica populacional constitui-se em um dos fatores de maior influência no comportamento da demanda de energia. Esta influência caracteriza-se, em parte, pela elevação das taxas de urbanização que tendem a modificar os hábitos e as necessidades de consumo de energia elétrica. Outro aspecto marcante refere-se à expansão da população, que, associada ao ritmo de crescimento do número de domicílios, constitui um importante parâmetro balizador para o dimensionamento das necessidades de ampliação dos sistemas de distribuição de energia.

Para podermos compreender a dinâmica populacional brasileira, iniciaremos com uma análise sucinta da evolução histórica da população brasileira.

As décadas anteriores a 1940 foram caracterizadas por altas taxas de natalidade, contudo, associadas a altas taxas de mortalidade, principalmente infantil, mantiveram o

²⁹ Substituição tecnológica tendencial: O PNE define este termo como sendo à substituição de equipamentos motivada pelo término da vida útil, sendo que o mercado naturalmente oferece equipamentos de melhor desempenho energético ou com melhor desempenho em seu funcionamento.



crescimento populacional absoluto em níveis relativamente baixos. Em meados da década de 40 o Brasil entra em uma fase de crescimento populacional mais acentuado, pois mantém altas suas taxas de natalidade, porém observa-se uma marcante queda nas taxas de mortalidade, sendo que na década de 1940 o crescimento médio da população foi de 2,39%, já na década de 1950 o crescimento médio foi de 2,99%.

A partir da década de 1970 as taxas de natalidade começam a sofrer um importante declínio, devido principalmente a popularização de métodos contraceptivos. Ainda na década de 1960 observamos um pequeno declínio da taxa de crescimento, algo em torno de 2,89%, já nos anos seguintes, entre 1970 e 1980 a taxa cai para valores próximos a 2,44%.

A partir da década de 1980, a diminuição da taxa de natalidade, devido à propagação da esterilização feminina no país, contribui para a continuidade das quedas nas taxas de crescimento da população. A partir deste momento, o Brasil deixa de ser caracterizado como um país de população extremamente jovem para se enquadrar num grupo de países que experimenta um rápido processo de envelhecimento populacional (Frigoletto, 2004). Entre os anos 2000 e 2005, a população brasileira manteve a tendência de queda relativa, registrando uma variação média de 1,46% ao ano.

Para realizar a projeção da população residente no Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE utilizou o Método das Componentes Demográficas, o qual incorpora as informações sobre as tendências observadas da mortalidade, da fecundidade e da migração em nível nacional. O horizonte da projeção compreende um intervalo de 70 anos, ou seja, de 1980 a 2050 (IBGE, 2008).

Neste método, interagem as variáveis demográficas seguindo as coortes³⁰ de pessoas ao longo do tempo, expostas às leis de fecundidade, mortalidade e migração. Para tanto, é necessário que se produzam estimativas e projeções dos níveis e padrões de cada uma destas componentes. Esta se constitui na mais delicada etapa do processo como um todo, pois a formulação das hipóteses sobre as perspectivas futuras da fecundidade, da mortalidade e da migração requer o empreendimento de um esforço cuidadoso no sentido de garantir a coerência entre os parâmetros disponíveis, descritivos das tendências passadas, e aqueles que resultarão da projeção (OLIVEIRA E FERNANDES, 1996).

O Método das Componentes Demográficas para projetar o crescimento populacional tem sua origem na conhecida equação compensadora ou equação de equilíbrio populacional, cuja

³⁰ Coortes: refere-se a grupos de indivíduos classificados ou selecionados de acordo com seu status de exposição a eventos sociais observáveis.



expressão analítica é descrita da seguinte forma (IBGE, 2008):

$$P(t+n) = P(t) + B(t,t+n) - D(t,t+n) + I(t,t+n) - E(t,t+n)$$

Onde:

$P(t+n)$ = população no ano $t+n$;

$P(t)$ = população no ano t ;

$B(t,t+n)$ = nascimentos ocorridos no período $t,t+n$;

$D(t,t+n)$ = óbitos ocorridos no período $t,t+n$;

$I(t,t+n)$ = imigrantes no período $t,t+n$;

$E(t,t+n)$ = emigrantes no período $t,t+n$;

t = momento inicial da projeção; e

n = intervalo projetado.

Para a determinação das populações de partida da projeção, foi considerada a estrutura etária da população residente no Brasil enumerada pelo Censo Demográfico 1980. A esse respeito, é importante mencionar que a população de partida da projeção resultou de uma avaliação prévia elaborada com os Censos Demográficos 1970, 1980, 1991 e 2000 e as Contagens da População 1996 e 2007.

O Plano Nacional de Energia – PNE 2030 utilizou-se das projeções do IBGE, porém, foram necessários a introdução de alguns procedimentos adicionais, principalmente no que se refere a desagregar a projeção da população total residente segundo as regiões geográficas para o período 2021/2030, através da aplicação do método de tendência de crescimento demográfico.

O método de Tendência de Crescimento Demográfico adotado tem como princípio fundamental a subdivisão de uma área maior, cuja estimativa já se conhece, em “n” áreas menores, de tal forma que seja assegurada ao final das estimativas das áreas menores a reprodução da estimativa, previamente conhecida, da área maior através da soma das estimativas das áreas menores.

Considere-se, então, uma área maior cuja população estimada em um momento “t” é $P(t)$. Subdivide-se esta área maior em n áreas menores, cuja população de uma determinada área “i”, na época “t”, é (IBGE, 2008):



$P_i(t) ; i = 1, 2, 3, \dots, n$

Desta forma, tem-se que:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t)$$

Decomponha-se, por hipótese, a população desta área “i”, em dois termos: a_i “P_i(t)”, que depende do crescimento da população da área maior, e “b_i”. O coeficiente a_i é denominado coeficiente de proporcionalidade do incremento da população da área menor i em relação ao incremento da população da área maior, e “b_i” é o denominado coeficiente linear de correção.

Como consequência, tem-se que:

$$P_i(t) = a_i P(t) + b_i$$

Para a determinação desses coeficientes utiliza-se o período delimitado por dois Censos Demográficos. Sejam “t₀” e “t₁”, respectivamente, as datas dos dois Censos. Ao substituir-se “t₀” e “t₁” na equação anterior, tem-se que:

$$P_i(t_0) = a_i P(t_0) + b_i$$

$$P_i(t_1) = a_i P(t_1) + b_i$$

Por meio da resolução do sistema acima, tem-se que:

$$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)}$$

$$b_i = P_i(t_0) - a_i P(t_0)$$

$$b_i = P_i(t_1) - a_i P(t_1)$$

Os resultados obtidos pelo Método Tendência de Crescimento Demográfico e o Método das Componentes Demográficas utilizados pelo IBGE e adaptado no PNE 2030, resultaram nas taxas de crescimento populacional, fracionadas por região, conforme o apresentado na Tab. 4.

Para a construção da projeção do crescimento médio populacional, demonstrado na Tab. 4, considerou-se as projeções anuais absolutas calculadas pelo IBGE para o período entre 2005 e 2030, transformadas em uma média por década, 2010 a 2020 e 2020 a 2030.



Considerou-se também a aplicação das taxas médias de crescimento a partir do ano de 2007, pois o IBGE já dispõe de dados atualizados para o total de população para os anos de 2005, 2006 e 2007, não sendo necessário recorrer a projeções (IBGE – SIDRA, Tabela 261). As taxas médias de crescimento para os anos de 2008 a 2010, foram consideradas de forma absoluta.

Tabela 4. Projeção da população total residente. Brasil e Regiões, 2005-2030. Variação (%) média anual.

Taxas Médias de Crescimento (% a.a.)	2008 - 2010	2010 - 2020	2020 - 2030
Norte	1,50	1,65	1,32
Nordeste	1,50	0,82	0,70
Sudeste	1,40	1,00	0,85
Sul	1,30	0,95	0,70
Centro-Oeste	1,40	1,50	0,80

Fonte: PNE 2030, IBGE, 2008.

Cabe observar, que pelo fato de começarmos nossa projeção pelo ano de 2007, e não 2005 conforme o PNE 2030 e o Mercado de Energia Elétrica 2006-2015, as projeções construídas para esta pesquisa apresentam pequenas diferenças em relação aos documentos citados.

Considerando as taxas médias de crescimento demográfico atualizadas pelo IBGE, projeta-se que a população brasileira em 2030 superaria 238 milhões de pessoas, perfazendo uma taxa de crescimento médio de 1,1% ao ano desde 2000, conforme o demonstrado na Fig. 21. Podemos observar que a trajetória desse ritmo de crescimento é continuamente decrescente, como corroboram os últimos censos demográficos (EPE, 2007). Entre 2000 e 2010, estima-se uma taxa de expansão populacional de aproximadamente 1,4% ao ano. Essa taxa cai para 1,1% ao ano para o período entre 2010 e 2020, e para o período entre 2020 e 2030, chega a 0,8% ao ano.

Podemos ainda verificar que as Regiões Norte e Centro-Oeste, Fig. 22, mantêm a tendência histórica de crescimento em patamar acima do estimado para as demais regiões, aumentando assim, gradativamente as suas participações sobre a população total. Sendo que a participação percentual da população da Região Norte passa de aproximadamente 8,5% em 2010 para 9,07% em 2030. O percentual de participação da Região Centro-Oeste passa de 7,14% em 2010 para 7,56% em 2030.

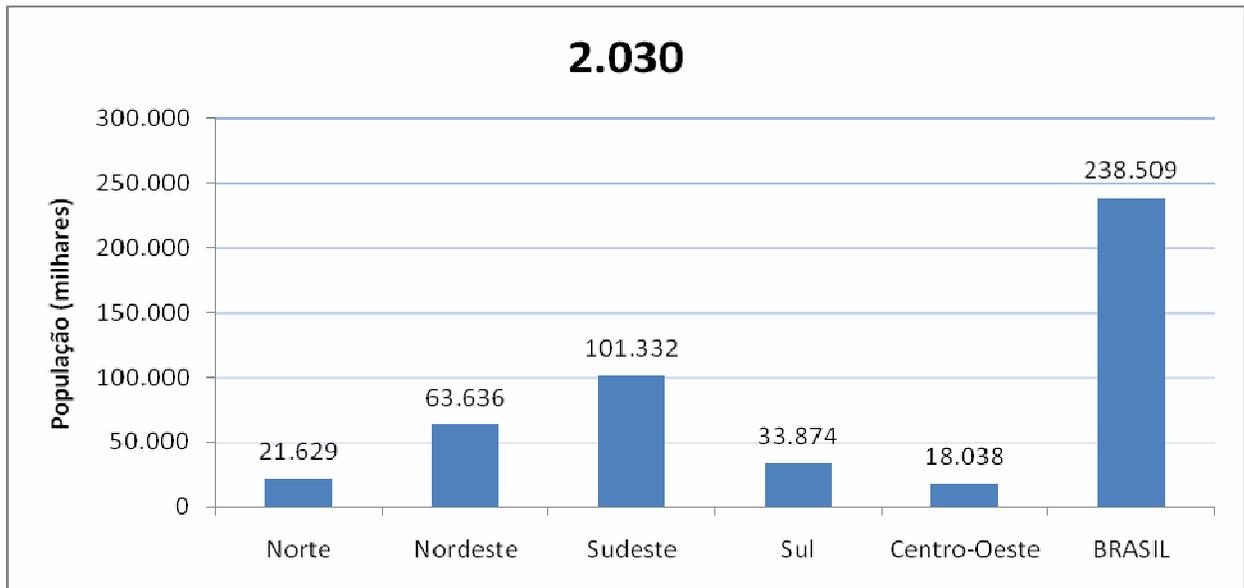


Figura 21: Projeção da população total para o ano de 2030 (milhares)
Fonte: IBGE/PNE 2030 – Modificado pelo autor em setembro de 2009

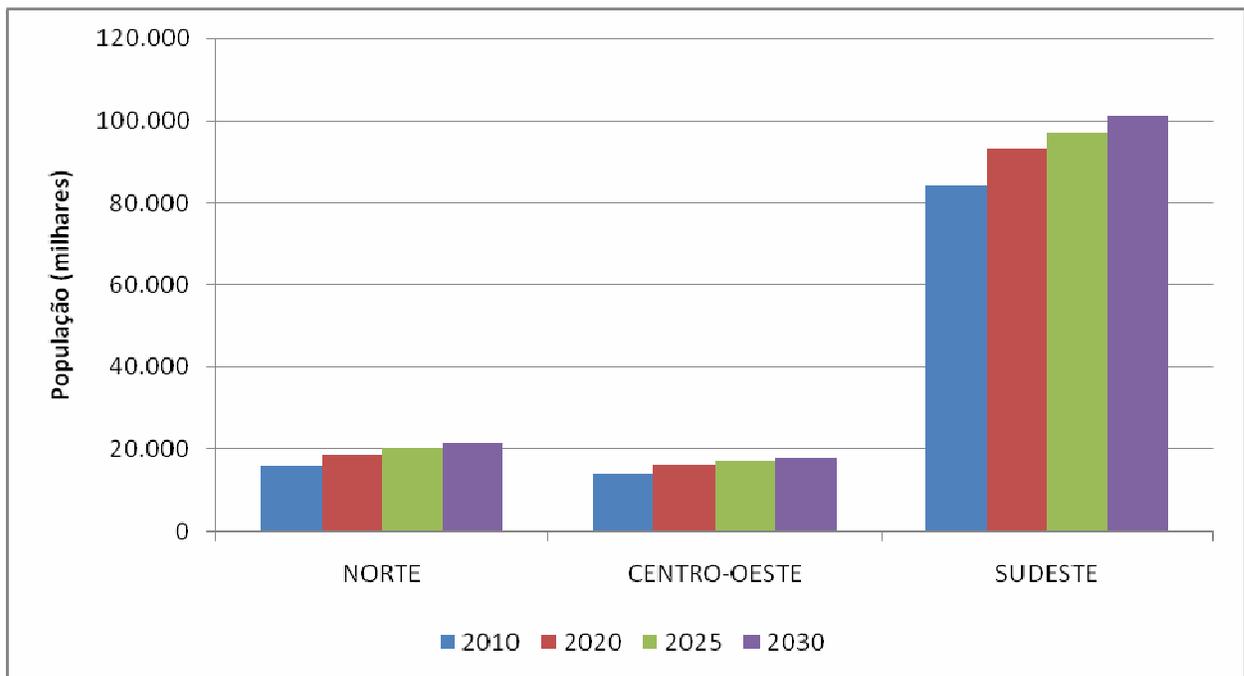


Figura 22: Projeção da população total Regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste (milhares)
Fonte: IBGE/PNE 2030 – Modificado pelo autor em setembro de 2009



A Região Sudeste projeta-se como a região mais populosa em 2030, ultrapassando o patamar de 100 milhões de habitantes, conforme pode ser visto na Fig. 22, participando com 42,49% do total da população brasileira.

Os estados de São Paulo e Minas Gerais serão em 2030 os estados mais populosos do País, apresentando uma população de 52,3 milhões e 24,7 milhões respectivamente. O Estado de Roraima será o estado menos populoso em 2030, cuja projeção prevê uma população total de 587 mil habitantes.

Observa-se também que as regiões que mais utilizam aquecimento de água para fins sanitários, Sudeste, Centro-Oeste e Sul, terão em 2030 uma população projetada de 153,2 milhões de habitantes, equivalente a 64,25% da população brasileira.

4.2. PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO DOMICILIAR

O IBGE tem por conceito que domicílio é o local de moradia estruturalmente separado e independente constituído por um ou mais cômodos (EPE, 2005). A separação tem por característica que os moradores arquem com as próprias despesas de alimentação e moradia, e o local seja separado por paredes sólidas. Para fins de projeção, os domicílios ocupados são tratados de modo diferente dos outros tipos, ocupados ocasionalmente ou fechados, cuja população não é contada pelo censo. Portanto o método de projeção utilizado considera apenas os domicílios particulares, permanentes e ocupados.

Ao projetar o número de domicílios, para utilização na projeção do mercado de energia elétrica, devem-se tratar os domicílios permanentes e ocupados, que vão influenciar na contagem de domicílios com acesso à rede elétrica, diferentemente daqueles ocasionalmente ocupados e fechados, levando em conta o fato de que existem diferenças entre os conceitos de domicílio adotados pelo IBGE e pelo Setor Elétrico, conforme já descrito no relatório “*Histórico Demográfico e de Domicílios 1970-2005*”, publicado pela EPE, em dezembro de 2005 (PNE 2030). Os Censos adotam os conceitos de população residente e de direito, o que significa que a população é contada no local de sua residência habitual. Sendo assim, estima-se o número de domicílios através do indicador habitante por domicílio, correlacionando-o com variáveis demográficas como a taxa de fecundidade e limitando-o por períodos específicos de tempo, nos quais se espera que esse indicador apresente comportamento semelhante àquele outro (OLIVEIRA E FERNANDES, 1996).

Com base no método descrito anteriormente para a projeção de crescimento da



população o IBGE estima taxas médias de crescimento do número de domicílios para as diversas regiões, conforme a Tab. 5, onde observamos que a Região Norte, seguindo a tendência de crescimento populacional, apresenta as maiores taxas de crescimento médio do número de domicílios.

Tabela 5: Taxas médias de crescimento do número de domicílios (%).

Variação Percentual (%)	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-oeste
2010	2,88	1,85	2,28	2,36	2,82
2015	2,51	1,68	2,06	2,14	2,46
2020	2,22	1,53	1,87	1,95	2,16
2025	1,99	1,41	1,72	1,78	1,93
2030	1,77	1,28	1,56	1,62	1,70

Fonte: IBGE, compilado por EPE, 2007.

A metodologia descrita pelo IBGE e adotada no PNE 2030 (EPE, 2007) e no “Mercado de Energia Elétrica 2006-2015” (EPE, 2005) consideram as projeções a partir do ano de 2005. Porém, cabe ressaltar que o IBGE dispõe de números atualizados até o ano de 2007, que divergem a menor em aproximadamente 3,3% das projeções efetuadas para o ano de 2005, e 2,46% para o ano de 2007.

As projeções realizadas neste estudo consideram os números absolutos apresentados pelo IBGE até o ano de 2007 (IBDE/SIDRA, Tabela 1941)³¹, sendo aplicadas as taxas médias de crescimento apresentadas na **Tab. 5** a partir de 2007.

Conforme a projeção realizada, podemos observar na Fig. 23, que em 2030 o número de domicílios particulares permanentes no Brasil atingirá patamar de 85,8 milhões de unidades, caracterizando um aumento de 34,26% em relação ao ano de 2007, cujo número de domicílios é de 56,4 milhões de unidades. Em 2001 a Região Norte possuía 5,02% dos domicílios particulares do País, passando a ter em 2030 aproximadamente 7,56%. A Região Nordeste perde participação, caindo de 25,94% em 2001 para 23,52% em 2030. A Região Sudeste, conforme observamos na Fig.24, mantém o maior número de domicílios, sendo que em 2030 concentrará aproximadamente 44,89% do total de domicílios, equivalentes a 38,5 milhões de unidades.

³¹ Tabela 1941 acessada em 18 de agosto de 2009, pelo “sítio” www.sidra.com.br.

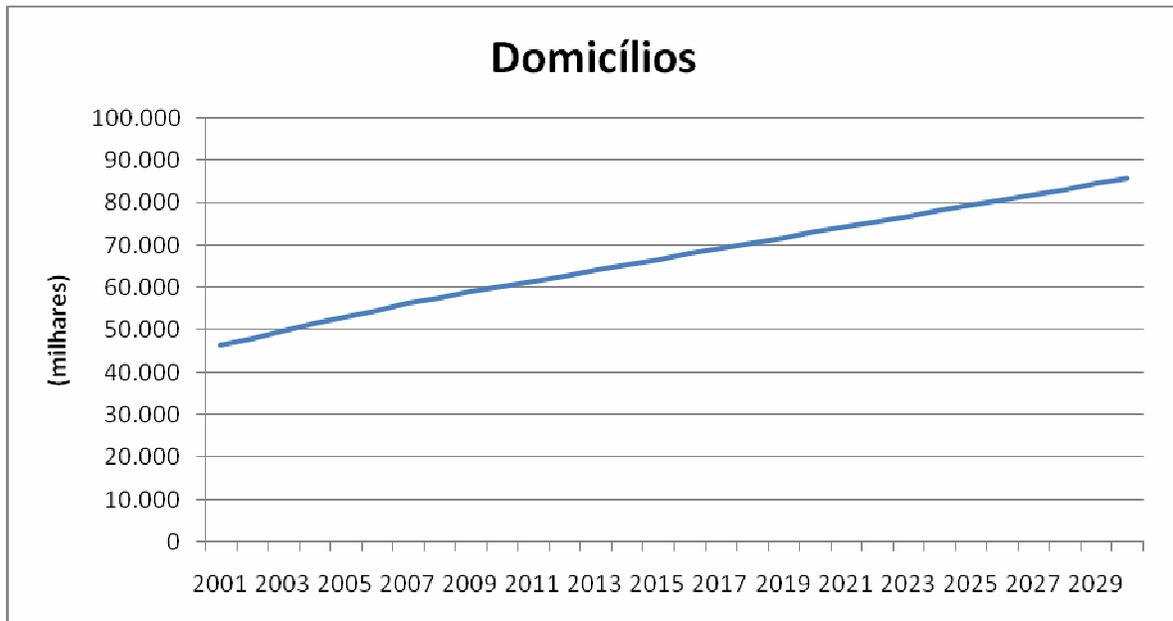


Figura 23: Projeção do número de domicílios particulares permanentes no Brasil.
Fonte: IBGE/EPE 2007, adaptada em setembro de 2009.

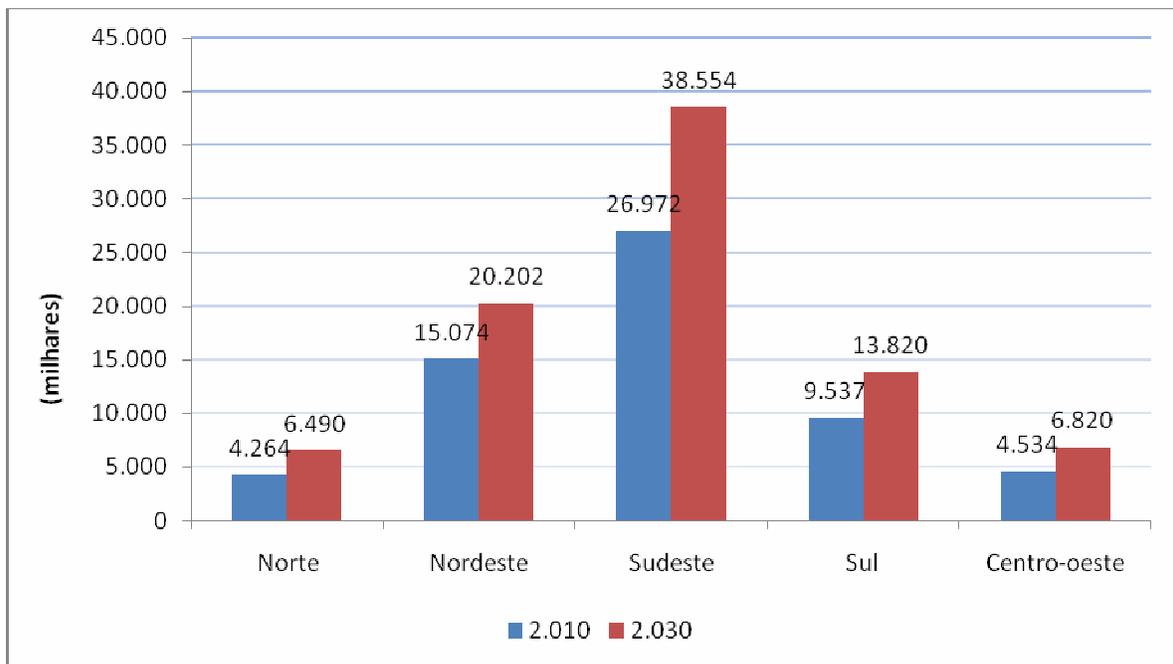


Figura 24: Projeção do número de domicílios particulares permanentes por Regiões (milhares).
Fonte: IBGE/EPE 2007, adaptada em setembro de 2009.

O Indicador de habitantes por domicílios foi calculado pela razão entre a população total e o número de domicílios particulares, permanentes e ocupados.

Na Fig. 25 podemos observar uma queda na relação de número de habitantes por



domicílios. Esta queda deve-se principalmente a diminuição das taxas de natalidade e o aumento do número de famílias, que cresce a taxas maiores em relação à população total (EPE, 2005).

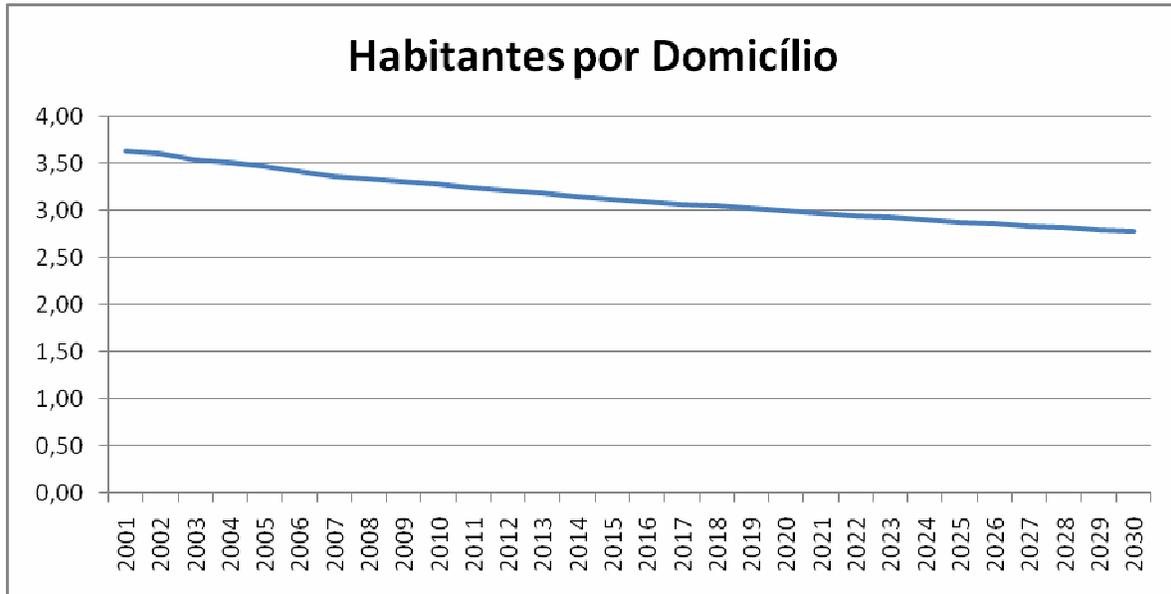


Figura 25: Projeção do número de habitantes por domicílios particulares permanentes.
Fonte: IBGE/EPE 2007, adaptada em setembro de 2009.

De acordo com a Fig. 25 o número médio de habitantes por domicílios em 2001 era de 3,64, passando em 2015 para 3,12 habitantes por domicílios e chegando a 2030 com 2,78 habitantes por domicílios.

Os estados das Regiões Norte e Nordeste apresentam em 2030 as maiores relações de habitantes por domicílios, com 3,33 e 3,14 respectivamente. Destaca-se aqui o Estado do Amazonas, cuja previsão é que chegue a 2030 com aproximadamente 3,66 habitantes por domicílios, sendo que em 2001 o número de habitantes por domicílios era de 4,44.

Os Estados das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste apresentam em média 2,59 habitantes por domicílios em 2030. Sendo que esta média em 2001 era de 3,49. O Estado brasileiro que apresenta a menor relação de habitantes por domicílios, em 2030, será o Rio Grande do Sul, com aproximadamente 2,37 habitantes por domicílios. Em 2001 o estado possuía 3,51 habitantes por domicílios.



4.3. PROJEÇÃO DE CRESCIMENTO DO PRODUTO INTERNO BRUTO - PIB

Godet (1993) define cenário como um “conjunto formado pela descrição coerente de uma situação futura e pelo encaminhamento dos acontecimentos que permitem passar da situação de origem à situação futura”. Entende-se, assim, que um cenário mostra possíveis seqüências de acontecimentos, gerando diferentes estados finais e permitindo antecipar as ações e as decisões que se tornem necessárias. Porém, por questões de simplificação, as considerações a seguir terão como base as projeções inspiradas nos cenários econômicos traçados para o País de acordo com a estrutura de planejamento do PNE 2030, Matriz Energética Nacional 2030, “Mercado de Energia Elétrica 2006-20015 e o Plano Decenal de Expansão – PDE 2008 – 2016.

De acordo com o PNE 2030 o procedimento de construção dos cenários econômicos foi iniciado com a análise da evolução recente do ambiente mundial e nacional. De um modo geral, o propósito de tal estudo retrospectivo é avaliar o movimento de transformação da realidade para identificação de processos de mudança (potenciais ou em andamento) que sinalizem prováveis trajetórias e tendências de comportamento da demanda de energia frente à evolução econômica do Produto Interno Bruto - PIB.

A quantificação dos cenários econômicos no horizonte estudado pelo PNE 2030 está baseada em um modelo de consistência macroeconômica - MCM (Giambiagi e Pastoriza, 1997). A idéia central de um MCM é a de que o movimento das variáveis endógenas, como função da evolução das variáveis exógenas, atenda a restrição de que, em um dado período, o dispêndio nacional seja totalmente financiado doméstica ou externamente. Portanto, o MCM leva em consideração a relação entre o crescimento de médio/longo prazo e a disponibilidade de seu financiamento. O MCM está dividido em quatro blocos: Setor Público, Setor Externo, Investimento e Contas Nacionais, sendo que este último bloco agrega as informações dos três primeiros. A formulação dos cenários nacionais levou em conta as forças e potencialidades e as fraquezas e obstáculos a superar, que o país apresenta em face dos contextos econômicos mundiais.

As projeções realizadas para a pesquisa desta dissertação levam em consideração apenas o cenário descrito pelo PNE 2030 como “Cenário B1 – Surfando a Marola”. A escolha deste cenário deve-se ao fato de suas projeções serem intermediárias entre as possíveis situações extremas de baixo e alto crescimento econômico.

Este cenário considera que o crescimento da economia brasileira supera um crescimento mais moderado da economia mundial, fruto de uma gestão mais ativa no encaminhamento dos



problemas internos. Há, porém, um processo mais longo na consolidação da estabilidade macroeconômica, resultado, em parte, de certa dificuldade na aprovação de reformas microeconômicas. Por tal motivo, os gargalos em infra-estrutura não são totalmente resolvidos, embora sejam relativamente pontuais. É um cenário marcado principalmente pelo esforço das corporações nacionais na conquista por mercados internacionais, ainda mais porque o mundo, dividido em blocos econômicos, oferece oportunidades parciais de aproveitamento. A produtividade total dos fatores de produção fica mais concentrada em nichos específicos, considerando que as restrições de capital para pesquisa e desenvolvimento levam a uma solução doméstica de capacitação tecnológica e, por conseguinte, a um nível de desenvolvimento aquém do nível dos países mais desenvolvidos.

O cenário prevê ainda um mercado de crédito limitado, de acesso complexo e que não permite o financiamento para a contínua modernização do parque produtivo. Em um cenário de processo de consolidação institucional, a aplicação da regulação ambiental não ocorre sem que haja algum tipo de conflito entre crescimento e aproveitamento dos recursos naturais. Por fim, a desigualdade sócio-regional avança modestamente, com redistribuição parcial de renda, lenta desconcentração regional do crescimento.

O cenário referencial utilizado no Plano Decenal (PDE 2008-2017), embora identificado com a filosofia e as principais características do cenário de referência do PNE 2030, também incorpora elementos conjunturais de curto prazo, bem como definições e estratégias de médio prazo, que podem influenciar alguns parâmetros do cenário, em particular, as taxas de expansão da economia. Estudos da EPE sobre a demanda de energia, concluídos no final de 2007, baseavam-se em um cenário macroeconômico que admitia que o PIB brasileiro seguiria uma trajetória de crescimento sustentado, cujo valor médio para o período 2008-2017 era estimado em 5% ao ano. Atualmente, é consenso que pelo menos as condições da cena de partida (2008-2009) deste cenário foram significativamente alteradas, especialmente por conta da eclosão de uma crise financeira global, cujos efeitos e profundidade ainda não puderam ser avaliados em toda a sua extensão. No entanto, ainda que a análise dos fatos recentes traga elementos para a revisão dos parâmetros básicos da cena de partida do cenário macroeconômico (2008-2009), ela não é suficientemente nítida a ponto de autorizar que se proceda a alterações mais substantivas dos parâmetros no período subsequente (2010 – 2017).

As projeções construídas para este trabalho, e mostradas na Fig. 26, consideram a evolução média 4,1% do Produto Interno Bruto - PIB brasileiro, a partir de 2009 até o horizonte



do ano de 2030³². Os valores do PIB em Dolar médio anual (US\$) até o ano de 2008 foram obtidos a partir de informações do Banco Central Brasileiro e do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – IPEA.

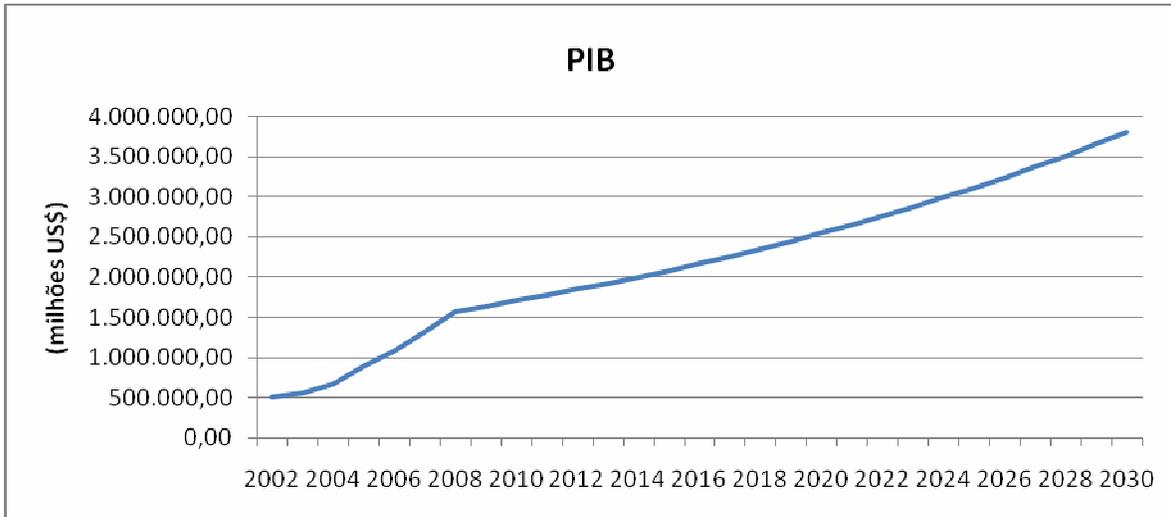


Figura 26: Projeção da evolução do PIB brasileiro. Dolar Médio Anual (Milhões de US\$).
Fonte: BCB, 2009, IPEA, 2009, PNE 2030, adaptada pelo autor em setembro de 2009.

De acordo com informações do Banco Central (BCB, 2009) o PIB brasileiro salta de US\$ 504 bilhões em 2002 para US\$ 1.637 bilhões em 2009. De acordo com as projeções realizadas, no ano de 2030, o PIB brasileiro chega a US\$3.800 bilhões.

Podemos observar na Fig. 27 que o Estado de São Paulo deve chegar a 2030 com uma participação de 33,87% do PIB nacional, equivalente a US\$ 1.289 bilhões. Roraima deve se manter com a menor participação relativa do PIB, com aproximadamente 0,15% em 2030, equivalentes a US\$ 5,8 bilhões.

³² Foi utilizado o crescimento linear médio do PIB de 4,1% para todos os Estados brasileiros, a partir do ano de 2009. Os valores de PIB até 2008 são dados pelo Banco Central do Brasil. Referência ao PNE 2030 - tabela 3.6 - página 70.

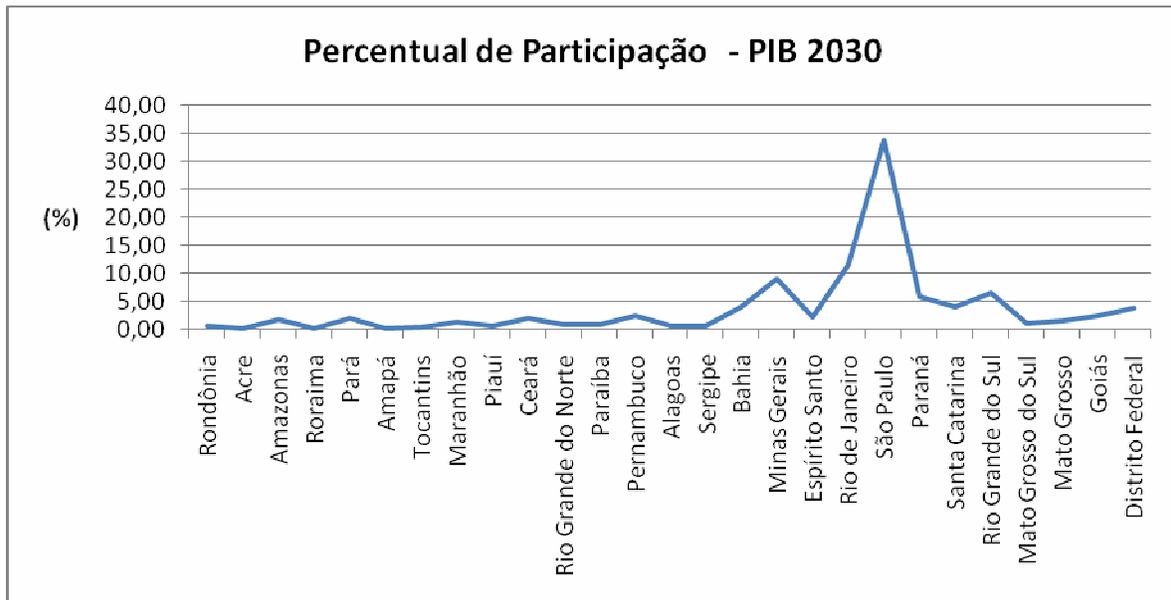


Figura 27: Participação estadual no PIB total brasileiro em 2030.

Fonte: BCB, 2009, IPEA, 2009, PNE 2030, adaptada pelo autor em setembro de 2009.

De acordo com as informações disponibilizadas pelo Banco Central e o IPEA, o “PIB per capita” brasileiro evoluiu de US\$ 2.908,80 em 2002 para US\$ 8.388,17 em 2009. De acordo com as projeções realizadas, visualizadas na Fig. 28, em 2030 o “PIB per capita” brasileiro deve ser de aproximadamente US\$ 15.967,00.

O maior “PIB per capita” projetado para o ano de 2030 será do Distrito Federal, correspondendo a aproximadamente US\$ 44.313,00, conforme pode ser observado na Fig. 29, sendo que em 2009 este valor era de US\$ 24.650,00 de acordo com a projeção do Banco Central. O Estado do Piauí apresenta o menor “PIB per capita” projetado para o ano de 2030, equivalente a US\$ 5.501,00.

Em termos regionais, a Região Nordeste apresenta o menor “PIB per capita” com aproximadamente US\$ 7.657,00. A Região Sudeste possuirá o maior “PIB per capita” em 2030, US\$ 20.029,00. Porém, a Região Centro-Oeste, quando incluído o Distrito Federal, chegará a US\$ 20.818,00. Excluído da média o Distrito Federal o “PIB per capita” da Região Centro-Oeste será de US\$ 12.986,00

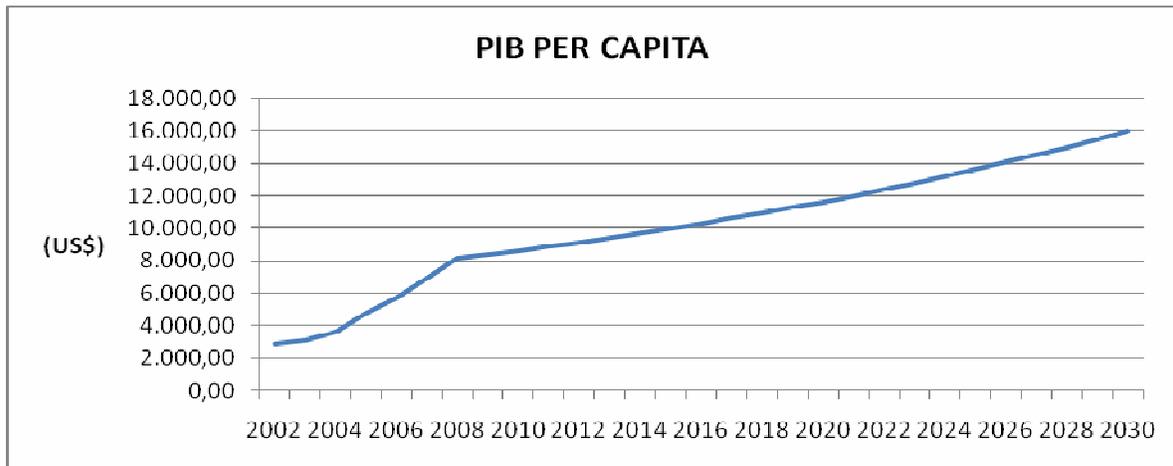


Figura 28: Evolução do PIB per capita brasileiro até 2030 (US\$).

Fonte: BCB, 2009, IPEA, 2009, PNE 2030, adaptada pelo autor em setembro de 2009.

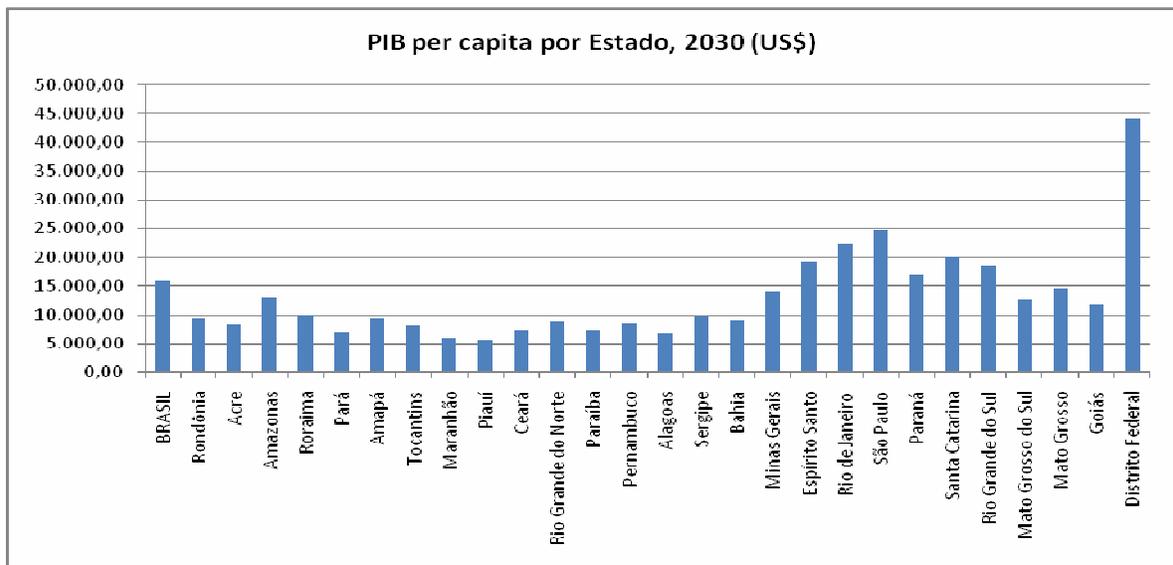


Figura 29: PIB per capita por Estado 2030 (US\$).

Fonte: BCB, 2009, IPEA, 2009, PNE 2030, adaptada pelo autor em setembro de 2009.

As projeções realizadas para o cálculo do crescimento do PIB estão baseadas em determinadas expectativas de médio e longo prazo, porém, observamos que a economia, tanto a brasileira como a mundial, estão sujeitas a flutuações cíclicas que não podem ser previstas com a devida exatidão. Estas flutuações podem ser verificadas em diversas crises econômicas ou financeiras que ocorrem de modo errático. Portanto existe a possibilidade de que as projeções traçadas por este estudo possam ser modificadas, inclusive de modo sensível, por mudanças agudas no cenário econômico mundial ou nacional.



4.4. INTENSIDADE ENERGÉTICA

Definimos Intensidade Energética como sendo um indicador energético que se refere à relação entre o consumo final de energia de uma determinada área socioeconômica e o seu produto interno bruto.

De acordo com o PNE 2030, entre 1970 e 1980, houve uma redução drástica da intensidade energética do Brasil, indicando que o produto nacional aumentou com menor uso relativo de energia. Nesse período, o elemento chave dessa dinâmica foi à substituição de energéticos menos eficientes, no caso lenha, por outros mais eficientes, derivados do petróleo e eletricidade. Nos períodos subsequentes, houve um aumento da intensidade energética, o que encontra respaldo no estágio de desenvolvimento econômico do País, em especial no crescimento da atividade industrial. A tendência só é revertida ao longo do horizonte do estudo (2030), na medida em que se considera a menor presença relativa de setores energointensivos em combustíveis fósseis na estrutura produtiva do País. Portanto, as projeções do PNE indicam que a intensidade energética brasileira deverá ser de aproximadamente 0,275 tep/US\$ 1.000,00 em 2030, contra aproximadamente 0,262 tep/US\$ 1.000,00 registrados em 2005.

Com relação à intensidade elétrica, poderíamos esperar uma tendência declinante, principalmente devido ao fato que maiores rendas per capita estão associadas a intensidades elétricas inferiores. Porém, as projeções do consumo de energia elétrica indicam uma intensidade elétrica, em 2030, superior à atual. Isso reflete o efeito de o Brasil, em sua condição de País em desenvolvimento, demonstrar uma tendência de aumento de sua intensidade elétrica, devido principalmente às expectativas de um ritmo maior de industrialização associada a um aumento significativo do consumo per capita de energia vinculado à melhoria da qualidade de vida da população. Portanto, existe a expectativa de que o aumento do consumo de energia elétrica nas residências, cuja tendência é de crescimento, influencie o aumento da intensidade energética do País de forma geral, apesar dos constantes ganhos de eficiência e eficácia registrados no setor produtivo.

A Fig.30 mostra a intensidade elétrica dos estados brasileiros e a média nacional para o período entre 2010 e 2030, considerando o indicador de MWh/ US\$ 1.000,00 de PIB. Podemos observar que a intensidade elétrica da economia brasileira salta de 0,180 MWh por 1.000 US\$ em 2010 para o equivalente a 0,211 MWh por 1.000 US\$ de PIB em 2030.

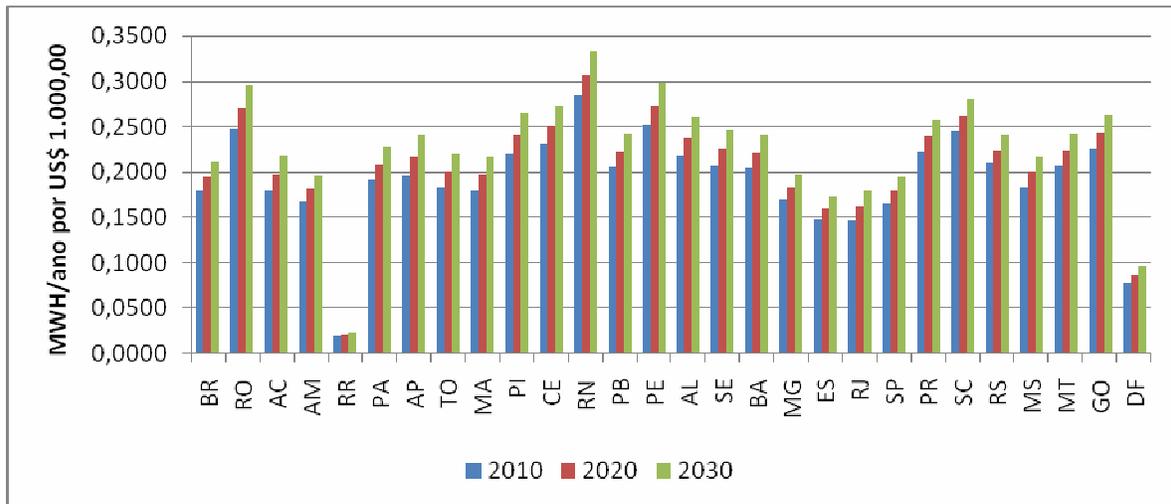


Figura 30: Intensidade Energética (GWh x US\$ 1.000,00 PIB)
Fonte: EPE 2008

O Distrito Federal se destaca como uma das menores intensidades elétricas do País, equivalente a 0,096 MWh/1.000 US\$ de PIB em 2030, devido principalmente a sua economia ser baseada no setor de serviços associada uma renda per capita elevada composta basicamente pela massa salarial do funcionalismo público. A menor intensidade energética é verificada no Estado de Roraima, 0,0236 MWh/1.000 US\$ de PIB em 2030. Este fato deve-se ao baixo consumo de energia elétrica per capita no estado, associada à baixa intensidade de atividade econômica.

Observa-se que Estados com maior concentração de PIB, principalmente na Região Sudeste apresentam intensidade elétrica menor que a média nacional. Este fato pode ser caracterizado levando-se em consideração o maior valor agregado da produção destes Estados, obtendo-se um PIB maior pelo volume de produção.

Os Estados da Região Sul apresentam intensidade elétrica maior que a média nacional, considerando-se que o PIB desta Região possui uma forte componente agrícola, associada à uma alta media de consumo de energia elétrica.

Grande parte dos Estados do Norte e Nordeste apresentam médias de intensidade elétrica superiores à média nacional, caracterizando-se principal pelo baixo valor financeiro de sua produção.



4.5. PROJEÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

De acordo com projeções realizadas pela EPE, dos 191 milhões de tep³³ correspondentes ao consumo final do País em 2004, a parcela equivalente à energia elétrica foi de aproximadamente 16,2% (EPE/MME, 2005). Este número reflete um forte crescimento no uso da energia elétrica ao longo do tempo, pois desde 1970 o crescimento anual médio do consumo de eletricidade foi de 6,7%. No mesmo ano, a participação da energia elétrica representava apenas 5,5% do consumo total.

A maior participação da energia elétrica ocorreu simultaneamente a diversas alterações na matriz energética nacional. O forte crescimento do consumo final de energia, de 62,1 milhões de tep em 1970 para 191,1 milhões de tep em 2004, incorporou algumas mudanças nos padrões de uso da energia. Dentre essas, a mais acentuada foi à perda de participação da lenha, que representava 46% do consumo final do país em 1970. No ano de 2004, no entanto, sua participação passou a representar apenas 8% do consumo. Entre outras alterações, pode-se também destacar o crescimento do uso dos subprodutos da cana de açúcar, do gás natural e dos derivados de petróleo.

As projeções do PNE 2030 para o consumo final de energia elétrica para o Brasil foram elaboradas, conjuntamente com a demanda de energia total, a partir do Modelo Integrado de Planejamento Energético – MIPE, utilizado pela Empresa de Pesquisas Energéticas - EPE.

O MIPE é um modelo técnico-econômico de projeção de demanda e de oferta de energia e de emissões de CO₂ advindos do uso de energia. O modelo permite avaliar a implicação de cenários prospectivos de padrões de uso da energia e estilos de desenvolvimento nas trajetórias de demanda e de oferta de energia projetadas para o Brasil para o horizonte de análise. Sua escolha como modelo de projeção balizou-se principalmente na abertura setorial disponível para estimativa de consumo de energia e por sua utilização em trabalhos anteriores com o mesmo escopo.

A estrutura básica do MIPE utilizada a divisão do modelo em módulos e em submódulos, integrados para a projeção, sendo:

- a. Módulo 1, correspondendo ao “módulo macroeconômico”, no qual se definem as variáveis de cenário e a distribuição do produto entre os setores de demanda.

³³ tep – toneladas equivalente de petróleo (MWh = 0,086 tep médio)



- b. Módulo 2, corresponde ao “módulo de demanda de energia”, no qual se definem as variáveis de análise de cada segmento de cada setor, para obtenção das demandas de energia útil e final;
- c. Módulo 3, denominado “módulo de consumo final de energia”, no qual se agregam os resultados do módulo anterior e os resultados do consumo de energia do setor energético.

Em razão do estágio de desenvolvimento do País, percebemos um baixo nível de consumo per capita de energia elétrica, porém o consumo de energia elétrica tem historicamente, sempre crescido. A única exceção foi o período de racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil, sobretudo no ano de 2001. Pelas projeções realizadas para o PNE 2030 as taxas de crescimento do consumo de energia elétrica têm sido superiores às da expansão da economia e do consumo final de todas as formas de energia. Nessas condições, o consumo total de energia elétrica no Brasil evolui de aproximadamente 375 TWh, em 2005, para valores próximos a 1.044 TWh, em 2030, considerando o “Cenário B1 – Surfando a Marola” descrito no PNE 2030.

De acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN 2008, a geração de energia elétrica no Brasil, em centrais de serviço público e de auto-produtoras, atingiu 444,6 TWh em 2007, resultado 6,0% superior ao de 2006. Observa-se que a principal fonte é a energia hidráulica, que apresentou crescimento de 7,0% na comparação com 2006. A geração pública a partir de combustíveis fósseis apresentou um decréscimo de 8,8%, com redução expressiva na geração a partir da energia nuclear (-12,3%) e do gás natural (-18,6%). A geração de auto-produtores em 2007 apresentou crescimento de 13,1% com relação ao ano anterior, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas. O consumo final de energia elétrica foi de 390 TWh em 2006, chegando a 412,7 TWh em 2007, crescimento de 5,7%.

Ainda de acordo com o BEN 2008 o setor residencial apresentou crescimento de 5,9%, devido principalmente ao aumento da renda e ligação de domicílios que não eram atendidos por redes elétricas, passando de 85,8 TWh em 2006 para 90,9 TWh em 2007. O consumo residencial em 2007 equivale a aproximadamente 22% do consumo total de energia elétrica.

O PNE 2030, considerando o Cenário B1, projeta os consumos de energia elétrica para os diversos setores da economia conforme o estabelecido na Tab. 6.



Tabela 6: Projeção do Consumo de Eletricidade por Setor (TWh).

Projeção do Consumo de Energia Elétrica (TWh)	2.005	2.010	2.020	2.030	Variação percentual 2005-2030 (%)
Residencial	83,20	105,20	169,10	283,30	5,00
Industrial	145,10	199,80	275,20	361,50	3,70
Comercial	86,20	107,30	159,60	267,30	4,60
Outros¹	16,90	19,00	26,10	38,30	3,30
Subtotal	331,40	431,30	630,00	950,40	4,30
Setor	13,50	17,60	25,80	39,10	4,30
TOTAL	344,90	448,80	655,90	989,40	4,30

Fonte: PNE 2030, pag. 196.

Podemos observar na Tab. 6 que o setor residencial é o que apresenta maior crescimento no período. Essa trajetória é justificada pelas hipóteses implícitas ao cenário macroeconômico, as quais consideram aumento real e maior distribuição de renda, com reflexos naturalmente na renda das famílias, principalmente na população de baixa renda; expansão do crédito direto ao consumidor; crescimento da posse de aparelhos eletrodomésticos; crescimento do número de domicílios em ritmo maior que o da população.

Em relação à evolução do consumo médio residencial, ou seja, do consumo médio de eletricidade por domicílio ocupado, as projeções do PNE dão conta que em 2030, considerando o Cenário B1, o consumo médio residencial será de aproximadamente **291 kWh/mês**. Deve-se ressaltar que os valores projetados do consumo médio residencial ainda são muito baixos para os padrões internacionais de consumo, e que a sua evolução está diretamente ligada, entre outros fatores, à estabilização da economia. Além disso, a perspectiva de crescimento econômico pode trazer reflexos positivos na distribuição de renda, o que também funciona como elemento impulsionador do consumo residencial.

O consumo médio residencial, após atingir um máximo histórico em torno de 179 kWh/domicílio/mês em 1998, sofreu forte retração por conta do racionamento, situando-se ainda hoje em patamar muito baixo. Em 2005 o valor deste indicador era de 138 kWh/domicílio/mês.

Para a construção das projeções do consumo de energia elétrica que serviram de bases para a pesquisa, ao invés de considerarmos as informações o BEN 2008, PDE 2008-2017 e da Matriz Energética 2030, serão utilizados os dados de venda direta das concessionárias distribuidoras de energia elétrica reguladas pela ANEEL (ANEEL, 2009). Optou-se em utilizar os dados fornecidos pelas concessionárias, pois estes podem ser desagregados por Estado e por



setor econômico para cada Estado respectivamente, algo que não é possível com as informações disponibilizadas pelos outros instrumentos de planejamento citados. Outra premissa é a precisão no que se refere às vendas de energia elétrica efetuada por setor, principalmente para o setor residencial, pois as informações da ANEEL não são meras projeções e sim vendas reais de energia elétrica. Porém, cabe observar que existem algumas diferenças entre os números fornecidos pela ANEEL e os demais instrumentos de planejamento, considerando que os dados da ANEEL não contabilizam as perdas e o consumo próprio nos sistemas de geração e transmissão, sendo que também não consideram a energia produzida e utilizada por autoprodutores³⁴ e por grandes consumidores industriais cujo fornecimento é feito diretamente pelas geradoras.

Observamos que para o tema da pesquisa as informações específicas da ANEEL para o consumo de energia elétrica do setor residencial são mais detalhadas e precisas.

As taxas médias de crescimento do consumo de energia elétrica utilizadas nas projeções são as mesmas utilizadas no PNE 2030 (EPE, 2008. Referência Tabela 8.14 na Pagina 196), para o Cenário B1, referenciado no item 4.3.

Outra informação importante em relação aos dados fornecidos pela ANEEL, são que estes consideram as vendas por concessionária distribuidora de energia elétrica, sendo necessário agregá-los por Estado (ANEEL, 2009)³⁵.

De acordo com o PNE 2030 as projeções do consumo por segmento consideram apenas a demanda a ser atendida pelo sistema elétrico, isto é, excluem a autoprodução clássica. Além disso, incluem a demanda do próprio setor energético, compreendido aí principalmente o consumo próprio das instalações, usinas e subestações, e dos canteiros de obras da expansão. A Tab. 11 apresenta os percentuais utilizados para as projeções realizadas para o Cenário B1, discriminadas por setor e excluída a autoprodução clássica e incluindo o consumo do setor energético. Esses percentuais serão os mesmos utilizados para as projeções realizadas a partir dos dados de consumo fornecidos pela ANEEL.

³⁴ Autoprodutores: Empresas que possuem geração própria de energia elétrica (usinas de álcool, siderúrgicas, usinas de alumínio, etc.). Em 2007 foram responsáveis por aproximadamente 9,7% da geração de energia elétrica no Brasil.

³⁵ ANEEL, 2009. Agência Nacional de Energia Elétrica. Tabelas de Consumo de Energia Elétrica por Setor Econômico – Informe das Concessionárias. Comunicação Interna – Superintendência de Regulação da Distribuição - SRD. Brasília: ANEEL, 2005.



Tabela 7: Percentuais de Projeção para o Consumo de Energia Elétrica.

Taxas de Crescimento Médio (%)	
Residencial	5,0
Industrial	3,7
Comercial	4,6
Público	4,6
Outros	3,3
Setor Energético	4,3

Fonte: PNE 2030, pag. 196.

Com base nos dados de consumo (ANEEL, 2009) e nos percentuais de projeção discriminados na Tab. 7, foram construídas as projeções de consumo por setor, conforme demonstrado na Tab. 8.

Tabela 8: Consumo Final de Energia Elétrica Por Setor Econômico (TWh/ano).

ANO	2000	2005	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Comercial	47.513.237	52.499.013	60.092.107	65.747.736	82.326.419	103.085.516	129.079.142	161.627.217
Consumo Próprio	506.711	454.173	436.703	466.001	548.136	644.748	758.388	892.058
Iluminação Pública	10.250.682	10.698.173	11.401.255	12.474.296	15.619.763	19.558.380	24.490.142	30.665.477
Industrial	109.316.010	71.408.622	70.256.549	75.551.715	90.602.068	108.650.541	130.294.377	156.249.795
Poder Público	8.795.208	10.069.149	11.482.587	12.563.282	15.731.188	19.697.901	24.664.844	30.884.231
Residencial	83.581.275	82.983.407	95.634.020	105.436.507	134.566.670	171.744.960	219.194.926	279.754.443
Rural	12.403.184	15.571.712	18.039.156	19.249.385	22.642.192	26.632.999	31.327.207	36.848.795
Serviço Público	10.457.352	10.062.308	10.765.250	11.778.432	14.748.434	18.467.339	23.123.988	28.954.840
TOTAL	282.823.659	253.746.557	278.107.627	303.267.354	376.784.870	468.482.383	582.933.015	725.876.855

Fonte: PNE 2030, ANEEL, 2009 adaptada pelo autor em 08 de setembro de 2009.

A Tab. 9 mostra a participação percentual de cada setor econômico no consumo final de energia elétrica. Observamos que até o ano de 2008 os dados correspondem às informações de vendas das concessionárias distribuidoras. A partir de 2009 as projeções de consumo de energia elétrica são feitas com base nos percentuais apresentados na Tab. 9.



Tabela 9: Percentuais de Participação no Consumo Final de Energia Elétrica.

Percentuais de Participação no Consumo de Energia Elétrica (%)								
ANO	2000	2005	2008	2010	2015	2020	2025	2030
Comercial	16,80	20,69	21,61	21,68	21,85	22,00	22,14	22,27
Consumo Próprio Distribuição	0,18	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12
Iluminação Pública	3,62	4,22	4,10	4,11	4,15	4,17	4,20	4,22
Industrial	38,65	28,14	25,26	24,91	24,05	23,19	22,35	21,53
Poder Público	3,11	3,97	4,13	4,14	4,18	4,20	4,23	4,25
Residencial	29,55	32,70	34,39	34,77	35,71	36,66	37,60	38,54
Rural	4,39	6,14	6,49	6,35	6,01	5,68	5,37	5,08
Serviço Público	3,70	3,97	3,87	3,88	3,91	3,94	3,97	3,99

Fonte: PNE 2030, ANEEL, 2009 adaptada pelo autor em 08 de setembro de 2009.

Considerando as informações projetadas na Tab. 9, observa-se que o setor industrial perde participação de modo significativo no consumo final de energia elétrica, caindo de 38,65% em 2000 para 21,53% em 2030. Fato este se deve principalmente pela tendência de enquadramento dos grandes consumidores industriais como de consumidores livres³⁶ e pelos investimentos em autoprodução de energia elétrica.

Observamos um aumento na participação do setor comercial e serviços, cuja evolução dá-se de forma relativamente constante, chegando a 2030 com uma participação próxima a 22,27% do mercado de energia. Esta evolução segue a tendência da economia brasileira que prevê aumento da participação do setor comercial no PIB.

As projeções para o setor residencial prevêem um aumento significativo de consumo de energia elétrica nos próximos anos. A participação no consumo de energia elétrica deve saltar de 29,55% em 2000 para 38,54% em 2030. Esta projeção toma como referência a tendência de aumento da renda familiar, conjugada com o aumento do número de domicílios particulares permanentes, cuja à tendência de crescimento supera as taxas de crescimento populacional, conforme o demonstrado no **sub-item 4.1, Fig.. 21 e no sub-item 4.2, Fig. 26.**

³⁶ Consumidor Livre: Consumidor livre é aquele que, atendido em qualquer tensão, tenha exercido a opção de compra de energia elétrica, conforme as condições previstas nos arts. 15 e 16 da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995 Decreto n. 5.163, de 30 julho de 2004 (Diário Oficial, de 30 jul. 2004, seção 1, p.1). Fábricas, shoppings, indústrias que estão enquadrados nesta categoria podem hoje escolher de quem comprar energia.



Em termo absolutos o setor residencial deve evoluir de um consumo de 83,5 TWh/ano no ano 2000 para um consumo de **279,75 TWh/ano em 2030**, conforme demonstra a curva traçada na Fig. 31, perfazendo um aumento de 235%.

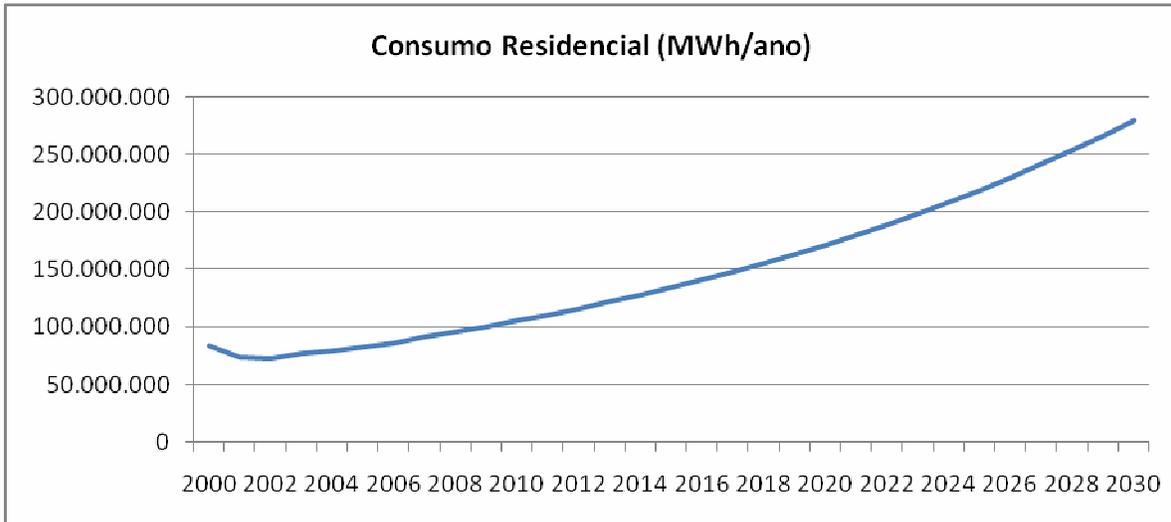


Figura 31: Projeção do Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial (MWh/ano)
Fonte: PNE, 2030; ANEEL, 2009; adaptado pelo autor em 08 de setembro de 2009

Podemos observar que a curva de consumo de energia elétrica do setor residencial demonstra de forma clara os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido entre os anos de 2001 e 2002. Observamos que o consumo de energia elétrica no ano de 2000 foi de 83,5 TWh/ano, porém este consumo apresentou uma queda de 11,7% em 2001 e 12,9% em 2002, apresentando consumo absoluto de 73,7 e 72,7 TWh/ano respectivamente. A partir de 2003 observa-se uma retomada do crescimento do consumo residencial de energia elétrica, porém apenas em 2005 alcança o patamar próximo ao verificada em 2000, algo em torno de 82,9 TWh/ano.

A Fig. 32 mostra o consumo absoluto de energia elétrica no setor residencial, dividido por regiões geográficas. Podemos observar com grande destaque a Região Sudeste, que em 2030 terá um consumo projetado para o setor residencial de 152 TWh/ano, equivalente a 54% do total. A Região Norte, em contrapartida, apresenta o menor consumo absoluto de eletricidade no setor residencial em 2030, com aproximadamente 14,7 TWh/ano, equivalente a 5,2% do total consumido no País.

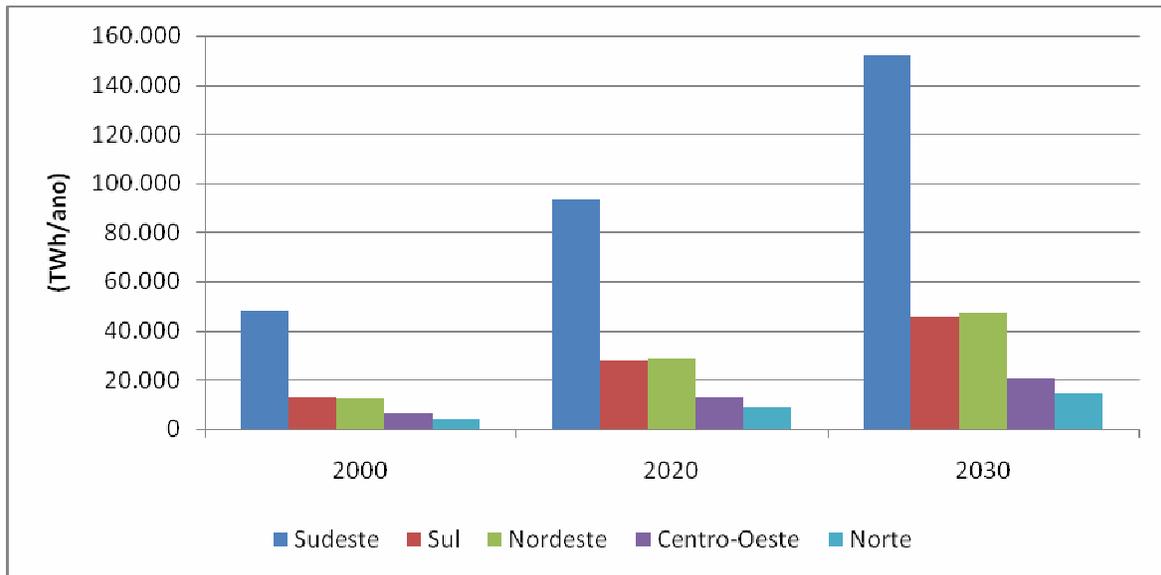


Figura 32: Projeção do Consumo Residencial de Energia Elétrica Por Região (TWh/ano)
Fonte: PNE, 2030; ANEEL, 2009; adaptado pelo autor em 18 de setembro de 2009

Considerando ainda informações relevantes obtidas por meio das projeções realizadas e visualizadas na Fig.33, temos que em 2030 o Estado de São Paulo deve concentrar aproximadamente 32,9% de todo o consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro, equivalente a 92 TWh/ano, seguido pelo Rio de Janeiro com 11,6% e Minas Gerais com 8% e o Rio Grande do Sul com participação de 6,4%.

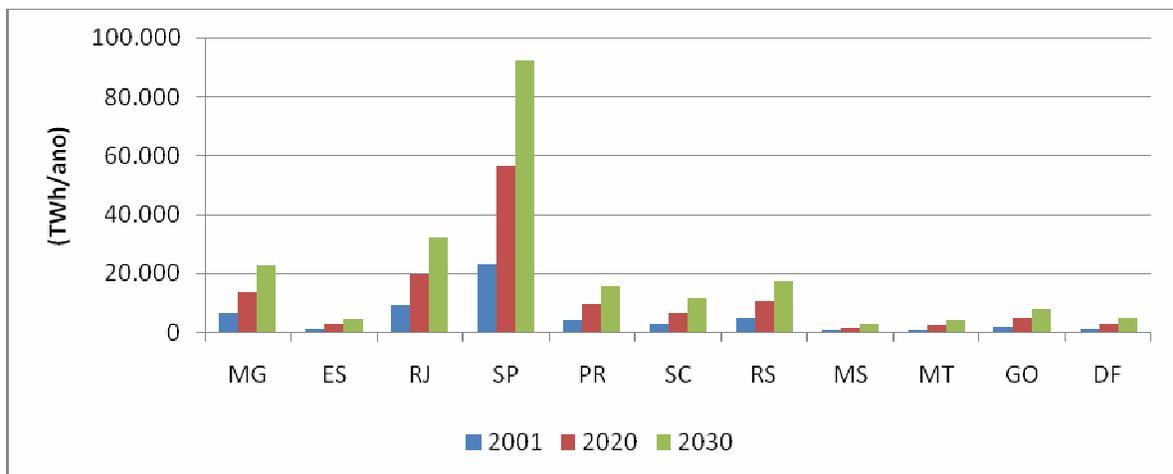


Figura 33: Projeção do Consumo Residencial de Energia Elétrica por Estado – Regiões Centro-Sul (TWh/ano)
Fonte: PNE, 2030; ANEEL, 2009; adaptado pelo autor em 18 de setembro de 2009



Entre os Estados com a menor participação no consumo total de energia elétrica no setor residencial, conforme a Fig. 34, destacamos Roraima com 0,021% de participação, equivalente a 0,59 TWh/ano, e o Amapá com 0,33%.

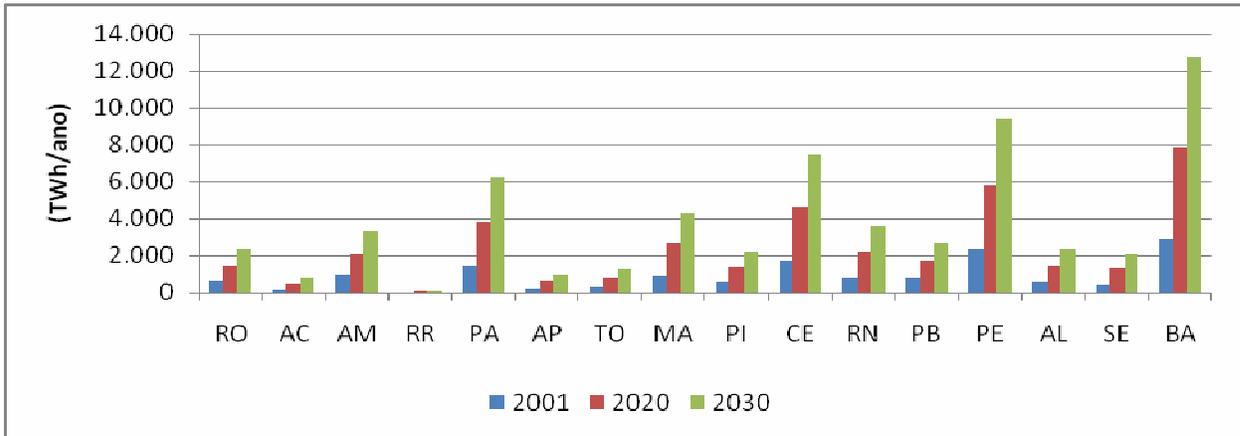


Figura 34: Projeção do Consumo Residencial de Energia Elétrica por Estado – Norte – Nordeste (TWh/ano)
Fonte: PNE, 2030; ANEEL, 2009; adaptado pelo autor em 18 de setembro de 2009

Considerando os dados projetados de números de domicílios, conforme o sub-item 4.2, e os dados de projeção do consumo de energia elétrica residencial por Estado, foi construída a projeção de consumo de energia elétrica por domicílio, dividida por Estado, conforme descrito na Fig. 35. Considerando que os dados referentes ao consumo domiciliar são os mais importantes para as avaliações posteriores quanto a utilização de chuveiros elétricos e os impactos proporcionados pela utilização de sistemas de aquecimento solar de água.

Podemos observar na Fig. 35 que os Estado de São Paulo possui o maior consumo médio residencial de energia elétrica, sendo que em 2001 este consumo representava 180 kWh/mês, chegando a 2030 com aproximadamente 388 kWh/mês, contabilizando um aumento de 115%. O consumo médio residencial em São Paulo em 2030 será 43% superior à média nacional.

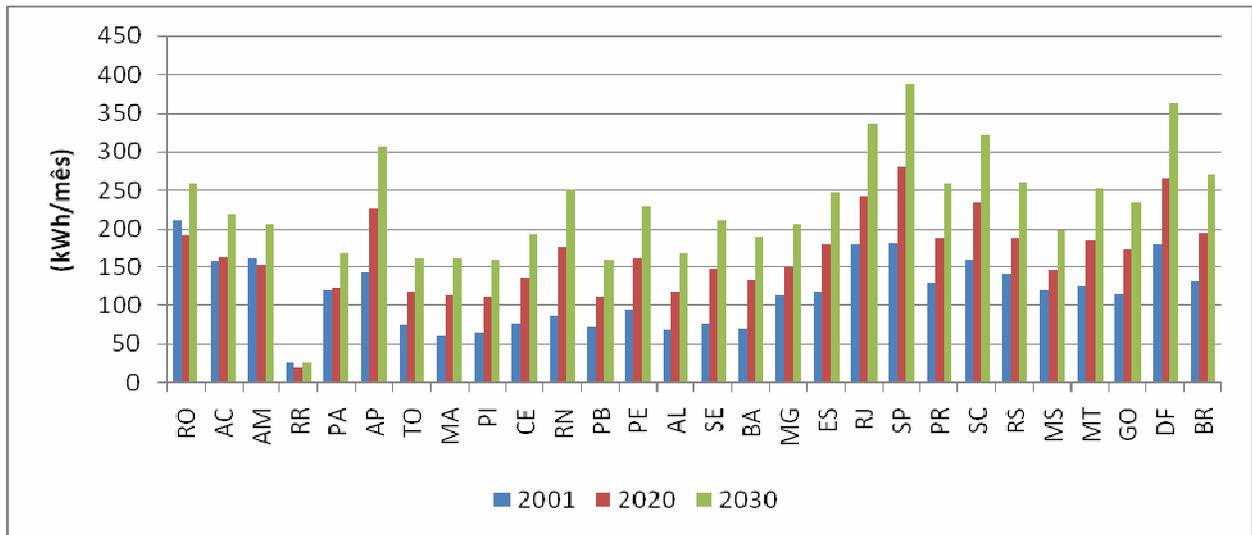


Figura 35: Projeção do Consumo de Energia Elétrica por Domicílio (kWh/mês)
Fonte: PNE, 2030; ANEEL, 2009; adaptado pelo autor em 18 de setembro de 2009

Seguindo a tendência de crescimento de consumo, o Distrito Federal avança de um consumo médio residencial de 179 kWh/mês em 2001 para 363 kWh/mês em 2030, equivalente a segunda maior média de consumo entre os Estados. Dois Estados da Região Norte chegaram a 2030 com consumos médios residenciais significativos, sendo Rondônia com 259 kWh/mês e o Amapá com 306 kWh/mês. Os estados da Região Sul mantêm consumos médios residenciais relativamente altos em relação à média nacional, sendo que Santa Catarina evolui de um consumo médio de 159 kWh/mês em 2001 para 322 kWh/mês em 2030, crescimento aproximado de 102%.

A Região Norte apresenta a menor média de consumo residencial, sendo que em 2030 esta média será de 189 kWh/mês, 30% inferior à média nacional, sendo que em 2001 esta média era de 132 kWh/mês, evolução de apenas 43%. Em 2030 a Região Nordeste manterá a segunda média de consumo residencial mais baixa com aproximadamente 193 kWh/mês. O menor consumo residencial destas regiões em parte se deve ao menor poder aquisitivo médio da população, refletindo em uma menor concentração de eletrodomésticos nos domicílios, em comparação com as regiões Sul e Sudeste. Normalmente a menor utilização de chuveiros elétricos nas regiões Norte e Nordeste é compensada pela maior utilização de condicionadores de ar.

Observamos ainda a situação do estado de Roraima, cujo o consumo médio residencial em 2001 era de apenas 20 kWh/mês passando a 59 kWh/mês em 2030. Supomos que este consumo tão baixo seja motivado pelo baixo índice de eletrificação do Estado, principalmente



nas áreas indígenas, e também por muitos municípios do Estado serem supridos de energia elétrica por meio de geradores Diesel, não sendo contabilizados pela concessionária local.

Em 2001, ano caracterizado pelo racionamento de energia elétrica, a média de consumo residencial no Brasil era de 132 kWh/mês. Em 2008 a média de consumo era de 138 kWh/mês.

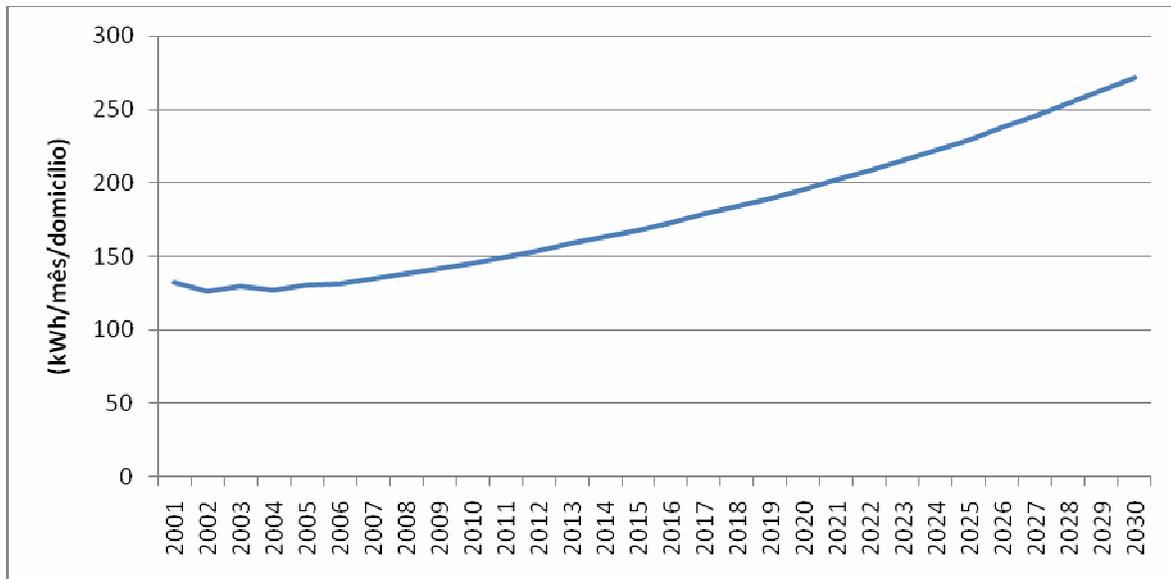


Figura 36: Projeção do Consumo de Energia Elétrica por Domicílio para o Brasil (kWh/mês/domicílio)
Fonte: PNE, 2030; ANEEL, 2009; adaptado pelo autor em 18 de setembro de 2009

Observamos que os efeitos do racionamento mantiveram-se de certa forma presente nos hábitos de consumo dos brasileiros. A Fig. 36 mostra a projeção da retomada do aumento do consumo médio residencial, a partir de 2009, chegando a 168 kWh/mês em 2015 e 271 kWh/mês em 2030.

Em resumo, os fatores que influenciam diretamente a projeção do consumo de energia elétrica no setor residencial estão diretamente relacionados ao crescimento populacional, ao crescimento do número de residências e ao crescimento do PIB per capita. Conforme podemos observar no Capítulo 4.1, as taxas de crescimento populacional tendem a diminuir ao longo das próximas décadas, porém, no Capítulo 4.2, observamos a tendência de aumento do número de domicílios permanentemente ocupados. Estas tendências observadas têm como fundamento a influência do nível educacional da população e o conseqüente aumento da renda per capita, como observada no Capítulo 4.3, que por um lado acarreta, por meio de um planejamento familiar mais eficaz, a diminuição do número de integrantes das famílias, e por outro proporciona que um número maior de pessoas possam constituir domicílio próprio



independentemente da criação de um núcleo familiar convencional. Portanto, observamos como tendência os domicílios serem ocupados por menor número de pessoas associados a uma maior renda individual. Desta forma prevê-se o aumento do número de domicílios e por consequência o aumento da utilização de eletrodomésticos e equipamentos consumidores de energia elétrica, cujo resultado final reflete-se no aumento do consumo de energia elétrica em todo o setor residencial.

4.6. PROJEÇÃO DO NÚMERO DE CHUVEIROS ELÉTRICOS

A ELETROBRÁS/PROCEL efetuou uma pesquisa junto aos consumidores da classe residencial, realizada no ano de 2005, com o objetivo precípuo quantificar a tipologia da posse e obter a declaração da utilização de equipamentos elétricos, mediante aplicação, em campo, de questionário para coleta de informações. Esses dados foram compilados no relatório “Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil – Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso” (PROCEL, 2007), e serviu de base para as considerações seguintes. Foram entrevistados 10.818 consumidores, em 291 municípios, de 23 estados e o Distrito Federal, abrangendo todas as regiões do país e contou com a imprescindível participação de 27 concessionárias.

Os dados relativos ao aquecimento de água, principalmente para o banho, são de extrema importância para as políticas direcionadas de eficiência energética cujo objetivo seja o fomento do aquecimento solar.

A pesquisa do PROCEL demonstrou que 80,9 % dos domicílios brasileiros aqueciam a água do banho de alguma forma, e 18,2% não aqueciam. O Fig.37 aponta que 73,5% dos sistemas de aquecimento utilizavam energia elétrica como fonte de aquecimento e 5,9% utilizavam gás. Apenas 0,4% usavam aquecimento solar. Convém destacar que, dos sistemas que usavam energia elétrica como fonte de aquecimento, o chuveiro elétrico respondeu pela quase totalidade, com a parcela de 99,6%. Quanto aos domicílios, dos que utilizavam o gás como fonte, 57,6% o faziam por meio de gás canalizado e 42,4% por GLP.

A pesquisa do PROCEL traz outro dado relevante que demonstra a posse média de chuveiros elétricos por domicílio. Pode-se observar na Fig. 38 a constatação de que na região Norte há pouquíssimos chuveiros elétricos por domicílios, e média acima de uma unidade por domicílio nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. A região Sul apresentou a maior posse de chuveiros elétricos equivalente a 1,17 unidades por domicílio.

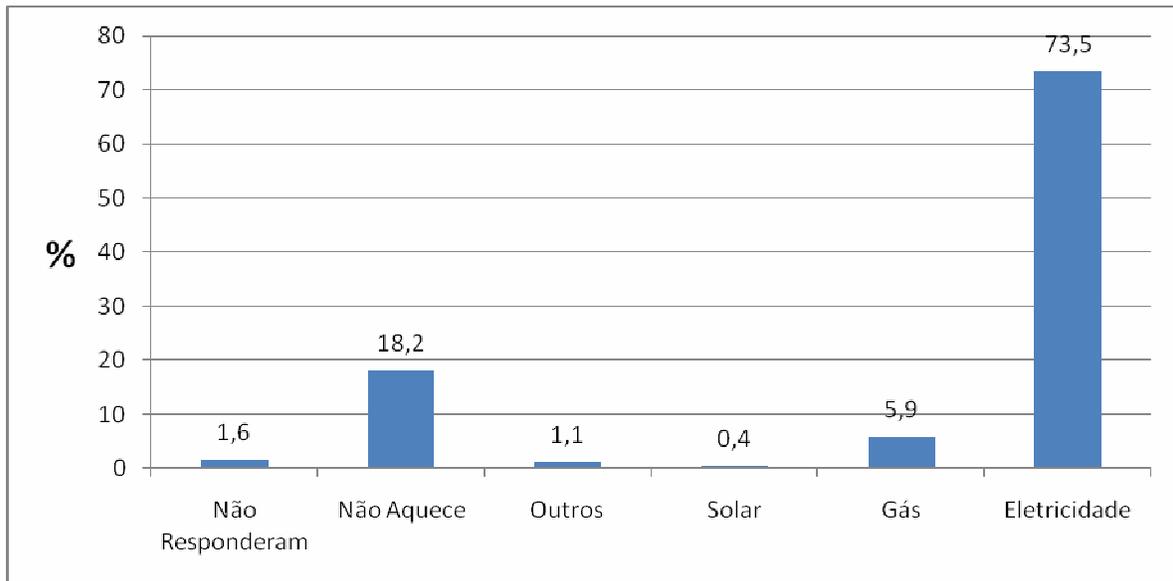


Figura 37: Fonte energética utilizada para o aquecimento de água para fins sanitários.

Fonte: PROCEL, 2007.

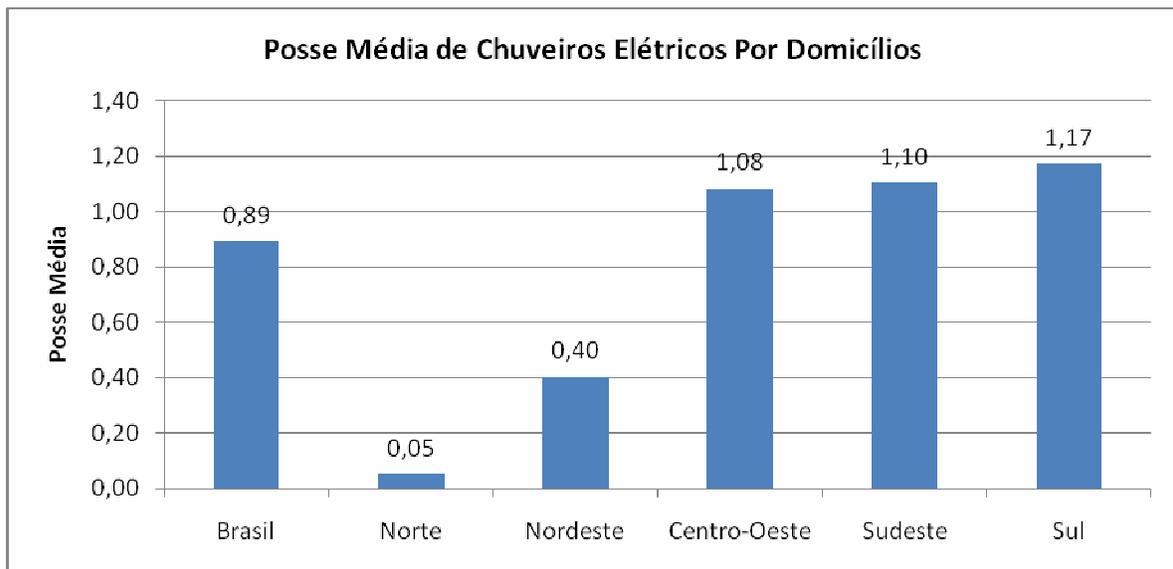


Figura 38: Posse média de chuveiros elétricos por domicílio.

Fonte: PROCEL, 2005.

A região Sul, conforme a Fig. 39, apresentou o maior percentual de domicílios que tem pelo menos um chuveiro elétrico equivalente a 98,6%, enquanto que a região Norte apareceu com o menor percentual equivalente a 4,0%.

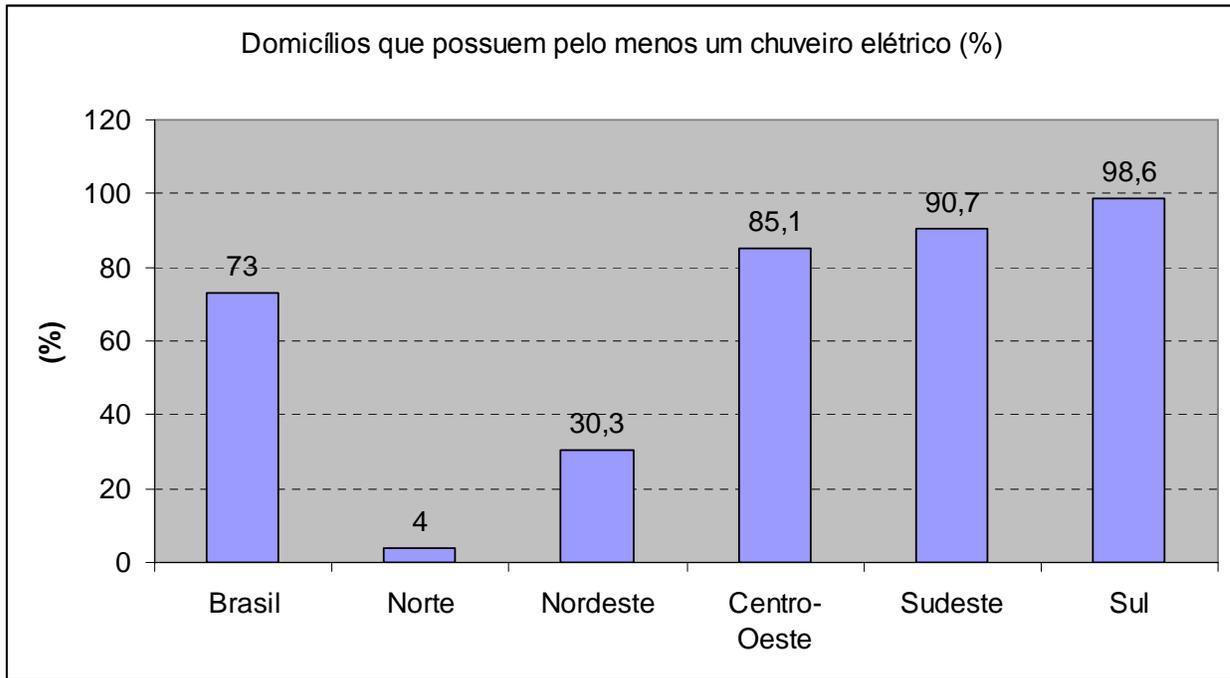


Figura 39: Domicílios que possuem pelo menos um chuveiro elétrico.

Fonte: PROCEL, 2005.

A pesquisa revela ainda outro dado que será útil no cálculo da energia consumida pelos chuveiros elétricos, e refere-se ao tempo médio de banho praticado pelas pessoas que habitam os domicílios pesquisados. Aproximadamente 48,3% dos entrevistados afirmam tomarem banho em 10 minutos ou menos, já 19,9% afirmam utilizarem o chuveiro entre 10 e 20 minutos. Aproximadamente 4% dos entrevistados afirmam utilizar mais de 20 minutos no banho.

De acordo com o PROCEL 55,4% dos entrevistados afirma conhecer os sistemas de aquecimento solar de água, contra 38% que desconhecem totalmente a tecnologia.

De posse dos dados fornecidos pelo relatório “Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil – Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso” (PROCEL, 2007), em especial Tab. 5, aliado à projeção do número de domicílios, conforme descrito no sub-item 4.2, foi possível projetar a posse média de chuveiros elétricos no Brasil, no horizonte de 2030, destacando o número de equipamentos por Estado. A projeção foi feita mantendo os percentuais médios de posse de chuveiros por domicílios, para cada uma das regiões, considerando uma evolução contínua e sistemática do número de aquisições, aplicados a projeções realizadas para determinar o número de domicílios permanentes no horizonte de 2030.



A Fig. 40 demonstra a evolução do número absoluto de chuveiros em posse da população brasileira. Observamos que em 2001 existiam aproximadamente 39,7 milhões de chuveiros elétricos em funcionamento no País. De acordo com as projeções, em 2030 a posse de chuveiros elétricos atingirá 69,7 milhões de unidades.

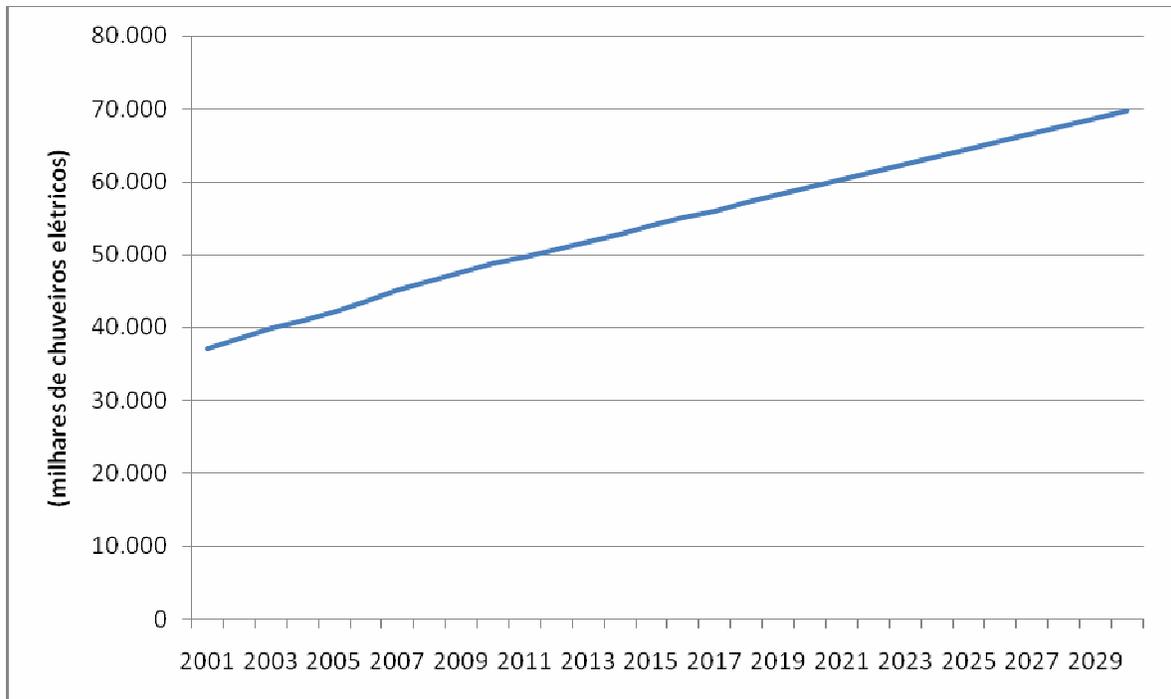


Figura 40: Evolução do Número de Chuveiros Elétricos até 2030 (milhares)

Fonte: PROCEL, 2007. Elaborado pelo autor.

A Fig. 41 mostra que a Região Sudeste deverá continuar a prevalecer como a principal em números absolutos de chuveiros elétricos instalados chegando a 2030 com mais de 37,8 milhões de unidades, equivalente a 54% do total nacional. O Estado de São Paulo deverá concentrar em 2030 aproximadamente 21,7 milhões de chuveiros elétricos, ou seja, 31% do total nacional. Minas Gerais apresenta a segunda posição em número de chuveiros instalados em 2030 com aproximadamente 10 milhões de equipamentos. O Estado do Rio de Janeiro apresenta a peculiaridade de possuir a maior quantidade de sistemas de aquecimento de água que utiliza como insumo energético o gás canalizado.

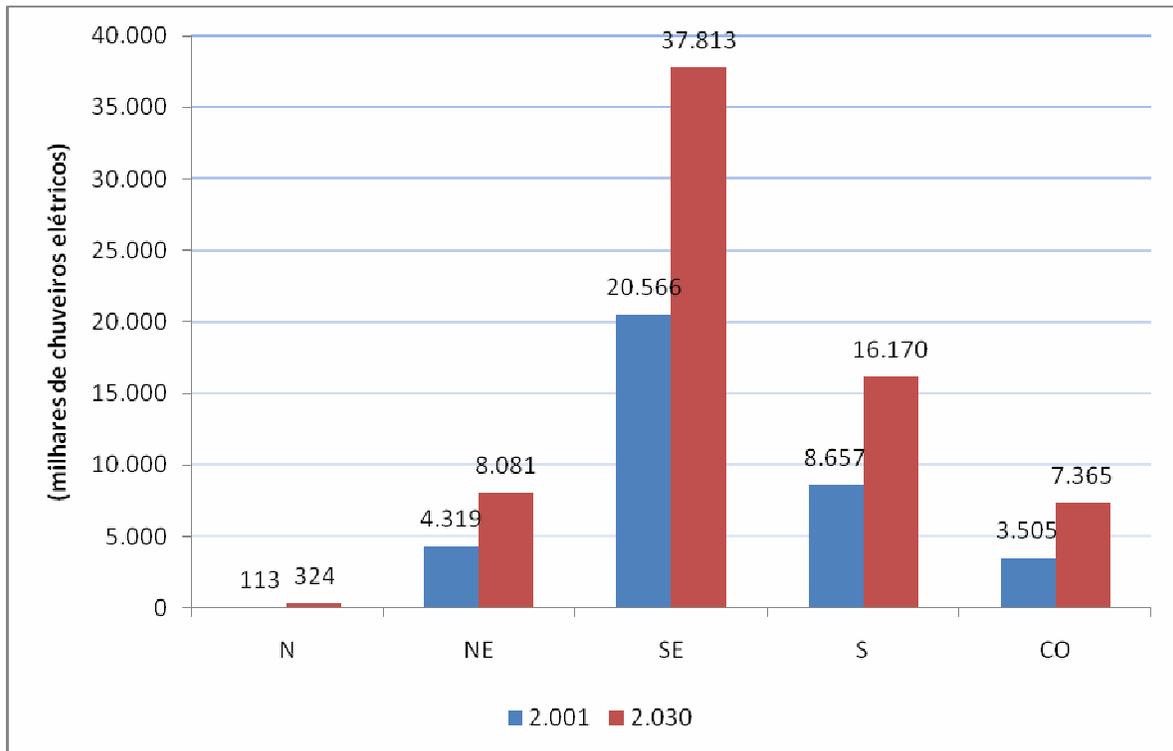


Figura 41: Evolução do Número de Chuveiros Elétricos até 2030 por Região (milhares).

Fonte: PROCEL, 2007. Elaboração do autor.

De acordo com o PROCEL (2007) aproximadamente 52% dos domicílios cariocas utilizam o gás para aquecimento de água, e aproximadamente 48% ainda utilizam chuveiros elétricos, principalmente no interior do estado e na região metropolitana da capital. Sendo que em 2030 o Rio de Janeiro possuirá aproximadamente 6% dos chuveiros elétricos em funcionamento no País.

Podemos ainda observar a baixa penetração de chuveiros elétricos nas Regiões Norte e Nordeste, cujos percentuais de posse de chuveiros elétricos não ultrapassam 0,46% e 11,5% respectivamente. Em termos absolutos os Estados de Roraima e Amapá terão em 2030 9 mil e 13 mil chuveiros elétricos respectivamente.



4.7. MERCADO PARA SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

Os números do setor de energia solar térmica observados pelo mercado mundial são apresentados a seguir. Eles incluem números do setor de aquecimento solar de água e de ar (IEA, 2006):

- a. Instalados em 2004 : 98.4 GWt equivalentes a 141 milhões m²;
- b. Coletores Planos e tubos a vácuo : 74.3 GWt;
- c. Crescimento projetado em 2005 : (115 GWt equivalentes a 164 milhões m²).

Em 2004, à época dos estudos da IEA³⁷, a capacidade de aquecimento solar térmico instalada no Brasil era de aproximadamente de 1.600 MWt, correspondente a 2,3 milhões de m², ou de 570 mil sistemas instalados.

A Fig. 42 foi extraída do relatório anual da ABRAVA “O Mercado Brasileiro de Aquecedores Solares em 2008” publicado em Março de 2009, apresenta a evolução do mercado de sistemas de aquecimento solar de água entre 2000 e 2008, apresentando dados da área total instalada (valores acumulados e em operação, representado pela linha) e da área adicionada ao total (valores anuais, representado pelas barras verticais).

Verifica-se, nesse período, incremento médio e constante da área total acumulada, de cerca de 1 milhão de m² em 2000 para pouco mais de 3 milhões de m² em 2006. O crescimento da área total instalada no País foi de aproximadamente 3 vezes em 6 anos. Considerando os dados de área adicional instalada por ano, verifica-se um crescimento médio anual da ordem de 14% ao ano.

Segundo dados fornecidos pela ABRAVA o mercado brasileiro para sistemas de aquecimento solar de água está em expansão, chegando ao ano de 2008 com a instalação de 680 mil m² de novos coletores solares. A área total instalada no Brasil de coletores solares aproxima-se de 4,5 milhões de m². O Estado de Minas Gerais é o principal mercado para os sistemas de aquecimento solar, chegando a aproximadamente 71 m²/1.000 hab de área instalada de coletores, conforme descrito na Fig. 43, seguido pelo Distrito Federal, Santa Catarina e São Paulo com 50, 47 e 30 m²/1.000 hab instalados respectivamente. A média nacional de área de coletores instalados é de aproximadamente 20 m²/1.000 hab.

Considerando uma média de venda anual de aproximadamente 600 mil m² de coletores solares, e observando a curva de tendência da Fig. 42, chegaremos ao ano de 2030 com

³⁷ International Energy Agency



aproximadamente 17,5 milhões de m² de área de coletores instaladas.

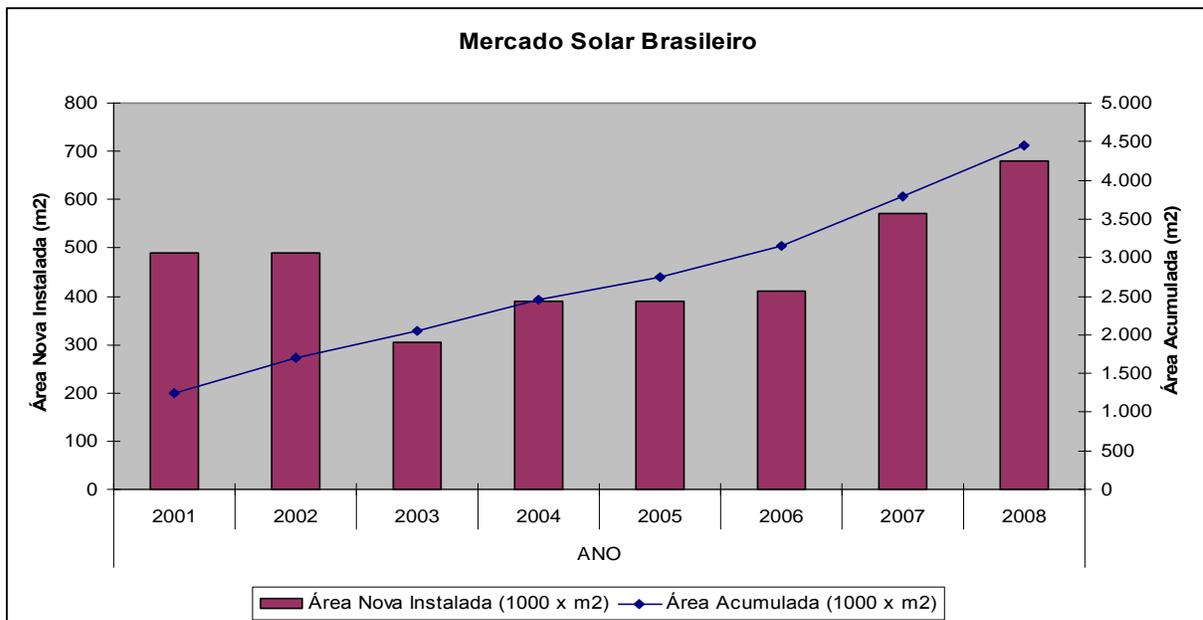


Figura 42: Mercado de Sistemas de Aquecimento Solar de Água no Brasil

Fonte: ABRAVA, 2009.

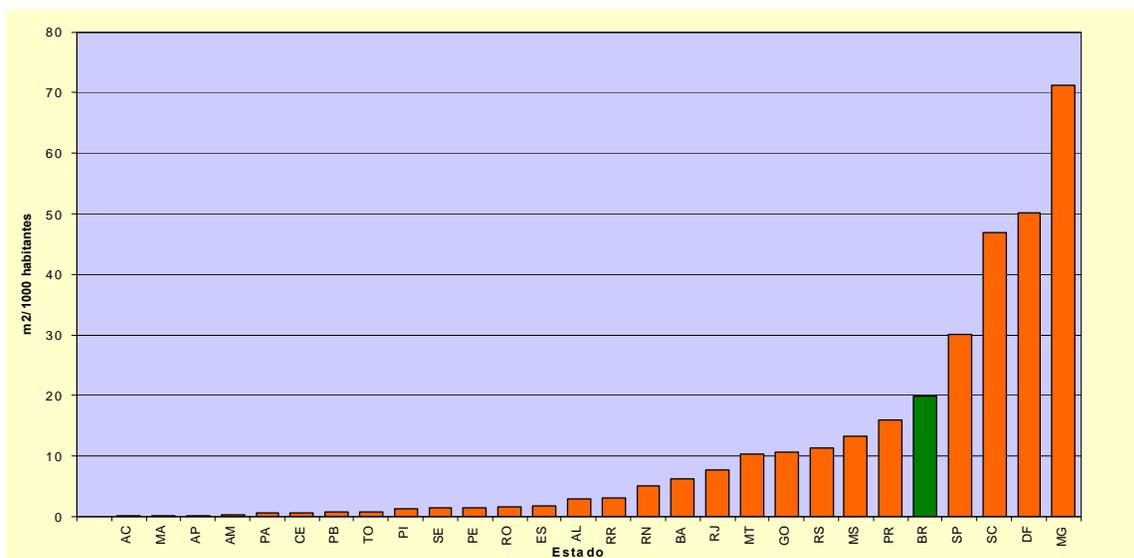


Figura 43: Área de coletores instalados no Brasil por 1.000 habitantes.

Fonte: ABRAVA, 2009.

Os números apresentados na Fig. 43 colocam o Brasil em sétimo lugar entre os países com maior capacidade instalada de sistemas de aquecimento solar de água, com aproximadamente 1,6 GWt. Conforme pode ser visto no Fig. 44 a China é o país que possui a



maior capacidade instalada, equivalente a 43,4 GWt, destacam-se ainda o Japão e a Turquia com 5,5 e 5,1 GWt instalados respectivamente.

Quanto à potência instalada de sistemas de aquecimento solar em relação à população residente, o Chipre se destaca com 63 MWt /100 mil hab, valor referenciado na Fig. 45. Israel é outro país com grande penetração do uso de aquecedores solares de água com aproximadamente 52 MWt/100 mil hab. Em comparação o mercado brasileiro ainda é incipiente, chegando a modestos 1,2 MWt/100 mil hab. Esses números demonstram o grande potencial de crescimento da tecnologia de aquecimento solar no Brasil.

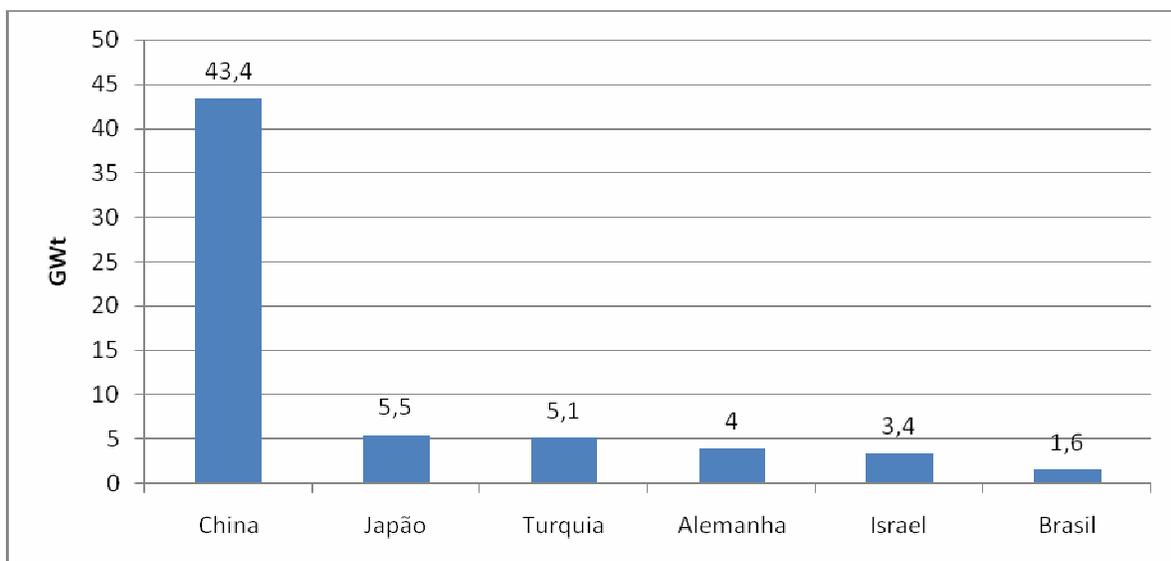


Figura 44: Capacidade dos Sistemas de Aquecimento Solar de Água Instalados.

Fonte: ABRAVA, 2009.

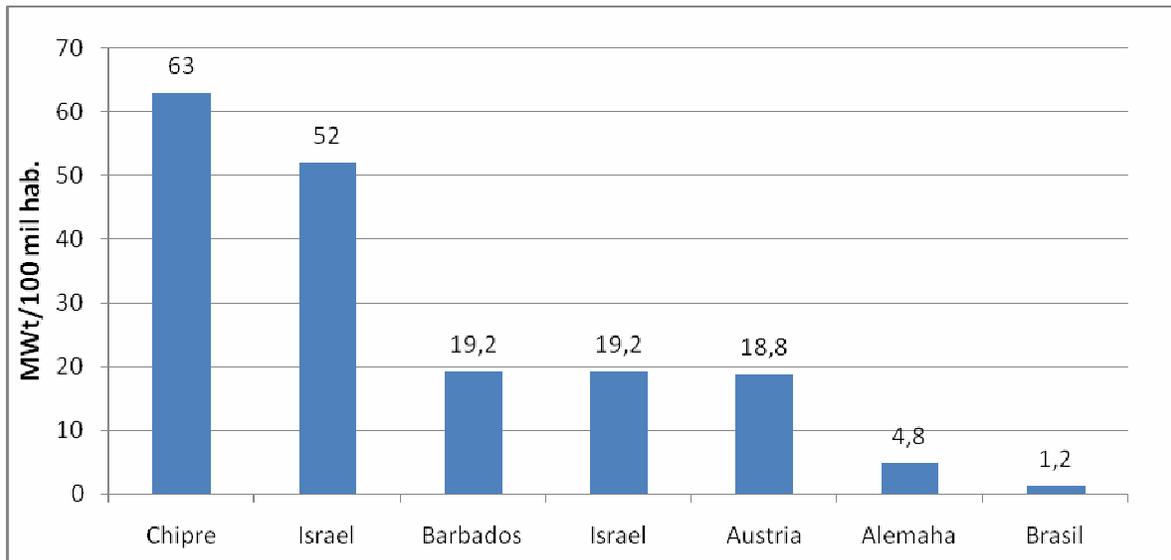


Figura 45: Penetração de Mercado dos Sistemas de Aquecimento Solar de Água

Fonte: ABRAVA, 2009.

Embora o mercado brasileiro de aquecimento solar tenha evoluído nos últimos anos, as taxas de crescimento tem se mostrado inferiores à de diversos países com menores índices de radiação solar. A diferença básica é a existência de mecanismos de incentivo públicos a aquisição de coletores solares baseados em políticas governamentais bem estruturadas.

Por questões comerciais particulares ao Brasil, o mercado de aquecimento solar baseia-se em menores preços e baixa qualidade de instalação, o que desfavorece a sustentabilidade da indústria.

No Brasil a indústria do aquecimento solar adotou estratégia verticalizada, incluindo a produção dos equipamentos, engenharia, venda a cliente final e instalação. Essa prática, abandonada recentemente por algumas empresas do setor, principalmente as do estado de Minas Gerais, mostrou-se extremamente ineficaz do ponto de vista de desenvolvimento de estruturas locais, capacitadas e organizadas em redes cooperativas.

A disputa pelo mercado residencial, comercial e obras de médio e grande porte, levou a indústria a prospectar e atender os clientes diretamente, inviabilizando, desta forma, a constituição de redes de negócio locais sólidas e estruturadas. Esta prática se tornou padrão em instalações de médio e grande porte, de modo que as empresas integradoras, instaladoras e fornecedoras de mão de obra local foram sistematicamente perdendo margem de negociação com os clientes finais, e perdendo negócios, na maioria das vezes para seus próprios fornecedores.



Na tentativa de manter as vendas e aumentar lucros com margens de negociação cada vez menores, o mercado local e as pequenas empresas, necessárias para o desenvolvimento local deste mercado, se adaptaram devido à necessidade de reduzir custos e de competir com seu próprio fornecedor.

Nesse contexto, a qualidade das instalações e dos equipamentos foram afetadas, pois as opções de corte de custos das pequenas empresas locais resumem-se, basicamente, a dois componentes: materiais de interligação hidráulica e elétrica para o backup do sistema, ou nos serviços (serviços de instalação em geral e serviços de terceiros, tais como frete).

5. POTENCIAL DE ECONOMIA DE ENERGIA E ANÁLISE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA NO BRASIL

A complexidade da valoração ambiental está sujeita às dificuldades de delegar valores a bens naturais diante de uma sociedade movida pelo consumo. A sociedade moderna convive com fortes impactos ambientais, muitos deles causados pela imposição do modelo de consumo “globalizado”, o qual vem ocorrendo de forma exacerbada, em função da maximização das utilidades impostas pelo mercado de valores econômicos e materiais. Dessa forma, é importante analisar como se comporta a população diante de um modo de vida imposto por nossa cultura, catalisador de processos de exploração excessiva de matéria prima da natureza, a qual neste caso se exclui de qualquer valoração moral ou filosófica. Portanto, estabelecer limites para a quantificação econômica dos ativos da natureza, torna-se uma proposta necessária, porém de difícil equalização.

Assim, trabalhar com indicadores que possam representar aspectos da dimensão ambiental é de suma importância para uma melhor gestão do risco ambiental a que estamos todos envolvidos, desde os aspectos energéticos às questões básicas, tais como abastecimento de água e esgotamento sanitário. Porém, há de se ressaltar a dificuldade em sistematizar ou equacionar processos tão complexos, partindo de uma sociedade cujo objetivo é consumir. O homem vem escolhendo o consumo há muito para sua própria vantagem, se excluindo como parte integrante da natureza. E dessa forma, a partir de um crescimento econômico instituído pela Revolução Industrial, a sociedade vem se comportando ante ao meio ambiente como uma fonte inesgotável de recursos.

Partindo para uma análise mais profunda sobre indicadores ambientais, constata-se que o planeta não alcançou as metas estipuladas em acordos internacionais, visando à mitigação



dos efeitos negativos da antropização do ambiente. O Brasil, como um País em crescimento, participa de maneira sensível nos indicadores ambientais, considerando-se sua forte característica de desigualdade social, resultando em impactos ambientais de várias naturezas.

Considerando o forte impacto causado pela utilização dos chuveiros elétricos no sistema elétrico brasileiro, e por conseqüência seu impacto ambiental negativo, torna-se necessário estimar o seu consumo ao longo dos próximos anos, tornando esses dados indicadores importantes na previsão da expansão da oferta de energia. Em contra partida à expansão do sistema elétrico, pode-se projetar o aumento da participação de sistemas de aquecimento solar de água como agentes inibidores do consumo energético excessivo nas residências, bem como prever o seu potencial mitigador de emissões de gases de efeito estufa.

Feitas estas considerações e tomando como base as observações e projeções anteriores, este capítulo procura demonstrar o potencial de economia de energia elétrica proporcionado pela adoção sistemática de sistemas de aquecimento solar de água, bem como, sua contribuição na mitigação dos efeitos negativos ao meio ambiente mediante a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e de outros poluentes relacionados à geração convencional de energia elétrica. As projeções de economia de energia terão como parâmetro as meta de economia de energia traçadas pelo PNE 2030.

5.1. PROJEÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DOS CHUVEIROS ELÉTRICOS

De acordo com as projeções discriminadas no sub-item 4.4, temos que a setor residencial será responsável por 38,54% do consumo de energia elétrica em 2030, evoluindo conforme descrito na **Tab. 8**, de 83,5 TWh/ano em 2000 para 279,7 TWh/ano em 2030.

De acordo com a pesquisa de posse e hábitos realizada pelo PROCEL em 2005 (PROCEL, 2007), o consumo médio de energia dos chuveiros elétricos corresponde a 24% do consumo de energia elétrica residencial no Brasil. A Fig. 46 mostra os resultados da pesquisa PROCEL em termos de consumo médio dos chuveiros elétricos de acordo com as regiões geográficas brasileiras. Nota-se que o maior percentual de participação dos chuveiros elétricos no consumo de energia nas residências vem da Região Centro-Oeste, com aproximadamente 28%.

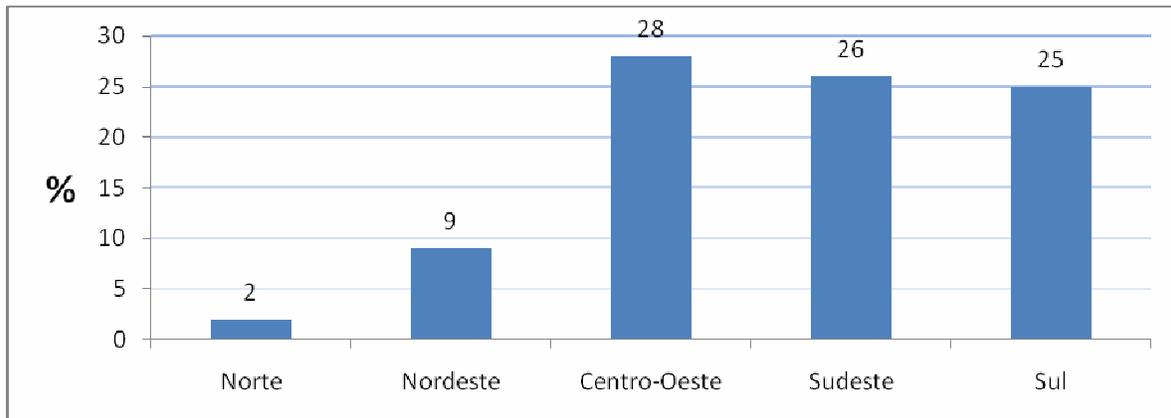


Figura 46: Percentual de participação dos chuveiros elétricos no consumo residencial (%).

Fonte: PROCEL, 2007

A menor participação dos chuveiros no consumo residencial é o da Região Norte, com aproximadamente 2%. Porém, será necessária uma adaptação considerando o valor de 1% para a realização das projeções de consumo dos chuveiros. Esta adaptação deve-se ao fato de uma grande parte da Região Norte ser atendida pelo sistema isolado de fornecimento de energia elétrica, baseado em geração Diesel, o que causou algumas distorções na quantificação da participação dos chuveiros em comparação aos dados de venda de energia elétrica fornecidos pelas distribuidoras locais e compilados pela ANEEL (ANEEL, 2009).

Outra adaptação necessária refere-se ao percentual de participação dos chuveiros no consumo das residências do Rio de Janeiro. Conforme o descrito no sub-item 4.5, aproximadamente 52% dos domicílios cariocas utilizam o gás para aquecimento de água, e aproximadamente 48% ainda utilizam chuveiros elétricos, principalmente no interior do Estado e na região metropolitana da capital, cujo número absoluto que representa aproximadamente 6% dos chuveiros elétricos em funcionamento no País. Considerando esta situação atípica do estado do Rio de Janeiro, cuja utilização de chuveiros elétricos nos domicílios equivale percentualmente à aproximadamente metade do observado nos outros estados da Região Sudeste, foi necessário adaptar a participação relativa do Rio de Janeiro no que se refere ao parque de chuveiros instalados e seu consumo relativo nos domicílios. Portanto, ao invés de utilizarmos o percentual de consumo de energia dos chuveiros elétricos nas residências da Região Sudeste, que equivale a 26%, este percentual foi corrigido para 13% exclusivamente no Rio de Janeiro.

O método utilizado para projeção do consumo de energia elétrica dos chuveiros elétricos por domicílio considerou os dados referentes ao consumo total residencial fornecido pela



ANEEL (ANEEL, 2009) e a sua projeção até 2030, conforme especificado no **sub-item 2.5**. Os valores projetados de consumo residencial de energia elétrica foram submetidos aos percentuais de participação de consumo dos chuveiros elétricos, conforme a **Fig. 46**, com os devidos ajustes para a Região Norte (1%) e para o Estado do Rio de Janeiro (13%), projetando o consumo de energia elétrica total dos chuveiros até o ano de 2030, divididos por Estado.

O consumo médio de energia elétrica por domicílio foi obtido por meio da divisão do consumo de energia elétrica total para o setor residencial pelo número de domicílios permanentes projetados até 2030, conforme especificado no **sub-item 4.2**. O consumo médio de energia elétrica dos chuveiros elétricos nos domicílios que o possuem foi estimado considerando a projeção de consumo total de energia elétrica dos chuveiros, descrita no parágrafo anterior, dividida pela projeção do número de chuveiros elétricos em posse da população brasileira até o ano de 2030.

Com base no método descrito, foi projetada a curva de consumo de energia elétrica dos chuveiros elétricos até o horizonte de 2030, conforme pode ser observado na **Fig. 47**, onde podemos notar que em 2030 os chuveiros elétricos serão responsáveis por um consumo de energia elétrica equivalente a 56,8 TWh/ano. Considerando que em 2008 os chuveiros elétricos foram responsáveis por um consumo de 19,4 TWh/ano, haverá um aumento de consumo de aproximadamente 192%.

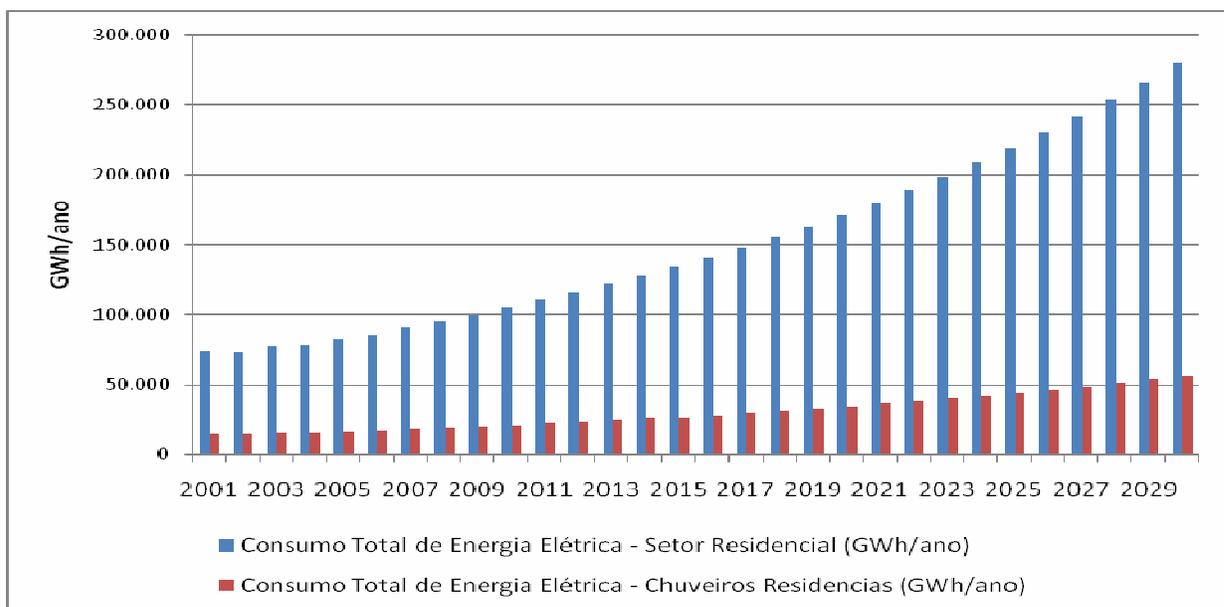


Figura 47: Projeção do consumo de energia elétrica residencial e dos chuveiros elétricos de uso doméstico (MWh/ano).

Fonte: (PROCEL, 2007), (ANEEL, 2009). Elaborada pelo autor.



A **Tab. 10** mostra que o Estado de São Paulo concentrará, em 2030, o consumo de energia elétrica proporcionado pelos chuveiros com aproximadamente 23,9 TWh/ano, equivalente a 42% do consumo total destes equipamentos. Roraima apresenta o menor consumo de energia elétrica associados aos chuveiros, equivalente a apenas 591 MWh/ano. Notamos ainda na tabela a forte concentração do consumo relacionado aos chuveiros nas regiões Sudeste e Sul, equivalendo a 82% do total. Enquanto a Região Norte será responsável, em 2030, por apenas 0,25% do consumo de energia elétrica relacionada aos chuveiros.

A **Fig. 48** apresenta a curva de consumo médio de energia elétrica por domicílio e a curva de consumo médio dos chuveiros elétricos por domicílio para o Brasil entre os anos de 2001 e 2030. Notamos o crescimento do consumo dos chuveiros elétricos partindo de uma média de 33,89 kWh/mês em 2001 para 67,88 kWh/mês em 2030, equivalente a um crescimento de 49,9%. A participação do consumo dos chuveiros elétricos na média do consumo residencial era de 24,65% em 2001, mantendo-se relativamente constante até 2030, quando atinge 25,01% de participação.



Tabela 10: Projeção de consumo de energia elétrica – Chuveiros Elétricos (MWh/ano)

Consumo - Chuveiros Elétricos (MWh/Ano)	2.008	2.020	2.025	2.030
RO	7.989	14.347	18.310	23.369
AC	2.518	4.522	5.771	7.366
AM	11.176	20.070	25.615	32.692
RR	202	363	463	591
PA	21.142	37.968	48.458	61.846
AP	3.166	5.687	7.258	9.263
TO	4.144	7.442	9.498	12.123
MA	131.934	236.934	302.394	385.940
PI	68.396	122.830	156.766	200.077
CE	229.595	412.320	526.236	671.625
RN	110.411	198.283	253.065	322.982
PB	83.387	149.751	191.124	243.929
PE	289.267	519.482	663.006	846.182
AL	72.735	130.622	166.710	212.769
SE	62.666	112.538	143.631	183.313
BA	393.545	706.751	902.013	1.151.223
MG	2.011.788	3.612.882	4.611.055	5.885.005
ES	435.213	781.580	997.516	1.273.111
RJ	1.441.400	2.588.548	3.303.716	4.216.472
SP	8.181.578	14.692.939	18.752.327	23.933.250
PR	1.360.079	2.442.507	3.117.326	3.978.586
SC	984.949	1.768.827	2.257.522	2.881.233
RS	1.527.812	2.743.731	3.501.774	4.469.249
MS	272.796	489.903	625.254	798.000
MT	421.572	757.083	966.251	1.233.208
GO	799.456	1.435.708	1.832.368	2.338.618
DF	499.932	897.806	1.145.853	1.462.432

Fonte: (PROCEL, 2007), (ANEEL, 2009). Elaborada pelo autor.

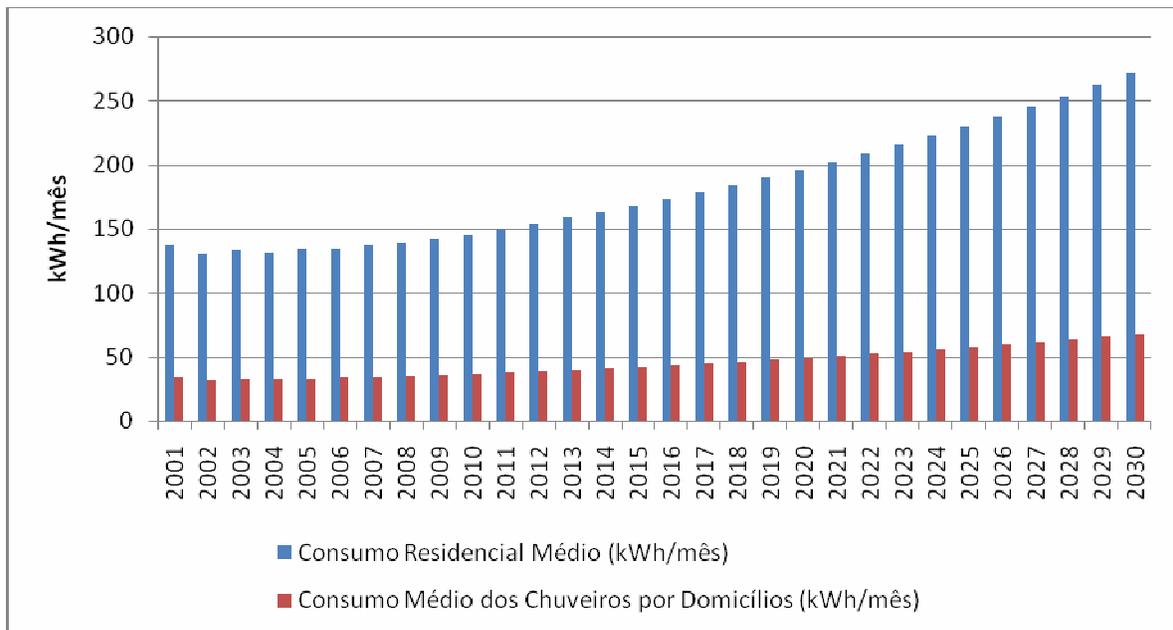


Figura 48: Projeção do consumo de energia elétrica por domicílio e dos chuveiros elétricos por domicílio (MWh/mês).
Fonte: (PROCEL, 2007), (ANEEL, 2009). Elaborada pelo autor.

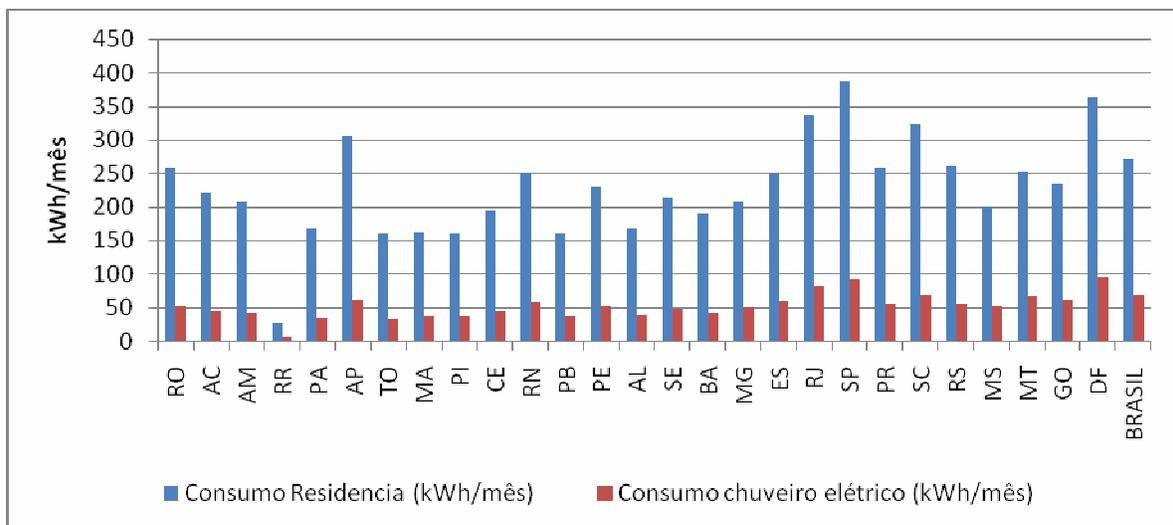


Figura 49: Projeção estadual do consumo de energia elétrica por domicílio e dos chuveiros elétricos por domicílio, em 2030 (kWh/mês).
Fonte: (PROCEL, 2007), (ANEEL, 2009). Elaborada pelo autor.

A **Fig. 49** demonstra a projeção do consumo de energia elétrica por domicílio em 2030 e o consumo médio dos chuveiros elétricos, divididos por estados. O Distrito Federal deverá



apresentar o maior consumo de eletricidade relativo ao uso do chuveiro elétrico, chegando a uma média de 94 kWh/mês por domicílio, equivalente a 25,9% da media de consumo residencial. São Paulo e o Rio de Janeiro apresentam consumo médio dos chuveiros elétricos equivalentes a 91,63 kWh/mês e 82,5 kWh/mês respectivamente, estando junto com o Distrito Federal entre os maiores consumidores. O consumo dos chuveiros elétricos equivale a 23,64% do consumo residencial em São Paulo e 24,53% no Rio de Janeiro. Os estados da Região Sul apresentam o consumo dos chuveiros relativamente alto, chegando a 21,37% do consumo residencial total.

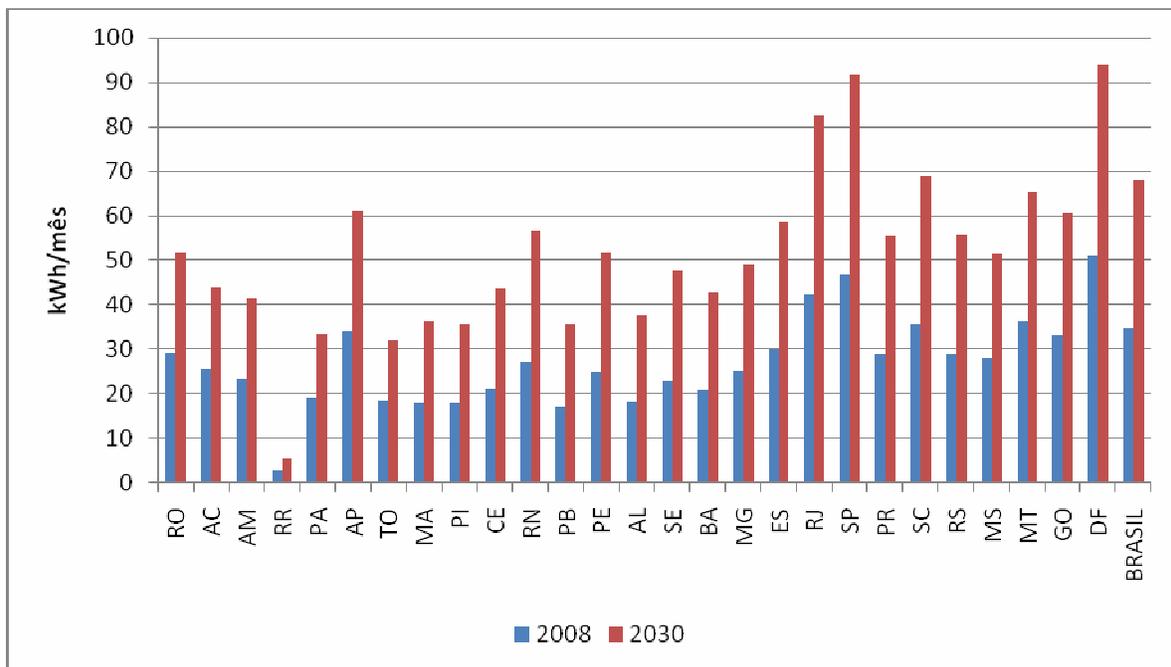


Figura 50: Projeção estadual do consumo dos chuveiros elétricos por domicílio, em 2030 (kWh/mês).

Fonte: (PROCEL, 2007), (ANEEL, 2009). Elaborada pelo autor.

A **Fig. 50** compara o consumo médio dos chuveiros elétricos por residência, em 2008, considerando cada um dos estados e a média nacional, com a projeção do consumo em 2030. A Fig. 50 indica que, na média nacional, a participação do consumo dos chuveiros elétricos nas residências brasileiras, cresceu aproximadamente 194% entre 2008 e 2030.



5.2. PROJEÇÃO DA DISSEMINAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

Estudiosos da década de 70, tais como Darley e Herberlin, trataram, tradicionalmente, a eficiência energética como uma variável técnica. Estudos mais recentes consideram a “eficiência” também como uma variável comportamental conforme Cavalcanti (2005). Assim, a Eficiência Energética pode ser interpretada como a economia de energia gerada para executar a mesma atividade antes realizada, seja pelo uso de um equipamento mais eficiente (característica técnica), ou mesmo de uma nova tecnologia, ou apenas pelo uso racional da energia (característica comportamental). O mesmo estudo considera que a “substituição energética” de uma fonte por outra menos nobre, como é o caso da energia solar para gerar energia térmica, gera uma eficiência energética no sentido da prioridade do uso de fontes mais econômicas ou menos competitivas (característica de substituição energética).

Conforme descrito, e de acordo com a proposta da nota técnica MME (2006), os mecanismos de eficiência podem ser classificados no que se refere a sua característica predominante: característica comportamental; característica técnica; característica de substituição energética.

Para o caso específico de adoção de sistemas de aquecimento solar de água, este se caracteriza como uma opção de substituição energética. Apresentando desta forma como uma alternativa para o atendimento à evolução da demanda de energia, minimizando os impactos sócio-ambientais previstos para expansão clássica da geração, transmissão e distribuição de energia. Entretanto, diferentemente das opções de geração, a decisão do governo em investir em mecanismos de eficiência seria no sentido de reduzir consumo de energia de forma eficiente e que a decisão final, em sua grande maioria, cabe ao consumidor final.

De modo específico, a estimativa da demanda de energia elétrica no setor residencial é realizada com base no percentual de domicílios ligados à rede elétrica e no consumo específico de energia elétrica por domicílio ligado à rede. Este, por sua vez, é projetado por uso final a partir da posse dos principais equipamentos, de hábitos de consumo das famílias e das potências dos equipamentos, o que permite a incorporação de ganhos de eficiência.

O método utilizado para projetar a penetração dos sistemas de aquecimento solar de água nas residências brasileiras considera a alternativa restrita aos domicílios com área suficiente para a instalação dos coletores. Considera ainda o potencial de irradiação solar descrito no Capítulo 3, especificamente no **sub-item 3.2** “Solarimetria – Brasil e suas Regiões”.

O método de projeção supõe que as regiões brasileiras com menor penetração de



chuveiros elétricos, como o caso das regiões Norte e Nordeste, **descritas no sub-item 4.5 “Projeção do Número de Chuveiros Elétricos”**, possuam por conseqüência um menor potencial de expansão para os sistemas de aquecimento solar de água. Considera-se que as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, que concentram aproximadamente 88% dos chuveiros elétricos do País em 2030, possuam um grande potencial de adesão a tecnologia solar de aquecimento de água.

Os dados iniciais que serviram de base para as projeções referem-se à quantidade de metros quadrados de coletores solares instalados no Brasil entre 2001 e 2006. Esses dados foram fornecidos pela “Plataforma Solar Brasileira” - ABRAVA³⁸ (ABARAVA, 2009) com base nas vendas anuais de coletores e a área acumulada em posse dos domicílios brasileiros, ponderados pelos Estados de acordo com percentuais de vendas por região. **A Fig. 51** mostra que a área acumulada de coletores solares passou de 1,2 milhões de m² em 2001 para 3,1 milhões de m² em 2006, representando apenas as vendas autônomas das empresas fornecedoras.

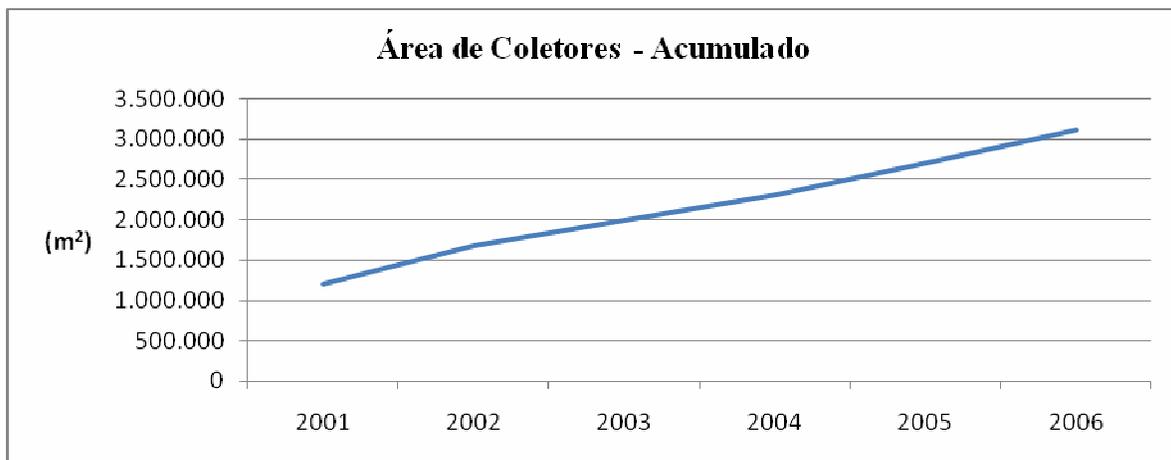


Figura 51: Área de coletores solares em uso no Brasil – Dados de venda ABRAVA (m²).

Fonte: ABRAVA, 2009

A **Fig. 52** mostra a área total de coletores solares instalados por Estado em 2006. Podemos notar que o Estado de São Paulo possui a maior área instalada, superior a 1 milhão de m², seguido por Minas Gerais com aproximadamente 500 mil m².

³⁸ Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

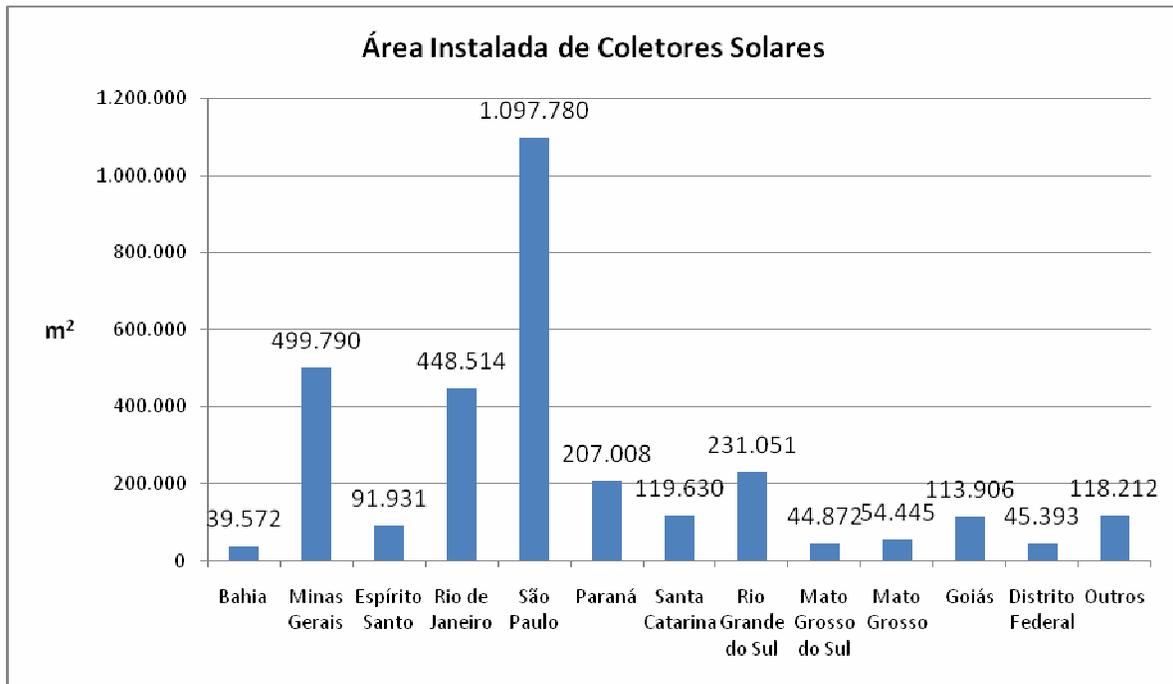


Figura 52: Área de coletores solares instalados em 2006 (m²).

Fonte: ABRAVA, 2009

A projeção realizada considera um crescimento acentuado da utilização dos aquecedores nas regiões Sudeste e Sul. Para a região Centro-Oeste é previsto um crescimento mediano, e um baixo crescimento para as regiões Norte e Nordeste.

Tabela 11: Percentual estimado de crescimento da área de coletores instalados (%).

Regiões	N	NE	SE	S	CO
2010	2	2	20	20	12
2010 - 2015	2	2	33	33	20
2015 - 2020	2	2	20	20	15
2020 - 2025	2	2	6	6	5
2025 - 2030	2	2	2	2	2

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABRAVA, 2009, PNE 2030, PROCEL, 2007.

A **Tab. 11** mostra os percentuais estimados de crescimento da área de coletores solares instalados por região. Esta estimativa considera ações de fomento à instalação de sistemas de aquecimento solar por meio de políticas públicas apropriadas, conforme o demonstrado no próximo capítulo. As estimativas foram realizadas considerando o número de chuveiros elétricos



instalados por Região, as temperaturas médias anuais e o potencial de consumo de água quente para fins sanitários, associados à disponibilidade de incidência solar.

Para as regiões Norte e Nordeste foram considerados percentuais de crescimento de aproximadamente 2%, que significa apenas as projeções de vendas realizadas pelas empresas do ramo, seguindo a tendência histórica, conforme dados da ABRAVA (2009). Essa tendência explica-se principalmente pelas médias altas de temperatura nessas regiões, sendo que a utilização de aquecedores de água possui pouca importância para o conforto dos habitantes. Portanto, nessas regiões as políticas públicas voltadas à utilização de sistemas de aquecimento solar de água, tendem a ter um baixo impacto, não interferindo de forma significativa na dinâmica do mercado.

As regiões Sul e Sudeste são as regiões com maior potencial para o uso de sistemas de aquecimento solar, principalmente por apresentarem médias de temperatura mais baixas que as demais regiões, necessitando, de maneira regular, aquecer água para fins sanitários. Além disso, o consumo de energia elétrica proporcionado pelo uso do chuveiro elétrico apresenta um impacto importante no custo final da energia. Portanto, estas regiões apresentam-se mais propensas ao engajamento em políticas de fomento à utilização de sistemas de aquecimento solar de água.

Os percentuais de expansão da área de coletores solares nas regiões Sul e Sudeste começam a ser construídos com base nas iniciativas de fomento à utilização de sistemas de aquecimento solar de água em curso no Brasil, as quais apontam para uma tendência de aprimoramento do mercado com a inserção de equipamentos de melhor qualidade e mão-de-obra qualificada. A seguir são descritas as principais iniciativas para o fomento de sistemas de aquecimento solar de água:

- a. O Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE teve seu início em 1984, decorrente de protocolo de cooperação entre governo e indústria, o PBE promove a eficiência energética por meio de etiquetas informativas a respeito do desempenho de máquinas e equipamentos energéticos. A adesão ao Programa é voluntária, em primeira instância, e converte-se em obrigatória em passo seguinte. Até o presente momento, há mais de 35 equipamentos etiquetados. Entre esses equipamentos destacamos os voltados ao aquecimento solar de água, sendo etiquetados coletores acoplados, coletores planos para banho e coletores planos para piscinas.
- b. O Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE conta ainda com um programa de



etiquetagem de edificações, no qual as edificações são classificadas quanto o seu consumo de energia elétrica, sendo “A” o mais eficiente e “E” o menos eficiente. Esta iniciativa deverá fomentar a utilização dos sistemas de aquecimento solar de água, pois este é um dos componentes desejáveis para que as edificações recebam a melhor classificação. O INMETRO já outorga hoje etiquetas para edificações comerciais acima de 500 m² de área construída, sendo que as regras para as edificações residenciais estão em fase final de preparação e devem ser implementadas ainda no ano de 2010.

- c. Um dos principais incentivos que tem sido aplicado neste setor é a renúncia fiscal de alguns Estados por meio da redução à zero da alíquota do ICMS, conforme convênio ICMS 101/97 e 10/04, e da União, pela redução da alíquota do IPI a zero por meio do Decreto nº 6248/97, Art. 32, Inciso 18.
- d. Hoje no Brasil os Programas de Eficiência Energética – PEE, definidos pela Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e regulados pela ANEEL, obriga as concessionárias distribuidoras de energia elétrica a investir, no mínimo, 0,5% de sua receita operacional líquida em projetos de eficiência energética. Sendo que, uma parcela considerável desses recursos é utilizado em ações que visam à substituição de chuveiros elétricos por sistemas de aquecimento solar de água (ANEEL, 2008). De acordo com uma estimativa preliminar da ANEEL, até o ano de 2010, foram aplicados aproximadamente R\$ 63 milhões em projetos de substituição de chuveiros elétricos por sistemas de aquecimento solar, equivalente a 4,1% do total de recursos aplicados pelas concessionárias no período de 1998 a 2010. Este montante proporcionou a instalação de 50.961 sistemas de aquecimento solar, contabilizando uma economia anual de energia elétrica de 54,2 GWh/ano. Além disso, foram retiradas de ponta uma demanda de aproximadamente 85 MW, equivalente a 18,5% do total da demanda retirada de ponta pelo programa da ANEEL no mesmo período (Pompermayer, 2010). Com a publicação da Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010, a qual eleva o percentual mínimo de aplicação de recursos em projetos de eficiência energética em comunidades de baixa renda para 60% dos recursos previstos na Lei nº 9.991/2000, existe a tendência de ampliação do número de projetos voltados à instalação de sistemas de aquecedores solares.



- e. O Programa PROCEL Edifica, desenvolve conforme definido pela Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001, um programa de regulamentação e certificação de edificações, incorporando não só a componente energética, mas todo um conceito de construção sustentável, como já visto em países mais desenvolvidos. Este programa está baseado no Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE.
- f. O Brasil é carente em mão de obra capacitada para instalar e manter sistemas de aquecimento solar de água (Souza, 2007). Neste sentido a Rede Brasil de Capacitação em Energia Solar coordenado pelo GREEN Solar e ABRAVA com apoio da FINEP, têm por objetivo a capacitação de professores, criação de centros regionais de treinamento e portal de gestão do conhecimento em aquecimento solar. Outro programa de qualificação em curso é o QUALISOL, Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar, lançado em 19 de maio de 2005, possui como meta principal consolidar as boas práticas do aquecimento solar junto a revendedores e instaladores, concedendo um selo de qualidade e um certificado de garantia, para fabricantes, revendas e empresas instaladoras. O programa é coordenado pelo INMETRO, PROCEL e ABRAVA.
- g. O NORMASOL foi criado, em 2005, com apoio do Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT com apoio da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP com o objetivo de revisar e elaborar todo o conjunto de normas relacionadas ao aquecimento solar no Brasil, normas estas relacionadas a:
- Ensaios de componentes e características construtivas e tecnológicas de produtos e processos,
 - Especificações de projeto e dimensionamento de sistemas de aquecimento solar
 - Instalação de sistemas de aquecimento solar.
- h. O CIDADES SOLARES é uma iniciativa capitaneada pelo Departamento Nacional de Aquecimento Solar - DASOL, da ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento que se propõe a organização de uma série de seminários CIDADES SOLARES em diversos Municípios brasileiros com o objetivo de mobilizar tomadores de decisão em nível municipal para a formulação e implantação de projetos de lei e outras políticas públicas de gestão da construção civil voltadas à promoção do uso de aquecedores solares em sua área de atuação. O ANEXO IV traz a



lista de municípios e estados brasileiros que implementaram ou estão implementando Leis de incentivo ao aquecimento solar de água. Hoje vários municípios da região Sudeste possuem leis específicas para o fomento aos sistemas de aquecimento solar, inclusive a cidade de São Paulo.

- i. A Caixa Econômica Federal – CAIXA possui linhas de crédito especiais para consumidores de baixa renda para aquisição de sistemas de aquecimento solar de água, sendo:
 - Programa de Arrendamento residencial – PAR;
 - FAT habitação

- j. Hoje o principal instrumento de política pública voltada a disseminação de sistemas de aquecimento solar de água, baseia-se no programa habitacional “Minha Casa, Minha Vida”, cuja prioridade é o financiamento de habitações para a população de baixa renda. A Portaria nº 093 de 24 de fevereiro de 2010, do Ministério das Cidades (MCidades, 2010) ampliou os valores máximos para financiamento do programa “Minha Casa, Minha Vida”, para imóveis que tenham sistema de aquecimento solar, disponibilizando até R\$ 2,5 mil para cada uma das unidades multifamiliares verticais, e até R\$ 1,8 mil para cada unidade habitacional de empreendimentos horizontais. Os acréscimos dos valores máximos têm por objetivo possibilitar a instalação de equipamento de energia solar para aquecimento de água, incluindo os serviços de instalações hidráulicas.

O PNE 2030 em seu cenário B1 (Caderno Temático de Eficiência Energética), o qual é caracterizado por um processo de gestão interna eficaz no país, onde gargalos de infraestrutura e oferta de financiamento não se constituem restrições efetivas ao desenvolvimento do país, estima-se que o potencial técnico de utilização de sistemas de aquecimento solar de água chegue a 65% dos domicílios brasileiros, porém, o potencial considerado econômico chega a 30% dos domicílios. Considerando ainda o potencial tecnicamente viável, temos que 23% dos domicílios do País se enquadram como possíveis utilizadores da tecnologia solar.

Os percentuais mostrados na **Tab.11** forma estimados considerando as metodologias empregadas para compor as projeções do PNE 2030 para o potencial de mercado para a expansão dos sistemas de aquecimento solar de água, cujo número apresentado equivale ao potencial de penetração de 23%. Para a montagem da **Tab.11** consideramos os potenciais por Estado, baseado no número de domicílios, número de chuveiros elétricos, temperaturas



médias, acesso a informação, engajamento em políticas públicas e capacidade de investimento. A média nacional obtida pela projeção de utilização de sistemas de aquecimento solar de água por Estado foi de **20,25%**.

Os percentuais de crescimento consideram projeções e expectativas aderentes ao PNE 2030 e pesquisas de mercado realizadas pela ABRAVA e pelo PROCEL (PROCEL, 2007), associadas a implementação de políticas de fomento a partir de 2010, principalmente programas voltados à população de baixa renda, como o “Minha Casa, Minha Vida” espera-se um comportamento mais dinâmico do mercado com uma expansão média da área de coletores solares entre 20% e 33% até 2015. Os efeitos desta expansão deverão ser mantidos até meados de 2020, com a expectativa de expansão máxima de 20% da área de coletores, quando por conta de possível saturação de mercado os percentuais de expansão tendem a diminuir e se estabilizar abaixo de 6% entre 2020 e 2030.

As considerações anteriores são válidas também para a região Centro-Oeste, porém, consideram-se percentuais menores de expansão, devido principalmente às condições climáticas da maior parte da Região, cujas temperaturas médias são mais elevadas em comparação ao Sul e Sudeste. A previsão de que a maior expansão ocorra no Distrito Federal, que devido à altitude média elevada, apresenta médias de temperatura menores. Além disso, o Distrito Federal conta com uma das maiores rendas per capita, facilitando o investimento em fontes alternativas de energia como os aquecedores solares de água.

Com bases nos percentuais estimados foram construídas as projeções até 2030 da quantidade de metros quadrados instalados. **O número de domicílios que possuirão sistemas de aquecimento solar de água, em uma projeção até 2030, considera uma média de 4,5 m² instalados por residência. Este dado encontra referência nas informações de venda de sistemas de aquecimento solar fornecidas pela ABRAVA (ABRAVA, 2009), sendo que esta média considera as vendas principalmente para residências de classe média. Segmento que mais utiliza os sistemas de aquecimento solar de água.**

De acordo com a **Fig. 53**, em 2030 teremos no Brasil aproximadamente **78 milhões de m²** de coletores solares instalados e aproximadamente **17,3 milhões** de domicílios utilizando esta tecnologia. Podemos ainda observar na **Fig. 53** que o período previsto de maior expansão da adoção dos sistemas de aquecimento está compreendido entre aos anos de 2013 e 2020. Espera-se que neste período os programas de fomento em curso e a adoção de novos incentivos, sejam de cunho ambiental ou econômico, sensibilize um grande número de consumidores, mantendo as taxas de expansão de mercado em aproximadamente 20%. Após o



ano de 2020 podemos prever uma diminuição gradativa das taxas de expansão de mercado, influenciadas principalmente por uma possível saturação dos potenciais de instalação, visto que os projetos mais rentáveis já deverão ter sido implementados. Além disso, existe a tendência de a partir de 2020, a maior parte dos novos programas habitacionais voltados a população de baixa renda entrarem em um declínio de sua expansão, com o atendimento efetivo da maior parte deste grupo social. Como esses programas habitacionais, para efeito das projeções realizadas, foram considerados indutores importantes na expansão da utilização dos sistemas de aquecimento solar de água, tendencialmente deverá haver uma queda nas taxas de expansão deste segmento.

Quando comparamos as projeções construídas no **sub-item 4.2 “Projeção do Número de Domicílios”**, que nos revela a existência aproximada de 85,8 milhões de domicílios em 2030, estima-se que em 2030 aproximadamente **20,25% dos domicílios brasileiros** terão sua produção de água quente para uso sanitário atendidas por sistemas de aquecimento solar de água.

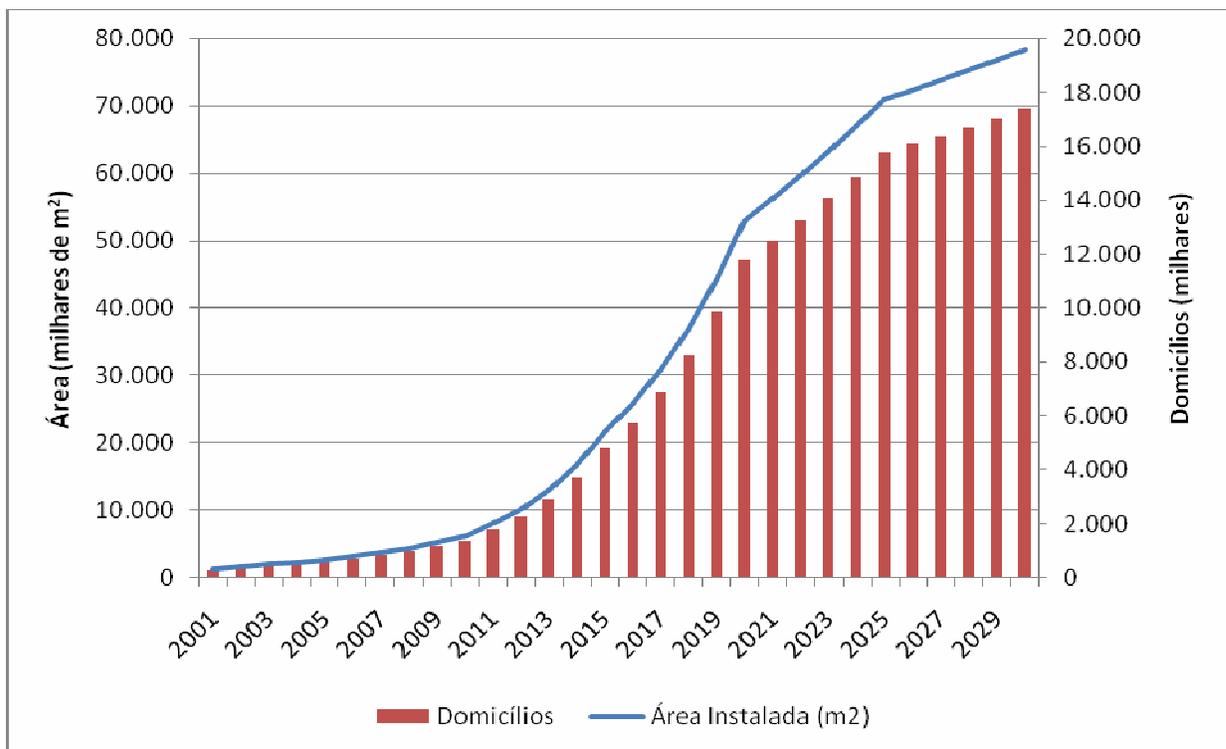


Figura 53: Projeção da área de coletores instalados e o número de residências atendidas.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABRVA, 2009; PROCEL, 2007 e MME, 2008



A **Fig. 54** mostra a previsão do número de residências que utilizarão aquecedores solares nas regiões Norte e Nordeste. Podemos observar a baixa penetração da tecnologia nestas regiões, sendo que a Bahia deverá ter o maior número absoluto de coletores instalados, próximo a 14 mil unidades, porém, percentualmente significa apenas 0,25% dos domicílios baianos utilizando a tecnologia. A média de utilização de coletores solares nas regiões Norte e Nordeste é de apenas 0,178% dos domicílios.

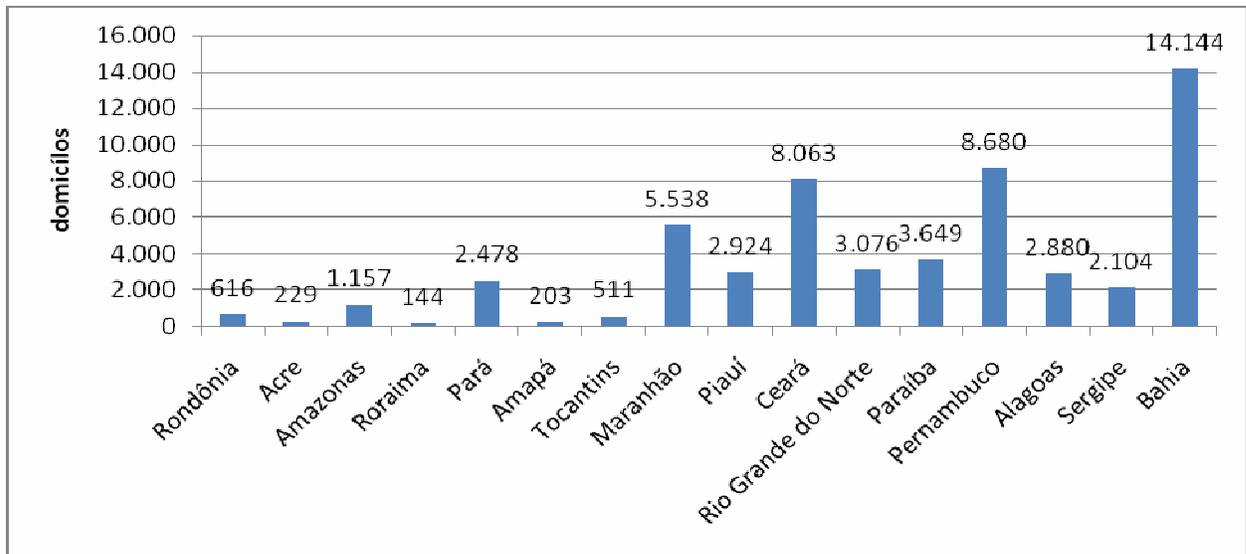


Figura 54: Projeção do número de residências atendidas por coletores solares em 2030 (Norte e Nordeste).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABRAVA, 2009; PROCEL, 2007 e MME, 2008

A **Fig. 55** revela a previsão do número de residências que utilizarão aquecedores solares nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste em 2030. Em termos absolutos o Estado de São Paulo deverá possuir coletores solares instalados em aproximadamente 7,7 milhões de domicílios, correspondente a 39,14% do total de domicílios. Esta previsão está baseada não só em políticas de fomento a serem implementadas, mas também às leis específicas de uso de aquecimento solar que já vigoram na capital do Estado e em varias cidades do interior. Em termos percentuais, os estados da Região Sul deverão possuir, em 2030, uma média de 28% dos seus domicílios atendidos por sistemas de aquecimento solar de água.

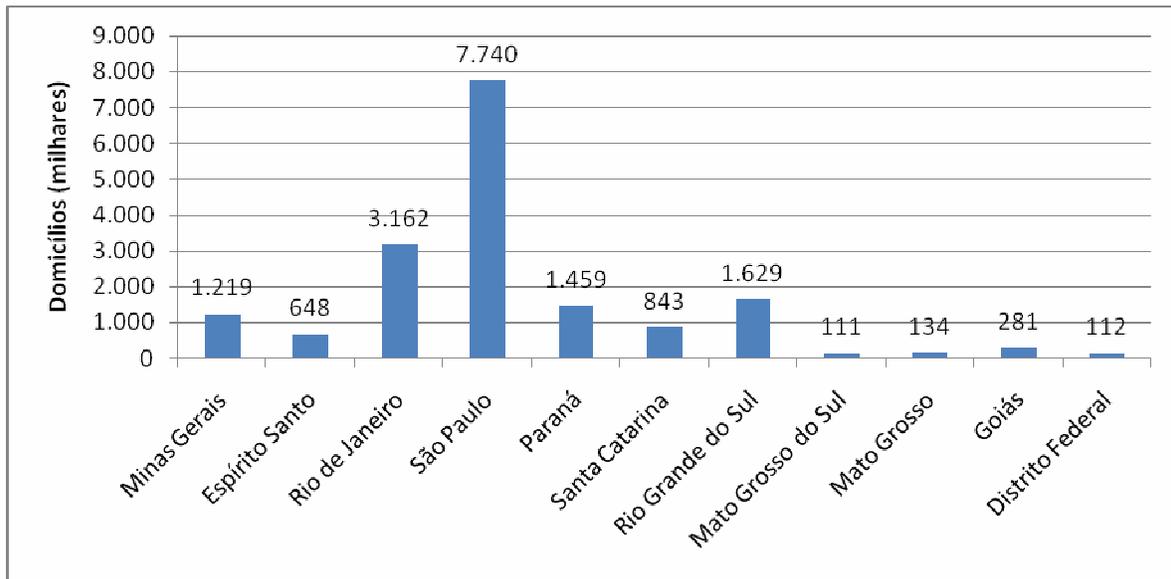


Figura 55: Projeção do número de residências atendidas por coletores solares em 2030 (Sul, Sudeste e Centro-oeste).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABRVA, 2009; PROCEL, 2007 e MME, 2008

Os estados da Região Centro-Oeste manterão médias de adesão à tecnologia solar próximas a 9,4% do total de domicílios. Destaca-se o Estado de Goiás com aproximadamente 280 mil domicílios possuidores de sistemas de aquecimento solar de água.

Em termos médios as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste terão uma taxa de penetração de sistemas de aquecimento solar de água de aproximadamente 29% em 2030.

Outra maneira de aferirmos a área necessária de coletores solares para suprir a demanda de água quente de uso sanitário é por meio da insolação diária média, descrita no Capítulo 3.2 “Solarimetria – Brasil e suas Regiões”.

Inicialmente podemos calcular a energia requerida para utilização de um sistema de aquecimento solar de água para uma típica família brasileira composta por 4 (quatro) integrantes, sendo que cada um toma um banho diário de 10 minutos de duração. Será estabelecida a média de vazão das duchas utilizadas em 6 litros/minuto com uma temperatura de utilização de 40° C, para uma temperatura média ambiente de 25° C. Esta configuração nos dá uma vazão mensal de aproximadamente 7.200 litros por mês.

A fórmula abaixo apresenta a forma de cálculo da energia requerida para o correto funcionamento de um sistema de aquecimento solar de água nas condições expostas no parágrafo anterior:



$$\text{Consumo} = \rho \times (\text{Vmês}/1.000) \times [\text{cp} \times (\text{T banho} - \text{T amb})]/3600 = \text{kWh/mês}$$

Sendo:

ρ : densidade da água, considerada igual a 1000kg/m³

Vmês : volume de água quente requerido por mês, em litros

cp : calor específico da água a pressão constante igual a 4,18 kJ/kg°C

T banho: temperatura da água quente

T amb: temperatura ambiente local

Temos então:

$$\text{Consumo} = 1.000 \times (7.200/1.000) \times [4,18 \times (40 - 25)]/3600 = \mathbf{125,4 \text{ kWh/mês}}$$

Portanto a energia requerida para suprir de água quente uma residência típica brasileira, por meio da utilização de sistemas de aquecimento solar de água, será de aproximadamente **125 kWh/mês**. Com referência a Fig. 48, do Capítulo 5.1, temos que o consumo médio dos chuveiros elétricos não ultrapassa 50 kWh/mês até o ano de 2020, porém observamos que o consumo requerido para o funcionamento dos sistemas de aquecimento solar de água, 125 kWh/mês, descrito no parágrafo anterior, refere-se a energia total solicitada, sendo considerada as perdas térmicas em reservatórios e tubulações, além do diferencial de energia utilizado para o aquecimento de um volume grande de água que será utilizado ao longo do dia, não podendo, portanto, ser comparado diretamente ao consumo de energia efetivo dos chuveiros elétricos.

Por meio da utilização de informações do banco de dados “SUNDATA” (CRESESB, 2010) referente ao “Atlas Solarimétrico do Brasil”, que contém dados referentes aos valores de radiação diária média mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil, referenciados por meio de coordenadas geográficas, obtem-se a Radiação Diária Média (kWh/m².dia) para as principais regiões.

Temos, a partir das informações do banco de dados “SUNDATA”, a construção da **Fig. 56**, que mostra as curvas de produção de energia mensal, a partir da radiação diária média, para a cidade de Porto Alegre (RS) e algumas localidades próximas (Caxias do Sul e Bento Gonçalves), considerando um sistema de aquecimento solar de água, com uma área de 2 m² de coletor, com rendimento de 60% e perdas de 0,2 kWh/mês/litro nos reservatórios térmicos de 200 litros. **A Fig. 56** traz ainda a comparação com a média requisitada de energia para o funcionamento adequado do sistema, equivalente a **125 kWh/mês**.

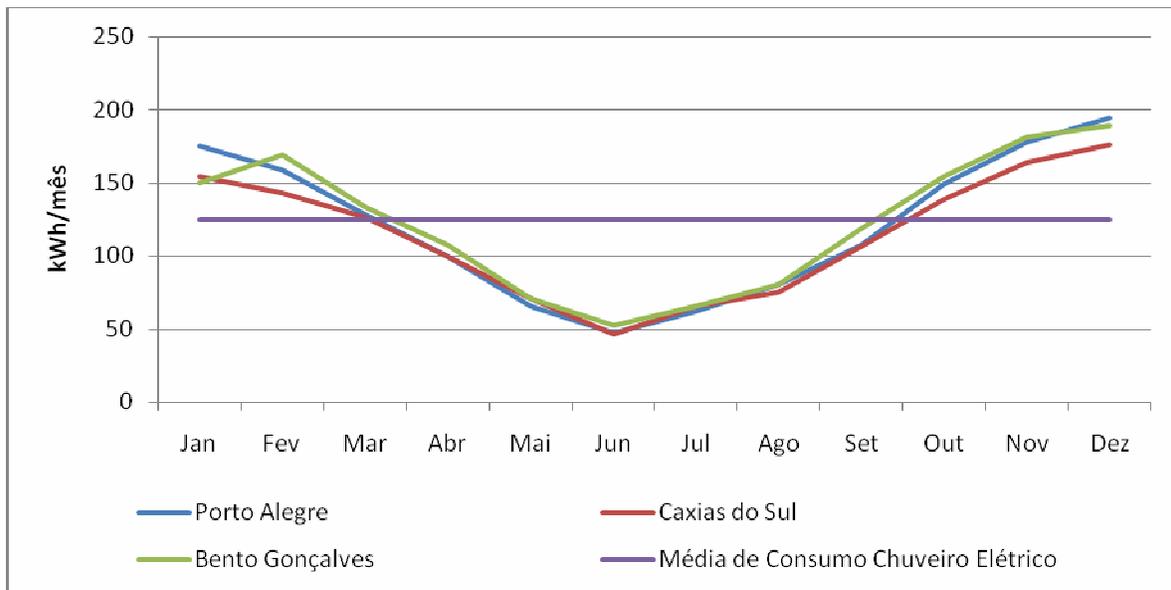


Figura 56: curvas de produção de energia mensal (2m^2), partindo da radiação diária média para a cidade de Porto Alegre (RS).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CRESESB, 2010.

Podemos verificar que para esta região específica do Rio Grande do Sul, os sistemas de aquecimento solar de água com apenas 2m^2 de área de coletor, não atendem plenamente a demanda por água quente de uso sanitário para uma família típica, principalmente o período de inverno, entre os meses de abril e agosto, sendo necessário nestes meses fazer uso de aquecimento auxiliar, elétrico ou a gás. Podemos observar na **Fig. 56** que no mês de junho, a produção de energia por meio dos coletores solares corresponde a apenas **40%** da energia requerida para o atendimento da demanda por água quente na residência típica aferida.

Porém a adoção de uma configuração de sistema de aquecimento solar de água alterando a área de coletor de 2m^2 para $2,5\text{m}^2$, habilita o sistema a atender de forma satisfatória a demanda por água quente, conforme pode ser visto na **Fig.57**. Sendo necessária a utilização de aquecimento auxiliar apenas entre os meses de junho e julho, mesmo assim com uma menor demanda do que exposto na condição anterior. Podemos observar que em média a produção de energia por meio dos coletores solares no mês de junho chega a 60% da energia requerida para o aquecimento de água.

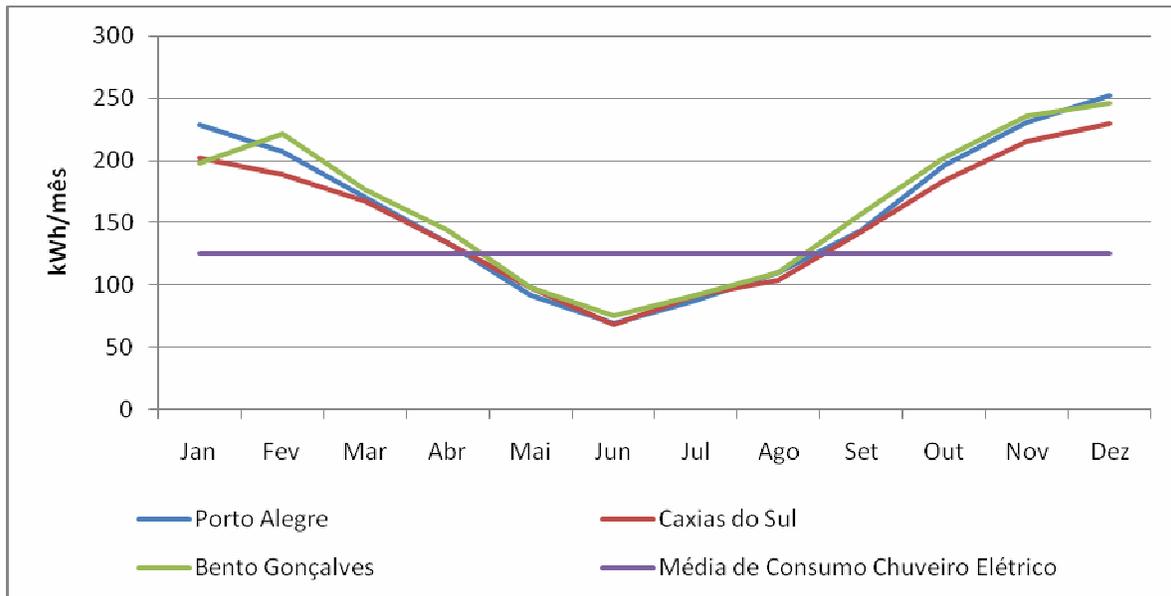


Figura 57: Curvas de produção de energia mensal ($2,5 \text{ m}^2$), partir da radiação diária média para a cidade de Porto Alegre (RS).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CRESESB, 2010.

Caso elevássemos a área de coletores solares para 4 m^2 , e utilizarmos um reservatório de 300 litros, não seria necessário aquecimento auxiliar de água em qualquer época do ano. Porém nos meses mais quentes do ano, dezembro e janeiro, teríamos uma produção excedente de energia para aquecimento de água por meio dos aquecedores solares equivalente a 188% da demanda requerida. Fato que denota o sobre-dimensionamento do sistema, porém garante seu funcionamento pleno ao longo do ano.

Comparando com as informações de venda de sistemas de aquecimento solar fornecidos pela ABRAVA (ABRAVA, 2009), cuja média instalada por residência é de $4,5 \text{ m}^2$ de coletores solares, verificamos condições similares de requerimento de área de coletores solares para a região Sul do País, que para o pleno funcionamento deverá utilizar ao menos 4 m^2 de área instalada.

As informações apresentadas para o estado do Rio Grande do Sul podem ser replicadas para os outros Estados da Região Sul do País, sendo que as simulações de área requerida de coletores solares serão próximas as calculadas para o Rio Grande do Sul.

Para regiões cuja média de insolação e temperatura são mais elevadas, podemos observar algumas diferenças significativas. Para as condições descritas anteriormente, considerando uma área de coletores solares de 2 m^2 , a **Fig. 58** mostra as curvas de produção de energia mensal, a partir da radiação diária média, para a cidade de São Pulo (SP) e algumas



localidades próximas (São José dos Campos e São Bernardo do Campo).

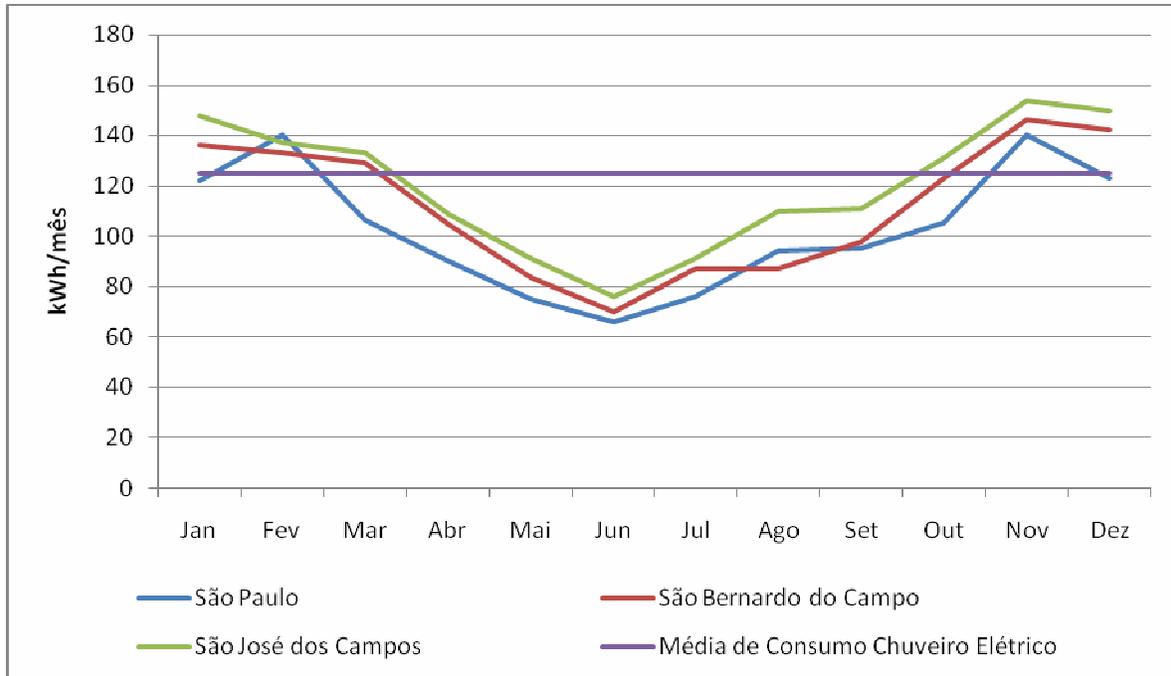


Figura 58: Curvas de produção de energia mensal ($2,0 \text{ m}^2$), partir da radiação diária média para a cidade de São Paulo (SP).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CRESESB, 2010.

Podemos notar um comportamento da curva similar ao encontrado na Região Sul, porém nos meses de menor índice de insolação o sistema de aquecimento solar de água que utilize área de coletor de 2m^2 e reservatório de 200 litros será capaz de atender aproximadamente 60% da demanda de água quente no mês de junho, na cidade de São Paulo, contra 40 % calculados na região de Porto Alegre.

Com uma área de coletores solares equivalente a 3 m^2 , associados a um reservatório de 300 litros, pode-se atender de forma satisfatória o fornecimento de água quente para uma família típica na cidade de São Paulo em praticamente todo o ano.

Para o caso da Região de Belo Horizonte a curva construída para a utilização de sistemas de coletores solares de 2m^2 de área apresenta um comportamento diferente, menos uniforme do que o verificado anteriormente.

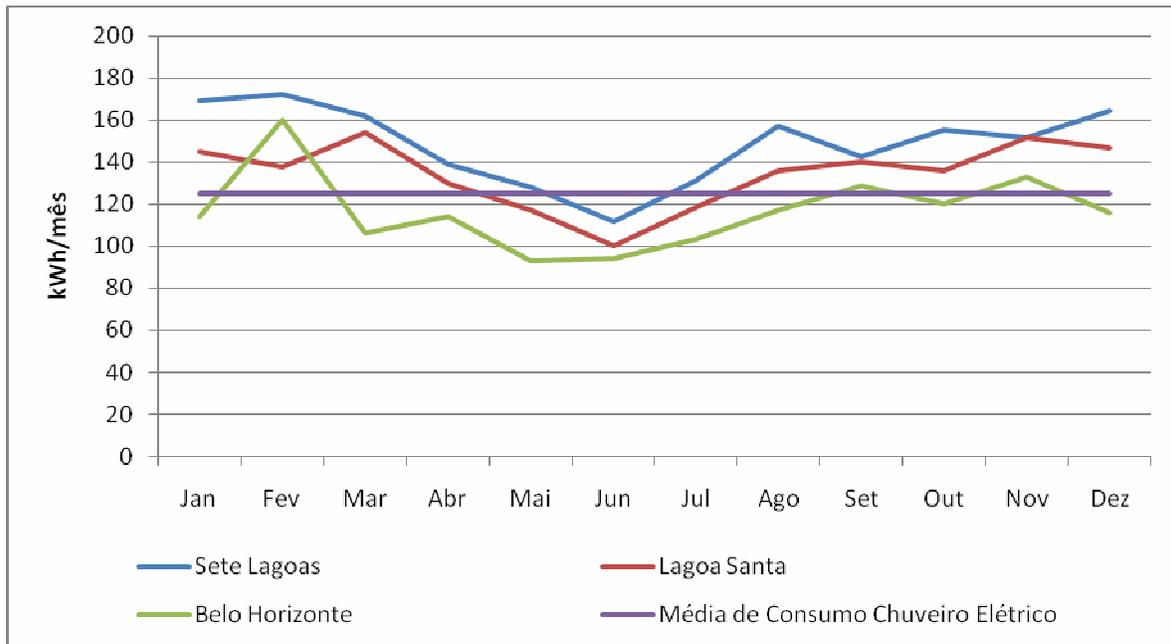


Figura 59: Curvas de produção de energia mensal ($2,0 \text{ m}^2$), partindo da radiação diária média para a cidade de Belo Horizonte (SP).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em CRESESB, 2010.

Na Fig. 59 podemos notar que o sistema proposto para atender uma família típica na cidade de Belo Horizonte não cumprirá seu papel de fornecimento de água quente de forma integral na maior parte de ano, ou seja, de março a agosto a produção de energia por meio dos coletores solares de 2m^2 não será suficiente para o aquecimento da água de uso sanitário sem a utilização de fontes auxiliares. Porém, como a diferença entre a energia fornecida e a requerida não ultrapassa a 25%, com o aumento para $2,5\text{m}^2$ de área de coletores solares é possível atender de forma satisfatória a demanda de água quente.

Outras regiões, com maior insolação, como o Centro-Oeste, em particular Brasília e Goiânia, o atendimento a famílias típicas descritas dar-se-ão de forma satisfatória com a utilização de sistemas de aquecimento solar de água com áreas de coletores de $2,5\text{m}^2$.

Porém, devemos observar que apesar do requerimento de energia para o aquecimento solar de água, na maior parte do Brasil, não necessitar de áreas de coletores superiores a $2,5\text{m}^2$ para o atendimento de uma família típica de 4 (quatro) componentes, conforme descrito anteriormente, um percentual alto de utilizadores de sistemas de aquecimento solar de água serão de famílias de poder aquisitivo mais elevado. Justificando-se assim os dados médios de venda da ABAVA (ABRAVA, 2009), cuja média instalada por residência é de $4,5 \text{ m}^2$ de coletores solares, principalmente por que estas famílias requerem volume de água quente



superiores a quatro banhos de 10 minutos diários, quando não utilizam água quente para outros fins além dos sanitários, como pias de banheiro ou torneiras de cozinha.

Considerando que além dos possíveis esforços governamentais para aumentar a participação de famílias baixa renda no consumo de sistemas de aquecimento solar de água, a tendência de vendas, conforme ABRVA (2009), será concentrada em famílias de maior poder aquisitivo e de maior requerimento energético para aquecimento de água, justificando-se a manutenção da média de sistemas de aquecimento solar de água com 4,5 m² de área de coletores.

5.3. PROJEÇÃO DE ECONOMIA DE ENERGIA COM A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

De modo geral os sistemas de aquecimento solar de água necessitam de uma fonte de energia auxiliar para suprir a demanda de energia em períodos prolongados de baixa ou nenhuma radiação solar. Normalmente as fontes auxiliares são de base elétrica, gás ou gerada por uma bomba de calor. O aquecimento auxiliar pode ser localizado internamente ao reservatório ou externamente. Quando externo, normalmente são utilizados aquecedores de passagem, prioritariamente a gás, e em alguns casos utilizam-se bombas de calor. Para o caso brasileiro, normalmente são utilizadas como fontes auxiliares resistências elétricas internas aos reservatórios. Em cidades como o Rio de Janeiro, onde existem sistemas de distribuição de gás por meio de encanamento, este se torna a opção mais utilizada como complementação energética aos sistemas de aquecimento solar.

Os métodos de dimensionamento, como “F-Chart”, consagrados por meio de livros como o de Duffie e Beckman (1991), sugerem que a fração solar anual, razão entre a energia térmica fornecida pela conversão da energia solar e a energia térmica total, seja de 75%. Fish, Guigas e Dalemback (1998) também sugerem que o sistema de aquecimento de água com energia solar deve atender entre 50 e 70% da demanda global de aquecimento (LAFAY, 2005).

Os sistemas de aquecimento de água com energia solar tradicionalmente utilizam eletricidade como fonte auxiliar de energia. Como tais sistemas são projetados para suprir a demanda mesmo nos meses de inverno, o alto custo da energia elétrica faz com que o dimensionamento se dê de forma que a fração da fonte auxiliar de energia seja pequena, empregando uma grande área de coletores solares. Esta prática aumenta o custo de implantação e fornece um excedente de calor no verão. Porém, no Brasil, a tendência mostrada



em projetos de cunho habitacional como o “Minha Casa, Minha Vida” empreendido pelo Governo Federal, apontam para utilização de sistemas de aquecimento solar com áreas coletoras reduzidas, entre 2 e 4 metros quadrados, adequados ao suprimento de água quente a uma família média de 4 pessoas. Este arranjo compromete de certa forma o desempenho dos aquecedores solares em determinadas épocas do ano, fazendo com que a fração solar seja menor que o indicado pela literatura internacional.

Lafay (2005) em seu trabalho “Análise Energética de Sistemas de Aquecimento de Água com Energia Solar e Gás”, utilizou uma metodologia de determinação do sistema de aquecimento mais eficiente, adotando como critério de atendimento um perfil de consumo de 200 litros de água a 43 °C, ocorrendo às 7 horas da manhã (30%) e entre 18 e 21 horas (70%). A altura da tomada de água de consumo (950mm), altura do termostato (680mm) e altura de reposição de água da rede (80mm) mantendo-as iguais para todas as configurações simuladas. Em sua simulação a fração solar calculada ficou entre 30% e 50% para a cidade de Porto Alegre. Sendo que a configuração que previa a utilização de dois coletores (área de 2 m²) com uma resistência elétrica como fonte auxiliar, a fração solar média foi de 47%.

Vieira (2001) realizou diversas simulações para sistemas de aquecimento solar de água utilizando termossifão, verificando que para diferentes perfis de consumo existe a necessidade de configurações diferentes dos sistemas. De acordo com o autor para um perfil de consumo distribuído ao longo do dia a relação volume do reservatório/área do coletor/volume de consumo ideal será 200litros/1 m²/50 litros, para uma fração solar de 52%. Para um perfil de consumo concentrado no fim de tarde ou noite, a relação é a mesma, porém a influência do volume do reservatório na eficiência do sistema e no cálculo da fração solar é menor.

Com o objetivo de estudar o efeito da energia solar sobre a redução e desagregação do pico de consumo de energia de chuveiros elétricos, conjugados a sistemas de aquecimento solar compactos de baixo custo, Colle (2004) realizou um estudo experimental de escala na cidade de Florianópolis em Santa Catarina (27,6° de latitude sul). Sessenta consumidores criteriosamente selecionados receberam sistemas de aquecimento solar com termossifão e trinta consumidores não contemplados com aquecimento solar foram considerados para o grupo de controle. Os resultados da pesquisa mostram que a fração solar calculada para os sistemas de aquecimento solar para o mês de fevereiro de 2004 foi de 58%, assumido a hipótese de mesmo consumo de água para os dois conjuntos de consumidores.

O Decreto n.º 49.148, de 21 de janeiro de 2008, que regulamenta a Lei n.º 14.459, de 3 de julho de 2007, e dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia



solar nas novas edificações do Município de São Paulo, prevê que a fração solar a ser atendida pelos equipamentos de aquecimento solar instalados no município deve ser de no mínimo 40%.

Na avaliação da influência da área coletora e da temperatura da água, Pereira (2002) constatou que, para uma mesma configuração de um sistema de aquecimento solar de água, quanto menor for a temperatura desejada, maior será a fração solar e, assim, menor será o custo operacional. O aumento da relação entre o que o sistema de aquecimento solar de água fornece de energia e o que é necessário para o conforto faz com que a temperatura requerida seja uma variável a influenciar o tipo de equipamento a ser escolhido, seu preço, e conseqüentemente seu prazo de retorno do investimento. Com a metodologia, desenvolvida por Pereira (2002) foi possível estudar a viabilidade econômico-financeira da implantação de instalações solares em residências unifamiliares de interesse social, considerando os programas de crédito oferecidos para financiamento, em 2001, pela Caixa Econômica Federal – CEF. Na época, haviam sido liberados recursos da ordem de R\$ 100 milhões para a compra de sistemas termossolares, em três linhas de financiamento, constantes no Programa Carta de Crédito - FGTS. O Estudo constatou que para residências de interesse social, os sistemas de aquecimento solar, considerando uma fração solar de 57%, teriam seu retorno de investimento em um prazo de 6 meses, com rentabilidade de 201%.

Com base nos estudos citados anteriormente foi construída a média de fração solar que será a mais adequada para retratar as condições típicas de operação dos sistemas de aquecimento solar no Brasil principalmente nas regiões Sul e Sudeste, que possuem a expectativa de concentrar a utilização de sistemas de aquecimento solar de água. A Tab. 12 mostra os resultados de cada uma da pesquisa citadas e a média obtida de fração solar, equivalente a aproximadamente 50%.

Tabela 12: Percentual estimado de fração solar.

Estudos/Pesquisas	Fração Solar
LAFAY, 2005	47%
Vieira (2001)	52%
Colle (2004)	58%
Decreto n.º 49.148	40%
Pereira (2002)	57%
Média	50,8%

Fonte: Elaborado pelo autor



O método utilizado para projetar a economia de energia elétrica proporcionada pela adoção de sistemas de aquecimento solar de água no Brasil, considera o consumo de energia elétrica dos chuveiros elétricos por domicílio, conforme o descrito no **sub-item 5.1**, relacionado diretamente à projeção de adesão aos sistemas solares, conforme o **sub-item 5.2** e a fração solar descrita no parágrafo anterior.

A **Fig. 60** mostra o consumo médio de energia elétrica mensal (kWh/mês) dos chuveiros elétricos por domicílios que o possuem, divididos por Estado e tendo como corte temporal os anos de 2010, 2020 e 2030.

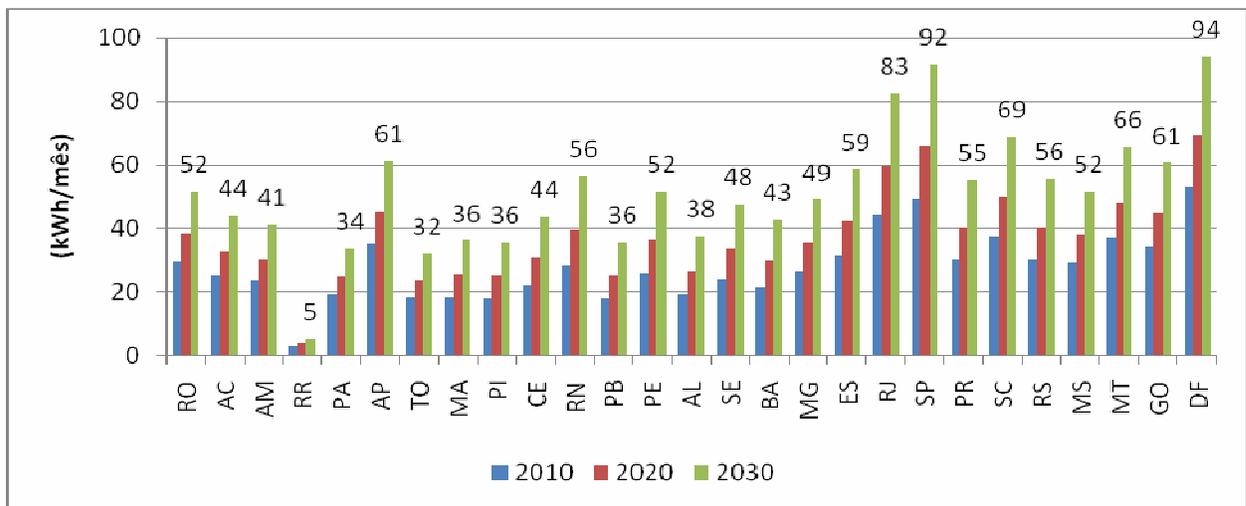


Figura 60: Projeção do Consumo médio dos chuveiros por residência (kWh/mês).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABRVA, 2009; PROCEL, 2007 e MME, 2008

A projeção de economia de energia elétrica, considerando a substituição dos chuveiros elétricos por sistemas de aquecimento solar de água, foi calculada multiplicando o consumo médio estimado dos chuveiros elétricos (kWh/mês) no período de 2010 a 2030, por Estado, pelo número estimado de domicílios que possuem sistemas de aquecimento solar de água divididos por Estado. Para o resultado foi considerada a fração solar média de 50% para sistemas de aquecimento solar com **2m²** de área coletora, suprindo água quente para uma família de 4 componentes, que utilize 4 vezes ao dia o sistema de aquecimento (4 banhos diários).

O cálculo de economia de energia leva em consideração a energia elétrica que deixará de ser consumida pelos chuveiros elétricos ao longo do período de pesquisa (2010 a 2030), considerando que os sistemas de aquecimento solar de água instalados sejam capazes, em sua configuração média, de atender as necessidades de água quente de uma típica família



brasileira.

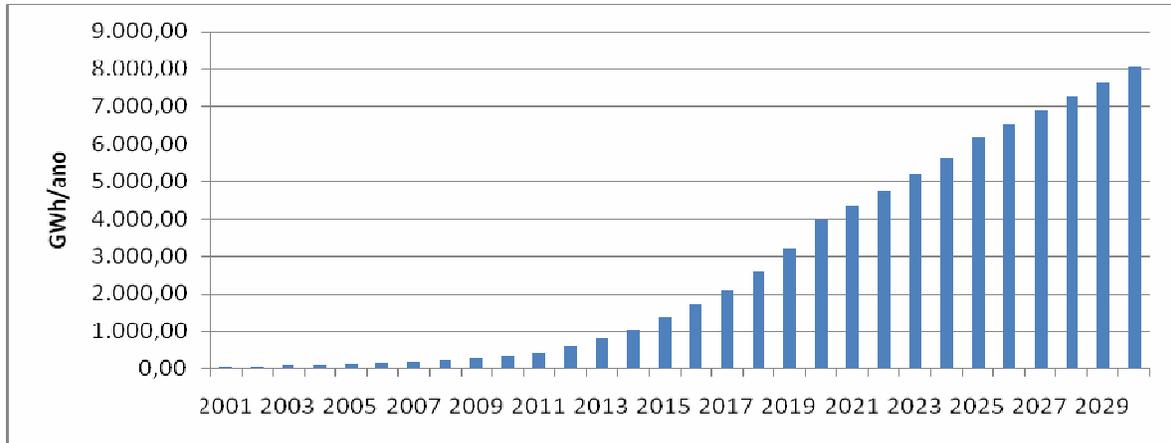


Figura 61: Projeção de economia de energia elétrica pela adoção de sistemas de aquecimento solar de água em 2030 (GWh/ano).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABRAVA, 2009; PROCEL, 2007 e MME, 2008

A **Fig. 61** mostra a curva de economia de energia elétrica para o Brasil, entre 2001 e 2030, com a adoção de sistemas de aquecimento solar de água, baseada no cálculo descrito acima. Notamos que a expectativa projetada é de atingirmos uma economia anual de energia elétrica de **8.051 GWh/ano em 2030**.

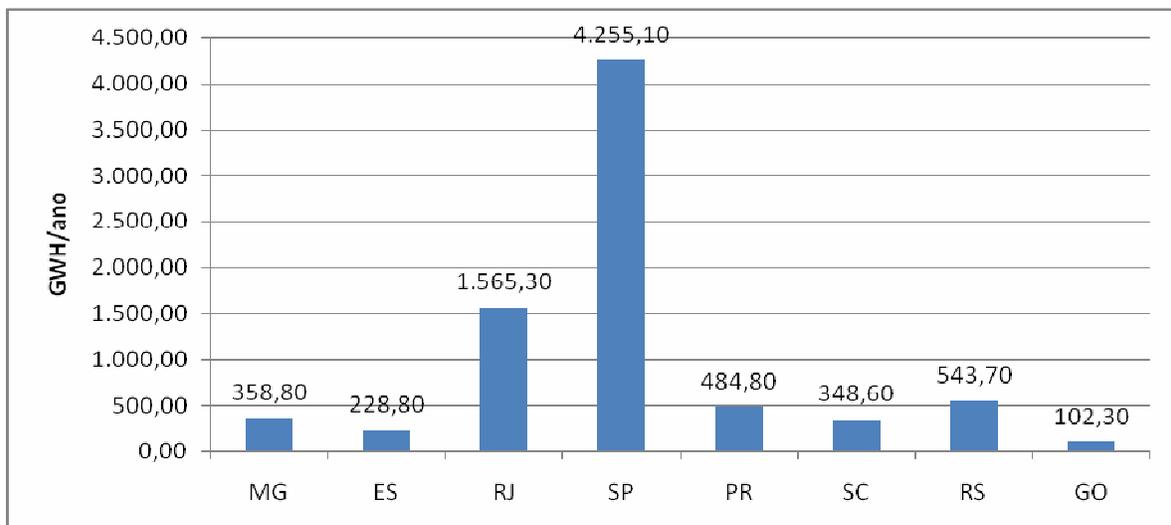


Figura 62: Projeção de economia de energia elétrica pela adoção de sistemas de aquecimento solar de água em 2030 (GWh/ano).

Elaborado pelo autor com base em ABRAVA, 2009; PROCEL, 2007 e MME, 2008



De acordo com a **Fig. 62** o Estado de São Paulo deverá sozinho concentrar aproximadamente 52% da economia de energia elétrica proporcionada pela utilização de aquecimento solar de água em 2030. Seguido pelo Rio de Janeiro com aproximadamente 19% do total de economia. Os estados da Região Sul deverão responder por aproximadamente 17% da economia total de energia elétrica.

Os valores de economia de energia mostrados na **Fig. 61** podem ser expressos na energia equivalente produzida por usinas hidrelétrica ou térmica típicas, cuja construção foi evitada devido à utilização de sistemas de aquecimento solar de água. Considera-se ainda o investimento que foi evitado para a construção dessa usina, em termos do custo de expansão do sistema elétrico, levando em conta a geração, transmissão e distribuição da energia.

Para o cálculo da usina equivalente evitada, definimos o fator de carga como a relação entre o consumo médio anual e o consumo máximo diário de energia elétrica em um determinado sistema. O fator de capacidade é definido como a relação entre a demanda média de um sistema e a máxima capacidade de geração instalada no mesmo.

Consideramos que para usinas de geração hidrelétrica o fator de capacidade típico é de 0,60 e para usinas de geração térmica o fator de capacidade típico é de 0,80. O valor do fator de carga típico para o sistema elétrico brasileiro é de 0,70 (MME,2007).

As Tab. 13 e 14 foram construídas considerando que a potência firme foi obtida por meio da divisão da energia economizada pelo total de horas de disponibilidade anual, equivalente à 8.760 horas. Portanto, a potência firme ou a demanda retirada do sistema pela utilização dos sistemas de aquecimento solar de água equivalem a **919,12 MW**. A potência instalada equivalente foi obtida por meio da divisão da potência firme pelos fatores de capacidade e carga típicos do setor elétrico.



Tabela 13: Estimativa Usina Termoelétrica equivalente.

Usina Termoelétrica Equivalente Média	
Economia Energia (MWh)	8.051.508,26
Período (anos)	1
Média (MWh)	8.051.508
Potência Firme (MW)	919,12
Fator de capacidade	0,8
Fator de Carga	0,7
Potência Instalada - Equivalente (MW)	1.641,29
Custo (R\$/MW)	1.800.000,00
Custo Evitado (R\$)	3 bilhões

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 14: Estimativa Usina Hidroelétrica equivalente.

Usina Hidroelétrica Equivalente - Média	
Economia Energia (MWh)	8.051.508,26
Período (anos)	1
Média (MWh)	8.051.508
Potência Firme (MW)	919,12
Fator de capacidade	0,6
Fator de Carga	0,7
Potência Instalada - Equivalente (MW)	2.387,33
Custo (R\$/MW)	3.000.000,00
Custo Evitado (R\$)	7 bilhões

Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, de posse dos valores típicos para os fatores de capacidade e de carga, e considerando a economia total de energia elétrica em 2030, equivalente a **8.051 GWh/ano**, teremos evitado a construção de uma usina hidrelétrica de aproximadamente **2.387 MW** ou então uma usina termoelétrica de **1.641 MW**, considerando uma demanda retirada do sistema equivalente a **919,12 MW**. Considerando ainda um custo aproximado de R\$ 3,0 milhões para instalação de um MW de geração hidrelétrica e R\$ 1,8 milhões para instalação de um MW de geração termoelétrica, evitaremos investimentos de **R\$ 7,16 bilhões** ou **R\$ 2,95 bilhões** para a construção destas usinas respectivamente.



Segundo a ANEEL, a tarifa média de fornecimento de energia elétrica no País, considerando todas as classes de consumo é de aproximadamente R\$ 271,44 para o ano de 2010. Considerando a economia de energia proporcionada pela utilização de sistemas de aquecimento solar de água, equivalente a **8.051 GWh/ano**, teremos uma economia de recursos com a aquisição de energia equivalente a **R\$ 2,18 bilhões**.

Podemos ainda estimar a economia média de recursos por parte dos consumidores que optarem pela adoção de sistemas de aquecimento solar de água. Para tanto, consideramos as tarifas médias regionais de fornecimento das concessionárias³⁹ para o ano de 2009 conforme valores mostrados na **Tab. 15**.

Tabela 15: Tarifas Médias de Fornecimento de Energia Elétrica (R\$/MWh)

Classe de Consumo/Região (R\$/MWh)	Centro Oeste	Nordeste	Norte	Sudeste	Sul	Brasil
Residencial	283,08	281,33	303,68	294,11	273,39	288,18

Fonte: SAD/ANEEL, 2009

Como comparação a **Fig. 63** mostra o consumo médio residencial de energia elétrica em 2030 e o custo médio desta energia, considerando as tarifas médias vigentes em 2009. Mantemos as tarifas médias de 2009 para o cálculo dos custos em 2030, inferindo que a proporção das tarifas mantenha-se a mesma em relação aos orçamentos domésticos estimados para o final do período.

³⁹ SAD – Sistema de Apoio a Decisão – ANEEL – Tarifas Médias de Fornecimento Por Região (WWW.aneel.gov.br) em 19/09/2009

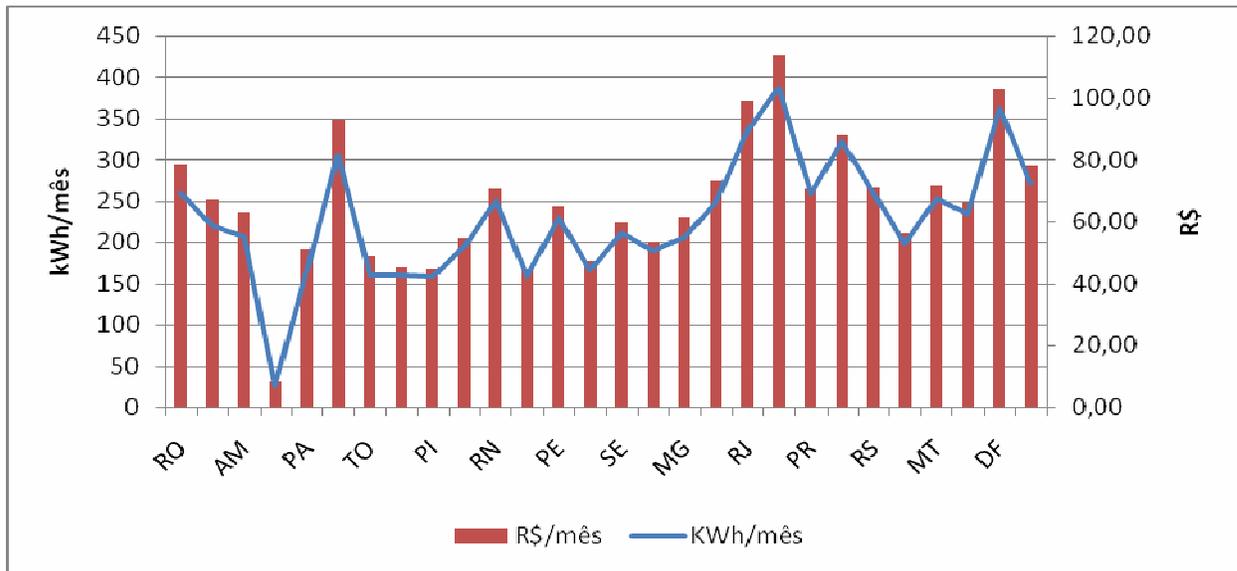


Figura 63: Projeção de custo da energia elétrica e seu consumo por domicílio em 2030 (R\$/mês e KWh/mês).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABRAVA, 2009; PROCEL, 2007 e MME, 2008

Podemos notar que os estados das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste apresentam os maiores custos com a aquisição de energia elétrica, principalmente pelo maior consumo absoluto de energia elétrica.

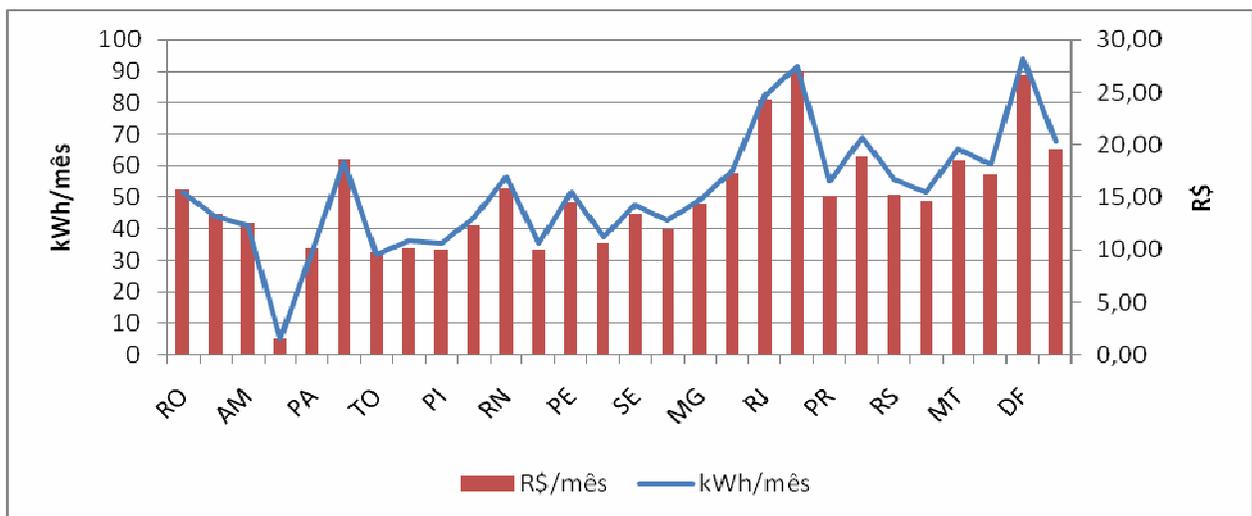


Figura 64: Projeção economia de energia elétrica e o custo evitado por consumidor em 2030 (R\$/mês e KWh/mês).

Fonte: Elaborado pelo autor com base em ABRAVA, 2009; PROCEL, 2007 e MME, 2008

A Fig. 64 mostra as economias de energia elétrica por domicílio proporcionada pela adoção de sistemas de aquecimento solar de água em 2030, projetando ainda o custo evitado



para cada domicílio considerando as tarifas médias residenciais vigentes em 2009.

Observamos que a economia de energia elétrica estimada por domicílio equivale ao consumo evitado de energia elétrica dos chuveiros considerando, conforme o descrito no Capítulo 3.4, a fração solar do coletor igual a 1, ou seja, estimamos que as residências consigam atingir o máximo aproveitamento solar evitando assim o uso de chuveiros elétricos.

Notamos que a economia média de energia elétrica para o Brasil em 2030 será de 68kWh/mês por unidade consumidora, equivalendo a uma economia financeira de **R\$ 19,59** por mês, ou equivalente a **R\$ 234,75 por** ano por domicílio, considerando as tarifas vigentes em 2009. Observamos que a utilização das tarifas vigentes como parâmetro para o cálculo da economia financeira proporcionada pela utilização de sistemas de aquecimento solar de água, deve-se ao fato de não termos metodologia disponível que permita estimar o valor das tarifas de energia elétrica em 2030.

De acordo com Fantinelli (2006), no ano de 2001 foi realizada pesquisa para obtenção do custo do coletor solar entre 11 fabricantes e revendas de aquecedores solares em Campinas (SP) demonstrando que o valor dos sistemas de aquecimento de água para o atendimento de uma família com 4 a 5 membros, equivalentes a 2 m² de coletores solares, variavam de US\$ 645,17 e US\$ 1.301,00. Esta variação de custo refere-se aos materiais empregados e ao nível de eficiência do sistema.

Em julho de 2005, novas pesquisas foram realizadas entre alguns fabricantes da região de Campinas que dispunham de sistemas dimensionados para suprir a demanda de água quente para famílias com 4 a 5 membros. Considerando o dimensionamento típico e o mais vendido, para a classe média na região de Campinas, obteve-se o preço médio entre US\$ 114,00 e US\$ 208,00 o m² de coletor solar (Fantinelli 2006).

Na análise dos preços dos sistemas de aquecimento solar de água é preciso ter atenção para o fato de que no preço do metro quadrado não está incluído o tamanho do reservatório térmico (e o seu desempenho energético), o que leva a equívocos quanto ao preço final da tecnologia. O mesmo acontece quando se analisa o preço final sem verificar a área dos coletores solares e sua eficiência energética. Para uma investigação sobre o custo do kWh por metro quadrado instalado, para os sistemas de aquecimento solar de água de aquecimento de pequenas quantidades de água (de 110 a 200 litros), novas pesquisas foram realizadas, de junho a novembro de 2005, entre os fabricantes brasileiros. A investigação abrangeu os



coletores acoplados que possuem etiqueta ENCE⁴⁰ do INMETRO, estão sendo produzidos e comercializados pelos fabricantes brasileiros e que tiveram os seus preços liberados para esta pesquisa (Fantinelli, 2006). O custo do kWh/m² pesquisado ficou entre R\$ 10,20 e R\$ 18,30.

A constatação é que, embora os sistemas de aquecimento solar de água tenham um preço inicial competitivo, os preços fixos de mão de obra e acessórios quando distribuídos pela metragem da área coletora, passam a onerar em até 44% o kWh por metro quadrado instalado.

Os avanços tecnológicos do produto e dos seus processos de produção precisam atingir uma boa relação custo-desempenho, a fim de que possam ser vencidas as barreiras para o seu emprego em larga escala. Duffie e Beckman (1991) ressaltam que o desenho de um sistema termossolar deve ser concebido para que se obtenha um mínimo de custo de energia, com um desempenho que esteja relacionado com a capacidade de investimento do usuário. Desta forma, um equipamento de menor desempenho térmico pode, em determinado estágio de desenvolvimento de uma comunidade ou sociedade, ser a solução mais adequada.

Para avaliarmos a viabilidade econômica da adoção de sistemas de aquecimento solar de água para os domicílios que possuam 4 ou 5 integrantes, utilizamos o Simulador para Análise Financeira em Projetos de Eficiência Energética – SAFEE⁴¹, desenvolvido pelo PROCEL. Os cálculos se baseiam no valor presente das economias financeiras:

$$VP_{EA} = \sum_{t=1}^T EA_t \cdot \frac{1}{(1+r)^t} = EA_1 \cdot \frac{1}{(1+r)^1} + EA_2 \cdot \frac{1}{(1+r)^2} + \dots + EA_T \cdot \frac{1}{(1+r)^T}$$

Onde:

VP_{EA} - Valor Presente total de todas as economias anuais (R\$)

T – Números de anos da análise

AE_t – Economias anuais no ano t (kWh/ano)

r – Taxa de desconto (%)

E no valor presente dos investimentos:

$$VP_I = \sum_{t=0}^T I_t \cdot \frac{1}{(1+r)^t} = I_0 \cdot \frac{1}{(1+r)^0} + I_1 \cdot \frac{1}{(1+r)^1} + \dots + I_T \cdot \frac{1}{(1+r)^T}$$

VP_i - Valor Presente dos investimentos (R\$)

⁴⁰ ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

⁴¹ Disponível em www.procelinfo.com.br acessado em 20/09/2009



T – Números de anos da análise

I_t – Investimentos ano (R\$)

r – Taxa de desconto (%)

O valor presente líquido (VPL) de um projeto é igual as suas economias líquidas ao longo da sua vida. É o valor monetário absoluto de um projeto.

$V=VPL = \text{Valor Presente das economias} - \text{Valor Presente dos Investimentos} = VP_{EA} - VP_I$.

A relação benefício-custo (RBC) e a taxa interna de retorno mostram o valor relativo de um projeto, onde $RCB = VP_{EA} / VP_I$, sendo a $RCB > 1$, o projeto é viável. A TIR é uma taxa de desconto hipotética que implica em $RBC = 1$ ou $VPL = 0$. Se a TIR é maior ou igual à taxa de desconto utilizada na análise, o investimento é considerado válido.

Temos com resultado os valores apresentados na Tab. 16 considerando a aplicação do método descrito nos parágrafos anteriores e considerando que a economia média anual para o Brasil com energia elétrica proporcionada pelo uso dos coletores solares é de **R\$ 234,75** que o investimento na aquisição e instalação dos sistemas solares seja de R\$ 1.500,00, associado às manutenções quinqüenais cujo custo estimado é de R\$30,00. Além disso é considerada uma taxa de desconto de 12% para um período de análise de 15 anos.

Tabela 16: Resultados da análise econômica para adoção de sistemas de aquecimento solar residencial.

Valor Presente Líquido (VPL)	R\$ 152
Relação Benefício-Custo (RBC)	1,1
Taxa Interna de Retorno (TIR)	14%
Retorno simples (anos)	6,2

Fonte:Elaborada pelo autor com base em PROCEL, 2009

A viabilidade econômica da substituição dos chuveiros elétricos pode ser verificada pela relação custo benefício igual a 1,1, ou seja, para cada unidade monetária investida o retorno será superior em 10%. Verifica-se também que a taxa interna de retorno (TIR) equivalente a 14% é superior à taxa básica de remuneração de mercado utilizada no cálculo, equivalente a 12%.

Apesar da forma simples de cálculo de viabilidade econômica adotada, podemos conferir pelo resultado que é viável a adoção de sistemas de aquecimento solar de água por uma parte significativa da população.

Outra maneira de avaliarmos a viabilidade de termos um programa de fomento a utilização de sistemas de aquecimento solar de água abrangente, dá-se pela previsão da economia financeira direta pela não construção de novos empreendimentos em geração,



notadamente de geração de base térmica, cujo custo evitado seria de **R\$ 2,95 bilhões**. Justificando desta forma investimentos estatais e linhas especiais de financiamento para a consecução de um programa nacional de fomento a utilização de sistemas de aquecimento solar de água.

De acordo com a **Tab. 17**, referenciada com dados obtidos no PNE 2030, temos os investimentos necessários para instalar um kW de geração de diversas fontes energéticas.

Tabela 17: Custos de Investimento Referenciais na Geração de Energia Elétrica (US\$/kW)

Fonte de Geração	US\$/kW
Hidrelétrica	1.300,00
PCH	1.200,00
Cogeração/Biomassa	900,00
Centrais Eólicas	1.200,00
Resíduos sólidos urbanos	1.250,00
Centrais Nucleares	2.200,00
Térmicas a Carvão	1.600,00
Térmicas a Gás Natural	750,00

Fonte:Elaborada pelo autor com base em PNE 2030

De acordo com a estimativa de Fantinelli (2006) o preço médio do metro quadro (m^2) instalado de coletores solares varia de US\$ 114,00 e US\$ 208,00. Considerando que $1m^2$ de coletor solar tem a capacidade instalada de 0,7 kW, seriam necessários $1,43m^2$ de coletor para fornecer um 1 kW de potencia. Esta área instalada de coletor ($1,43m^2$), considerando o maior valor de mercado (US\$ 208,00), equivale a um custo de instalação de US\$ 298,00. Estimando que a média do kW instalado referente a todas as fontes descritas na Tab. 17 equivale a aproximadamente US\$ 1.300,00, o investimento geração de energia por meio de aquecimento solar de água representa apenas 27% do custo total de implementação de geração por outras fontes convencionais de energia.



5.4. PROJEÇÃO DE EMISSÕES EVITADAS DE CO₂ E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS COM A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

O PNE 2030 relata que em razão do aumento da participação de fontes renováveis na matriz energética, o nível de emissões de CO₂ deverá se ampliar ao longo do horizonte do estudo, porém com taxas médias de crescimento abaixo das taxas da demanda interna de energia. De fato, projetam-se emissões de pouco mais de 770 milhões de toneladas de CO₂ em 2030, com taxa média anual de crescimento de 3,5% sobre 2005, enquanto que a demanda de energia cresce a 3,8% ao ano.

Para calcularmos as emissões de CO₂ evitadas pela economia de energia elétrica proporcionada pela utilização de sistemas de aquecimento solar de água, utilizaremos como base os fatores de emissão calculados de acordo com a ferramenta metodológica “TOOL TO CALCULATE THE EMISSION FACTOR FOR AN ELECTRICITY SYSTEM”⁴². Esta ferramenta é aprovada e utilizada pelo Conselho Executivo do MDL⁴³ tendo como objetivo estimar a contribuição, em termos de redução de emissões de CO₂, de um projeto de MDL que gere economia de energia elétrica para o sistema.

Resumidamente, o fator de emissão do sistema interligado⁴⁴ para fins de MDL é uma combinação do fator de emissão da operação do sistema elétrico, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ da energia despachada na margem operacional, com o fator de emissão da margem de construção, que reflete a intensidade das emissões de CO₂ das últimas usinas construídas, tanto hidroelétricas como termoelétricas. É um algoritmo amplamente utilizado para quantificar a contribuição futura de uma usina que vai gerar energia elétrica para a rede em termos de redução de emissões de CO₂ em relação a um cenário de base. Esse fator serve para quantificar a emissão que está sendo deslocada na margem. A sua utilidade está associada a projetos de MDL e se aplica, exclusivamente, para estimar as reduções certificadas de emissões (RCEs) dos projetos de MDL.

A utilização do método descrito compilada no documento: “Fatores de Emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil - Ano Base 2008” (MCT, 2009) apresenta-nos o Fator de Emissões **de 0,1458 tCO₂/MWh** para o sistema

⁴² Disponível em www.mct.gov.br (Tema: Mudanças Climáticas), acessado em 17/09/2009

⁴³ MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

⁴⁴ Sistema Interligado considera todas as fontes energéticas utilizadas para geração de energia elétrica (hidroelétricas, termoelétricas, biomassa, carvão mineral, eólica e nucleares).



interligado brasileiro que abrange todos os tipos de geração elétrica (térmica, hidráulica e nuclear), além dos sistemas de transmissão.

De posse do valor médio de emissões de CO₂ contabilizado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT e considerando as economias de energia calculadas para a utilização de sistemas de aquecimento solar de água, conforme o descrito no sub-item 5.3, **Fig. 61**, equivalentes a **8.051 GWh/ano** em 2030, projetamos as emissões de CO₂ evitadas no período entre 2010 e 2030.

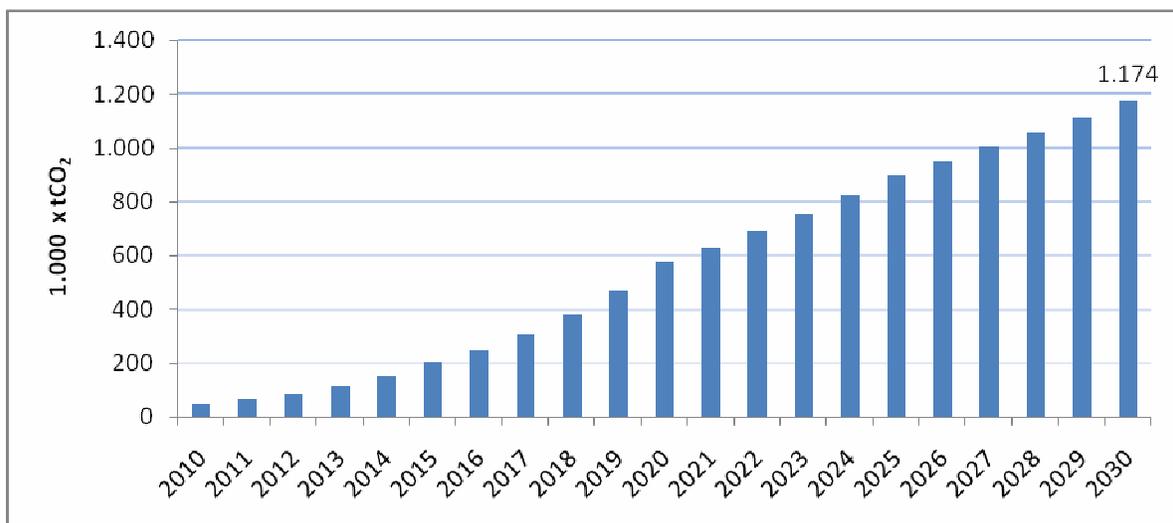


Figura 65: Projeção de emissões de CO₂ evitadas anualmente (tCO₂).

Fonte: Elaborada pelo autor, com base em MCT, 2009.

A **Fig. 65** mostra a evolução da quantidade de emissões evitadas, sendo que em 2030 serão evitadas as emissões de **1,17 milhões de toneladas de CO₂**. A quantidade acumulada de emissões evitadas entre 2010 e 2030 equivale a **11,72 milhões de toneladas de CO₂**.

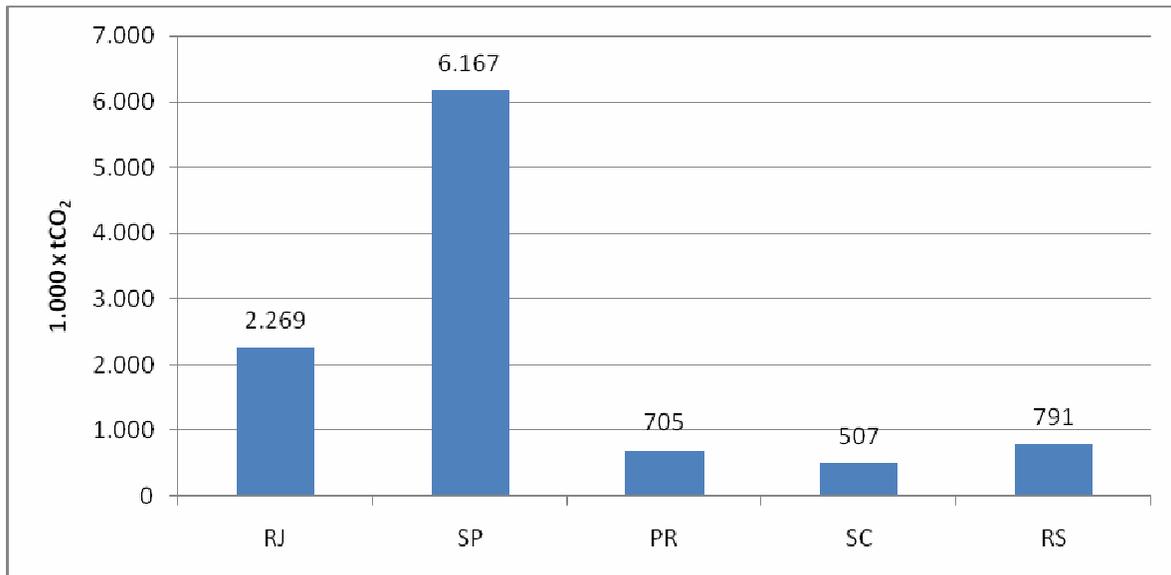


Figura 66: Projeção de emissões de CO₂ evitadas pelos principais Estados no período de 2010 a 2030 (tCO₂).

Fonte: Elaborada pelo autor, com base em MCT, 2009.

A Fig. 66 mostra as emissões evitadas acumuladas entre 2010 e 2030 para os principais Estados brasileiros, equivalentes a 89% do total de emissões evitadas. O Estado de São Paulo será responsável por evitar 52,6% do total de emissões evitadas.

O Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (MMA, 2008) apresenta como necessários os esforços na direção da eficiência energética e da conservação de energia, como forma de redução de consumo, evitando geração adicional e reduzindo as emissões de gases de efeito estufa. O PNMC cita a implementação de uma Política Nacional de Eficiência Energética, conforme descrita no PNE 2030, sendo que esta representará a redução no consumo de energia elétrica da ordem de 10% no ano de 2030, equivalente a uma economia de 106 TWh, o que poderá evitar a emissão de 15,45 milhões de toneladas de CO₂ naquele ano, em uma estimativa conservadora.

Como base de comparação, com utilização de sistemas de aquecimento solar de água, em 2030, podemos evitar a emissão de **1,17 milhões de toneladas de CO₂**, ou seja, aproximadamente **3,9%** das metas totais de mitigação previstas pelo para o setor energético brasileiro, incluindo combustíveis fósseis.

Considerando as perspectivas de expansão do sistema elétrico previstas no PNE 2030, cuja concepção prevê a construção de varias usinas termoeletricas, inclusive usinas movidas a carvão mineral. Os estudos realizados para o PNE 2030 indicam que o carvão mineral, cujas reservas estão localizadas principalmente na Região Sul, em grande quantidade, são



adequadas para a produção de energia elétrica, apresentando custos competitivos, em especial no período 2015/2030. Observamos, porém, que o PNE considera neste comentário apenas a viabilidade econômica da utilização do carvão mineral, não considerando os impactos ambientais associados. O PNE prevê uma expansão mínima de 3,5 GW, conforme o estabelecido pelos estudos, podendo alcançar 6,0 GW, adicionais em relação à capacidade instalada de 2,5 GW, prevista para o ano de 2015. Portanto a participação do carvão mineral na geração de energia elétrica deverá passar da atual participação de 1,7% (2005) para 3,0% (2030).

Quanto ao consumo específico do carvão mineral, tem-se que o valor observado nas usinas em operação no Rio Grande do Sul não é, hoje, inferior, a 1.200 kg/MWh enquanto que na usina de Jorge Lacerda não supera, em média, a 700 kg/MWh. Por outro lado, todas as usinas em projeto estimam um consumo específico entre 1.000 e 1.100 kg/MWh.

Segundo ainda o PNE a energia elétrica produzida por meio da queima de carvão mineral deverá ser de aproximadamente 31,5 TWh/ano em 2030, apresentando um crescimento de 416% quando comparado ao total gerado em 2005, equivalente a 6,1 TWh/ano.

A expansão da atividade siderúrgica no país e de plantas termelétricas a carvão mineral, que levam a um aumento do consumo do carvão mineral e derivados, fazem com que esse energético passe a responder por cerca de 18% das emissões totais de CO₂ em 2030 (PNE, 2030).

De acordo com SOUZA (2009) um recente trabalho desenvolvido pela União Europeia mostra que fontes de geração como carvão mineral emitem em média um total de **0,8 tCO₂** por MWh de energia gerada. Portanto, em 2030 a expectativa que a geração de energia elétrica por meio de carvão mineral emita o equivalente a **25,2 milhões de toneladas de CO₂**.

Em comparação as emissões equivalentes do sistema interligado nacional, equivalentes a **0,1458 tCO₂ por MWh**, as emissões relativas exclusivamente as usinas térmicas à carvão mineral são 448% maiores. Portanto, se a energia elétrica economizada pela adoção de sistemas de aquecimento solar de água, equivalentes a **8.051 GWh/ano**, fossem utilizadas para substituir à geração de energia elétrica a carvão mineral, as emissões evitadas no ano de 2030 seriam equivalentes a **6,44 milhões de tCO₂**. Este valor seria equivalente a 20% das metas de reduções de emissões previstas no PNMC para o setor energético.

Os resultados das simulações, apresentadas no **Capítulo 5.3**, indicam que a utilização de coletores solares podem substituir uma usina térmica a carvão mineral de **1.641 MW**, desta forma, na prática poderíamos prescindir da construção deste tipo de usina e evitar as emissões



descritas anteriormente.

Além das emissões de CO_2 , a produção de energia elétrica a partir do carvão mineral, também provoca emissões de outros gases nocivos ao meio ambiente como os óxidos de enxofre (SO_x) e de nitrogênio (NO_x), além de material particulado.

As emissões de óxidos de enxofre, mais precisamente o SO_2 e SO_3 , são reconhecidos como importantes poluidores do ar, e são gerados pela queima de combustíveis fósseis. O carvão mineral apresenta em média 6% de seu peso equivalente ao enxofre, e sua queima é a principal responsável pelas emissões de óxidos de enxofre, aproximadamente 20 milhões de toneladas por ano em todo o mundo (Hinrichs, 2008). O aumento das concentrações atmosféricas dos óxidos de enxofre estão associados ao aumento de morbidez, conforme estudos epidemiológicos recentes apontados por Hinrichs (2008), culminado de forma determinante para o aumento do impacto negativo sobre a saúde da população. Outro fenômeno importante associado às emissões de óxidos de enxofre é a “chuva ácida”.

A queima de carvão libera óxidos de enxofre, cuja reação com a água forma ácido sulfúrico, que invariavelmente se precipita em forma de chuva ou como parte desta. Os poluentes do ar são carregados pelos ventos e viajam milhares de quilômetros; assim, as chuvas ácidas podem cair a grandes distâncias das fontes poluidoras, inclusive atravessando países. Ao cair na superfície, à chuva ácida, altera a composição química do solo e das águas, atinge as cadeias alimentares, destroem florestas e lavouras, atacam estruturas metálicas, monumentos e edificações.

Os óxidos de nitrogênio não apresentam efeitos diretos sobre os seres humanos com os atuais níveis de emissões, porém o seu efeito secundário, denominado “smog fotoquímico⁴⁵” é responsável por problemas respiratórios, irritação nos olhos e diminuição da visibilidade.

Os materiais particulados ou “aerossóis” possuem entre 1 e 1.000 microns de diâmetro e são responsáveis por doenças respiratórias e agravamento de doenças cardiovasculares pré-existentes. Estima-se que só nos Estados Unidos sejam emitidos anualmente sete milhões de toneladas de particulados só na produção de energia elétrica de base térmica (Hinrichs, 2008).

Segundo Goldemberg (2008) na Europa as usinas de geração de eletricidade baseadas em carvão emitem o equivalente a 0,95 kg de SO_2 , 0,58kg de NO_x e 0,190 kg de particulados por MWh gerado. A mesma geração nos Estados Unidos é responsável por emitir 5,9 kg de SO_2 e 2,7 kg de NO_x por MWh gerado.

⁴⁵ Smog Fotoquímico : poluição do ar causada pela reação de hidrocarbonetos com gases presentes na atmosfera, O_3 , NO e NO_2 . A característica principal é a formação de uma espécie de neblina composta por poluição, vapor de água e outros compostos químicos.



Portanto, a economia de energia proporcionada pelo equipamento solar de água, equivalente a **8.051 GWH/ano**, poderá proporcionar, considerando os número europeus, a mitigação de emissões de óxidos de enxofre equivalentes a **7.648 tSO_x**, de óxidos de nitrogênio equivalentes a **4.669 tNO_x** e **1.529 toneladas de material particulado**.

Podemos ainda considerar que, além de sua exploração energética, os maiores impactos socioambientais do carvão decorrem de sua mineração, que afeta principalmente os recursos hídricos, o solo e o relevo das áreas circunvizinhas. A abertura dos poços de acesso aos trabalhos de lavra, feita no próprio corpo do minério, e o uso de máquinas e equipamentos manuais, como retroescavadeiras, escarificadores e rafas, provocam a emissão de óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e outros poluentes da atmosfera. Durante a drenagem das minas, feita por meio de bombas, as águas sulfurosas são lançadas no ambiente externo, provocando a elevação das concentrações de sulfatos e de ferro e a redução de pH no local de drenagem. O beneficiamento do carvão gera rejeitos sólidos, que também são depositados no local das atividades, criando extensas áreas cobertas de material líquido, as quais são lançadas em barragens de rejeito ou diretamente em cursos de água. Grande parte das águas de bacias hidrográficas circunvizinhas é afetada pelo acúmulo de materiais poluentes (pirita, siltito e folhelhos). As pilhas de rejeito são percoladas pelas águas pluviais, ocasionando a lixiviação de substâncias tóxicas, que contaminam os lençóis freáticos. A posterior separação de carvão coqueificável de outras frações de menor qualidade forma novos depósitos, que cobrem muitos hectares de solos cultiváveis (ANEEL, 2005).

Podemos considerar que além das economias financeiras inerentes a economia de energia e a não construção de usinas térmicas adicionais, devemos estimar as economias financeiras associadas à mitigação dos impactos ambientais causados pela mineração, beneficiamento e exploração energética do carvão mineral. Como exemplo, no mercado europeu, os créditos de carbono são negociados por volta de US\$ 9,25 por tonelada de CO₂ evitado. No caso da eficiência energética proporcionada pela adoção dos coletores solares em substituição a geração térmica a carvão, poderíamos evitar a emissão de 6 milhões de toneladas de CO₂, ou seja, seria possível obter aproximadamente US\$ 55 milhões com projetos de MDL.

Podemos considerar que a substituição da construção de usinas térmicas movidas a carvão mineral por ações de eficiência energética, principalmente a adoção de sistemas de aquecimento solar de água, pode contribuir de forma ampla a mitigação de impactos negativos ao meio ambiente, sendo viável economicamente tanto no sentido energético como ambiental.



A Tab. 18 apresenta o resumo das emissões evitadas por tipo de geração com a economia de energia proporcionada pela utilização de sistemas de aquecimento solar de água até o ano de 2030.

Tabela 18: Resumo das projeções de emissões evitadas até o ano de 2030

Tipo de Geração	Período 2010 a 2030			
	Emissões Evitadas (milhões tCO ₂)	tSO _x	tNO _x	Toneladas de material particulado
Sistema Elétrico	11,72	-	-	-
Usinas Carvão Mineral	25,20	7.648	4.669	1.529

Fonte: Elaborada pelo autor

6. ANÁLISE DE RESULTADOS NO HORIZONTE DO PNE 2030

As projeções de consumo de energia elétrica para o Brasil, principalmente no segmento residencial, estão diretamente ligadas à dinâmica populacional e ao desempenho econômico previstos para o País ao longo do período estabelecido de estudo, cujo horizonte é o ano de 2030.

As projeções referentes ao crescimento populacional, descrita no capítulo “4.1 Projeção do Crescimento Populacional”, revelam que a população brasileira atingirá em 2030 o total de **238 milhões de pessoas**, perfazendo uma taxa de crescimento médio de 1,1% ao ano desde 2000, conforme o observado na Tab. 19.

Tabela 19: Resumo da projeção de crescimento populacional até o ano de 2030

Regiões	2010	2.020	2.025	2.030
Norte	16.107	18.970	20.256	21.629
Nordeste	54.694	59.348	61.455	63.636
Sudeste	84.289	93.108	97.133	101.332
Sul	28.799	31.592	32.713	33.874
Centro-Oeste	14.141	16.411	17.205	18.038
BRASIL	198.030	219.429	228.762	238.509

Fonte: Elaborada pelo autor

As Regiões Norte e Centro-Oeste tendem a manter um crescimento demográfico acima do estimado para as demais regiões, aumentando a participação relativa sobre a população total. Neste contexto a participação percentual da população da Região Norte passa de aproximadamente 8,5% em 2010 para 9,07% em 2030. O percentual de participação da Região Centro-Oeste passa de 7,14% em 2010 para 7,56% em 2030.



Podemos observar como fato importante para a pesquisa que a Região Sudeste projeta-se como a região mais populosa em 2030, ultrapassando o patamar de 100 milhões de habitantes, participando com 42,49% do total da população brasileira. Outro fato relevante diz respeito a projeções estabelecidas para as regiões que mais utilizam aquecimento de água para fins sanitários, Sudeste, Centro-Oeste e Sul, cuja população projetada para 2030 será de aproximadamente **153,2 milhões de habitantes**, equivalente a **64,25%** da população brasileira.

Portanto, apesar de uma desaceleração nas taxas de crescimento populacional até o ano de 2030, as regiões mais propícias a adotarem sistemas de aquecimento solar de água concentrarão a maior parte da população brasileira, contribuindo, desta forma, para que os programas de incentivo ao uso da energia solar possam abranger um maior número de consumidores.

Além das projeções absolutas de crescimento populacional, outro fator relevante e imprescindível à caracterização do consumo residencial de energia elétrica, refere-se à projeção dos domicílios permanentemente ocupados. A projeção realizada revela que em 2030 o número de domicílios particulares permanentes no Brasil atingirá patamar de **85,8 milhões de unidades**, caracterizando um aumento de 34,26% em relação ao ano de 2007, cujo resumo pode ser visto na Tab. 20.

Tabela 20: Resumo da projeção de crescimento domiciliar até o ano de 2030

Regiões	2010	2.020	2.025	2.030
Norte	4.264	5.387	5.945	6.490
Nordeste	15.074	17.675	18.957	20.202
Sudeste	26.971	32.766	35.683	38.553
Sul	9.537	11.676	12.753	13.820
Centro-Oeste	4.534	5.697	6.268	6.820
BRASIL	60.380	73.201	79.606	85.885

Fonte: Elaborada pelo autor

A projeção mais relevante para a pesquisa revela que em 2030, as regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, respectivamente as que possuem potencial para utilização de aquecimento solar de água, possuirão aproximadamente **68,92%** dos domicílios permanentes do País, equivalente a **59,2 milhões de unidades**. Este percentual caracteriza um aumento superior ao crescimento populacional destas regiões, citado anteriormente como 64,25%.

O crescimento relativamente maior do número de domicílios em relação ao crescimento populacional explica-se pela tendência de diminuição do número de habitantes por domicílios,



seja influenciado pela tendência de diminuição do número de filhos entre as famílias, seja pela tendência de domicílios habitados por um número maior de pessoas solteiras ou idosas. Os Estados das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste apresentam em média 2,59 habitantes por domicílios em 2030. Sendo que esta média em 2001 era de 3,49. O Estado brasileiro que apresenta a menor relação de habitantes por domicílios, em 2030, será o Rio Grande do Sul, com aproximadamente 2,37 habitantes por domicílios.

O maior número relativo de domicílios aponta uma tendência de aumento de consumo de energia elétrica nas regiões do centro-sul brasileiro, principalmente pelo fato de que cada novo domicílio contará com novos equipamentos consumidores de energia, como refrigeradores, máquinas de lavar e chuveiros elétricos.

As projeções realizadas revelam uma tendência de crescimento acentuado do PIB *per capita* brasileiro. As projeções revelam que em 2030 o PIB *per capita* brasileiro será equivalente a aproximadamente US\$ 15.967,00, sendo que em 2009, este equivalia a US\$ 8.388,17.

Tabela 21: Resumo da projeção de crescimento do PIB per capita até o ano de 2030

	2010	2.020	2.025	2.030
PIB PER CAPITA (US\$)	8.610	11.613	13.617	15.967

Fonte: Elaborada pelo autor

A elevação do PIB per capita, apesar da influência da má distribuição de renda, deverá proporcionar aos consumidores acesso a uma maior quantidade de bens de consumo, principalmente eletrodomésticos. O acesso a esses bens de consumo está diretamente ligada à elevação do nível de renda da população, bem como a possível elevação do nível de crédito proporcionado pela alta do PIB absoluto. Este fator será o responsável por um aumento considerável no consumo de energia elétrica, principalmente pelo fato de proporcionar a uma parcela considerável da população a novas tecnologias e equipamentos de uso doméstico.

Com relação à intensidade energética de origem elétrica, as projeções do consumo de energia elétrica indicam que a intensidade elétrica deverá se elevar até o ano 2030, conforme observado na Tab. 22. Observamos que o Brasil em sua condição de País em desenvolvimento, demonstra uma tendência de aumento de sua intensidade elétrica, devido principalmente às expectativas de um ritmo maior de industrialização associada a um aumento significativo do consumo per capita de energia vinculado a melhoria da qualidade de vida da população.



Tabela 22: Resumo dos índices de intensidade energética (elétrica) até o ano de 2030

Regiões	2010	2.020	2.030
Norte	0,1837	0,2001	0,2185
Nordeste	0,2214	0,2406	0,2619
Sudeste	0,1612	0,1753	0,1910
Sul	0,2226	0,2382	0,2556
Centro-Oeste	0,1536	0,1670	0,1820
BRASIL	0,1796	0,1533	0,2115

Fonte: Elaborada pelo autor

Portanto, existe a expectativa que o aumento do consumo de energia elétrica nas residências, cuja tendência é de crescimento, influencie o aumento da intensidade energética do País de forma geral, apesar dos constantes ganhos de eficiência e eficácia registrados no setor produtivo.

Considerando as projeções de crescimento do PIB, índices de crescimento do número de domicílios e do crescimento populacional, bem como a elevação da intensidade energética, foram estimados os índices de crescimento do consumo de energia elétrica no Brasil. Nas condições propostas o consumo total de energia elétrica no Brasil evolui de aproximadamente 375 TWh, em 2005, para valores próximos a 1.044 TWh, em 2030. O consumo de energia elétrica no setor residencial temos uma evolução de 83,20 TWh em 2000 para 279,7 TWh em 2030, conforme a Tab. 23, com taxas médias de 5% ao ano, sendo que em 2030 o setor residencial responderá por aproximadamente 38,5% do consumo de energia elétrica total no Brasil.

Tabela 23: Resumo da projeção de crescimento do consumo de energia elétrica residencial

Regiões	2000	2.020	2.030
Sudeste	48.213	93.325	152.017
Sul	13.021	27.820	45.316
Nordeste	12.465	28.722	46.867
Centro-Oeste	5.996	12.787	20.829
Norte	3.886	9.040	14.725
BRASIL	83.581	171.694	279.754

Fonte: Elaborada pelo autor

Conforme as projeções do consumo médio residencial que podem ser observadas, em 2001, ano caracterizado pelo racionamento de energia elétrica, a média de consumo residencial no Brasil era de 132 kWh/mês. Em 2008 foi registrada a média de consumo era de 138



kWh/mês. De acordo com as projeções realizadas, a partir de 2009 observa-se a retomada do aumento do consumo médio residencial, sendo que em 2015 a média atinge 168 kWh/mês, e em 2030 atinge o patamar de **271 kWh/mês**.

Essa trajetória é justificada pelas hipóteses implícitas ao cenário macroeconômico, as quais consideram aumento real e maior distribuição de renda, com reflexos naturalmente na renda das famílias, principalmente na população de baixa renda; expansão do crédito direto ao consumidor; crescimento da posse de aparelhos eletrodomésticos; crescimento do número de domicílios em ritmo maior que o da população.

A evolução do número absoluto de chuveiros em posse da população brasileira, conforme as projeções realizadas apontam que em 2030 teremos aproximadamente 69,7 milhões equipamentos instalados, conforme a Tab. 24, representando um aumento de 75,5% em relação ao ano de 2001, quando existiam instalados 39,7 milhões de chuveiros elétricos em funcionamento no País.

Tabela 24: Resumo da projeção do número absolutos de chuveiros elétricos até o ano de 2030

	2001	2.010	2.015	2020	2025	2.030
Domicílios com Chuveiros - (milhares)	37.160	48.750	54.020	59.290	64.568	69.753

Fonte: Elaborada pelo autor

A Região Sudeste deverá continuar a prevalecer como a principal em números absolutos de chuveiros elétricos instalados chegando a 2030 com mais de 37,8 milhões de unidades, equivalente a 54% do total nacional. As Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste concentraram aproximadamente **61,3 milhões de chuveiros elétricos** em 2030, ou seja, 88% do total de chuveiros em operação no País. As projeções estão baseadas principalmente na tendência de aumento do número de domicílios e do aumento da renda per capita. Portanto, esta projeção acaba por refletir o grande potencial disponível no País para a introdução de sistemas de aquecimento solar de água em substituição ao estoque instalado de chuveiros elétricos. O consumo de energia elétrica de todos os chuveiros em operação no Brasil no ano de 2030 seja equivalente a **56,8 TWh/ano**, conforme o observado na Tabela 25. Este consumo equivale a aproximadamente **20,3%** do consumo residencial de energia elétrica, estimado em **279,7 TWh/ano** em 2030.



Tabela 25: Resumo das projeções do consumo de energia elétrica de chuveiros e do setor residencial

	2001	2010	2020	2025	2030
Consumo Total de Energia Elétrica - Setor Residencial (MWh/ano)	73.764.488	105.436.507	171.744.960	219.194.926	279.754.443
Consumo Total de Energia Elétrica - Chuveiros Residenciais (MWh/ano)	15.114.494	21.420.308	34.891.424	44.531.281	56.834.453

Fonte: Elaborado pelo autor.

A expectativa é que o consumo de energia elétrica associado à utilização de chuveiros elétricos cresça aproximadamente 276% no período de 2001 a 2030. Esta projeção demonstra o enorme potencial energético a ser resgatado com a utilização de sistemas de aquecimento solar de água.

A curva de tendência do mercado brasileiro de sistemas de aquecimento solar de água, considerando que nenhuma política pública específica seja implementada, além das ações em curso, considerando uma média de venda anual de aproximadamente 600 mil m² de coletores solares, chegaremos ao ano de 2030 com aproximadamente 17,5 milhões de m² de área de coletores instalados, tendo aproximadamente 3,88 milhões de residências usuárias de sistemas de aquecimento solar de água.

Considerando a continuidade das políticas públicas implementadas conforme descrição no Capítulo 5.2 e mais o fomento de novos instrumentos de incentivo ao uso de sistemas de aquecimento solar de água, previstos no PNE 2030, as projeções do citado Capítulo mostram que em 2030 poderemos chegar a uma área instalada de aproximadamente **78 milhões de m²** de coletores solares e aproximadamente **17,3 milhões** de domicílios utilizando esta tecnologia. Portanto com o incentivo adequado as projeções apontam para um incremento de aproximadamente **345%** da área de coletores solares em relação ao crescimento vegetativo do mercado até o ano de 2030.

As projeções realizadas no Capítulo 5.3, e resumidas na Tab. 26, considerando a área de coletores instalados, apontam à expectativa projetada de alcançarmos uma economia anual de energia elétrica de **8.051 GWh/ano no ano de 2030**.



Tabela 26: Comparação da expansão dos sistemas de aquecimento solar entre vegetativo e incentivado

	Área de Coletores Solares (milhões de m ²)	Milhões de Domicílios	Economia de Energia (GWh/ano)	Usina Termoelétrica Evitada (MW)	Usina Hidrelétrica Evitada (MW)
Crescimento Vegetativo	17,50	3,88	1.806,00	490,87	368,11
Crescimento Incentivado	78,00	17,30	8.051,00	1.641,29	2.387,33

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando os valores de economia de energia projetados para o ano de 2030, estima-se o potencial de evitar a construção de uma usina hidrelétrica de aproximadamente **2.387 MW** ou então uma usina termoelétrica de **1.641 MW**, considerando uma demanda retirada do sistema equivalente a **919,12 MW**. Considerando ainda um custo aproximado de R\$ 3,0 milhões para instalação de um MW de geração hidrelétrica e R\$ 1,8 milhões para instalação de um MW de geração termoelétrica, evitaremos investimentos de **R\$ 7,16 bilhões** ou **R\$ 2,95 bilhões** para a construção destas usinas respectivamente.

Observamos ainda, conforme as projeções realizadas no Capítulo 5.3, que a economia de energia elétrica obtida pelos domicílios que adotarem os sistemas de aquecimento solar de água será capaz de proporcionar um benefício econômico direto a população, traduzindo-se em ganhos sociais importantes, principalmente quando consideramos que um dos principais nichos de mercado a serem incentivados para a adoção de sistemas de aquecimento solar de água será o residencial baixa renda, cuja renda familiar não ultrapassa três salários mínimos. Portanto, a redução de custos proporcionada pela economia de energia garante um aumento real na renda das famílias menos abastadas, proporcionando à melhora da qualidade de vida desta parcela da população.

Apesar da forma simples de cálculo de viabilidade econômica adotada no Capítulo 5.3, podemos conferir pelo resultado que é viável a adoção de sistemas de aquecimento solar de água por uma parte significativa da população. Bem como, podemos conferir a viabilidade econômica do aquecimento solar de água sob o ponto de vista do sistema elétrico nacional, cujo benefício direto se dará em evitar a construção de novas usinas geradoras e seus sistemas de transmissão associados.

Considerando que a utilização de sistemas de aquecimento solar de água podem substituir a necessidade de construção de novas usinas, principalmente as de maior potencial poluidor, como o caso das usinas térmicas a carvão mineral, a Tab. 27 apresenta o resumo dos



resultados estimados para redução de emissões com a adoção de sistemas de aquecimento solar de água.

Tabela 27: Resumo das projeções de emissões evitadas até o ano de 2030

Tipo de Geração	Período 2010 a 2030			
	Emissões Evitadas (milhões tCO ₂)	tSO _x	tNO _x	Toneladas de material particulado
Usinas Carvão Mineral	25,2	7.648	4.669	1.529

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto quanto aos ganhos ambientais, às projeções realizadas no capítulo 5.4 demonstram que a quantidade de emissões evitadas, no ano de 2030, equivale a aproximadamente **3,9%** das metas totais de mitigação previstas para o setor energético brasileiro, incluindo combustíveis fósseis, previstas no Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC.

Esta projeção revela-nos a importância da substituição de chuveiros elétricos, principalmente quando esta substituição pode evitar a construção de usinas térmicas com grande potencial poluidor, contribuindo de forma clara para a almejada sustentabilidade ambiental e energética.

Em última análise, verificamos que no período entre 2010 e 2030 a população brasileira deverá se expandir em aproximadamente 20,2%, sendo que no mesmo período a expansão do número de domicílios permanentes ocupados deve crescer em aproximadamente 42,1%. Associada as taxas de crescimento populacional e do número de domicílios, o PIB per capita brasileiro deverá, no mesmo período entre 2010 e 2030, crescer em aproximadamente 85,44%. Outro dado relevante em relação à conjuntura energética brasileira diz respeito à intensidade energética, neste caso energia elétrica, que devera ter seu índice de aumento próximo a 17,7% no período descrito.

Com base nas projeções e percentuais descritos no parágrafo acima, a pesquisa realizada proporcionou projetarmos que o número de chuveiros em posse dos domicílios brasileiros deverá aumentar em aproximadamente 43% no período de 2010 a 2030. Porém, o consumo médio de energia elétrica por domicílio deverá crescer em 85,6%, devido principalmente ao aumento do número de equipamentos consumidores de energia de posse dos novos domicílios.



Portanto, considerando os potenciais de crescimento do mercado de energia elétrica e dos chuveiros elétricos, associados à expansão do número de domicílios e do PIB per capita, projetou-se o potencial de incremento da utilização dos sistemas de aquecimento solar em 345% até o ano de 2030. Considerando, para tanto, que ações de fomento que já estão em andamento, associadas à implementação de novas políticas públicas de incentivo ao uso de sistemas de eficiência energética sejam eficazes e realmente mobilizem a população no sentido de investirem em uma nova forma de obtenção de água quente para uso sanitário.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando as análises da síntese dos dados apresentados no Capítulo 6, pode-se concluir que:

- a. **Considerando o primeiro dos objetivos específicos** propostos como eixos norteadores desta pesquisa, referente à projeção de parâmetros inerentes à formação de mercado para sistemas de aquecimento solar de água, podemos concluir como crível o aumento de demanda pela tecnologia solar e a formação, a médio prazo, de um mercado qualificado, sendo que além do apelo econômico inerente à economia de energia, infere-se uma evolução da percepção da sociedade para a adoção de modelos de consumo associados à sustentabilidade energética e ambiental.

- b. O **segundo objetivo específico** desta pesquisa refere-se à avaliação do mercado de equipamentos e serviços voltados a sistemas de aquecimento solar de água, principalmente seu potencial de crescimento e tecnologia empregada. Como na análise da síntese dos resultados e o observado no Capítulo 3.5, verificamos que o Brasil possui base tecnológica relativamente moderna no que se refere à concepção de sistemas de aquecimento solar de água. Além disso, dispõe de instrumentos, que embora ainda timidamente, incentivam o melhoramento dos padrões de serviços e construção de equipamentos. Concluímos, considerando as bases existentes, que a expansão da capacidade produtiva de sistemas de aquecimento solar de água depende apenas do incremento da demanda, sendo que, de modo geral, as empresas do setor possuem capacidade para expandir sua produção de modo sustentável em médio prazo.



- c. O **terceiro objetivo específico** da pesquisa que prevê a quantificação, por meio de projeções, dos ganhos econômicos, ambientais e sociais inerentes à economia de energia elétrica pela adoção de sistemas de aquecimento solar de água, são demonstrados ao longo do desenvolvimento do Capítulo 5, bem como na análise da síntese dos resultados. Os ganhos econômicos estão associados diretamente à economia de energia elétrica proporcionada pela utilização de sistemas de aquecimento solar de água. Esta economia de energia é o suficiente para evitarmos a construção de uma usina termoeletrica de **1.641 MW**, a um custo equivalente a **R\$ 3 bilhões**. Ou ainda evitarmos a construção de uma usina hidroelétrica de **2.387 MW**, a um custo aproximado de **R\$ 7 bilhões**. Observamos ainda que a economia média de energia elétrica por domicílio que adotar os sistemas de aquecimento solar de água será de **68kWh/mês**, equivalente a uma economia financeira de **R\$ 234,75** por ano. Este benefício econômico direto tem reflexos sociais importantes, principalmente quando consideramos que um dos principais nichos de mercado a serem incentivados para a adoção de sistemas de aquecimento solar de água será o residencial baixa renda, cuja renda familiar não ultrapassa três salários mínimos. Portanto, concluímos pela validade dos benefícios sociais, econômicos e ambientais proporcionados pela adoção sistemática de sistemas de aquecimento solar de água.
- d. O **objetivo principal** da pesquisa que prevê a construção de projeções que identifiquem o potencial de economia de energia elétrica da adoção massiva de sistemas de aquecimento solar de água baseado em políticas públicas de fomento, incluídas nos cenários traçados pelo PNE 2030. Conforme as projeções realizadas no Capítulo 5.3, e analisadas no Capítulo 6, teremos em 2030 aproximadamente **78 milhões de m²** de coletores solares instalados em aproximadamente **17,3 milhões** de domicílios. Demonstra-se, portanto, a expectativa de atingirmos uma economia anual de energia elétrica de **8.051 GWh/ano no ano de 2030**. Esta economia de energia elétrica equivale a **15,2%** da meta de economia previsto pelo PNE, que para o ano de 2030 deverá ser de **53 TWh/ano**. Concluímos que os resultados alcançados por esta pesquisa, quando comparadas às metas efetivas de economia de energia elétrica descritas no PNE 2030, demonstram a viabilidade do potencial de economia de energia elétrica pela adoção induzida de sistemas de aquecimento solar de água.



Considera-se, portanto, a comprovação da hipótese que os sistemas de aquecimento solar de água são uma alternativa viável, permitindo que a expansão do sistema elétrico esteja comprometida com as dimensões da sustentabilidade, considerando seus efeitos positivos sobre o meio ambiente, a economia e a sociedade.

Considerando o atual contexto do desenvolvimento de mercado dos sistemas de aquecimento solar de água, as projeções realizadas nos capítulos anteriores só poderão ser viabilizadas por meio de esforços públicos constantes, capitaneado por uma clara sinalização política, baseada em instrumentos educacionais, normativos e financeiros que permitam o estabelecimento de um mercado dinâmico.

Para tanto, será necessário o lançamento de bases para a construção de uma política de eficiência energética voltada à disseminação do uso de sistemas de aquecimento solar de água, sendo recomendadas as seguintes possibilidades para as ações de fomento, descritas como:

- a. Aperfeiçoamento das Políticas Públicas e Marco Regulatório: Formulação e implementação de medidas governamentais (Federal, Estadual e Municipal) sob a forma de legislação e mecanismos de regulação que promovam o mercado de sistemas de aquecimento solar de água.
- b. Elaboração e regulamentação de projeto de lei para compensação de renúncias fiscais: Previsão de compensações às renúncias fiscais implementadas pelos Estados e Municípios que concederem benefícios fiscais para utilização de sistemas de aquecimento solar de água.
- c. Capacitação de Gestores Municipais: Capacitação e consultoria especializada para gestores municipais em normas e legislação de código de obras, de ocupação do solo e para etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios residenciais e comerciais que promovam a utilização de sistemas aquecimento solar de água.
- d. Elaboração e Disseminação de Normas e Procedimentos: Elaborar e disseminar normas e procedimentos para especificação de sistemas de aquecimento solar de água nas contratações de obras públicas.
- e. Alteração na Lei do FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço) incorporando sistemas de aquecimento solar como item financiável: Elaboração de projeto de lei alterando a destinação dos recursos FGTS, tornando possível incorporar os sistemas de aquecimento solar de água junto à contratação de financiamento para a construção civil.
- f. Alteração da Lei no 5.655/1971 e da Lei 10438/2002: Revisar a utilização dos recursos da Reserva Global de Reversão – RGR e da Conta de Desenvolvimento Energético – CDE para



incluir aquecimento solar como item financiável no âmbito dos programas de governo.

- g. Qualificação da Cadeia Produtiva: Qualificar e integrar a cadeia produtiva visando corrigir as falhas de mercado, especialmente nos seus elos finais, formados pelos prestadores de serviços de instalação e manutenção e os profissionais de projetos como arquitetos e engenheiros civis.
- h. Sensibilização da Sociedade: Campanhas publicitárias para sensibilização da sociedade sobre os benefícios e aplicação de sistemas aquecimento solar de água.
- i. Capacitação de Profissionais de Projeto: Treinamento direcionado a engenheiros e arquitetos com ênfase em projetos e aplicações de sistemas aquecimento solar de água.
- j. Linhas de Financiamento: Disponibilizar, por meio de agentes financeiros oficiais, linhas de crédito específicas para a aquisição e instalação de sistemas de aquecimento solar de água.

Conforme visto nos itens acima, às políticas públicas específicas para sistemas de aquecimento solar de água devem se estruturar em eixos principais para se alcançar as metas previstas, considerando a definição do marco regulatório, linhas de financiamento, desenvolvimento e difusão tecnológica e por fim integração da cadeia produtiva.

Consideramos, portanto os itens descritos como recomendações eficazes para alcançarmos as metas previstas no PNE 2030, sendo que de certa forma o PNE 2030 já as tenha incorporado, porém falta-lhe ainda a caracterização executiva que garantirá a sua implementação.



8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES, 2006. Atlas brasileiro de energia solar / Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; Samuel Luna de Abreu e Ricardo Rütther. – São José dos Campos : INPE, 2006. il. 60p. ; 2006. (PAPEL)

ASHRAE handbook: heating, ventilating, and air-conditioning applications. SI ed. Atlanta ASHRAE, 1999.

Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres / coordenador Chiguera Tiba...et al,- Recife : Ed. Universitária da UFPE, 2000.

ANEEL, 2005. Atlas de Energia Elétrica do Brasil – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. ed. – Brasília: ANEEL, 2005. 243 p. :il

ANEEL, 2009. Agência Nacional de Energia Elétrica. Tabelas de Consumo de Energia Elétrica por Setor Econômico – Informe das Concessionárias. Comunicação Interna – Superintendência de Regulação da Distribuição - SRD. Brasília: ANEEL, 2005.

ANEEL, 1998 [CD – ROM]: O Estado das Energias Renováveis no Brasil: Fórum Permanente de Energias Renováveis, 1998.

ANEEL, 2008, Agência Nacional de Energia Elétrica. Manual Para elaboração do Programa de Eficiência Energética, 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em Out. 2008.

ALTENER, 2004. Projeto da Comissão Europeia. Energia Solar Térmica: Manual sobre tecnologias, projectos e instalações. Lisboa, 2004.

ARRUDA, Laerte Bernardes. Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Tese Doutorado. L. B. Arruda. São Paulo, 2004. 230 p.

AZEVEDO, P.V.; LEITAO, M.M.V.B.R. & SOUSA, I.F. de, 1990. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, Vol. 5(1) 403-410, Campina Grande, PB. 1990.

ABRAVA, 1996 – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. O Aquecedor Solar de Água para o Setor Elétrico e para o Usuário Final. São Paulo, 1996. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Manual Técnico Básico de Aquecimento Solar ABRAVA. São Paulo, 1996b.

ABRAVA, 2003 – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento “Legislação e Incentivos para o Aquecimento Solar Proposta para um Brasil Sustentável”. São Paulo, 2003.

ABRAVA, 2009 – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento Palestra: “Aquecimento Solar para um Futuro Energético Sustentável no Brasil -



Plataforma Tecnológica para o Aquecimento Solar”. Carlos F. C Faria - Coordenador Iniciativa Cidades Solares - Diretor de Energia Solar da ABRAVA. Reunião Cidades Solares (MMA/GTZ), 09 de março de 2009. Brasília, 2009.

ACHÃO, CARLA DA COSTA LOPES Análise da Estrutura de Consumo de Energia pelo Setor Residencial Brasileiro [Rio de Janeiro] 2003, 103 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2003).

ALMANZA, R.; Lentz, A.; Gimenez, G. Receiver behavior in direct steam generation with parabolic troughs. Solar Energy. 1997.

ALVES, Sizenando Silveira (2007). Tipificação dos instrumentos de políticas de apoio à eficiência energética: a experiência mundial e o cenário nacional. S. S. Alves, São Paulo, 2007. 184 p. Dissertação Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ALVES, J. E. D., 2004, As características dos domicílios brasileiros entre 1960 e 2002; Textos para discussão, número 10, Escola Nacional de Ciências Estatísticas 2004.

ARRETCHE, Marta T. S. Políticas sociais no Brasil: descentralização em um Estado Federativo. Revista Brasileira de Ciências Sociais, São Paulo, v. 14, n.40, p.111-141, 1999.

Atlas de energia elétrica do Brasil – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. ed. – Brasília: ANEEL, 2005. 243 p. :il

ARRUDA, Laerte Bernardes. Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos / L.B. Arruda - São Paulo, 2004. 230p. Tese Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

AROUCA, M. C. Análise da demanda de energia no setor residencial do Brasil. Rio de Janeiro, RJ. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1982. 76 p.

BRASIL. **Lei 10.295**, de 17 de outubro de 2001 – “Lei de Eficiência Energética”. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 18.out.2001. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 24.abr.2003.

BRASIL. **Lei 12.212**, de 20 de janeiro 2010 – Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica; altera as Leis nºs 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.925, de 23 de julho de 2004, e 10.438, de 26 de abril de 2002; e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 21 de janeiro de 2010. Disponível em <http://www.mme.gov.br>.

BENNETT, I., Monthly Maps of Mean Daily Insolation for the United States, Solar Energy, 1965.

BEZERRA, A.M. Aplicações Térmicas da Energia Solar. 3.ed. João Pessoa, Ed. Universitária. UFPB. 1998.

BRUTSAERT, W., 1982. Evaporation into the atmosphere. D. Reidel Publishing Company, 299 pp.

Baptista, ALESSANDRA SLEMAN CARDOSO. Análise da Viabilidade Econômica da Utilização



de Aquecedores Solares de Água em *Resorts* no Nordeste do Brasil. [Rio de Janeiro] 2006 XIII, 158 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2006) Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

BARBIER, R (1987). “Agriculture, Forestry, and Environment” In: Samoa 2000, Building the recent reforms, 1987.

BEHRMAN, Daniel. Solar Energy: The Awakening Science. London, UK: Routledge & Kegan Paul, 1979.

BRÜSEKE, Franz Josef. O problema do desenvolvimento sustentável. In:CAVALCANTI, Clóvis (org.). Desenvolvimento e Natureza : Estudos para uma sociedade sustentável. São Paulo: Cortez; Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 4ª ed., 2003.

BRASIL. Lei 10.295, de 17.out.2001 – “Lei de Eficiência Energética”. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 18.out.2001. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 24.abr.2003.

BRASIL. Decreto 4.508 de 11.dez.02. Dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilão, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 12.dez.2002. Disponível em: <http://www.energiabrasil.gov.br/decretos/decreto4508.pdf>. Acesso em: 24.abr.2003.

BRASIL. **MME. 2007.** MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia ; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília : MME : EPE, 2006. 14 v. : II

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Mercado de Energia Elétrica 2006-2015. Rio de Janeiro: EPE, 2007. 380 p.

BRASIL. Lei 10.848, de 15 de março de 2004 – “Novo Marco Legal do Setor Elétrico”. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002. D.O.U., Brasília, DF, 16 de outubro 2004. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 26 de setembro de 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2008.** Ano base 2007. Rio de Janeiro: EPE, 2008.

BRASIL. **PDE 2008-2017.** Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Plano Decenal de Expansão de Energia: 2008/2017 / Ministério de Minas e Energia ; Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. _ Brasília : MME, 2008. 2 v. : il. 1. Política energética _ Brasil. 2. Energia _ Brasil. II. Título.

CAVALCANTI, C; Ramos, F. (2005) O Comportamento do Consumidor de Energia Elétrica face ao Racionamento. Tese. UFPE. 2005.

BCB, 2009. Banco Central do Brasil. Séries Históricas do PIB. www.bcb.gov.br. Acessado em



12 de agosto de 2009.

CODEPLAN, 2006. Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central. Distrito Federal – Síntese de Informações Socioeconômicas. Brasília (DF), maio de 2006

COLLE e Pereira. (1998). Atlas de Irradiação Solar no Brasil / Sergio Colle, Enio Bueno Pereira. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia LABSOLAR – Laboratório de Energia Solar – EMC/UFSC. Brasília, 1998.

COLLE S., Abreu, S. L., Salazar, J. P. L. C., Reguse, W. (2004). Impacto da Energia Solar Sobre o Pico de Demanda de Energia de Chuveiros Elétricos de Famílias de Baixa Renda no Brasil. XII Congresso Ibérico y VII Congreso Íbero Americano de Energía Solar Vigo, España, 14-18 Septiembre 2004.

CARNEIRO, Roberto. Fortuna; **ROCHA**, Pauletti Karllien. Políticas públicas e energias renováveis: propostas de ações de indução à diversificação da matriz energética na Bahia, BAHIA ANÁLISE & DADOS Salvador, v. 16, n. 1, p. 23-36, jun. 2006.

CAVALCANTI, CLÓVIS (Org.) Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável. INPSO/FUNDAJ, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. Outubro de 1994. p. 262.

CEPEL - CRESESB - Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em Out. 2008.

CEPEL, 2006, MELP Modelo de Expansão de Longo Prazo de Sistemas de Geração e Troncos de Interligação. Apresentação - Seminário de Oferta – MME 2006.

CHADE, J. F. Estudo do Sistema Gerenciamento pelo Lado da Demanda para Consumidores e Distribuidores de Energia Elétrica. São Paulo, 2004.

COHEN, C., 2002, Padrões de Consumo: Desenvolvimento, Meio-Ambiente e Energia no Brasil. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. GREEN PAPER A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy. COM (2006). Brussels, 2006.

CRESESB, 2010. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Potencial Energético Solar - SunData. www.cresesb.cepel.br. CEPEL – Rio de Janeiro, 2010.

DIAS, Rubens Alves, 2006. “O uso racional da energia: ensino e cidadania” / Rubens Alves Dias, Cristiano Rodrigo de Mattos, José Antonio P. Balestieri. São Paulo: Editora UNESP, 2006

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. Solar engineering of thermal processes. New York: John Wiley & Sons, 1980. 705 p.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, J. Solar engineering of thermal processes. 2.ed. John Wiley & Sons, 1991.

Danish Energy Agency - Green Taxes for Trade and Industry - description and evaluation.



Copenhagen, 2000.

DE TONI A participação social no planejamento governamental: a experiência do governo Lula, Brasil - XI Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública, Ciudad de Guatemala, 7 - 10 Nov. 2006.

DESAFIO DO PLANEJAMENTO GOVERNAMENTAL / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos.- Brasília : MP, 2002. 86 p.

DIAKOULAKI, D. et al. Cost Benefit analysys for solar water heating systems. Energy Conversions & Management. 2001.

ENAT. Energias Naturais. Disponível em: <<http://www.enat.pt>>. Acesso em março, 2009.

European Database for Daylight and Solar Radiation, 2005. [online]:<http://www.satel-light.com/>.

ELETROBRÁS/PROCEL. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Classe residencial. Departamento de Planejamento e Estudos de Conservação de Energia – DPS. Gráfica Eletrobrás - Rio de Janeiro, 2007.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. (US Dep. of Energy). EIA. Solar Heat Worldwide. Markets and contribution to the energy supply. EUA. 2004.

EPE, 2005. Empresa de Pesquisas Energéticas. Ministério de Minas e Energia. **Mercado de Energia Elétrica 2006-2015** / Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . _ Brasília : MME : EPE, 2005.

EPE, 2007. Empresa de Pesquisas Energéticas. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Nacional 2030** / Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . _ Brasília : MME : EPE, 2007.

FANTINELLI, Jane Tassinari. Análise da evolução de ações na difusão do aquecimento solar de água para habitações populares - estudo de caso em Contagem - MG / Jane Tassinari Fantinelli. - Campinas, SP: [s.n.], 2006.

FARIA, C. F. da C. **Estratégias para o Aquecimento Solar no Brasil: Mercado, Perspectivas e Plano de Ação**. 2004. 182f. Monografia (Pós-Graduação Latu Sensu em Fontes Alternativas de Energia), Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2004.

FISH, M.M., **GUIGAS**, M., **DALENBACK**, J.O., 1998. “A review of large-scale solar heating systems in Europe”, Solar energy, Vol.63, pp 355-366.

FRIGOLETTO, E. M., 2004, Perfil Demográfico atual do Brasil, 2004.

GALO, Mauricio.(2002). Notas de Aula de Cartografia. Introdução à Projeção Policônica. Departamento de Cartografia – UNESP. Presidente Prudente, 2002.

GAMBI, W. Avaliação de um modelo físico estimador de irradiância solar baseado em satélites geoestacionários. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.



Florianópolis, 1998.

GIAMBIAGI, Fabio, PASTORIZA, 1997. Modelo de consistência macroeconômica. Rio de Janeiro: BNDES, 1997 (Texto para Discussão, 52).

GODET, Michel, 1993. Manual de prospectiva estratégica: da antecipação a acção. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1993.

GOLDEMBERG, J.(2008). Energia, Meio Ambiente E Desenvolvimento. 3ª Edição. Editora EDUSP. São Paulo, 2008.

GOERCK, Marcio. Determinação do potencial energético de um coletor solar fototérmico na região do vale do Taquari-RS Brasil. Centro Universitário Univates. Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento – PPGAD. Dissertação de Mestrado. Lageado, 2008.

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. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia realizado em Florianópolis, 2006.

GUIMARÃES, Ana Paula Cardoso (2003). Estimativa de Parâmetros da Camada Atmosférica para Cálculo da Irradiação Solar Incidente na Superfície Terrestre [Rio de Janeiro] 2003 XIX, 162 p. 29.7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Mecânica, 2003) Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

GROSSI GALLEGOS, H., Lopardo R., Spatial variability of de global radiation obtained by th Solarimetric Network in de Argentine Pampa Humeda. Sola Energy. Vol. 40, 1988.

GELLER, Howard S. – Revolução Energética: políticas para um futuro sustentável, USAID, Relume Dumará, Rio de janeiro, 2003.

GELLER, H. S. Nadel. 1994. “Market Transformation Strategies to Promote End–Use Efficiency”. Annual review of energy and Enviroment 1994.

GELLER, H,S. O uso eficiente da eletricidade: Uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil / INEE Instituto Nacional de Eficiência Energética – Rio de Janeiro – 1994

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. Energy Analysis and Valuation. Southern Economic Journal, 4 Apr 1979. The Promethean Condition of Viable Technologies. Materials and Society, 1983. The Interplay Between Institutional and Material Factors: The Problems and Its Status. In Barriers to Full Employment. London – UK, Macmillan, 1988.

GREENHOUSE - Australian Greenhouse Office - 1999, Greenhouse Challenge Evaluation Report, Commonwealth of Australia, Canberra. ISBN 1876536 551. Sitio web de Greenhouse Challenge, 2008: www.greenhouse.gov.au/challenge/
Glasbergen P, Das MC, Driessen PPJ, Habermehl N, Vermeulen WJV, Blok K, Farla JCM, Korevaar EM: *Evaluatie meerjarenafspraken over energie-efficiency (Evaluación de acuerdos a largo plazo sobre eficiencia energética)*. Universidad de Utrecht, Departamento de Ciencias, Tecnología y Sociedad y Departamento de Ciencias Ambientales, 1997: www.chem.uu.nl.



GREENE, D. L. 1999. “Why CAFE Worked”. Energy Policy 26: 595-614.

GRAÇA, G. M. G. A conservação de energia elétrica e o terceiro mundo. Revista Brasileira de Energia. Vol. 1 nº 1, 1990.

GUZMAN, Eduardo. Origem, evolução e perspectivas do desenvolvimento sustentável. In: Almeida, Jalcione e Navarro, Zander. Reconstruindo a agricultura- idéias e ideais na perspectiva do desenvolvimento rural sustentável. Porto Alegre: Editora UFRGS, 1997. p.19-32.

HADDAD, Jamil – Conservação de Energia: Eficiência Energética em Equipamentos e Instalações – Itajubá – MG – FUPAI – 2006.

HADDAD, Jamil – Impactos e contribuições das Energias renováveis no Brasil , Pagina 121– São Paulo – ProEnergia Comunicações 2005.

HADDAD, J. . Embasamento Legal e Institucional. In: Jamil Haddad; Sérgio Catão Aguiar. (Org.). Eficiência Energética Integrando Usos e Reduzindo Desperdícios. 1 ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica / Agência Nacional do Petróleo, 1999, v. , p. 265-288.

HEALEY H. M. Cost-effective solar applications for commercial end industrial facilities. Energy Engineering. 1997.

HINRICHS, Roger A. 2008. Energia e meio ambiente. – tradução da 3. Ed. Norte-americana. / Roger A. Hinrichs, Melin Kleinbach; (Tradução técnica Flavio Maron Vichi, Leonardo Freire de Mello). São Paulo: Cengage Learning, 2008.

HOTTEL, H. C.; WOERTZ, B., B. The performance of flat-plate solar heat collectors. Transactions ASME, v.64, p.91–103, 1942.

HOTTEL, H. C. A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres. Solar Energy, v.18, p. 129-134, 1976.

HUDSON, L.G.; Markell, J. Solar technology. Reston:Reston Publishing Company, 1985.

IBGE - Estimativas Populacionais do Brasil, Regiões Geográficas, Unidades da Federação e Municípios, <http://www.ibge.gov.br> , Metodologia Completa, Rio de Janeiro, agosto de 2009.

IBGE,2008 - Projeção da população do Brasil por sexo e idade 1980-2050, Estudos e Pesquisas Informação Demográfica e Socioeconômica número 24. Revisão 2008, Rio de Janeiro, 2008.

INMET, 1990. Normais Climatológicas – 1931 a 1990. [online] <http://www.inmet.gov.br/>.

INMET, 1992. Normais Climatológicas – 1931 a 1990. [online] <http://www.inmet.gov.br/>.

INMETRO, 2008. Portaria nº 395, de 10 de novembro de 2008. Regulamento de Avaliação da Conformidade de Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água.

INMETRO, 2005. Regulamento Específico para Uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – Linha de Aparelhos Elétricos Fixos de Aquecimento Instantâneo de Água.



ETIQUETAGEM RESP/002-AAQ. Rvisão de 06 de outubro de 2005.

INMETRO. www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp. Consulta em 12 de abril de 2009.

IPEA, 2009. Instituto de Pesquisas Economicas Aplicadas. IPEADATA Temas Regionais – Finanças Públicas. www.ipeadata.gov.br. Acessado em 10 de agosto de 2009.

IEA (2004): *30 years of energy use in IEA countries*, p 211, Paris

IEA (2006): Solar Heating and Cooling - 2006 Annual Report. IEA Solar Heating & Cooling Programme. Washington, DC. March, 2007.

ISEE, 1994 – International Society for Ecological Economics. “Ecosystem Health and Medicine: Integrating Science, Policy and Management”. Newsletter, Vol.5, Nº3.

JACOBI, Pedro. Meio ambiente urbano e sustentabilidade:alguns elementos para a reflexão. In: Cavalcanti, Clóvis (org.). Meio Ambiente, Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas. São Paulo: Cortez Editora, 1997.

JANNUZZI, G. M. A Política Energética e o Meio Ambiente : Instrumentos de Mercado e Regulação. In: A. R. Romeiro; B. P. Reydon; M. L. Leonardi. (Org). 1999.

JANNUZZI, G. M. . Políticas Públicas para Eficiência Energética e Energia Renovável no Novo Contexto de Mercado. 1. ed. Campinas: Editora Autores Associados, 2000. v. 1. 116 p.

JANNUZZI, G. M. ; SANTOS, V. F. ; MADUREIRA, R. G.;; UGAYA, C. M. L.; SALCEDO, M. V. Y. (1995). Programas de administração da demanda para o setor residencial brasileiro: oportunidades, custos e barreiras. In: XIII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 1995, Florianópolis. XIII SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 1995.

KREIDER, J.F., KREITH, F., Solar Energy Handbook, Estados Unidos da América, McGraw-Hill, 1979.

LAFAY, 2005 . Jean-Marc Stephane Lafay. Análise energética de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás. Tese de Doutorado submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

LANDI, M. Energia elétrica e políticas públicas: a experiência do setor elétrico brasileiro no período de 1934 a 2005. 2006. 194 p. Tese de doutorado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo.

LIMA, Juliana Benoni Arruda (2003). Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS. São Paulo, 2003. 123 p. Dissertação Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

LEITE, Antônio Dias. A Energia do Brasil: Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.



LITTLE, PAUL E. (org.) Políticas ambientais no Brasil: análises, instrumentos e experiências – São Paulo: Peirópolis; Brasília – DF: IIEB 2003.

Local Energy Information Centres ADEME (2004): *Première évaluation de l'activité de conseil des Espaces Info Energie* Report prepared by IDE, Paris, 143p

LUND, P.D. Effectiveness of policy measures in transforming the energy system Advanced Energy Systems. Helsinki University of Technology, Finland, 2006.

LUNDE, Peter J. Solar Thermal Engineering Space Heating e Hot Water Systems. New York, USA: John Wiley & Sons, 1980.

LITTLEFAIR, P. J. The luminous efficacy of daylight: a review. Lighting Research & Technology, CBISE. v. 17, n. 4. 1985.

LIU, B. Y. H.; JORDAN, R. C. Daily insolation on surfaces tilted toward the equator. ASHRAE Journal, v.10, p.53–59, 1961.

LIU, B. Y. H.; JORDAN, R. C. The long–term average performance of flat–plate solar–energy collectors. Solar Energy, v.7, n.2, p.53-74, 1963.

MANCINI, T., G.J. KOLB, AND M. PRAIRIE, Solar Thermal Power, Advances in Solar Energy: An Annual Review, Rio de Janeiro of Research and Development, Vol. 11, edited by Karl W. Boer, American Solar Energy Society, Boulder, 1997, ISBN 0-89553-254-9. 1997.

MARTINS, F. R. Influência do processo de determinação da cobertura de nuvens e dos aerossóis de queimada no modelo físico de radiação BRASIL-SR. Tese de Doutorado apresentada no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, Agosto. 2001.

MCidades, 2010. PORTARIA Nº 93, DE 24 DE FEVEREIRO DE 2010, Dispõe sobre a aquisição e alienação de imóveis sem prévio arrendamento no âmbito do Programa de Arrendamento Residencial - PAR e do Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV. Ministério das Cidades, Diário Oficial da União, seção 1, 25 de fevereiro de 2010.

MMA, 2008. Plano Nacional Sobre Mudança do Clima – PNUMC. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. Dezembro de 2008

MÜLLER-STEINHAGEN, H. (2002). Thermal performance of solar collector, according to the European norm EN 12975-2:2001, ITW Test Report No. 02COL273.

MADUREIRA, R. G. Desenvolvimento e Avaliação Econômica de Tecnologia Solar para Conservação de Energia Elétrica em Aquecimento de Água no Setor Residencial: Uma Proposta de administração da demanda através de “Pré-Aquecedor Solar de Água para Chuveiros Elétricos de Potência Reduzida”. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos), Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1995.

MATAJS, R.R. Demanda, consumo e custo das alternativas ao chuveiro elétrico no Estado de São Paulo. 1997. 156 f. Dissertação (Mestrado em Interunidades em Energia) - Instituto de



Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997

MARTINS, Fernando Ramos. 2005. Mapas de irradiação solar para o Brasil – Resultados do Projeto SWERA. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Laboratório de Energia Solar/Universidade Federal de Santa Catarina – LABSOLAR/UFSC. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3137-3145.

MAZZON, L. A. F.; **MESQUITA**, L. C. de S. “Aquecedor Solar de Água – Oportunidade Única”. Coletânea de Artigos – Energias Solar e Eólica, Rio de Janeiro, v.2, p. 181-184, 2004.

MEADOWS, D. L., **MEADOWS**, D. H., **RANDERS**, J. & **BEHRENS**, W.W. Limites do crescimento um relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade. São Paulo: Ed. Perspectiva, 1972.

MENKES, Monica. Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade, 295 p., 297 mm (UNB – CDS, Doutor, Desenvolvimento Sustentável, 2004). Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável.

MCT, 2009. “Fatores de Emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil - Ano Base 2008”. Disponível em www.mct.gov.br Tema: Mudanças Climáticas – MDL. Acesso em 17 de setembro de 2009.

MME, 2006. Ministério de Minas e Energia, Nota Técnica “O Planejamento Energético e Considerações sobre a Inserção da Eficiência Energética”, Brasília, DF, 2006c.

MME, 2007. Ministério de Minas e Energia, Relatório “MME, 2006. Ministério de Minas e Energia, Nota Técnica “O Planejamento Energético e Considerações sobre a Inserção da Eficiência Energética”, Departamento de Desenvolvimento Energético - Projeto PNUD BRA 01/039. Consultor Aurélio de Andrade Souza. Brasília, DF, 2007.

MESQUITA, L. C. S.; **MAZZON**, L. A. F.; **CAMPOS FILHO**, M. M. O Aquecedor Solar de Água para o Setor Elétrico e para o Usuário Final. São Paulo: ENERGIA SOLAR, 1996. 44p.

NUNES, G.S. et al., Estudo da Distribuição da Radiação Solar Incidente sobre o Brasil, Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, 1979.

OLIVA G. A. & **BORGES**, T. P. F. (1996). Teste de Campo piloto com pré-aquecedor solar de água para chuveiros elétricos de potência reduzida. In: VII Congresso brasileiro de energia, II Seminário latino americano de energia. Anais. Rio de Janeiro: out 1996.

OLIVA, G. A. (1999). *Utilização de aquecedores solares de baixo custo em programas de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD)*. In: XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Anais. Foz do Iguaçu, 17-22 out. 1999.

OLIVEIRA, J.C. e **FERNANDES**, F. 1996, “Metodologia e considerações acerca da projeção da população do Brasil: 1980-2020.” 1996.

ORNSTEIN, S. W. (1988). A Avaliação da habitação auto-gerida no Terceiro Mundo. Tese (doutorado), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1988.175 p.



ODUM, EUGENE P. Fundamentos de Ecologia / Eugene P. Odum, Gary W. Barrett, - São Paulo : Thomson Learning, 2007.

OLIVA, G. A.; Borges, T. P. de F. “Teste de Campo Piloto com Pré-Aquecedor Solar de Água para Chuveiros Elétricos de Potência Reduzida”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, VII., 1996, Anais... Rio de Janeiro: COPPE; Clube de Engenharia, 1996.v. IV, p. 2087-2102.

OLIVEIRA Luiz F. C. de; Regis de C. Ferreira; Rogério de A. Almeida; Engler J. V. Lobato; Antônio M. de M. Medeiros. Potencial de redução do consumo de energia elétrica pela utilização de aquecedores solares no Estado de Goiás. Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia – GO. 2006.

PEREIRA, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L.; Couto, P.; Stuhlmann, R.; Colle, S. Effects of burning of biomass on satellite estimations of solar irradiation in Brazil. Solar Energy, 68(1): 91-107, 2000

PEREIRA, Enio Bueno. Martins, Fernando Ramos. Abreu, Samuel Luna. Ruther, Ricardo. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São Jose dos campos : INPE, 2006.

PEREIRA, E. M. D (2002). Energia Solar Térmica – instalações solares de pequeno porte. Belo Horizonte: PUC Minas, 2002. 96 p.

PEREIRA, Elizabeth Marques Duarte. Márcia Agostini Ribeiro, Willi de Barros Gonsalves, Lucio Cezar Mesquita, Samya D’Laura Oliveira Neves. Aquecedores Solares Para Projetos Sociais no Brasil. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de referência para Energias Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito. Coletânea de Artigos: Energias Solar e Eólica – Volume 2 / Rio de Janeiro, CRESESB, 2005.

PEREZ, R.; Seals, R.; Zelenka, A. Comparing Satellite Remote Sensing and Ground Network Measurements for the Production of Site/Time Specific Irradiance Data. Solar Energy, 60 (2): 89-96, 1997.

PROCEL, 2007. Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil. Pesquisa de Posse de equipamentos e Hábitos de Uso, Ano Base 2005. Classe Residencial. Departamento de Planejamento e Estudos de Conservação de Energia – DPS. ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, 2007.

PEREIRA, L. T.; MACEDO, W. N. **Energia solar: Fundamentos e Aplicações.** Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2004. (Disseminação de informações em eficiência energética).

PEREIRA, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Couto, P., Stuhlmann, R., Colle, S.. Effects of burning of biomass on satellite estimations of solar irradiation in Brazil. Solar Energy, 68, 1, 91-107. January, 2000.

POMPERMAYER, M. L. Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição de Energia Elétrica – PEE. Apresentação 7º Congresso Brasileiro de Eficiência Energética – 2010. São Paulo – SP.



PRADO, R. T. A. Gerenciamento de demanda e consumo de energia para aquecimento de água em residências de interesse social. São Paulo, 1991. Dissertação Mestrado Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.

PRADO, R. T. A. Gonsalves O. M. Gerenciamento de demanda e consumo de energia para aquecimento de água em residências de interesse social: Resumo. São Paulo, 1992. PCC/EPUUSP.

PNE 2030. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Energia 2030/ Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME: EPE, 2007. 12 v.: II

Planejamento Estratégico / Agência nacional de Energia Elétrica, Brasília; ANEEL, 2007, 48p.

RAIMO, Patrícia Abdala. Aquecimento de água no setor residencial. Dissertação Mestrado. Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia – USP. São Paulo 2007.

Relatório de Gestão do Ministério de Minas E Energia Exercício de 2006, Ministério de Minas e Energia, Secretaria Executiva, março de 2007.

ROUSSEAU, J. J. O contrato social. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

ROULLEAU, T. and C.R. Lloyd. International policy issues regarding solar water heating, with a focus on New Zealand. Otago University, Physics Department, Dunedin, New Zealand, 2008.

SACHS, I. Ecodesenvolvimento, crescer sem destruir. São Paulo: Vértice, 1986.

SIMONSON, J. R. Computing Methods in Solar Heating Design. London, UK: Macmillan Press, 1984.

SILVA, Alexandre Stamford. O uso dos recursos energéticos, água e energia solar: implicações econômicas e decisão através de modelos dinâmicos. Tese de doutorado do Programa de Pós-graduação em Economia – PIMES, da Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 1999. p 138.

SOLA, Antonio Vanderley Herrero; Antonio Augusto de Paula Xavier; João Luiz Kovaleski; Luis Maurício Resende. ANÁLISE DOS FATORES DETERMINANTES PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC – Brasil. Revista Produção on lin. ISSN 1676 - 1901 / Vol. 6/ Num. 1/ Abril de 2006

IEA (2006). Solar Heat Worldwide, Markets and Contribution to the Energy Supply 2004, Solar Heating and Cooling Programme, International Energy Agency (IEA), 2006

SOUZA, Aurélio de Andrade, Oportunidades e mecanismos de viabilização de ações para incentivar o uso de Aquecimento Solar de Água no Brasil, Projeto PNUD BRA 01/039 Produto I - Relatório de Consultoria – MME – Brasília 2007.

SINTON, J. E., M. D. Levine, W. Qingyi. 1998. Energy Efficiency in China : Accomplishments and Challenges. Energy Polices.

SOUZA, Hamilton Moss, Apresentação - Energias Solar: Perspectivas, Eficiência E Sustentabilidade Forum Estadual De Energias Renováveis. Vitória – 2008.



SOUZA, Aurélio de Andrade, Oportunidades e mecanismos de viabilização de ações para incentivar o uso de Aquecimento Solar de Água no Brasil, Projeto PNUD BRA 01/039 Produto I - Relatório de Consultoria – MME – Brasília 2007.

SOUZA, Zilmar José de. "Bioeletricidade e sua contribuição para a matriz de emissões do setor energético". *Jornal da Energia*. São Paulo, 3 de novembro de 2009.

SPES, 1996 - Sociedade Portuguesa de Energia Solar. Conversão Térmica da Energia Solar. Manual editado pela Sociedade Portuguesa de Energia Solar, no âmbito do Contrato Altener nº 4.1030/Z/96-104 – “Acções para a disseminação da Energia Solar Térmica em Portugal”, financiado pelo Programa Altener e Direcção-Geral de Energia. Lisboa, 1996.

STUHLMANN, R.; Rieland, M.; Raschke, E. An improvement of the IGMK model to derive total and diffuse solar radiation at the surface from satellite data. *J. Applied Meteorology*, 29(7): 586-603, 1990.

TEIXEIRA, Samuel. Energia Solar – Conversão Térmica - FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – CENFIM - Centro de Formação Profissional da Indústria Metalúrgica e Metalomecânica - Núcleo do Porto. 2004.

TEIXEIRA, Gisele Pereira. Gestão energética, participação cidadã e políticas públicas: um estudo referente à avaliação dos procedimentos e/ou instrumentos disponíveis à participação popular na formulação e na definição do modelo de gestão de políticas públicas do setor energético nacional e do estado de Santa Catarina. Dissertação Mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Administração. Mestrado Profissional em Administração. Florianópolis – SC. 2007.

TSILINGIRIS, P. T. Design analysis and performance of low-cost plastic film large solar water heating systems. *Solar Energy*. 1997.

THÜR, Alexander, Simon Furbo and Louise Jivan Shah. Energy savings for solar heating systems. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Denmark, 2006.

UDUGAWA, M.; Kimura, Ken-Ichi. Optimization of energy use for advanced solar houses. American Society of heating, refrigeration and air conditioning engineers – ASHRAE. 1997.

UVO, C.B. Dissertação de Mestrado: A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro, 1989.

VIEIRA. L.R., 2001. “Estratégias para minimizar o consumo de energia elétrica no apoio a sistemas solares de aquecimento de água”. Dissertação de Mestrado. UFRGS/PROMEC. Porto Alegre, 2001.

VIDAL, J.W.B.; VASCONCELLOS, G.F. Dialética dos trópicos. Brasília: Instituto do Sol, 2002. 183 p.



ZHANG. Z. X. 1999. “Is China Taking Actions to Limit its Greenhouse Gas Emissions? Past Evidence and Future prospects – New York, N.Y.: United Nations Development Programme.

ZHAI X. Q. and R.Z. Wang. Experiences on solar heating and cooling in China. Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, 1954 Huanshan Road, Shanghai, 2006.

ZOELLNER, Klauss, 2005. A incidência da utilização do chuveiro elétrico na geração de água quente nas edificações. Klauss Zoellner. São Paulo. 2005. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. 2005. p. 93.

WILLIAMS, J. Richard. Solar Energy Technology and Applications. Ann Arbor Science Publishers, Inc. 1975.

WEC - World Energy Council and French Environment and Energy Management Agency (ADEME). Energy Efficiency: A Worldwide Review – Indicators, Policies, Evaluation Copyright. London, 2004.

WEISS, W.; **BERGMANN**, I. e **FANINGER**, G. Solar Heating Worldwide: Markets and Contribution to the Energy Supply 2003. IEA Solar Heating & Cooling Programme, Maio 2005. Disponível em: <<http://www.iea-shc.org/welcome/IEASHCSolarHeatingWorldwide2005.pdf>>.

WCED. World Commission on Environment and Development. Our Common Future. Oxford and New York: Oxford University Press, 1987.



ANEXO I

DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS SOLARIMÉTRICOS ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL



ANEXO I - DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS SOLARIMÉTRICOS – ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL

O Banco de Dados Solarimétricos que serviu de base para elaboração do Atlas Solarimétrico do Brasil foi desenvolvido por meio de uma parceria entre a Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e a Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF, contando com o suporte técnico e financeiro do Ministério de Minas e Energia – MME, ELETROBRÁS⁴⁶, CEPEL⁴⁷ e do CRESESB⁴⁸. O projeto foi desenvolvido considerando varias etapas distintas:

- a. Elaboração de um compêndio de dados solarimétricos existentes no País.
- b. Recuperação dos dados solarimétricos existentes até 1992.
- c. Consolidação da rede piranométrica e plano de expansão.
- d. Consolidação da rede actinográfica e heliográfica do INMET⁴⁹.
- e. Estimativa da radiação solar via satélites.
- f. Montagem do banco de dados solarimétricos.
- g. Preparação dos mapas básicos.
- h. Preparação das cartas isolinhas de radiação solar diária, considerando a média mensal.
- i. Preparação das cartas isolinhas de radiação solar diária, considerando a média anual.
- j. Preparação das cartas isolinhas de insolação solar diária, considerando a média mensal.
- k. Preparação das cartas isolinhas de insolação solar diária, considerando a média anual.

O Banco de Dados Solarimétricos foi organizado na forma de tabelas numéricas, distribuídas em ordem alfabética por região, por estado e por localidades. As tabelas apresentam-se de duas formas distintas. O primeiro tipo de tabela traz as informações referentes as coordenadas geográficas das localidades, a altitude da localidade, além de informações sobre o período das medições e os instrumentos utilizados. O segundo tipo de tabela apresenta as informações para cada localidade parametrizadas em bases diárias médias mensais, como descritas a seguir:

- a. Duração do dia (N – horas);
- b. Insolação diária (n – horas);
- c. Fração de Insolação (n/N);

⁴⁶ Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

⁴⁷ Centro de Pesquisa de Energia Elétrica

⁴⁸ Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito

⁴⁹ Instituto Nacional de Meteorologia



- d. Desvio padrão de insolação (horas);
- e. Total de dias com dados de insolação (dias);
- f. Radiação solar global diária (MJ/m^2);
- g. Desvio padrão da radiação solar global diária (MJ/m^2);
- h. Total de dias com dados de radiação solar global diária (dias).

Entre os principais equipamentos utilizados para realização das medições destacamos os heliógrafos do tipo Campbell-Stokes que realizam medições sobre a insolação diária. O equipamento funciona devido à convergência dos raios solares sobre uma faixa de papel de determinado comprimento, cuja queima ocorre quando a radiação solar direta ultrapassa o limiar variável de 100 a 200 W/m^2 . O uso de correlações simples associadas a coeficientes apropriados, as séries históricas de insolação são utilizadas para estimar a radiação solar diária, média mensal ou anual, com erros mínimos de aproximadamente 10%⁵⁰.

Os actinógrafos bimetálicos são utilizados a medição da radiação solar global sobre um plano horizontal. O equipamento funciona utilizando um bastão bimetálico de cor negra, com uma das extremidades fixas ao corpo de equipamento. A outra extremidade possui uma pena de marcação que registra os movimentos em uma faixa de papel. O movimento do bastão dá-se pela curvatura propiciada pela diferença no coeficiente de dilatação dos metais, quando esses são expostos a radiação solar. Esses equipamentos apresentam erros entre 15% e 20%, quando houver manutenção adequada.

Os piranômetros têm a função de medir a radiação solar global e difusa, e foram utilizados nas medições os do tipo termoeletrico “Black and White”, pois representam a maioria dos equipamentos instalados no Brasil. O principal elemento do equipamento é uma pilha termoeletrica⁵¹, ou seja, um conjunto de termoeletricos interligados em série. Esses equipamentos apresentam erros médios da ordem de 5%.

O método utilizado na montagem do banco de dados considera a extrapolação da variabilidade da radiação solar global em um raio de 200 km para regiões fito geográficas homogêneas, considerando-se um erro de 15% e um nível de confiança de 90% (Grossi, 1988).

Para a maioria das localidades relacionadas no Banco de Dados Solarimétricos os dados referentes à radiação solar foram obtidos por meio de medição direta, ou em casos em que não

⁵⁰ Grossi Gallegos, H., Fraidenraich, N e Lyra, F.J.M., Notas de aula do III Curso de Energia Solar – Solarimetria e Estatísticas da Radiação solar, Recife, Brasil. 1995.

⁵¹ Em 1822, o físico alemão T.J. Seebeck, aproveitando as idéias de Alessandro Volta a respeito do efeito da temperatura sobre o potencial de contato, construiu o par termoeletrico, que consiste em duas tiras de metais de diferentes coeficientes de dilatação, unidas em uma das extremidades.



foi possível a medição esses dados foram estimados por meio de cálculos específicos.

O estabelecimento da relação entre insolação diária e a radiação solar global diária, média mensal, dá-se por meio da aplicação da “relação de Angstrom”, cuja expressão é a seguinte:

$$H/H_o = a + b (n/N)$$

Onde:

H: Radiação solar global diária, médias mensais

H_o: Radiação solar global diária no topo da atmosfera, médias mensais

n: Insolação diária, médias mensais

N: Duração astronômica do dia, médias mensais

a: Coeficiente de regressão

b: Coeficiente de regressão

As constantes “a” e “b” são determinadas em estações de medição, sendo que estas dependem do local, estação do ano e tipo predominante de nuvens que se formam na região. Valores de “a” e “b” são determinados por vários autores, para latitudes entre 6° e 61° (Brutsaert, 1982), revelam uma variação de 0,18 a 0,34 para “a” e de 0,37 a 0,55 para “b”, com médias de “a = 0,25” e “b = 0,50”. Pode-se assim, de acordo com Azevedo (1990), sugerir uma tendência de aumento de “a”, e decréscimo de “b” para latitudes cada vez mais equatoriais.

O método para determinar a radiação solar global incidente em um plano inclinado qualquer, considera que esta é formada por três componentes principais, sendo, a radiação direta, radiação difusa e a contribuição do albedo⁵². O procedimento metodológico foi desenvolvido por Liu & Jordan (1963) com o intuito de encontrar curvas para estimar a radiação solar em qualquer latitude e qualquer ângulo de inclinação. O método baseou-se em dados coletados em 80 localidades dos Estados Unidos e do Canadá. A partir destes dados foram desenvolvidos estudos que relacionaram a radiação solar global com a radiação difusa, utilizando o Índice de Limpidez Atmosférica ou Índice de Clareza Atmosférica (K), o qual

⁵² Em termos gerais, o albedo é a medida da quantidade de radiação solar refletida por um corpo ou uma superfície, sendo calculado como a razão entre a quantidade de radiação refletida e a quantidade de radiação recebida. Em termos geográficos, o albedo representa a relação entre a quantidade de luz refletida pela superfície terrestre e a quantidade de luz recebida do Sol.



relaciona a radiação solar global na superfície terrestre com a radiação solar extraterrestre. O que geralmente difere no trabalho de diversos pesquisadores, é que a radiação solar difusa pode ser medida em estações meteorológicas ou pode ser determinada por diversos modelos matemáticos desenvolvidos nos últimos anos. Para a correta aplicação do modelo de Liu & Jordan (1963), também se deve observar os valores de albedo para a localidade em questão. Também fizeram parte das formulações as contribuições sobre o clima regional e a altitude, por meio da inclusão de fórmulas e constantes apresentadas por Hottel (1976) que por meio de formulações matemáticas procura encontrar os melhores ângulos horário, diário e mensal.

O Método Indireto para o cálculo da radiação direta baseado nos estudos de Hottel e Liu & Jordan é baseado na distribuição dos constituintes da atmosfera que contribuem para a absorção e espalhamento da radiação e no valor da constante solar. De acordo com o método o fluxo de radiação direta em uma superfície horizontal, em dias claros e dada por:

$$I_{DH} = I_o \times \tau_D \times \text{Cos}\theta$$

Onde:

I_{DH} : Fluxo da radiação direta em uma superfície plana

τ_D : Transmitância da radiação solar direta através da atmosfera

I_o : Constante solar

θ : Ângulo de zênite

A transmitância da radiação solar direta (τ_D) pode ser calculada para diferentes ângulos de zênite (θ), níveis do solo e valores variados de visibilidade local. De modo geral representam-se os resultados por:

$$\tau_D = a_0 + a_1 \times e^{-k \sec\theta}$$

Onde a_0 , a_1 e k são constantes que serão determinadas para dois limites de visibilidade, algumas altitudes e vários climas.

Com base no fluxo da radiação direta em uma superfície plana foi desenvolvido o método para estimar as médias mensais de radiação diária direta, difusa e total. O método utiliza para calcular o valor da radiação solar direta em dias claros a integral da radiação direta em uma superfície plana, ao longo de um dia médio do mês, estimando-se a média mensal da radiação direta diária por:



$$\langle E_{DH} \rangle = H_{DH} \times n/N$$

Onde:

H_{DH} : Radiação solar direta em dias claros

E_{DH} : Radiação solar global direta em uma superfície horizontal

O método considera que a radiação total pode ser conseguida pela soma das componentes direta e difusa da radiação incidente, cuja representação se dá por:

$$\langle H_T \rangle = \langle E_{DH} \rangle + \langle E_{dH} \rangle$$

Onde:

H_T : Radiação Total

H_{DH} : Radiação solar direta em dias claros

H_{dH} : Radiação solar difusa em dias claros

O Índice de Clareza (K) é definido como a relação entre a radiação solar incidente, e o valor da radiação solar no topo da atmosfera, conforme definição de Duffie & Beckman (1980):

$$K = H / H_o$$

Onde:

K : Índice de Clareza

H : Radiação solar incidente

H_o : radiação solar no topo da atmosfera

Liu & Jordan (1963) apresentaram a relação entre índice de clareza da radiação difusa ($\langle K_d \rangle$) e o índice de clareza da radiação direta ($\langle K_D \rangle$), baseando-se em medições realizadas em inúmeras regiões. Com esta relação transportada à equação descrita abaixo, pode-se construir uma tabela relacionando os valores do índice de clareza da radiação incidente ($\langle K_T \rangle$) e o índice de clareza da radiação difusa são relacionados diretamente com o índice de clareza da radiação direta. Com os dados apresentados na Tab. 28 podemos estimar as médias mensais de radiação diária incidente, direta e difusa, separadamente.

$$\langle K_T \rangle = \langle K_d \rangle + \langle K_D \rangle$$



Tabela 28: Índices de Clareza Incidente, Direta e Difusa

$\langle K_D \rangle$	0,121	0,217	0,312	0,426	0,551	0,625
$\langle K_d \rangle$	0,179	0,183	0,188	0,174	0,149	0,125
$\langle K_T \rangle$	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,750

Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000.

A Correlação proposta por Bennett (1965), aplicada ao hemisfério Norte, considera os efeitos da duração do brilho solar e da transmissividade da atmosfera, além dos efeitos relativos à altitude, latitude e época do ano. Esta correlação é aplicada quando não existem informações suficientes para o cálculo direto radiação solar global incidente no plano horizontal.

$$Q_s/Q_o = a + b \times (n/N) + ch$$

Onde:

Q_s : Radiação solar incidente na superfície terrestre

Q_o : Radiação solar no topo da atmosfera

n: Número de horas de brilho solar observado

N: Número de horas de brilho solar previsto para cada dia

h: altura da estação de medição

a, b e c: Coeficientes determinados a partir de dados observados

Para a determinação da radiação solar no topo da atmosfera foi utilizada a expressão clássica:

$$Q_o = (1.440/\pi) \times F_o \times (\langle d \rangle / d)^2 \times (H \times \text{sen}\theta \times \text{sen}\delta + \text{cos}\theta \times \text{cos}\delta \times \text{sen}H)$$

Onde:

F_o : Constante solar ($1,94 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1}$)

d: Distância instantânea entre a Terra e o Sol

$\langle d \rangle$: distância média entre a Terra e o Sol

H: duração da metade do dia (12 horas ou $\pi/2$ radianos)

θ : Latitude local

δ : Inclinação do Sol



Os coeficientes a, d e c inicialmente foram determinados para o hemisfério Norte e adaptados para as condições brasileiras por Nunes (1979). A Tab. 29 apresenta os coeficientes empíricos a partir de dados observados para o Brasil e modificados da Correlação inicial de Bennett.

Tabela 29: Coeficientes empíricos de correlação de Bennett Modificada

Mês	a	b	c
Janeiro	0.225	0.4812	0,0007
Fevereiro	0.221	0.5026	0,0006
Março	0.221	0.5142	0,0005
Abril	0.188	0.5574	0,0005
Mai	0.197	0.5423	0,0004
Junho	0.235	0.4780	0,0004
Julho	0.264	0.4386	0,0004
Agosto	0.291	0.3768	0,0006
Setembro	0.260	0.4242	0,0006
Outubro	0.235	0.4744	0,0005
Novembro	0.207	0.4816	0,0007
Dezembro	0.237	0.4343	0,0007

Fonte: Nunes, 1979

Para a elaboração dos *Mapas de Isolinhas de Radiação Solar Global Diária, média mensal e horas de brilho de Sol*, foi necessária a preparação previa de mapas auxiliares, descritos como:

- a. Mapa de divisão político-administrativa do Brasil, privilegiando a localização de cidades com mais de 50 mil habitantes.
- b. Mapa brasileiro do relevo-hipsometria⁵³ elaborado pelo IBGE⁵⁴, utilizando escalas de altitude de 200 metros.
- c. Mapas de cobertura vegetal do Brasil.
- d. Mapas de tipo de relevo do Brasil.
- e. Mapa de temperaturas e precipitação pluviométrica da America do Sul.
- f. Mapa com as posições das estações piranométricas, actinográficas e heliográficas.

O método utilizado para a confecção do Atlas Solarimétrico utiliza a base de dados obtida

⁵³ Altimetria ou hipsometria. Medida de altura da superfície terrestre com relação a um determinado nível horizontal referencial ou datum. A técnica permite a representação das elevações de um determinado terreno por meio de cores diferentes. (www.unb.br/ig/glossario/verbete/altimetria.htm)

⁵⁴ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE



pelas estações de medições, compatibilizadas de modo a caracterizar grandes zonas diferenciadas quanto ao recurso solar disponível.

Para os Mapas de *Isolinhas*⁵⁵ de *Radiação Solar* os valores da radiação solar global diária e anual foram inseridas em mapas de abrangência nacional, com projeção policônica centrada no meridiano 54° Oeste.

A projeção policônica é uma projeção de natureza polisuperficial utilizada em algumas aplicações de cartografia. Caracteriza-se por não apresentar propriedades de conformidade, nem de equivalência. Nesta projeção cada um dos paralelos possui a curvatura equivalente àquela produzida pelo desenvolvimento de um cone tangente ao respectivo paralelo, daí a denominação policônica. Deste modo os paralelos são arcos de circunferência não concêntricos, diferente do que ocorrem nas projeções cônicas com um paralelo padrão. Os centros dos arcos de circunferência que formam os paralelos se localizam sobre a reta definida pelo meridiano central, e as distorções, nesta projeção, dependem tanto da latitude quanto da longitude, sendo as curvas de mesma distorção simétricas em relação ao meridiano central. Ao longo do meridiano central as distorções são nulas e além disso, os paralelos são representados em verdadeira grandeza (Galo, 2002).

Foram destacadas as localidades em que situavam-se as estações de medição. Os Mapas produzidos com dados mensais e anuais foram sobrepostos ao mapa de hipsometria do Brasil, considerando cotas de 200 metros.

Os Mapas de *Isolinhas de Radiação Solar* privilegiaram as informações obtidas pelos piranômetros termoeletrônicos acoplados a integradores eletrônicos operando em rede, considerando-se o erro associado as medidas variando entre 3% e 5%. Ao mesmo tempo, para regiões consideradas homogêneas, as medidas piranométricas foram extrapoladas para distâncias de aproximadamente 200 km, admitindo-se um erro máximo de 10%. Também foram considerados os valores médios da radiação solar obtidas em países limítrofes ao território brasileiro. Foram ainda utilizadas como apoio as *Cartas Pluviométricas do Atlas Climatológico da América do Sul*⁵⁶, além de mapas de cobertura vegetal no Brasil. Convencionou-se que a radiação solar global, médias mensais e anuais, fosse expressa em MJ/m².dia, inseridas de forma crescente sobre as isolinhas, estabelecendo como espaçamento adequado 2 MJ/m².dia.

Os valores referentes à insolação diária, médias mensais e anuais, obtidas no Banco de

⁵⁵ Define-se *isolinha* como uma linha que une um conjunto de pontos com o mesmo valor. Ao conjunto de isolinhas desenhadas sobre um mapa é dado o nome de *mapa de isolinhas*.

⁵⁶ Organização Meteorológica Mundial. Atlas Climático da América do Sul. Vol. I. UNESCO, 1975.



Dados Solarimétricos, foram transportadas para *Mapas Isolinhas de Insolação*, considerando as mesmas localidades utilizadas para elaborar as cartas de radiação solar, de modo a homogeneizar a densidade das informações disponíveis. Os valores de insolação foram expressos em horas/dia, e o espaçamento das isolinhas fixados em uma hora/dia. Foi considerada a mesma convenção utilizada para as isolinhas de radiação solar, disponibilizadas de forma crescente. Admitiu-se um erro de confiabilidade máximo de 10%, sendo que para regiões homogêneas e isotrópicas utilizou-se uma extrapolação para distâncias de até 200 km, admitindo-se um erro máximo de 15%, com um índice de confiança de 90%.

Como exemplo de aplicação dos recursos do **Banco de Dados Solarimétricos**, tomaremos como referência o **Distrito Federal**. Geograficamente o Distrito Federal situa-se no Planalto Central entre as latitudes 15° 30' / 16° 03' S e as longitudes 47° 18' / 48° 17' W. Essa região é caracterizada pela predominância do clima “*tropical de Savana*”, de acordo com a classificação feita por Köppen⁵⁷.

Este tipo de clima apresenta como característica uma variação de temperatura relativamente acentuada durante o ano, resultando em temperaturas médias anuais que podem variar de 18° a 22°C. Conforme observamos na **Fig. 67** o mês de julho é caracterizado como o mês mais frio e apresenta variação de temperatura média de 16° a 18° C, sendo que a média das temperaturas mínimas pode chegar a 12,5° C,. Os meses de setembro e outubro são definidos como os mais quentes, apresentando usualmente médias de temperatura acima de 22°C, porém, a média das temperaturas máximas chegam a 29,5° C nestes meses (CODEPLAN, 2006).

Devido à elevada altitude, o clima do Distrito Federal possui semelhanças com o Clima Temperado e pode ser classificado como Tropical, Tropical de Altitude I e Tropical de Altitude II. O clima Tropical corresponde às regiões com altitudes abaixo de 1.000 m, caracterizado por temperaturas médias acima de 18° C nos meses mais frios do ano. O Tropical de Altitude I refere-se à regiões com altitudes entre 1.000 e 1.200 m, destacando-se a unidade geomorfológica do Pediplano de Brasília. A temperatura média esta abaixo de 18° C nos meses mais frios, e acima de 22° C nos meses mais quentes. O Tropical de Altitude II caracteriza-se por temperaturas médias inferiores a 18° C no mês mais frio e inferiores a 22° C no mês mais quente. Corresponde à unidade geomorfológica Pediplano Contagem-Rodeador, englobando

⁵⁷ **Classificação climática de Köppen-Geiger**, mais conhecida por **classificação climática de Köppen**, é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizada em geografia, climatologia e ecologia. A classificação foi proposta em 1900 pelo climatologista alemão Wladimir Köppen, tendo sido por ele aperfeiçoada em 1918, 1927 e 1936 com a publicação de novas versões, preparadas em colaboração com Rudolf Geiger (*Köppen-Geiger*).



altitudes superiores a 1200 m.

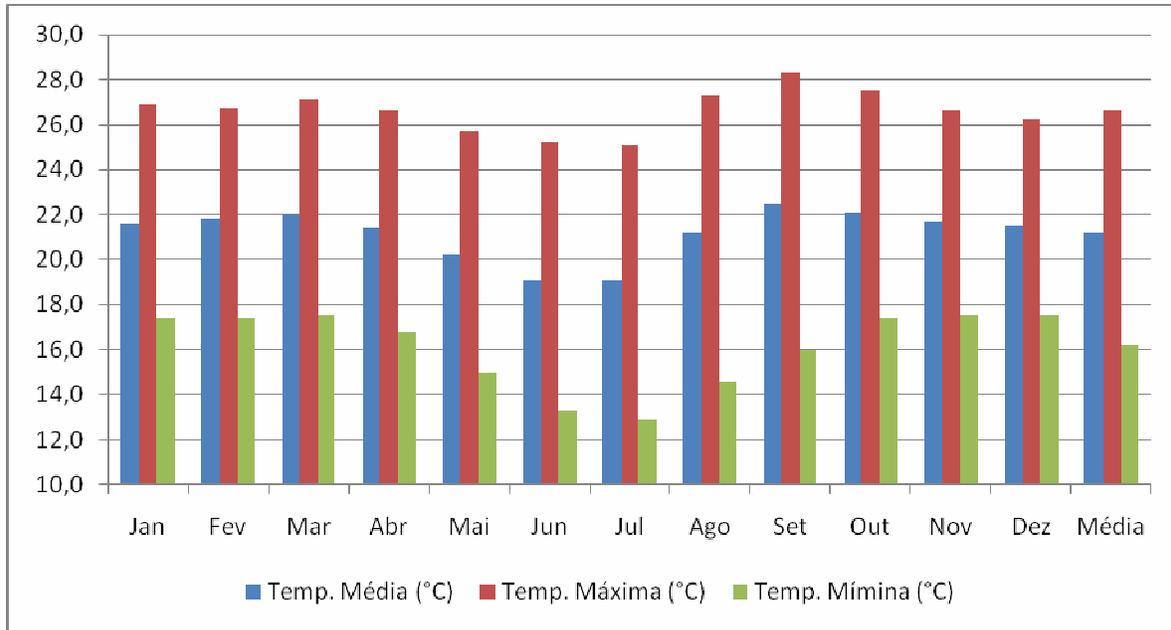


Figura 67: Comportamento das temperaturas média, mínima e máxima mensais da estação do INMET/DF. Fonte: INMET (1992) – Normais Climatológicas – 1961-1990.

Outra característica do clima do Distrito Federal refere-se à grande amplitude dos valores da umidade relativa ao longo do ano, variando de valores acima de 70% a valores abaixo de 20%. Os meses de agosto e setembro são os mais secos, quando a umidade relativa pode chegar a valores próximos a 10% nos horários mais quentes de dia.

O Distrito Federal apresenta, de forma bem definida, uma estação seca e uma estação chuvosa. O período das chuvas tem início em outubro e término em abril, sendo caracterizado por céu encoberto, temperaturas altas e a maior porcentagem de precipitação do ano. A estação seca inicia-se em maio e termina em setembro, sendo caracterizada pela ausência de nuvens, umidade baixa e menor porcentagem de precipitação do ano (CODEPLAN, 2006). De acordo com o **Fig. 68**, que apresenta a média total de precipitação pluviométrica entre 1961 e 1990, podemos notar o nível baixo de precipitação nos meses de junho, julho e agosto, sendo que em determinados anos o índice é igual a zero para esses meses.

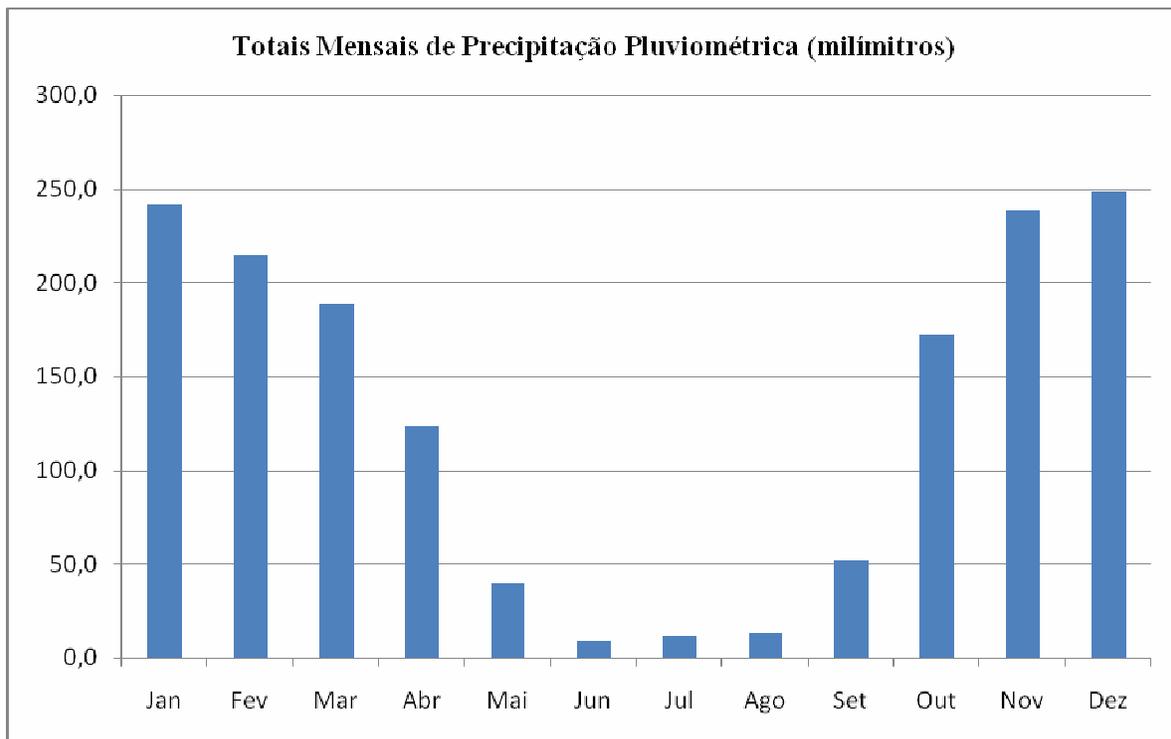


Figura 68: Totais mensais de Precipitação Pluviométrica da estação do INMET/DF.
Fonte: INMET (1992) – Normais Climatológicas – 1961-1990.

Quanto aos índices de nebulosidade típicos do Distrito Federal, a **Fig. 69** descreve a tendência da curva de nebulosidade acompanhar a curva de precipitação pluviométrica, garantindo que os meses de junho, julho e agosto sejam os meses com a menor cobertura de nuvens. Estabelecendo que a nebulosidade seja definida como a cobertura do céu por nuvens ou nevoeiro, a **Fig. 69** considera a escala climatológica em que o número zero equivale ao céu completamente limpo, e o número dez equivale ao céu completamente encoberto.

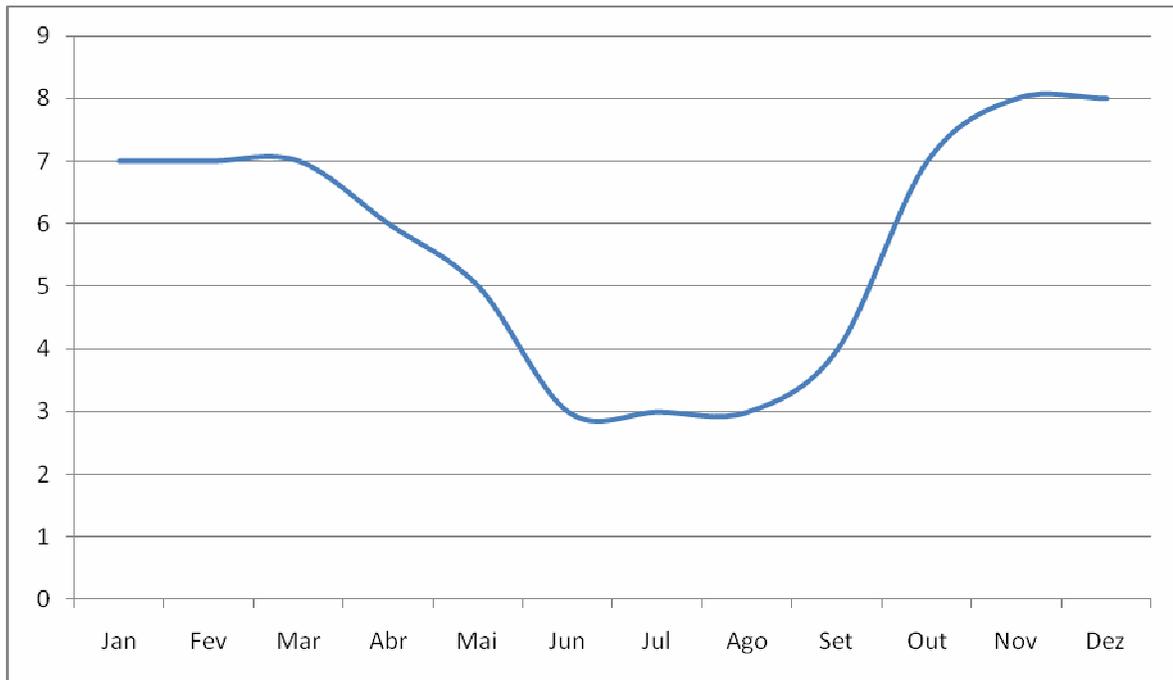


Figura 69: Normais de nebulosidade medidos na estação do INMET/DF.
Fonte: INMET (1992) – Normais Climatológicas – 1961-1990.

O relevo dominante no Distrito Federal caracteriza-se por áreas planas e elevadas, colinas arredondadas e chapadas intercaladas por escarpas. Ao norte verificamos um relevo acidentado, com vales profundos chamados "vãos" e ao sul são comuns os vales abertos e as encostas pouco íngremes. A altitude média do Distrito Federal é de 1.100 metros, tendo como ponto mais elevado a *Chapada da Vendinha*, localizada a noroeste com 1.349 metros (CODEPLAN, 2006). A cobertura vegetal típica do Distrito Federal é o cerrado, porém 60% da vegetação natural foi perdida, restringindo-a a somente três áreas protegidas. Da área total aproximadamente 42% são utilizados para agricultura e 18% do território são hoje ocupados por áreas urbanas.

A Tab. 30 apresenta, com base referencial nas características climatológicas e do relevo do Distrito Federal, as medições realizadas para balizar a confecção do Banco de Dados Solarimétricos e do Atlas Solarimétrico do Brasil, apresentando o resultado típico para o Distrito Federal, cujas as coordenadas utilizadas foram 15° 47' Sul e 47° 56' Oeste, para uma altitude de 1.158 metros.



Tabela 30: Banco de Dados Solarimétricos – Distrito Federal

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	ANO	Fonte
Duração do dia, N (h)	12,8	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,1	11,5	11,9	12,4	12,8	12,9	12,0	
Insolação Diária (h)	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	2
Fração de Insolação (n/N)	0,40	0,45	0,48	0,58	0,67	0,76	0,77	0,74	0,57	0,44	0,37	0,34	0,54	2
Insolação Diária (h)	5,9	5,2	6,0	6,8	7,8	8,5	8,6	8,8	7,2	5,2	5,0	4,7	6,7	8
Fração de Insolação (n/N)	0,46	0,42	0,49	0,58	0,70	0,77	0,78	0,76	0,60	0,42	0,39	0,36	0,56	8
Radiação Solar Global Diária (MJ/m ²)	16,0	15,2	16,0	15,2	15,0	13,2	16,1	16,9	15,6	14,0	15,0	16,4	15,4	8
Radiação Solar Global Diária (MJ/m ²)	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	14
Radiação Solar Global Diária (MJ/m ²)	16,0	15,2	11,8	15,2	15,0	13,2	16,1	16,9	15,6	14,4	15,0	16,4	15,0	5
Radiação Solar Global Diária (MJ/m ²)	16,8	20,1	16,3	18,0	17,0	17,1	17,9	19,8	18,9	16,9	17,1	17,0	17,7	17

Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil - Dados Numéricos CD Room, 2000

Considerando que as fontes de referências adotadas foram:

(2): Normais Climatológicas (1961-1990). Departamento Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária, Brasília, DF. 1992.

(5): Villa Nova, N. A. e Sallati, E., Radiação solar no Brasil, anais do I Simpósio anual da academis de Ciências do Estado de São Paulo, pp. 27-61, 1997.

(8): Funari, F. L., Insolação, Radiação Solar global Líquida no Brasil. São Paulo. Dissertação de Mestrado do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, 1983.

(14): Boletim de Radiação solar trimestral, Ministério da agricultura, Instituto Nacional de Meteorologia, 1978 a 1990.

(17): Valores Medios de Irradiacion soalr sobre Suelo Horizontal, Centro de Estudios de la Energia solar. PROGENSA, Argentina. 1993.

Dentro das possibilidades oferecidas pelas informações disponíveis e utilizadas para a montagem do Banco de Dados, as quais, podemos observar na Tab. 30, provêm de diversas fontes que utilizaram métodos e equipamentos distintos, foram destacadas nos *Mapas Isolinhas* grandes áreas de influência, cujos valores utilizados seguem os parâmetros de cálculo e aproximação descritos nas paginas anteriores.

Os Mapas Isolinhas de Radiação Solar e de Insolação que compõe o Atlas Solarimétrico do Brasil apresentam resultados médios mensais para a radiação global diária e a insolação diária incidente no Distrito Federal. **A Fig. 70** apresenta a curva média da incidência de radiação solar e de insolação diária durante os meses do ano, sendo que o valor anual para a radiação global diária, média anual, no Distrito Federal equivale a 18 MJ/m² e a insolação diária, média anual equivale a 6 horas/dia.

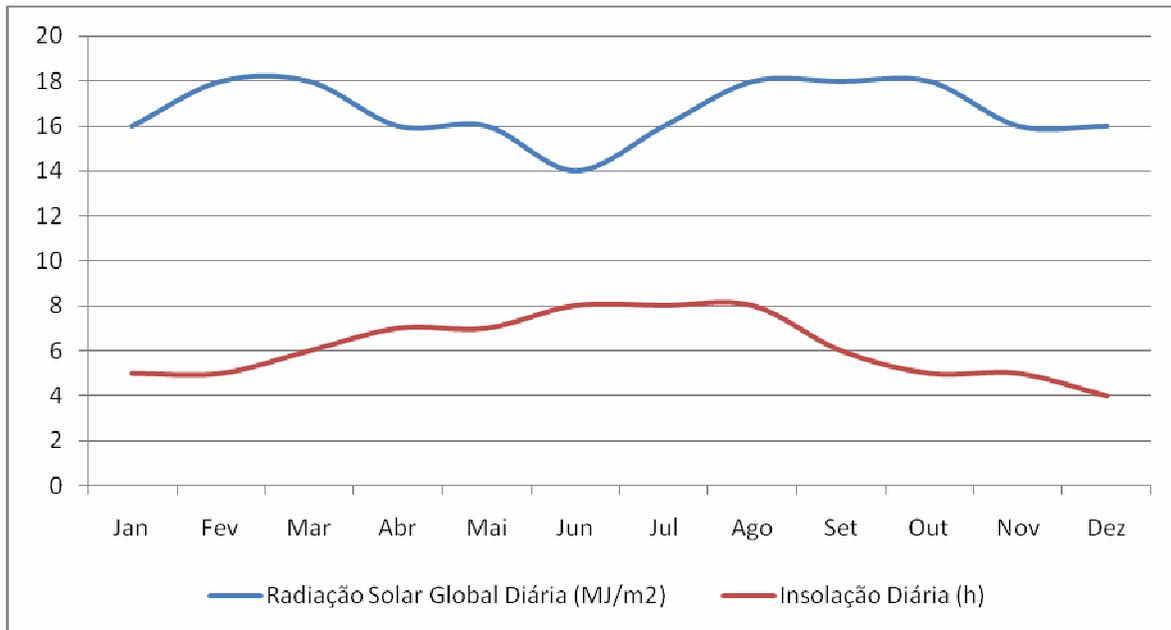


Figura 70: Valores médios de radiação solar global diária e insolação diária, apresentadas nos Mapas Isolinhas. Fonte: Adaptado dos Mapas Isolinhas. Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000.

Podemos notar que os meses de maior incidência de radiação solar global diária são fevereiro, março, agosto, setembro e outubro, quando os valores médio podem ultrapassar 18 MJ/m².dia. Sendo que no mês de agosto também coincide com o maior tempo de insolação diária, média mensal, cujo valor aproxima-se de 8 horas diárias. Na **Fig. 71** apresenta o Mapa Isolinhas de Radiação solar Global Diária para o mês de agosto, podemos notar que a radiação solar diária média que incide sobre o Distrito Federal também incide na metade norte dos estados de Goiás e Mato Grosso, e em praticamente toda a Região Norte do País. Para este mês os menores valores de incidência de radiação solar média são verificados na faixa litorânea da Região Sul, cujos valores são de aproximadamente 10 MJ/m².dia. Por outro lado a maior incidência de radiação solar é verificada em uma grande faixa na porção norte da Região Nordeste, atingindo valores médios que ultrapassam 20 MJ/m².dia.

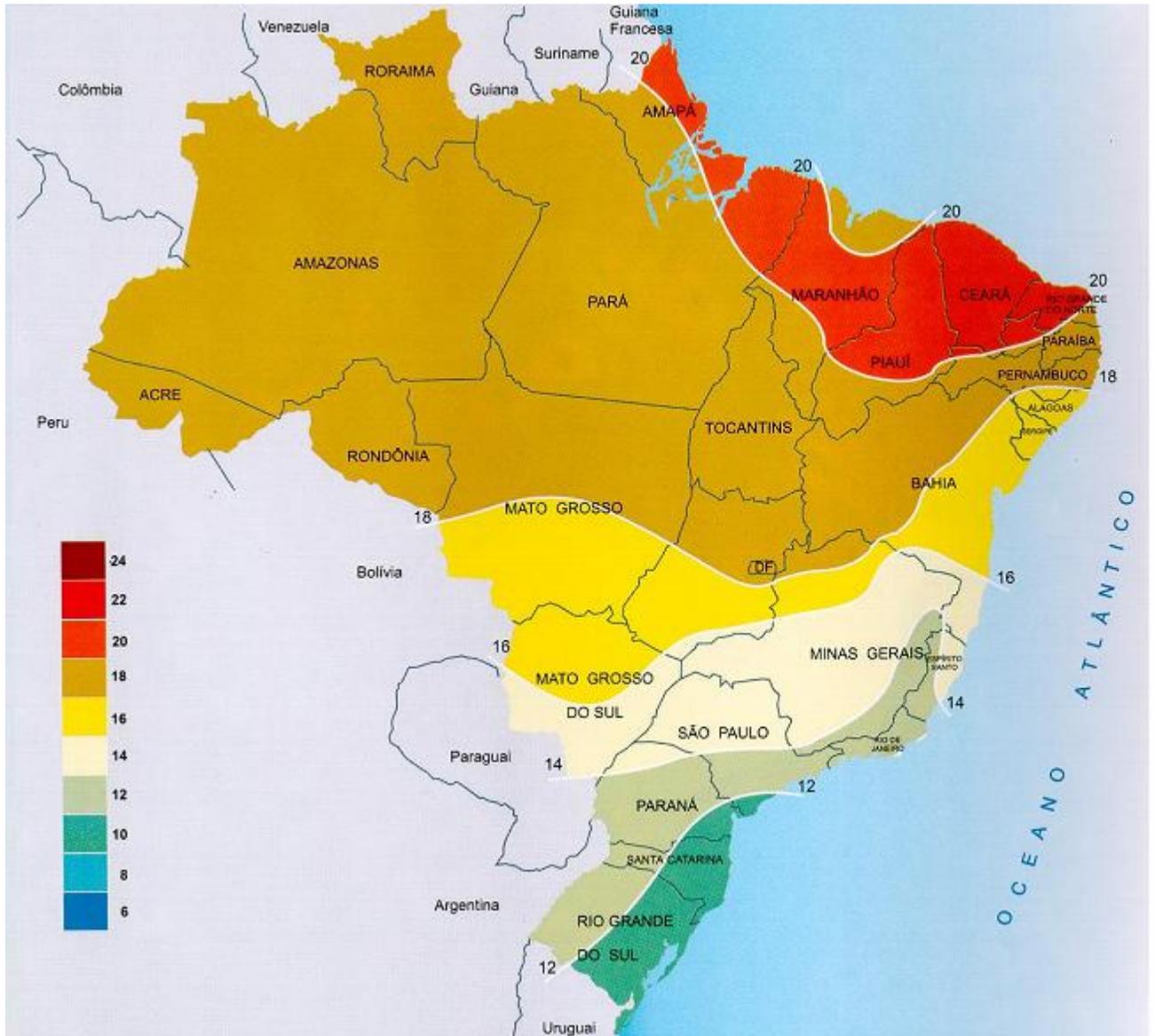


Figura 71: Mapa isolinhas de radiação solar global diária para o mês de agosto (MJ/m².dia)
Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000.

A menor incidência de radiação solar global diária para o Distrito Federal é verificada no mês de junho, conforme indica a **Fig. 72**, cujo valor médio é de 14 MJ/m².dia. Vale observar que a duração da insolação diária média para este mês equivale a 8 horas. Os valores de radiação solar média apresentado pelo Distrito Federal também são observados em praticamente toda a Região Centro Oeste.

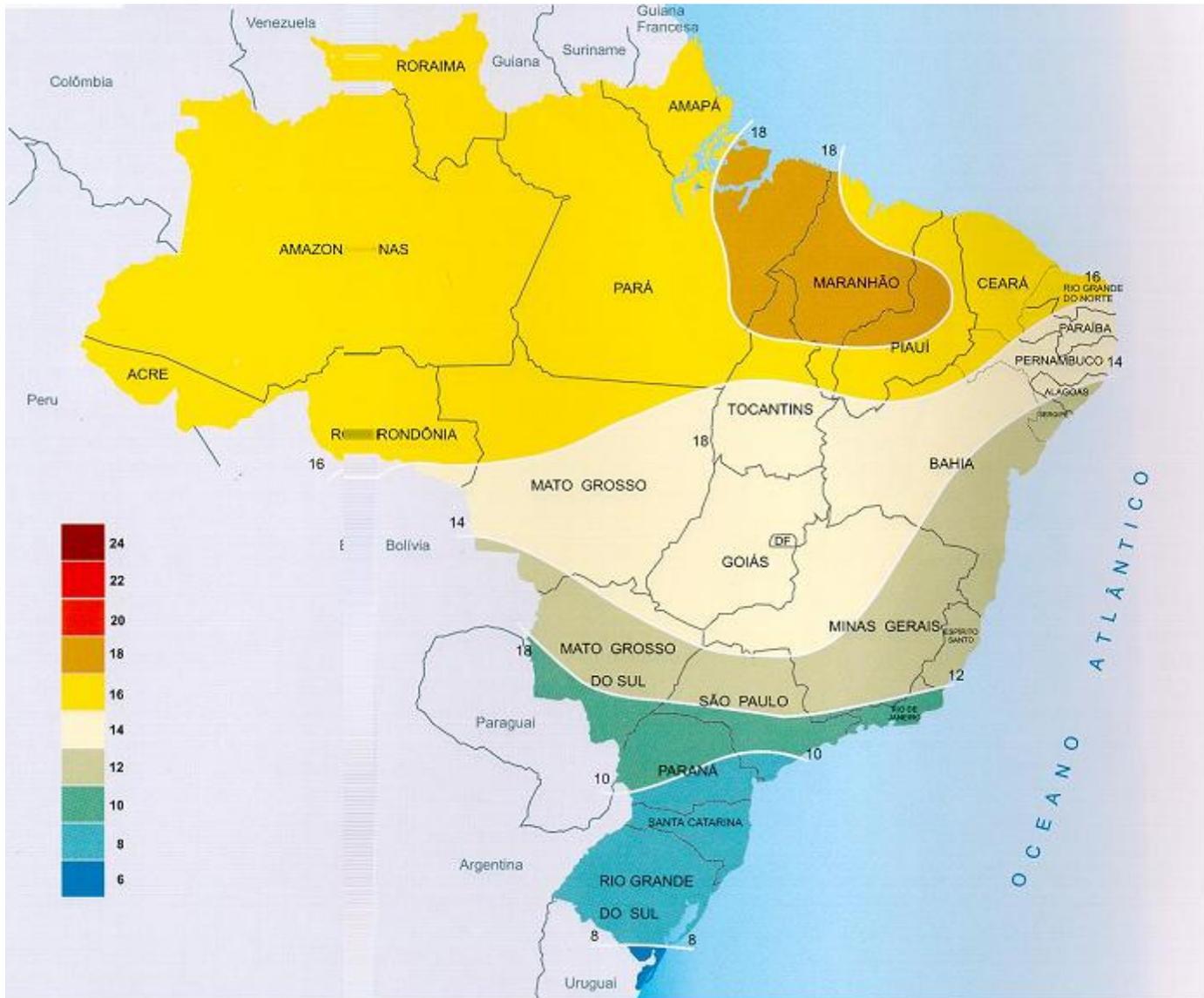


Figura 72: Mapa isolinhas de radiação solar global diária para o mês de junho (MJ/m².dia)
Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil, 2000.

Os maiores valores médios da radiação solar incidente para o mês de junho são observados na porção leste do Estado do Pará e na maior parte do estado do Maranhão, onde chega-se a medir 18 MJ/m².dia. O mês de junho caracteriza-se por apresentar a menor média de incidência de radiação solar global diária do ano, quando verificamos no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul médias inferiores a 6 MJ/m².dia. A insolação diária média para esta região não ultrapassa 4 horas diárias.



ANEXO II

FÓRMULAS DE CÁLCULO DA IRRADIAÇÃO TOTAL INCIDENTE



ANEXO II - CÁLCULO DA RADIAÇÃO TOTAL INCIDENTE

O fluxo total de radiação que atinge uma dada superfície pode ser descrito por (ASHRAE, 1999):

$$I_T = I_{DN} \times \cos \theta + I_d + I_r$$

Onde:

I_T : fluxo total de radiação que atinge a superfície (irradiação solar) (W/m²);

I_{DN} : fluxo de radiação direta do Sol (W/m²);

θ : ângulo de incidência (°);

I_d : fluxo de radiação difusa normal a superfície da Terra (W/m²);

I_r : fluxo de radiação refletida (W/m²).

A radiação solar direta (I_{DN}) é calculada pela fórmula:

$$I_{DN} = A \times \varphi^{-(B/\text{sen}\beta)}$$

Onde:

β : altitude solar (ângulo entre o plano horizontal sobre a terra e os raios solares) (°);

A: radiação solar aparente para massa de ar igual a zero (Tab.20) (W/m²);

B: coeficiente de extinção atmosférica (Tab. 3) adimensional;

φ : azimute solar (ângulo entre a direção Sul e a projeção dos raios solares no plano horizontal sobre a terra) (°).



Tabela 31: Radiação Solar extraterrestre e dados relacionados

Mês	A (W/m ²)	B	C ⁵⁸
janeiro	1.230	0,142	0,058
fevereiro	1.215	0,144	0,060
março	1.186	0,156	0,071
abril	1.136	0,180	0,097
maio	1.104	0,196	0,121
junho	1.088	0,205	0,134
julho	1.085	0,207	0,136
agosto	1.107	0,201	0,122
setembro	1.151	0,177	0,092
outubro	1.192	0,160	0,073
novembro	1.221	0,149	0,063
dezembro	1.233	0,142	0,057

Fonte: Duffie, 1991. Solar engineering of thermal processes

Para a determinação da altitude solar ($\text{sen}\beta$), conforme Duffie (1991):

$$\text{sen}\beta = \cos L \times \cos H \times \cos \delta + \text{sen} L \times \text{sen} \delta$$

Onde:

L : latitude (negativo no hemisfério sul) (°);

H : ângulo horário (exprime o ângulo do sol em relação ao meio dia) (°);

δ : declinação solar (ângulo entre os raios solares e o plano do equador) (°).

O cálculo da declinação solar utilizada na fórmula anterior é traduzida pela equação (Duffie, 1991):

$$\delta = 23,47 \times \text{sen}[360 \times (284 + N)/365]$$

Onde:

N é o dia do ano contado a partir de 1° de janeiro

Para determinar o ângulo de incidência ($\cos\theta$) utilizado no cálculo do fluxo total de radiação, utiliza-se a seguinte fórmula (ASHRAE, 1999):

⁵⁸ C: Constante para o cálculo da radiação difusa



$$\mathbf{\text{sen}\theta = \text{cos}\beta \times \text{cos}\gamma \times \text{sen}\Sigma + \text{sen}\beta \times \text{cos}\Sigma}$$

Onde:

β : altitude solar já definida;

Σ : inclinação da superfície em relação ao plano horizontal (°);

γ : diferença entre o ângulo azimute solar e o da superfície (°), dada por:

Definimos a diferença entre o ângulo do azimute solar e da superfície da Terra pela fórmula (ASHRAE, 1999):

$$\mathbf{\gamma = \Phi \pm \Psi}$$

Onde:

Ψ : azimute da superfície (ângulo entre o plano vertical normal à superfície e a linha N-S) (°);

φ : azimute solar (ângulo entre os raios solares e a linha N-S) (°).

Definimos o azimute solar por (ASHRAE, 1999):

$$\mathbf{\text{cos}\Phi = (\text{sen}\beta \times \text{sen}L - \text{sen}\delta) / (\text{cos}\beta \times \text{cos}L)}$$

Para completar a fórmula de cálculo do fluxo total de radiação, temos que a radiação solar difusa (I_d) dá-se por (Duffie, 1991):

$$\mathbf{I_d = C \times I_{DN} \times [(1 + \text{cos}\Sigma) / 2]}$$

Onde:

Σ : inclinação da superfície já definida;

C: constante adimensional - função dos meses do ano (tabelada).

Por fim, a radiação refletida (I_r) é calculada por (Duffie, 1991):

$$\mathbf{I_r = I_{DN} \times (C + \text{sen}\beta) \times \rho_s \times F_{ss}}$$



Onde:

I_r : radiação solar incidente na superfície;

C, β : já definidos;

ρ_s : refletância do solo;

F_{ss} : fator de forma entre o solo e a superfície, cuja obtenção é dada por:

$$F_{ss} = (1 - \cos\Sigma) / 2$$



ANEXO III

FÓRMULAS BÁSICAS DE FUNCIONAMENTO DE UM CHUVEIRO ELÉTRICO



ANEXO III - FÓRMULAS BÁSICAS DE FUNCIONAMENTO DO CHUVEIRO ELÉTRICO

A potência elétrica do chuveiro, que consta nas especificações do aparelho, relaciona a quantidade de calor fornecida pelo aparelho com o tempo de funcionamento do mesmo, por meio da expressão:

$$P_d = \Delta Q / \Delta t$$

Onde:

P_d é a potência dissipada no resistor;

ΔQ é o calor absorvido pelo sistema água e calorímetro (cápsula do chuveiro);

Δt é o tempo de observação.

A variação da temperatura (ΔT) tem relação direta com ΔQ de acordo com a expressão:

$$\Delta Q = mc\Delta T$$

Onde:

“m” é a massa do corpo que troca calor (água)

“c” é o calor específico deste corpo.

A capacidade térmica (C) do sistema de aquecimento do chuveiro elétrico é obtida pela expressão:

$$C = mc = \Delta Q / \Delta T$$

Temos ainda que a potência dissipada pelo resistor é determinada pelas seguintes equações:

$$P_d = V \times i$$

$$P_d = R \times i^2$$

$$P_d = V^2 \times R$$

Onde:

R é a resistência do fio resistivo em questão;

V é a diferença de potencial no resistor;

“i” é a corrente elétrica do circuito.



A relação de V, R e i para qualquer resistor é dada pela lei de Ohm:

$$V = R \times i$$

Quanto à dependência da resistência do fio resistivo em relação à sua dimensão e ao material que o constitui, sabe-se que:

$$R = \rho \times (L \times A)$$

Onde:

ρ a resistividade deste fio;

L o seu comprimento;

A é a área da sua seção transversal (admitindo-se o fio de formato cilíndrico).

Podemos ainda isolar a variação de temperatura (ΔT) obtendo:

$$\Delta T = V^2 / (R \times d \times c \times \Phi)$$

Onde:

ΔT - variação da temperatura da água

V - voltagem do chuveiro

“d” - densidade da água

“c” - calor específico da água, que são constantes,

R – resistência

Φ - vazão



ANEXO IV - LEIS MUNICIPAIS DE INCENTIVO A IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

1. Leis Municipais

- a. São Paulo/SP: Lei nº 14.459 - Dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de São Paulo.
- b. São Paulo/SP: Decreto nº 49.148 - Regulamenta a Lei 14.459 - Aquecimento de água por energia solar.
- c. Peruíbe/SP: Lei nº 2883-2007 - Dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento solar de água em edificações públicas ou privadas e dá outras providências.
- d. Juiz se Fora/MG: Lei nº 31-2006 - Dispõe sobre a implantação e instalação de aquecedores solares e/ou gás natural nas residências, hospitais, escolas e creches.
- e. Porto Alegre/RS: Lei nº 04117 - Institui o Programa de Incentivos Uso de Energia Solar nas Edificações com o objetivo de promover medidas necessárias ao fomento do uso e ao desenvolvimento tecnológico de sistemas de aproveitamento de energia solar.
- f. Assis/SP: Lei nº 0097 - Dispõe sobre a criação no âmbito do Município de Assis do Programa de Incentivos ao uso de Energia Solar nas Edificações Urbanas e dá outras providência.
- g. Avaré/SP: Lei nº 0963 - Dispõe sobre a criação no âmbito do Município da Estância Turística de Avaré do Programa de Incentivos ao uso de Energia Solar nas Edificações Urbanas.

2. Leis Estaduais

- a. São Paulo: Lei nº 326, DE 2007 - Dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar em edificações de natureza pública, no âmbito do Estado de São Paulo.
- b. Rio de Janeiro: Lei nº 5184, de 2008 - Dispõe sobre a instalação de aquecimento solar de água em prédios públicos no Estado do Rio de Janeiro.

3. Projetos de Lei em tramitação

- a. Americana/SP: PL 168/2005 - Ementa: “Que obriga a instalação de aquecedor solar em



- edificações que especifica”.
- b. Araçatuba/SP: PL 090/2007 - “Dispõe sobre a instalação de equipamentos coletores de energia solar em novas construções e dá outras providências”.
 - c. Araraquara/SP: PL 0072 - Dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de Araraquara e dá outras providências.
 - d. Belo Horizonte/MG: PL 390-07 - Dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações que menciona.
 - e. Campinas/SP: PL 7 2007 - Projeto de Lei Complementar - Dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas edificações do município de campinas.
 - f. Campo Grande/MS: PL 6.260/07 - Institui o programa de incentivos ao uso de energia solar nas edificações no município de campo grande.
 - g. Curitiba/PR: PL 05.00236.2006 - Institui no âmbito do município de Curitiba o Programa de Incentivos ao Uso de Energia Solar nas Edificações Urbanas.
 - h. Franca/SP: PL 009-07 - Dispõe sobre obrigatoriedade de instalações de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município.
 - i. Piracicaba/SP: PL 278/06 - Dispõe sobre a criação no âmbito do município de Piracicaba do programa de incentivos ao uso de energia solar nas edificações urbanas.
 - j. Ponte Nova/MG: PL N° 1/ 2007 - Estabelece a obrigatoriedade de instalação de equipamentos coletores de energia solar em novas construções e dá outras providências
 - k. Rio de Janeiro/RJ: PL 1221/2007 - Dispõe sobre a instalação de sistemas de aquecimento de água por energia solar nas edificações do Município do Rio de Janeiro, em atendimento ao disposto no art. 461, inciso VI, da Lei Orgânica Municipal.
 - l. São José dos Campas/SP: PL N.º 39/2006 - Institui o Programa de Incentivos ao Uso de Energia Solar nas Edificações com o objetivo de promover medidas necessárias ao fomento do uso e ao desenvolvimento tecnológico de sistemas de aproveitamento de energia solar.
 - m. Uberaba/MG: PL N.º 354/2007 - Dispõe sobre a instalação de sistemas de aquecimento de água por energia solar nas edificações do município de Uberaba e contém outras disposições.