

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Francisco Bastos Moreira

**COLETORES SOLARES EM INSTALAÇÕES PREDIAIS:
DESEMPENHO E VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA
PARA SISTEMA DE AQUECIMENTO DE CHUVEIROS**

Porto Alegre
julho 2013

FRANCISCO BASTOS MOREIRA

**COLETORES SOLARES EM INSTALAÇÕES PREDIAIS:
DESEMPENHO E VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA
PARA SISTEMA DE AQUECIMENTO DE CHUVEIROS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Juan Martín Bravo

Porto Alegre
julho 2013

FRANCISCO BASTOS MOREIRA

**COLETORES SOLARES EM INSTALAÇÕES PREDIAIS:
DESEMPENHO E VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA
PARA SISTEMA DE AQUECIMENTO DE CHUVEIROS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 15 de julho de 2013

Prof. Juan Martín Bravo
Doutor pela UFRGS
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Felipe Krüger Leal (DOH-IPH-UFRGS))
Mestre pela UFRGS

Prof. Fernando Mainardi Fan
Mestre pela UFRGS

Prof. Dieter Wartchow (DOH-IPH-UFRGS))
Doutor pela Stuttgart Universität

Dedico este trabalho a meus pais, Francisco e Maria, que sempre me apoiaram durante o Curso de Graduação, e ao meu avô, Lamartine, que apesar de não estar mais ao meu lado, teve uma grande participação nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Juan Martín Bravo, orientador deste trabalho, por ter despertado em mim a vontade de realizar este estudo, através de suas aulas ministradas no IPH e, principalmente, por estar sempre disposto a ajudar ao longo de todo o trabalho.

Agradeço a toda minha família pela base que me deu, essencial não só para este trabalho, mas para a vida toda. Um agradecimento especial aos meus pais, avós, e a minha irmãzinha, que com 1 ano e 6 meses de idade, me trouxe uma alegria e motivação imensa nesta reta final de curso.

Agradeço à minha namorada, Camila, por estar sempre ao meu lado, me apoiando e aconselhando, e por ter me passado um pouco de sua experiência vivida no seu trabalho de conclusão.

Agradeço à Professora Carin por ter mostrado o caminho para a realização deste trabalho. Com certeza, após cursar sua disciplina, saio mais exigente comigo mesmo e, ao mesmo tempo, ciente de que sou capaz de buscar sempre o meu melhor.

Agradeço a todos os meus amigos pelo companheirismo, tanto nas horas boas como nas horas ruins vividas ao longo do curso. Agradeço por entenderem os momentos de ausência em função deste trabalho.

No que diz respeito ao empenho, ao compromisso,
ao esforço, à dedicação, não existe meio termo.
Ou você faz uma coisa bem feita, ou não faz.

Ayrton Senna

RESUMO

A energia elétrica está presente na vida da maioria da população, sendo o chuveiro um dos principais responsáveis pelo seu aproveitamento. Porém, com a demanda por energia aumentando a cada dia, é importante que haja outras maneiras de aquecer a água para o banho. Em tempos nos quais a sustentabilidade é um assunto muito discutido, a energia solar, tão disponível no Brasil, torna-se uma grande alternativa de aquecimento para os chuveiros do País, na medida em que supri as necessidades da população e minimiza os impactos ao meio ambiente, além de ser mais viável economicamente. Apesar disto, o sistema de aquecimento solar ainda é pouco aproveitado no País, devido, principalmente, ao elevado custo de aquisição, se comparado aos chuveiros elétricos, e à falta de conhecimento sobre o sistema. Sendo assim, este trabalho visou o dimensionamento de um sistema de aquecimento de água para chuveiros, do tipo passivo, utilizando placas coletoras planas fechadas de energia solar. A partir deste dimensionamento, foi possível obter a área de captação solar necessária para aquecer a água da residência estudada, com quatro moradores, localizada em Porto Alegre, utilizando uma placa com Produção Média Diária de Energia Específica igual a 2,57 kWh/dia.m². Foi verificado, então, o período de retorno do investimento no sistema de aquecimento solar, se comparado aos custos com o chuveiro elétrico, chegando-se ao valor de, aproximadamente, 5,5 anos, para tempo de banho igual a 10 min. Diversos cenários foram criados, a fim de se verificar a influência de determinadas características na área de captação solar e, conseqüentemente, no período de retorno do investimento. Os resultados mostraram que, normalmente, o sistema não é afetado de maneira muito significativa por fatores como inclinação e orientação geográfica das placas, sendo estas alterações supridas pela área efetiva das placas utilizadas, normalmente superior à área necessária. Em relação ao tempo de uso do chuveiro, verificou-se que, embora tempos maiores levem a custos iniciais elevados com o sistema de aquecimento solar, o período de retorno do investimento neste sistema se reduz com o maior uso do chuveiro, tendo em vista os altos custos com energia elétrica para o sistema tradicional.

Palavras-chave: Coletores Solares. Aquecimento Solar. Sistemas Passivos de Aquecimento de Água. Viabilidade Econômica do Sistema. Período de Retorno do Investimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da pesquisa	19
Figura 2 – Faixas do espectro eletromagnético	22
Figura 3 – Processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre	24
Figura 4 – Insolação diária: média anual no Brasil	26
Figura 5 – Radiação solar global diária: média anual no Brasil	27
Figura 6 – Coletores solares em residências do Programa Minha Casa Minha Vida	33
Figura 7 – Coletor solar fechado	37
Figura 8 – Orientação geográfica dos coletores	37
Figura 9 – Ângulo de inclinação dos coletores	37
Figura 10 – Circulação de água por termossifão em um sistema passivo	41
Figura 11 – Circulação forçada em um sistema ativo	42
Figura 12 – Planta baixa da residência	47
Figura 13 – Vista em corte da residência	48
Figura 14 – Representação esquemática do sistema de aquecimento solar	50
Figura 15 – Sistema de aquecimento solar projetado com as placas B	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução do mercado de coletores solares	28
Gráfico 2 – Habitações do Programa Minha Casa Minha Vida com sistema de aquecimento solar para água	34
Gráfico 3 – Crescimento da tarifa de energia elétrica entre 2007 e 2012	57
Gráfico 4 – Período de retorno do investimento	60
Gráfico 5 – Relação entre tempo de banho e volume de água quente consumido	63
Gráfico 6 – Período de retorno do investimento em função do tempo de banho e taxa de juros aplicada	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição mundial dos coletores solares	28
Tabela 2 – Consumo de pontos de utilização de água quente	43
Tabela 3 – Placas coletoras de energia solar estudadas no projeto	49
Tabela 4 – Valores dos reservatórios térmicos	49
Tabela 5 – Temperaturas médias mensais em Porto Alegre desde 1961	52
Tabela 6 – Área de captação solar para diferentes PMDEE	53
Tabela 7 – Custos totais das placas coletoras de energia solar	55
Tabela 8 – Tarifas médias anuais passadas	57
Tabela 9 – Tarifas de energia elétrica e custos anuais projetados	58
Tabela 10 – Influência do ângulo de orientação na área da placa	61
Tabela 11 – Influência do ângulo de inclinação na área da placa	62
Tabela 12 – Relação entre tempo de banho e área de captação solar necessária	64
Tabela 13 – Custos totais do sistema para diferentes tempos de banho	65
Tabela 14 – Estimativa de custos futuros com o chuveiro elétrico	65
Tabela 15 – Período de retorno para diferentes tempos de banho	66
Tabela 16 – Período de retorno do investimento em função do tempo de banho e taxa de juros aplicada	67

LISTA DE SIGLAS

BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica

Dasol – Departamento Nacional de Aquecimento Solar

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

Inmet – Instituto Nacional de Meteorologia

Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

mca – metro de coluna d'água

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PIB – Produto Interno Bruto

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

PMDEE – Produção Média Diária de Energia Específica

PMMEE – Produção Média Mensal de Energia Específica

SAS – Sistema de Aquecimento Solar

VPL – Valor Presente Líquido

LISTA DE SÍMBOLOS

λ – comprimento de onda (m)

ν – frequência de oscilação (Hz)

V_{consumo} – volume total de água quente (m³)

Q_{pu} – vazão da peça de utilização (m³/s)

$V_{\text{armaz.}}$ – volume do reservatório (m³)

T_{consumo} – temperatura de consumo de utilização (aproximadamente 40°C)

$T_{\text{armaz.}}$ – temperatura de armazenamento da água (°C)

T_{ambiente} – temperatura ambiente média anual (°C)

$E_{\text{útil}}$ – energia útil (kWh/dia)

ρ – massa específica da água (1000 kg/m³)

C_p - calor específico da água (4,18 kJ/kg.K)

A_{coletora} – área da placa coletora (m²)

E_{perdas} – somatório das perdas térmicas do sistema (kWh/dia)

$FC_{\text{instalação}}$ – fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar (adimensional)

I_G – irradiação global média anual para o local de instalação (kWh/m².dia)

β – ângulo de inclinação do coletor em relação ao plano horizontal (°)

$\beta_{\text{ótimo}}$ – ângulo de inclinação ótima do coletor para o local de instalação (°)

γ – ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico (°)

C_0 – fluxo de caixa no período zero (R\$)

C_n – fluxo de caixa no período n (R\$)

i – taxa de juros corrente no período n (%)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	17
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	17
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	17
2.2.1 Objetivo principal	17
2.2.2 Objetivos secundários	17
2.3 HIPÓTESE	18
2.4 PRESSUPOSTOS	18
2.5 DELIMITAÇÕES	18
2.6 LIMITAÇÕES	18
2.7 DELINEAMENTO	19
3 ENERGIA SOLAR E O AQUECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL	21
3.1 RADIAÇÃO SOLAR	21
3.1.1 Definição	22
3.1.2 Incidência na superfície terrestre	23
3.1.3 Radiação solar no Brasil	25
3.2 AQUECIMENTO SOLAR PARA ÁGUA NO BRASIL	27
3.2.1 Benefícios dos aquecedores solares	29
3.2.1.1 Alternativa para o setor elétrico	29
3.2.1.2 Vantagens ambientais	30
3.2.1.3 Vantagens socioeconômicas	30
3.2.2 Dificuldades encontradas	31
3.2.2.1 Elevado custo de aquisição	31
3.2.2.2 Falta de capacitação profissional	31
3.2.3 Aquecimento solar no Programa Minha Casa Minha Vida	32
4 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR PARA ÁGUA	35
4.1 COMPONENTES DO SISTEMA	35
4.1.1 Coletores solares planos	36
4.1.2 Reservatórios térmicos	37
4.1.3 Tubulações	38
4.1.4 Sistemas auxiliares	39
4.2 TIPOS DE SISTEMA	39
4.2.1 Sistemas passivos	40

4.2.2 Sistemas ativos	41
4.3 ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	42
4.3.1 Volume de consumo de água quente	43
4.3.2 Volume do reservatório	44
4.3.3 Energia útil	44
4.3.4 Área de captação solar da placa coletora	45
5 METODOLOGIA	47
5.1 OBJETO DE ESTUDO	47
5.2 DEFINIÇÃO DAS PLACAS COLETORAS E RESERVATÓRIO TÉRMICO	48
5.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	49
5.3.1 Definições para o volume de consumo de água quente	50
5.3.2 Definições para o dimensionamento do reservatório térmico	51
5.3.3 Definições para o dimensionamento das placas coletoras	52
5.4 VERIFICAÇÃO DE CRITÉRIOS DE PROJETO	53
6 ANÁLISES E RESULTADOS	55
6.1 VERIFICAÇÃO DA PLACA MAIS ECONÔMICA	55
6.2 VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA	56
6.2.1 Custos do chuveiro elétrico	56
6.2.2 Custo do sistema de aquecimento solar	58
6.2.3 Período de retorno do investimento	59
6.3 INFLUÊNCIA DA FORMA DE INSTALAÇÃO	60
6.4 INFLUÊNCIA DO TEMPO DE BANHO	62
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS	70
APÊNDICE A	73

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui um grande potencial em termos de energia renovável, sendo a energia solar uma das principais presentes no País. Tendo em vista o aumento da dificuldade em suprir as necessidades humanas devido ao crescimento exponencial da população, é imprescindível que este tipo de energia seja aproveitado da melhor maneira possível. Aquecer a água utilizada em nossas residências com o auxílio da energia solar é, sem dúvidas, uma excelente maneira de aproveitar esta energia.

O aquecimento de água em chuveiros é um dos principais responsáveis pelo consumo de energia elétrica no Brasil. Aproximadamente 8% de toda a energia elétrica consumida no País é para o uso dos chuveiros elétricos, sendo estes responsáveis por 18% do pico de demanda (RODRIGUES; MATAJS, 2005). Isto gera uma sobrecarga no sistema elétrico e necessidade de altos investimentos por parte das empresas responsáveis pelo setor. Os autores também afirmam que somente com a insolação anual no território brasileiro, algo em torno de 2.200 horas, seria possível suprir 50 mil vezes o consumo de eletricidade no País no mesmo período. Com base nestes dados, percebe-se que o aproveitamento do potencial solar brasileiro para o aquecimento de água é uma necessidade.

O sistema de aquecimento de água para chuveiros utilizando energia solar é composto, basicamente, por placas coletoras planas aliadas a reservatórios de água quente. Este sistema, se comparado aos chuveiros elétricos, tem um elevado custo inicial, o que explica, em parte, a demora do País em adotar esta nova tecnologia. Segundo Pereira et al. (2012), o Brasil possui uma área de coletores solares instalados de, aproximadamente, 5,2 milhões de metros quadrados, número baixo se comparado a países da Europa, China, Estados Unidos e Canadá, por exemplo, que juntos totalizam 212,4 milhões de metros quadrados, o que corresponde a 86,4% do mercado mundial.

Utilizar a energia solar para o aquecimento de água nos chuveiros em detrimento à energia elétrica, em termos econômicos, torna-se vantajoso a longo prazo, além de contribuir de maneira positiva para o meio ambiente, na medida em que os danos causados à natureza são minimizados em processos como construções de hidrelétricas e queima de combustíveis fósseis na geração de energia termoelétrica. Estes benefícios estão fazendo os investimentos

no setor aumentarem. A segunda etapa do Programa Minha Casa Minha Vida¹, iniciativa do Governo Federal que tem como principal objetivo beneficiar famílias de baixa renda com moradias a custos baixos, já torna obrigatório o uso de aquecimento solar para água em todas as residências unifamiliares, o que mostra a nova mentalidade do Brasil em relação a este sistema.

Para que os aquecedores solares sejam realmente viáveis economicamente, é essencial o estudo e domínio do sistema de aquecimento por parte do engenheiro, sempre visando os melhores resultados que o mesmo oferece. Este trabalho busca analisar um sistema de aquecimento de água utilizando placas coletoras de energia solar com diferentes características técnicas e avaliar a economia gerada pelo mesmo.

O próximo capítulo apresenta as diretrizes da pesquisa e, contendo itens como questão, objetivos, hipótese, delimitações, limitações e delineamento, mostra de uma maneira detalhada os fatores que contribuíram para o desenvolvimento do trabalho. O terceiro capítulo retrata o aproveitamento da energia solar para aquecimento de água no Brasil, salientando todas as vantagens que este sistema oferece, assim como as dificuldades encontradas na sua utilização. O quarto capítulo apresenta o dimensionamento de um sistema de aquecimento de água para chuveiros utilizando placas coletoras de energia solar, baseado na NBR 15569:2008. No quinto capítulo, é apresentado o tipo de sistema de aquecimento solar utilizado no projeto e o seu local de instalação. Já no capítulo 6, são apresentadas todas as análises feita para o sistema projetado e os seus resultados, com destaque para a avaliação do período de retorno do investimento. O último capítulo apresenta as considerações finais sobre o trabalho.

¹ As leis n° 11.977, de 07 de julho de 2009 e n° 12.424, de 16 de junho de 2011, dispõem sobre o Programa Minha Casa Minha Vida, autorizando o custeio para aquisição e instalação de equipamentos de energia solar para o mesmo.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: escolhido o sistema de aquecimento de água para chuveiros utilizando placas coletoras de energia solar mais adequado para o projeto da edificação residencial estudada, qual o período de retorno do investimento efetivado para a instalação do sistema, se comparado ao uso do chuveiro elétrico?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação do período de retorno do investimento em um sistema de aquecimento de água utilizando energia solar, como alternativa para os chuveiros elétricos, na edificação residencial considerada.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) avaliação dos custos de implantação de coletores solares com diferentes características técnicas;
- b) verificação da influência do tempo de uso do chuveiro no dimensionamento do sistema de aquecimento e no período de retorno do investimento.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que o período de retorno do investimento realizado em um sistema de aquecimento de água para chuveiros utilizando placas coletoras de energia solar, se comparado ao chuveiro elétrico, é inferior ao tempo de vida útil das placas.

2.4 PRESSUPOSTOS

O trabalho tem por pressuposto que as informações relativas às características técnicas das placas coletoras de energia solar estudadas, fornecidas pelos fabricantes, são verdadeiras. Também considera-se que o método de dimensionamento de sistema de aquecimento de água utilizando coletores solares, apresentado pela NBR 15569:2008, é válido.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao projeto de um sistema de aquecimento de água utilizando placas coletoras de energia solar para uma residência típica com quatro moradores, localizada na cidade de Porto Alegre.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) utilização de valores médios para o consumo de água *per capita*, conforme a NBR 15569:2008;
- b) análise de três placas coletoras de energia solar de diferentes fabricantes;
- c) custos com tubos e conexões não avaliados;
- d) utilização de um tipo específico de chuveiro elétrico;
- e) estimativa do valor das tarifas futuras de energia elétrica, segundo a tendência de crescimento observada em anos anteriores.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição das placas estudadas no trabalho;
- c) dimensionamento do sistema de aquecimento de água;
- d) dimensionamento das placas coletoras de energia solar;
- e) análise dos resultados;
- f) considerações finais.

Figura 1 – Etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

A primeira etapa do trabalho consistiu na pesquisa bibliográfica. Nesta etapa, elaborou-se um estudo sobre os assuntos referentes ao tema principal do trabalho, fornecendo o embasamento teórico necessário para a sua realização. Normas técnicas, artigos científicos, livros, dissertações de mestrado e teses de doutorado foram as principais fontes de pesquisa nesta etapa. Ela foi parte fundamental do trabalho, estendendo-se também às etapas seguintes e

auxiliando na definição das placas estudadas, no dimensionamento do sistema de aquecimento de água e no dimensionamento das placas coletoras de energia solar.

A definição das placas coletoras utilizadas no projeto foi realizada a partir do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) em parceria com a Eletrobras Procel. Neste Programa, são apresentadas as características técnicas dos fabricantes devidamente qualificados. Foram escolhidas placas que continham características distintas entre si, a fim de se avaliar a influência dessas características na área de captação solar necessária para o sistema. Em paralelo à definição das placas, realizou-se o dimensionamento do sistema de aquecimento de água, baseado na NBR 15569:2008, obtendo-se o volume de água quente necessário para abastecer o sistema.

A etapa seguinte consistiu no dimensionamento das diferentes placas coletoras, conforme a NBR 15569:2008. Nesta etapa, a área de captação solar necessária para cada placa foi obtida.

Na etapa de análise dos resultados, avaliou-se a viabilidade técnico-econômica do sistema dimensionado para a placa mais econômica dentre as estudadas. Para esta placa, realizou-se a análise referente ao período de retorno do seu investimento para diferentes volumes de água quente consumidos em um banho. Foram analisados, também, aspectos referentes à instalação do sistema, como orientação geográfica e inclinação das placas coletoras. Após, elaborou-se as considerações finais do trabalho.

3 ENERGIA SOLAR E O AQUECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

Energia eólica, hidráulica, biomassa e combustíveis fósseis são alguns dos principais tipos de energia presentes no Planeta. Embora sejam fontes que se diferem no modo pelo qual produzem energia, todas possuem uma característica em comum: são formas indiretas de energia solar (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2005).

A energia solar está fortemente presente no Brasil. O estado brasileiro com menor incidência de radiação solar, Santa Catarina, no que se refere à quantidade média de radiação recebida, supera em 30% a Alemanha, um dos países mais desenvolvidos no aproveitamento da energia solar (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2012).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (2005), o **aquecimento de água**, aliado à geração fotovoltaica de energia, são as principais formas de utilização da energia solar, estando o aquecimento de água mais presente nas regiões Sul e Sudeste, devido aos seus climas favoráveis. Este capítulo aborda aspectos importantes referentes à radiação solar e revela como esta fonte de energia, tão presente no Brasil, tem sido aproveitada para o aquecimento de água no País.

3.1 RADIAÇÃO SOLAR

Segundo Ayoade (1996, p. 23), “O Sol fornece 99,97% da energia que é utilizada para vários fins no sistema Terra-atmosfera.”. O autor ainda afirma que “A cada minuto, o Sol irradia cerca de 56×10^{26} calorias de energia, da qual a Terra intercepta apenas $2,55 \times 10^{18}$ calorias.”. De acordo com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito ([2006]), embora nem toda a radiação produzida pelo Sol chegue à superfície terrestre, a quantidade recebida anualmente é de $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia, o que equivale a 10.000 vezes o consumo mundial em 1 ano. Para elucidar o potencial da energia solar, nos próximos itens, são apresentadas informações referentes à radiação solar e sua incidência no Brasil, aprofundando-se o conhecimento sobre a fonte de energia estudada no trabalho, o Sol.

3.1.1 Definição

Varejão-Silva (2006, p. 165) define radiação como “[...] energia que se propaga sem a necessidade da presença de um meio material.”. O autor também afirma que:

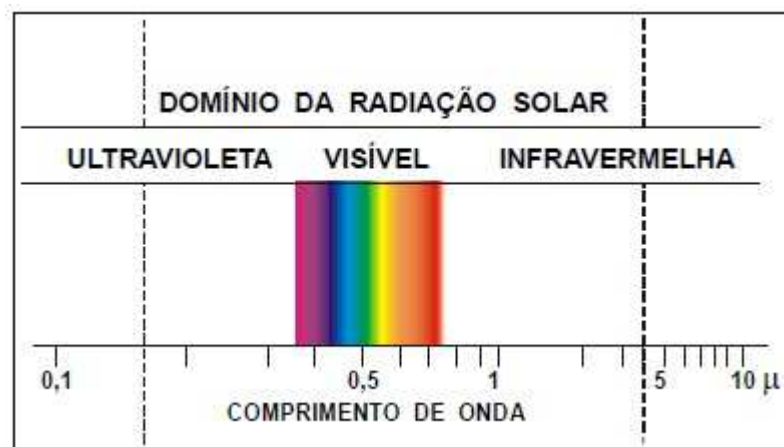
Sob a ótica ondulatória, a radiação se caracteriza pelo comprimento de onda (λ), ou pela frequência de oscilação (ν). O comprimento de onda é definido como a distância que separa duas cristas consecutivas; a frequência, pelo número de cristas que passa por um ponto de referência, na unidade de tempo.

A radiação solar tem como 0,5 μm o comprimento de onda de máxima intensidade de emissão, sendo que 99% do seu comprimento varia entre 0,15 e 4,0 μm , considerado como comprimento curto (AYOADE, 1996). O conjunto de todos os comprimentos de onda existentes é denominado como espectro eletromagnético, e pode ser dividido em três faixas (VAREJÃO-SILVA, 2006):

- a) infravermelho: são radiações com comprimento de onda superior a 0,74 μm e frequências menores do que a luz vermelha;
- b) luz visível: são radiações possíveis de serem observadas pelo olho humano e cujos comprimentos de ondas estão compreendidos entre 0,36 μm e 0,74 μm ;
- c) ultravioleta: são radiações com comprimento de onda inferior a 0,36 μm e frequências maiores do que a luz violeta.

A figura 2 apresenta as três faixas do espectro eletromagnético.

Figura 2 – Faixas do espectro eletromagnético



(fonte: VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 166)

3.1.2 Incidência na superfície terrestre

O Sol, segundo Ayoade (1996, p. 23), “[...] apresenta em sua superfície uma temperatura de 6.000 °C e emite energia em ondas eletromagnéticas, que se propagam à razão de aproximadamente 299.300 km/s [...]”. O autor também comenta que esta energia percorre os 150 milhões de quilômetros que separam a Terra do Sol em pouco mais de 9 minutos, tendo sua intensidade reduzida de maneira inversamente proporcional ao quadrado da distância em relação ao Sol.

De acordo com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito ([2006], p. 7), “A radiação solar que atinge o topo da atmosfera [camada de ar que envolve a Terra] provém da região da fotosfera solar que é uma camada tênue com aproximadamente 300 km de espessura e temperatura superficial da ordem de 5800 K.”. A quantidade desta radiação, segundo Ayoade (1996), depende do período do ano, do período do dia e da latitude. A Agência Nacional de Energia Elétrica (2005, p. 30) descreve esta dependência “[...] à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação ou revolução).”.

A movimentação do Planeta em relação ao Sol, de acordo com Ayoade (1996), influencia em fatores importantes que determinam a quantidade de radiação incidente na atmosfera:

- a) distância entre Terra e Sol: considerando uma órbita elíptica da Terra ao redor do Sol, esta distância varia ao longo de um ano. A radiação incidente perpendicularmente à uma superfície pode ser 7% superior no periélio², se comparada ao afélio³;
- b) altitude do Sol: é definida como o ângulo entre os raios solares e uma tangente à superfície do ponto analisado. A medida que a altitude do Sol aumenta, o albedo⁴ é reduzido, e a radiação solar incidente intensifica-se;
- c) duração do dia: a radiação incidente é maior para dias mais longos. Em períodos de equinócio⁵, o dia e a noite possuem exatamente a mesma duração.

² O Periélio ocorre em 3 de janeiro, dia do ano em que a Terra encontra-se mais próxima do Sol (AYOADE, 1996).

³ O Afélio ocorre em 4 de julho, dia do ano em que a Terra encontra-se mais afastada do Sol (AYOADE, 1996).

⁴ O albedo é a proporção de radiação incidente refletida pela superfície analisada (AYOADE, 1996).

⁵ Equinócio é o período do ano em que a radiação solar incide exatamente sobre a linha do Equador, fazendo com que os hemisférios Sul e Norte recebam igualmente luz e calor. No hemisfério Sul, os dias 20 ou 21 de março correspondem ao equinócio de outono, enquanto os dias 22 ou 23 de setembro correspondem ao equinócio de primavera (MORAES, 2005).

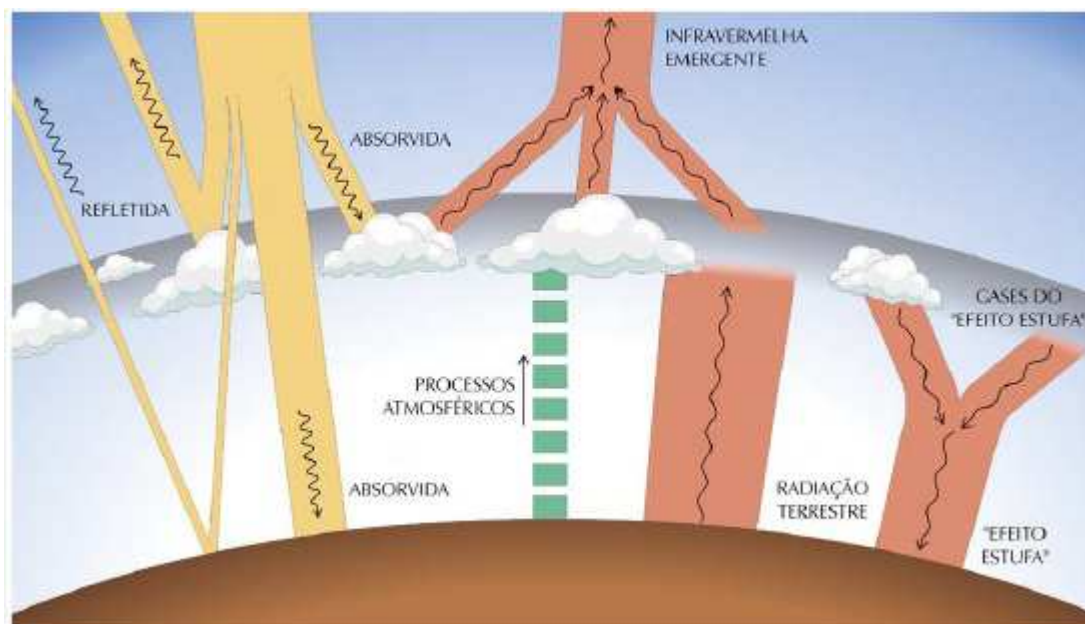
Em épocas de solstício⁶, tem-se dias mais longos para solstícios de verão e dias mais curtos para solstícios de inverno.

A atmosfera é responsável por refletir grande parte da radiação proveniente do Sol (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO, [2006]). Segundo Pereira et al. (2006, p. 14), “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.”. Os autores distribuem a radiação solar da seguinte maneira:

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 [...].

A figura 3 mostra os processos de interação da radiação solar com a camada atmosférica da Terra.

Figura 3 – Processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre



(fonte: PEREIRA et al., 2006, p. 14)

⁶ Solstício é o período em que a Terra atinge o maior afastamento angular em relação ao Equador, levando ao extremo a desigualdade de luz e calor recebidos. No hemisfério sul, os dias 21 ou 22 de junho correspondem a solstícios de inverno, enquanto os dias 22 ou 23 de dezembro correspondem a solstícios de verão (MORAES, 2005).

3.1.3 Radiação solar no Brasil

Rodrigues (2002, p. [1]) define energia solar como “[...] a fonte alternativa ideal, especialmente por algumas características básicas: é abundante, permanente, renovável a cada dia, não polui nem prejudica o ecossistema e é gratuita.”. Esta importante fonte de energia encontra-se em grande quantidade no Brasil, o que o torna um dos maiores potenciais do mundo em termos de energia solar. De acordo com Costa (2002), isto se deve, principalmente, às dimensões continentais do País e à sua localização em uma região tropical.

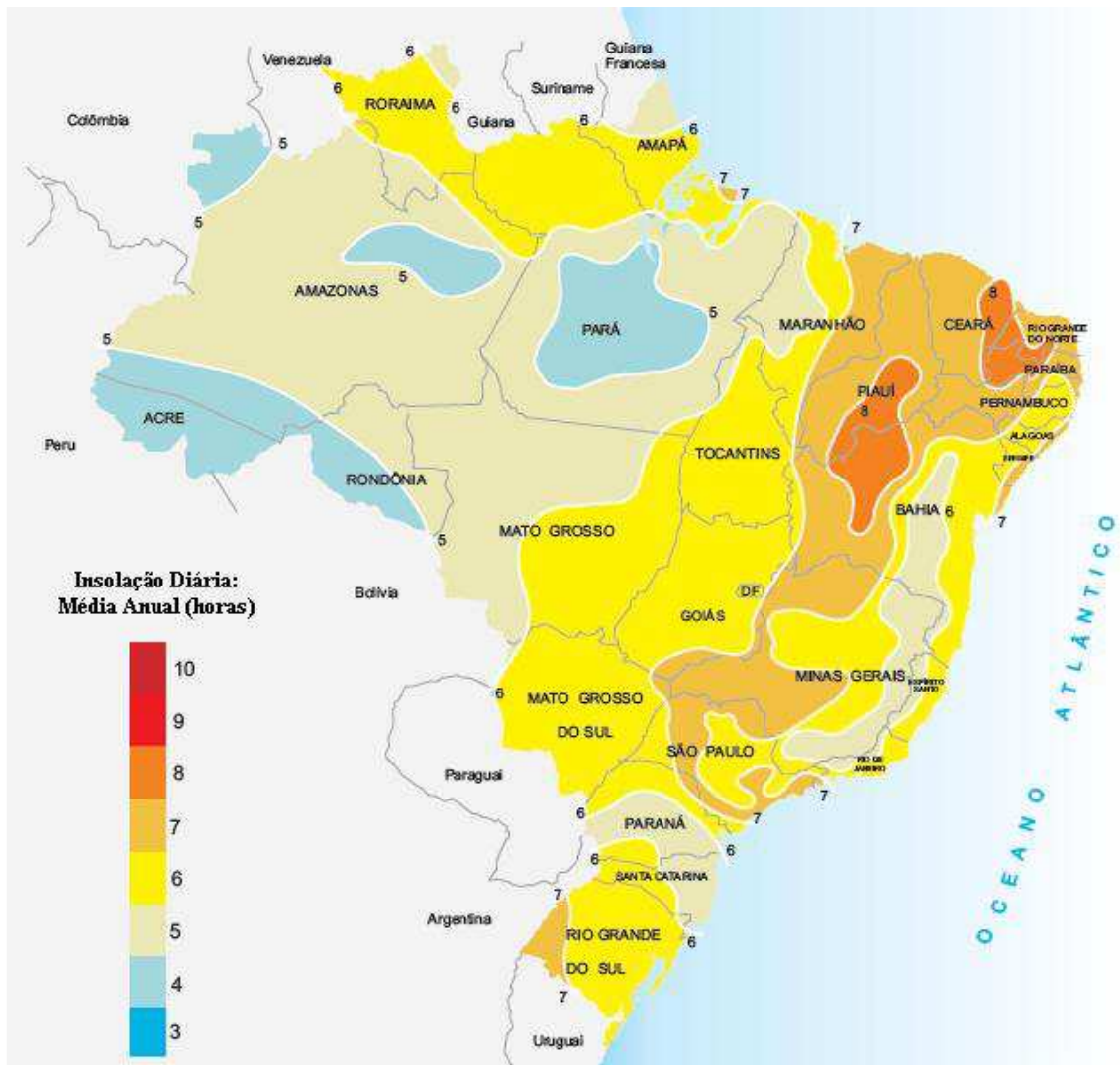
Segundo Rodrigues e Matajs (2005, p. 16), “[...] praticamente em todo o território brasileiro encontram-se mais de 2.200 horas de insolação [anual], com um potencial equivalente a 15 trilhões de megawatt-hora, correspondentes a 50 mil vezes o consumo nacional de eletricidade.”. Rodrigues (2002) considera pequeno o aproveitamento da energia solar no Brasil, mas ainda assim enaltece a produção de eletricidade a partir da mesma, algo em torno de 20 milhões de megawatt-hora por ano, capaz de abastecer 15 mil residências de dois cômodos. O autor acredita que esta produção poderia ser muito maior, comparando a intensidade de luz solar recebida em algumas cidades do nordeste com a de Dongola, no Sudão, local de máxima incidência dos raios solares no Planeta.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (2005, p. 30) atribui ao Brasil poucas variações na duração solar do dia devido à sua proximidade com a linha do Equador, mas ressalva:

[...] a maioria da população brasileira e das atividades socioeconômicas do País se concentra em regiões 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.

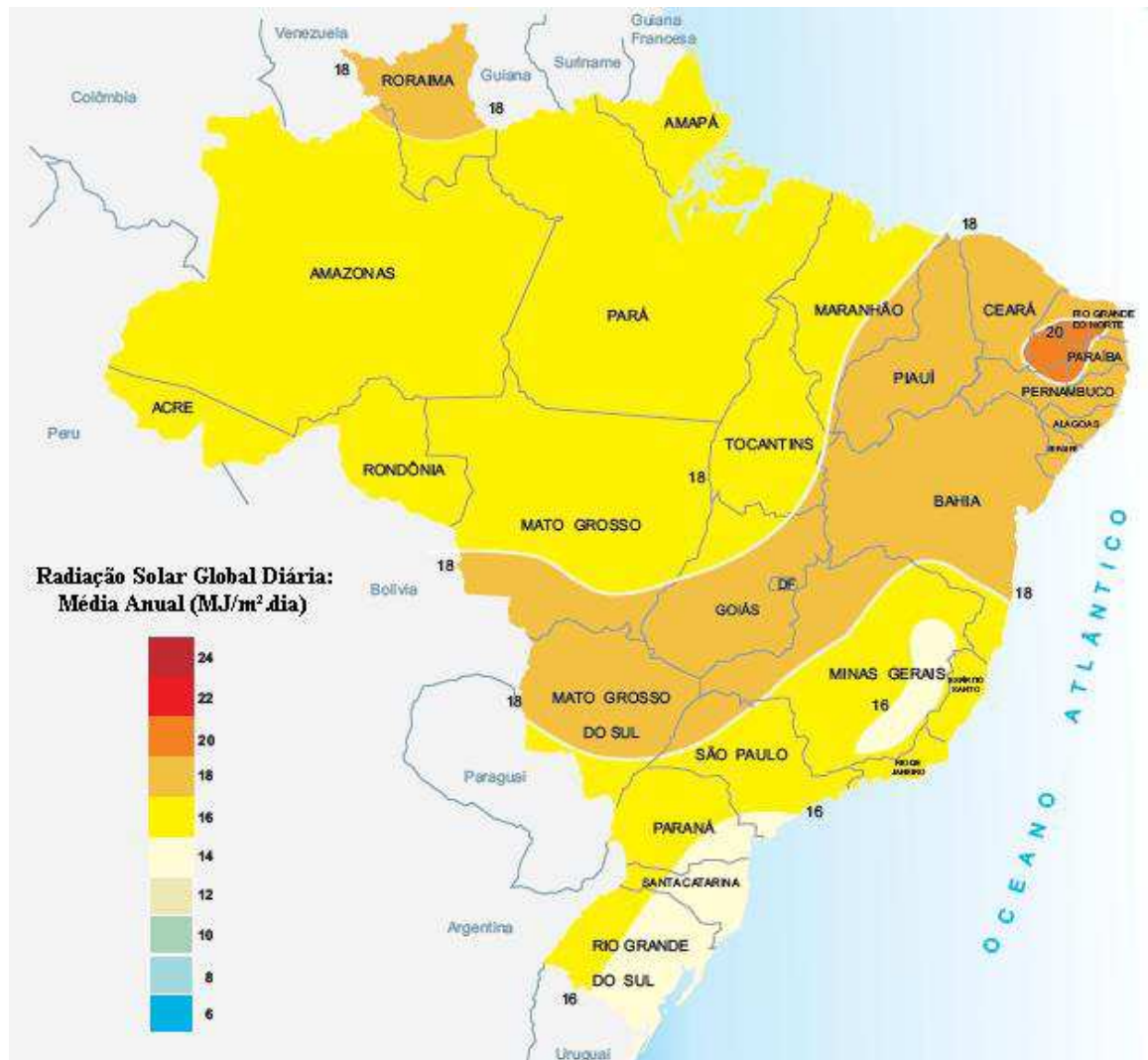
As figuras 4 e 5 apresentam os valores médios anuais de insolação e radiação solar incidentes no Brasil, respectivamente.

Figura 4- Insolação diária: média anual no Brasil



(fonte: TIBA, 2000, p. 89)

Figura 5 – Radiação solar global diária: média anual no Brasil



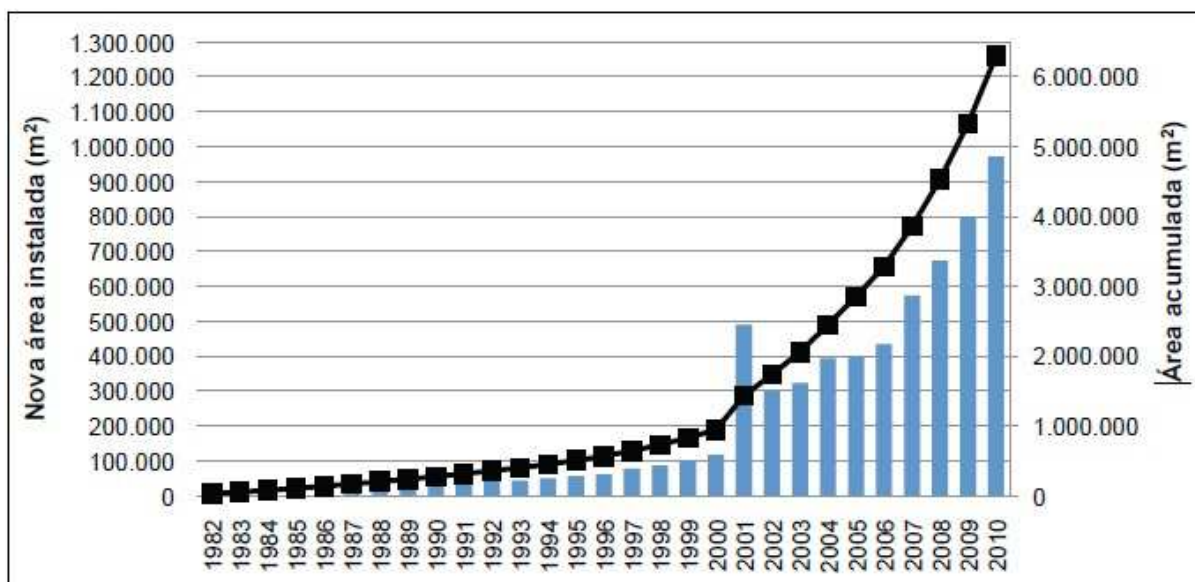
(fonte: TIBA, 2000, p. 59)

3.2 AQUECIMENTO SOLAR PARA ÁGUA NO BRASIL

A partir de 1970, com a crise do petróleo, surgem no Brasil as primeiras empresas no ramo de aquecedores solares para água. Na década de 1980, observa-se um pequeno crescimento no setor, com maior especialização por parte das empresas. Em 1990, o desenvolvimento técnico e comercial aliado à criação de um departamento próprio para o aquecimento solar, o Departamento Nacional de Aquecimento Solar (Dasol), permite um crescimento à taxas maiores, gerando o aumento de aplicações da tecnologia solar térmica, cada vez mais qualificadas e confiáveis. Na última década, o Brasil apresenta um crescimento neste setor da ordem de 20% ao ano (gráfico 1), o que o coloca como líder da América do Sul no mercado

de aquecedores solares. No entanto, a tabela 1 mostra que este aproveitamento ainda é pequeno se comparado a países do resto do mundo (PEREIRA et al., 2012).

Gráfico 1 – Evolução do mercado de coletores solares



(fonte: PEREIRA et al., 2012, p. 20)

Tabela 1 – Distribuição mundial dos coletores solares

Mercados	Capacidade Instalada (GWth)	Área Instalada (x 10 ⁶ m ²)	Participação Percentual
China	101,5	145	58,9%
Europa	32,5	46,4	18,9%
USA e Canadá	15	21,4	8,7%
Austrália e Nova Zelândia	5,2	7,4	3,0%
Américas Central e do Sul	4,7	6,7	2,7%
Ásia	4,6	6,6	2,7%
Oriente Médio	3,5	5	2,0%
África	1,1	1,6	0,6%
Japão	4,3	6,1	2,5%
Total	172,4	246,2	100,0%

(fonte: adaptado de WEISS; MAUTHNER, 2011, tradução nossa)

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2005, p. 30), “[...] essa tecnologia [aquecimento solar para água] tem sido aplicada principalmente em residências, hotéis, motéis, hospitais, vestiários, restaurantes industriais e no aquecimento de piscinas.”. Mazzon e Mesquita (1999, p. 69) destacam a viabilidade técnicoeconômica que o sistema vem

adquirindo, mas ressaltam que “[...] conforme o local e as características técnicas do produto a ser instalado, deve-se ter certos cuidados, a fim de garantir a facilidade de instalação e até mesmo a realização dos projetos executivos, necessários nas instalações de grandes volumes de água quente.”. Nos próximos itens, são abordadas as principais vantagens oferecidas por um sistema de aquecimento solar para água, assim como os principais obstáculos que reduzem o seu aproveitamento no Brasil.

3.2.1 Benefícios dos aquecedores solares

Muitos são os benefícios gerados por um sistema de aquecimento solar. Dentre eles, destaca-se a economia proporcionada ao usuário com as reduções de gastos com a energia elétrica. Esta e outras vantagens são apresentadas a seguir.

3.2.1.1 Alternativa para o setor elétrico

De acordo com Rodrigues e Matajs (2005, p. 16-17):

A infraestrutura para aquecimento de água na maioria das cidades é baseada nos chuveiros [elétricos], equipamento de baixo custo inicial, mas de grande consumo de energia ao longo de sua vida útil, o que representa importantes demandas de capital para o setor elétrico [...]. Os chuveiros consomem 8% de toda a eletricidade produzida no País e são responsáveis por 18% do pico de demanda.

Pereira et al. (2006) estimam que de toda a energia elétrica consumida no Brasil, aproximadamente 25% é para o aquecimento de água, o que representa cerca de 20 bilhões de kilowatt-hora. Pinto Junior e Guedes (2012, p. 78) consideram que “Outro fator negativo, do ponto de vista das concessionárias, é o fato de não haver cobrança de tarifa horo-sazonal para os consumidores que fazem uso do chuveiro.”.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (2005) considera que todos os gastos do setor elétrico relativos ao aquecimento de água em chuveiros elétricos poderiam ser evitados com o uso da energia solar. Pinto Junior e Guedes (2012, p. 78) complementam:

A utilização de aquecedor solar para o aquecimento de água para banho, além de utilizar o sol como fonte de energia (limpa e gratuita), não compromete o conforto e a qualidade de vida dos usuários e traz benefícios para a sociedade nos seus diversos segmentos. As concessionárias de distribuição de energia elétrica reduzem a demanda no horário de ponta, postergam investimentos na ampliação da capacidade

instalada e disponibilizam a potência retirada do horário de ponta [...] para suprir outros consumidores com melhor fator de carga.

3.2.1.2 Vantagens ambientais

Rodrigues e Matajs (2005) atribuem diversos benefícios ambientais ao uso dos aquecedores solares para água, os quais são listados a seguir:

- a) redução dos danos ambientais causados por fontes tradicionais de energia, como hidrelétricas e combustíveis fósseis;
- b) eliminação da emissão de gases tóxicos;
- c) eliminação da emissão de gases de efeito estufa para atmosfera;
- d) eliminação de lixo radioativo como herança para gerações futuras.

De acordo com Rodrigues (2002, p. [3]):

No estágio atual de desenvolvimento, cada metro quadrado de coletor solar instalado permite economizar 55 kg de gás liquefeito de petróleo (GLP) por ano, 66 litros de diesel por ano, evitar a inundação de cerca de 56 m² para a geração de energia elétrica ou ainda eliminar o consumo anual de 215 kg de lenha.

Deve-se considerar, entretanto, ainda que reduzido em relação aos listados anteriormente, os impactos ambientais decorrentes, por exemplo, da produção das placas coletoras e do seu transporte, quando necessário.

3.2.1.3 Vantagens socioeconômicas

Pereira et al. (2012, p. 23) afirmam que “O aquecimento solar de água promove uma economia efetiva de energia para o consumidor final, quando são adotadas as boas práticas de projeto, dimensionamento e instalação [...]”. Os autores ainda ressaltam o baixo custo de manutenção do sistema e sua vida útil elevada, de aproximadamente 15 anos. Rodrigues (2002, p. [2]) afirma que “Para uma residência média de dois dormitórios [...] situada a 3 km da rede elétrica convencional, é mais barato instalar painéis solares do que puxar a linha elétrica.”.

Outro importante benefício proporcionado pelo sistema de aquecimento de água é a geração de empregos diretos e indiretos (PEREIRA et al., 2012). Rodrigues e Matajs (2005, p. 17) comentam que “[...] a produção anual de um milhão de metros quadrados de coletores gera

aproximadamente 30 mil empregos diretos.”. Entretanto, é importante ressaltar que empregos relacionados ao setor elétrico podem ser tornar-se desnecessários.

3.2.2 Dificuldades encontradas

Apesar de todas as vantagens apresentadas anteriormente e do grande potencial solar do Brasil, o sistema de aquecimento solar para água poderia ser melhor aproveitado no país, mesmo que este esteja crescendo nos últimos anos. A seguir, são apresentados fatores que explicam este baixo aproveitamento.

3.2.2.1 Elevado custo de aquisição

A principal barreira encontrada para o uso dos sistemas de aquecimento de água com coletores solares é o seu elevado custo inicial, se comparado aos chuveiros elétricos (PINTO JUNIOR; GUEDES, 2012). De acordo com Pereira et al. (2006, p. 51), “Um sistema compacto dimensionado para famílias de baixa renda apresenta um custo superior a US\$ 450, ou seja, cerca de 30 vezes superior ao custo de um chuveiro elétrico.”.

Rodrigues e Matajs (2005) também consideram elevado o custo inicial deste sistema, e comentam que o período de retorno do seu investimento pode chegar a 12 anos, dependendo das condições climáticas do local e do seu dimensionamento. Porém, os autores apontam uma significativa queda do preço das placas coletoras nos últimos anos, período no qual tiveram seu preço reduzido de US\$ 500/m² para US\$ 100/m². Para a Agência Nacional de Energia Elétrica (2005, p. 37), “[...] a tendência ao longo dos anos é a redução dos custos [de aquisição do sistema], em função da escala de produção, dos avanços tecnológicos, do aumento da concorrência e dos incentivos governamentais.”.

3.2.2.2 Falta de capacitação profissional

Mazzon e Mesquita (1999) consideram fundamental a etapa de instalação de um sistema de aquecimento de água utilizando placas coletoras de energia solar, e relacionam o sucesso da implantação do sistema a um bom projeto, que especifique critérios importantes para se atingir melhores desempenhos. Porém, de acordo com Motta e Carvalho (2012), ainda há um grande desconhecimento da tecnologia por parte das construtoras, o que faz com que outras

formas de aquecimento de água sejam utilizadas nos projetos, em detrimento ao aquecimento solar.

De acordo com Motta e Carvalho (2012, p. 217):

De um modo geral, observa-se a falta de conhecimento técnico formal para projetistas e instaladores de sistemas de aquecimento solar no Brasil. Além disso, há carência de sistematização de boas práticas das empresas fabricantes e fornecedores dessa tecnologia que incluam recomendações sobre projeto e dimensionamento, cuidados com a instalação e manutenção dos equipamentos.

Rodrigues e Matajs (2005) citam fatores relacionados aos profissionais do setor, que dificultam o crescimento da tecnologia solar:

- a) muitos arquitetos não conseguem adaptar as placas coletoras e os reservatórios nos seus projetos, não os aceitando esteticamente;
- b) dificuldade de informações referentes à insolação nos locais dos projetos;
- c) erros nos projetos de telhados ou lajes, não permitindo o melhor posicionamento dos coletores solares.

3.2.3 Aquecimento solar no Programa Minha Casa Minha Vida

Segundo Arreguy et al. (2012, p. 196), “[...] o aquecimento solar de água atingiu no País um novo patamar em termos de políticas públicas com o reconhecimento dos benefícios sociais e ambientais por parte da sociedade como um todo.”. Os autores comentam sobre o Grupo de Trabalho Solar Térmico, criado em 2009 para aprofundar a utilização dos aquecedores solares no Brasil e responsável pela elaboração do Plano Estratégico para Disseminação de Aquecimento Solar de Água no Brasil. Este plano traçou como objetivo que, até 2015, o Brasil atinja uma área total de coletores solares instalados de 15 milhões de metros quadrados. Para atingir este objetivo, a principal medida adotada foi o apoio ao uso do aquecimento solar no Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). O incentivo do Governo Federal à tecnologia solar tem como finalidade, de acordo com Motta e Carvalho (2012, p. 216), “[...] agregar valor aos empreendimentos habitacionais e promover melhoria na qualidade de vida [...] pela redução significativa com os gastos mensais de energia elétrica.”.

O PMCMV é uma iniciativa do Governo Federal em parceria com a Caixa Econômica Federal, criada em 2009, que visa a redução do *déficit* habitacional e a geração de empregos no Brasil. A primeira etapa do programa teve como meta a construção de 1 milhão de

moradias destinadas às pessoas com renda limite de 10 salários mínimos. O foco principal do programa, porém, são as famílias de baixa renda, para as quais são destinadas 40% das habitações (MOTTA; CARVALHO, 2012).

Segundo Motta e Carvalho (2012), até 2009, apenas 2.885 unidades habitacionais financiadas pela Caixa Econômica Federal contavam com o sistema de aquecimento solar para água. Com a primeira etapa do PMCMV, o sistema passou a ser implementado em 41.449 novas residências. A figura 6 mostra um conjunto dessas residências, localizado em São Paulo. O gráfico 2 apresenta a distribuição dessas habitações nos estados brasileiros.

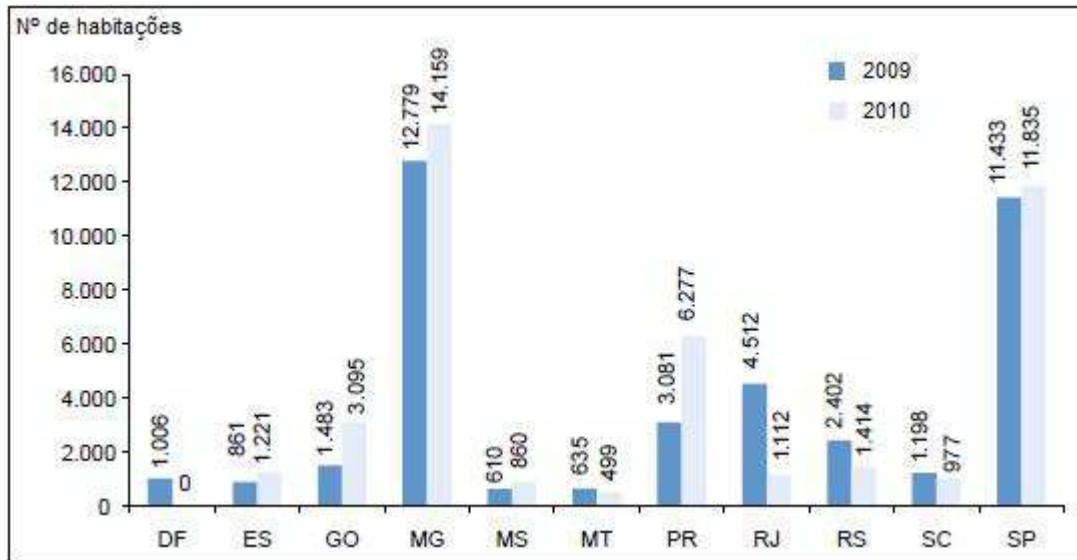
Figura 6 – Coletores solares em residências do Programa Minha Casa Minha Vida



(fonte: MOTTA; CARVALHO, 2012, p. 222)

Com a meta da construção de 1 milhão de moradias atingida, o Governo Federal estabeleceu a segunda etapa do PMCMV, que tem como objetivo 2 milhões de novas unidades habitacionais. Nesta nova etapa, “Os sistemas de aquecimento solar (SAS) deverão ser incluídos, obrigatoriamente, nos projetos de habitações unifamiliares (casas) e, opcionalmente, nos projetos de habitações multifamiliares localizados em **todas as regiões do país.**” (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, [2011], p. 1, grifo do autor). Segundo Dolabella e Assad (2012), estima-se em 260 mil o número de habitações em que será implementado o sistema de aquecimento solar.

Gráfico 2 – Habitações do Programa Minha Casa Minha Vida com sistema de aquecimento solar para água



(fonte: MOTTA; CARVALHO, 2012, p. 221)

4 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR PARA ÁGUA

A Agência Nacional de Energia Elétrica (2005) cita coletores planos e concentradores solares como as duas principais ferramentas utilizadas no aproveitamento da energia solar para aquecimento de fluidos. Os coletores são utilizados, principalmente, em residências ou estabelecimentos comerciais, enquanto os concentradores são aproveitados em aplicações que necessitam de temperaturas mais elevadas, como a secagem de grãos e a produção de vapor. De acordo com Salvadoretti (1983, p. 13):

Um coletor solar plano é basicamente uma superfície absorvedora plana [...] que recebe diretamente a radiação proveniente do Sol e a converte em calor. Um coletor solar concentrador, ao contrário, utiliza sistemas óticos – lentes ou espelhos – capazes de aumentar a intensidade da radiação antes que esta atinja a superfície absorvedora.

Aita (2006) cita o baixo custo de fabricação e manutenção aliado à possibilidade de funcionamento em dias nublados como fatores que tornam os coletores planos mais apropriados para o uso em residências, se comparados aos concentradores solares. Neste capítulo, são apresentadas informações referentes a um sistema de aquecimento de água utilizando **coletores solares planos** de energia, tendo em vista que o foco do trabalho está no aquecimento solar para água de uma residência unifamiliar.

4.1 COMPONENTES DO SISTEMA

Segundo a NBR 15.569, coletores solares, reservatórios térmicos e sistemas auxiliares são os principais componentes de um sistema de aquecimento solar para água (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Macintyre (2010) acrescenta as tubulações como elemento básico neste sistema. Nos próximos itens, estes componentes são apresentados de maneira mais aprofundada.

4.1.1 Coletores solares planos

Segundo Carvalho Júnior (2010, p. 68), “Os coletores solares constituem a parte principal do sistema, pois é através deles que a energia solar é absorvida e transmitida à água que circula pelos tubos do interior do coletor.”. Mesquita (2011) divide os coletores em dois grupos:

- a) fechados: utilizados para o aquecimento de chuveiros;
- b) abertos: utilizados para o aquecimento de piscinas.

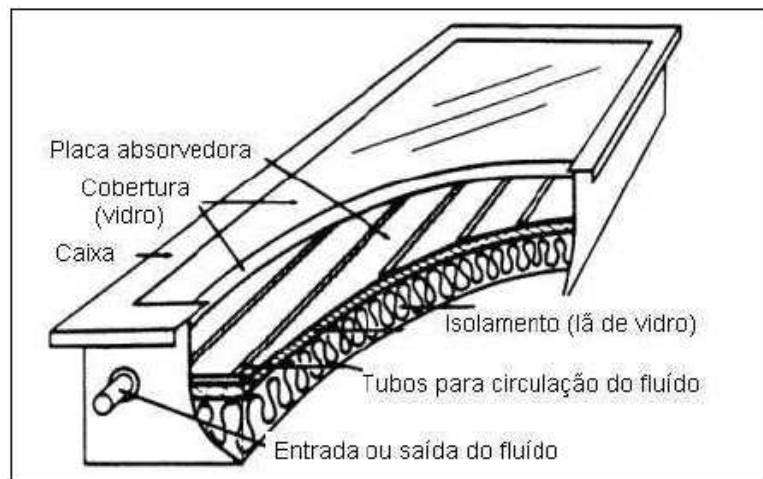
Os coletores fechados (figura 7), segundo Costa (2002, p. 6), “[...] podem aquecer a água da temperatura ambiente até cerca de 100 °C, dependendo da própria temperatura e da radiação solar, e funcionam muito bem para temperaturas em torno de 60 °C.”. Mesquita (2011, p. 75-76) apresenta a constituição típica desses coletores:

- a) caixa externa: geralmente feita de alumínio;
- b) isolamento térmico: normalmente em lã de vidro, lã de rocha ou espuma de poliuretano, tendo como função minimizar as perdas de calor para o ambiente externo;
- c) tubos (chamados de flauta e calhas superior e inferior): normalmente de cobre, são os tubos pelos quais o fluido escoar no interior do coletor;
- d) placas absorvedoras (aletas): feitas de alumínio ou de cobre, pintadas de preto fosco, são responsáveis pela absorção e transferência da energia solar para o fluido de trabalho;
- e) cobertura transparente: geralmente de vidro, policarbonato ou acrílico, permite a passagem da radiação solar e minimiza a perda de calor por convecção e radiação para o ambiente externo.

Já os coletores abertos têm como característica principal a ausência de vidro em sua cobertura, o que permite perdas de calor por radiação infravermelha emitida pela placa ou por convecção. Desse modo, este tipo de coletor limita-se a atingir temperaturas não muito superiores à temperatura ambiente (LOURENÇO JUNIOR, 2000).

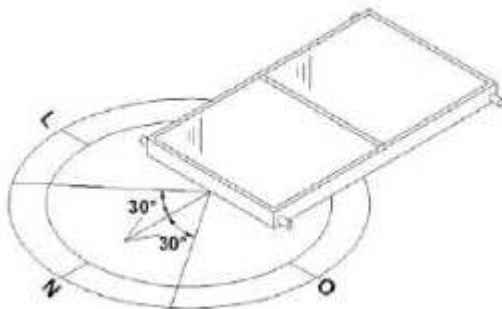
Recomenda-se que os coletores sejam instalados sempre voltados para o norte geográfico, sendo permitidos desvios máximos de 30° em relação à esta direção, como mostra a figura 8. Aconselha-se, também, que as placas sejam instaladas com ângulo de inclinação igual ao da latitude do local de instalação, acrescidos de 10°, conforme figura 9 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

Figura 7 – Coletor solar fechado



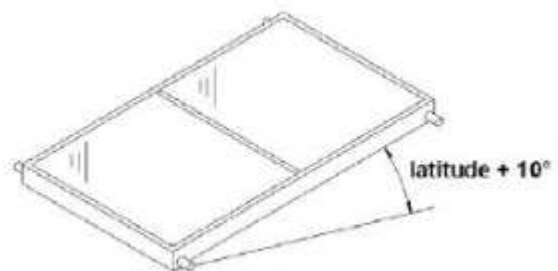
(fonte: LOURENÇO JUNIOR, 2000, p. 10)

Figura 8 – Orientação geográfica dos coletores



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 18)

Figura 9 – Ângulo de inclinação dos coletores



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 18)

4.1.2 Reservatórios térmicos

Em um sistema de aquecimento de água, a energia captada deve ser armazenada em reservatórios térmicos apropriados, pois a disponibilidade da energia solar não é contínua. Estes reservatórios devem ser selecionados de maneira que evitem perdas térmicas e mantenham bons níveis de estratificação de temperatura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Segundo Lourenço Junior (2000), um reservatório térmico deve ser composto por materiais cujas características, listadas a seguir, possibilitem a redução das perdas de calor para o ambiente externo:

- a) baixa condutividade térmica;
- b) resistência à corrosão;
- c) resistência mecânica;
- d) resistência à temperaturas na faixa de 60 °C a 80 °C.

De acordo com Lourenço Junior (2000), o aço inoxidável é o material que mais se adequa à essas características. Porém, o seu custo elevado faz com que o cobre também seja muito utilizado como material para o corpo interno dos reservatórios, mesmo que apresente condutividade térmica superior. O autor também salienta a importância de um bom isolamento térmico que diminua a transferência de calor para o ambiente. Mazzon e Mesquita (1999) citam poliuretano rígido expandido, lã de vidro e lã de rocha como os principais materiais utilizados no isolamento. Já para o corpo externo dos reservatórios, os autores colocam o alumínio como material mais apropriado.

Os reservatórios térmicos podem ser de baixa pressão, com pressões limites de 5 mca, ou de alta pressão, atingindo pressões da ordem de 20 mca. Em relação ao seu posicionamento, podem ser de desnível, quando são instalados abaixo do reservatório de água fria, ou de nível, quando são posicionados no mesmo nível (CARVALHO JÚNIOR, 2010).

4.1.3 Tubulações

Macintyre (2010, p. 352) define as tubulações como o meio de “[...] estabelecer a vinculação entre o aquecedor e o reservatório.”. Segundo Costa (2002), a tubulação deve ser conectada na parte inferior do reservatório e levar a água fria para a placa coletora, na qual também é conectada em sua parte inferior. A água aquecida na placa retorna à parte superior do reservatório através das tubulações. A água quente, devido à sua menor densidade em relação à água fria, se mantém na parte superior do reservatório e, a partir daí, é distribuída para a residência.

De acordo com Aita (2006, p. 11), “As tubulações utilizadas no sistema de aquecimento solar devem ser capazes de suportar o fluido com temperatura de até 100 °C, sem sofrer nenhuma degradação ou corrosão.”. Costa (2002) também considera o aço inox como o material mais adequado para as tubulações, tendo em vista sua grande resistência à corrosão, baixa condutividade térmica e elevada resistência mecânica, o que conduz à paredes de menores

espessuras. Porém, o autor enfatiza o alto custo deste material, o que leva o cobre, que também apresenta boa resistência à corrosão, a ser muito utilizado. Atualmente, materiais como PVC e PPR também estão muito presentes neste tipo de sistema.

4.1.4 Sistemas auxiliares

Sempre que possível, deve-se utilizar um sistema de aquecimento auxiliar para que se obtenha a temperatura de água desejada. Estes sistemas podem ser instalados em série ou em paralelo com o reservatório de água quente, e sua especificação deve ter como pressuposto que o sistema solar é o principal componente do conjunto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

Resistência elétrica e aquecedores a gás são as principais fontes de energia auxiliar para períodos nos quais a radiação solar incidente não seja suficiente (AITA, 2006). Dias muito chuvosos ou intensamente frios são exemplos típicos de períodos em que o sistema auxiliar se torna necessário (MESQUITA, 2011).

A resistência elétrica “[...] é a forma mais difundida nos sistemas de aquecimento solar instalados no Brasil. A seu favor estão o baixo custo de implementação e a facilidade de instalação e controle [...]” (LOURENÇO JUNIOR, 2000, p. 23). O sistema funciona, basicamente, através de um termostato que, ao verificar uma temperatura inferior àquela desejada, aciona a resistência elétrica instalada dentro do reservatório de água quente (MESQUITA, 2011).

4.2 TIPOS DE SISTEMA

De acordo com a NBR 15.569, a circulação da água em um sistema de aquecimento solar (SAS) pode ser do tipo natural, ocorrendo em sistemas denominados como passivos, ou forçada, aparecendo nos sistemas denominados como ativos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Os próximos itens apresentam estes dois tipos de sistema.

4.2.1 Sistemas passivos

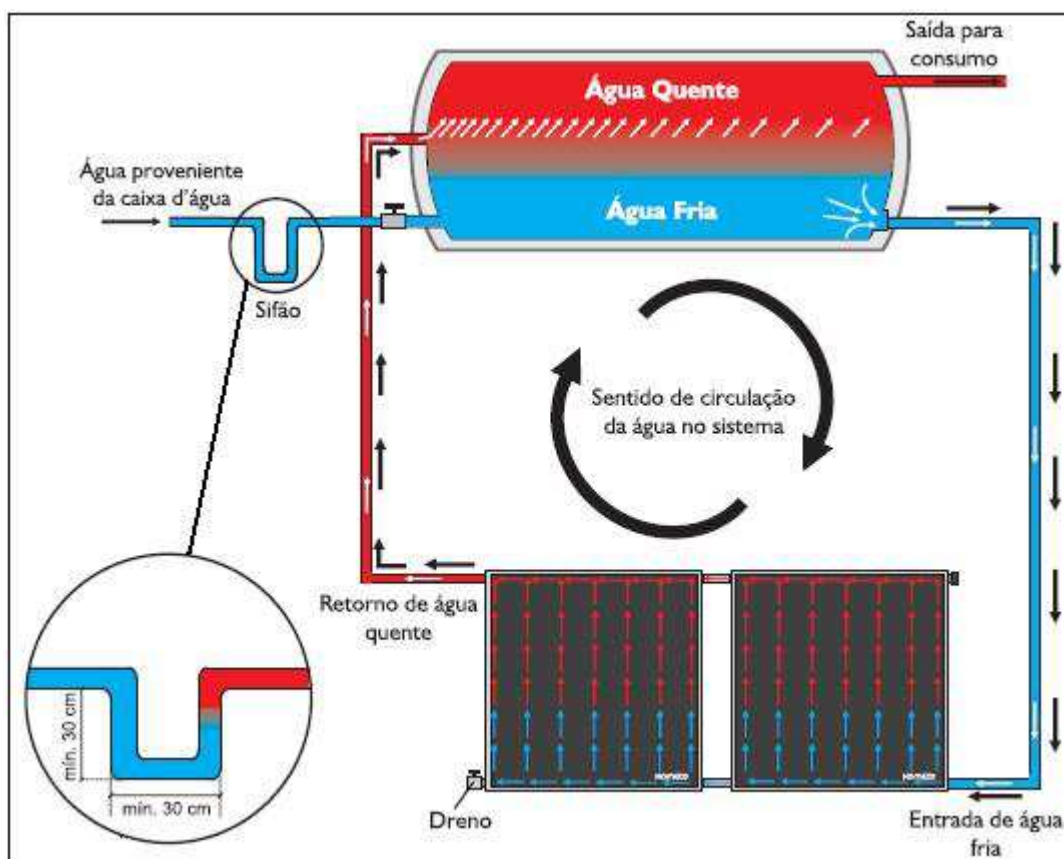
Nos sistemas passivos, a água circula naturalmente entre as placas coletoras de energia solar e o reservatório térmico devido à diferença de densidade existente entre a água fria e a água aquecida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Segundo Lourenço Junior (2000, p. 18), “Quando a água no coletor é aquecida, há um aumento de seu volume e, conseqüentemente, a diminuição de sua densidade.”. Treis (1991, p. 9-10) denomina este processo como **efeito termossifão** e o descreve da seguinte forma:

A circulação inicia quando o Sol passa a aquecer o fluido [água] no coletor, tornando-o menos denso que o fluido no fundo do reservatório, criando assim uma circulação convectiva do fundo do reservatório para a entrada do coletor, da entrada para a saída do coletor e da saída do coletor para o topo do reservatório. Desse modo, o diferencial de pressão criado pelos gradientes de temperatura é utilizado para produzir o escoamento do fluido aquecido sem qualquer outra fonte externa de energia, a não ser o Sol.

Para o correto funcionamento destes sistemas, os reservatórios térmicos devem ser instalados sempre acima das placas coletoras, evitando a circulação reversa da água (LOURENÇO JUNIOR, 2000). Esta circulação, também conhecida como circulação noturna, ocorre quando, em períodos de pouca insolação, a temperatura da água nas placas coletoras torna-se inferior à temperatura dos reservatórios, atingindo menor densidade e invertendo o sentido da circulação. Com o reservatório instalado acima das placas, a água quente, encontrada no tubo de ligação entre a saída da placa e reservatório, tende a balancear a diferença de pressão, evitando a inversão (TREIS, 1991).

No Brasil, o sistema passivo é o mais utilizado, devido à grande intensidade de radiação solar recebida pelo País ao longo do ano, o que permite o seu funcionamento (AITA, 2006). Uma das principais vantagens do sistema, segundo Costa (2002), é a economia obtida em relação ao sistema ativo (apresentado no próximo item) na medida em que se evitam gastos energéticos com o funcionamento de bombas. A figura 10 mostra um sistema passivo típico.

Figura 10 – Circulação de água por termossifão em um sistema passivo



(fonte: KOMECO, 2008, p. 10)

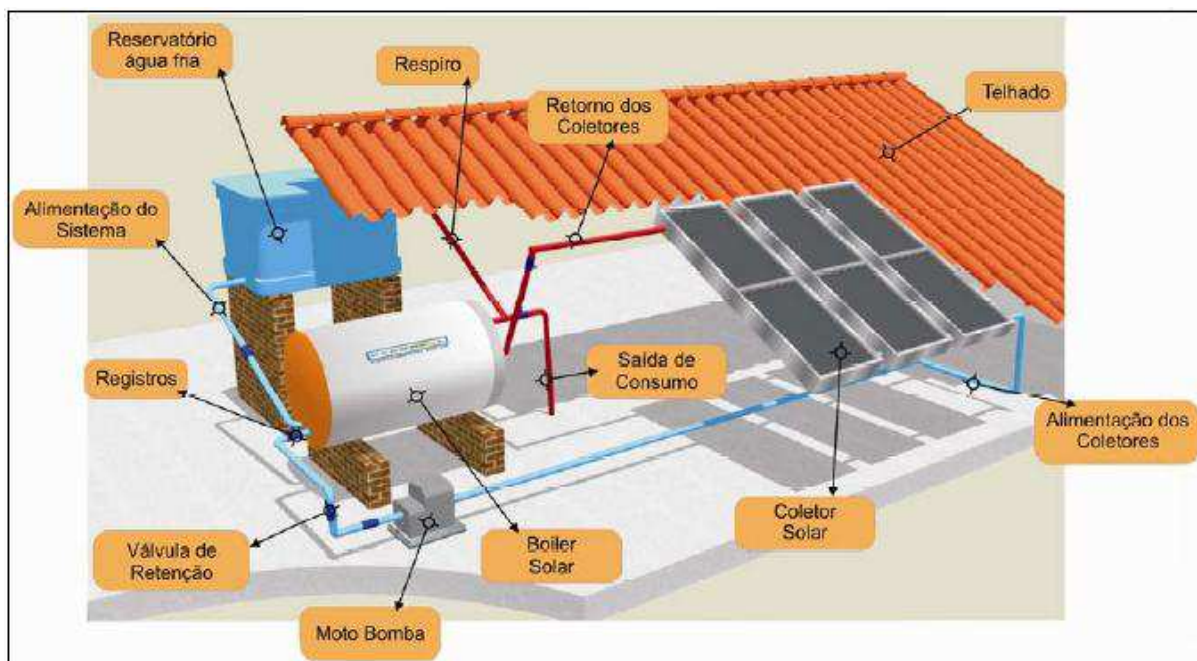
4.2.2 Sistemas ativos

A NBR 15.569 recomenda que “Quando a circulação por termossifão não for possível, deve-se utilizar a circulação forçada instalando uma motobomba no circuito entre os coletores solares e o reservatório térmico [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 16). Esta motobomba, que caracteriza os sistemas ativos, segundo Lourenço Junior (2000), é acionada através de sensores instalados na entrada e na saída dos coletores. A bomba entra em funcionamento quando a temperatura da água na entrada dos coletores, proveniente do fundo do reservatório térmico, é inferior à temperatura na saída.

Treis (1991) coloca como vantagem dos sistemas ativos a liberdade de instalação no que se refere ao posicionamento relativo entre placas coletoras e reservatório térmico, visto que a circulação da água é mantida através das motobombas. Entretanto, a NBR 15.569 recomenda que “[...] a motobomba deve estar corretamente suportada em base [...] adequadamente

projetada, e a tubulação disposta de maneira a não permitir que a vibração seja transmitida aos elementos do SAS [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 23). A figura 11 apresenta um sistema de aquecimento ativo típico para uma residência unifamiliar.

Figura 11 – Circulação forçada em um sistema ativo



(fonte: DECORSOL, [2012?], p. 13)

4.3 ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

A NBR 15.569 indica quatro etapas fundamentais para o correto dimensionamento de um sistema de aquecimento de água utilizando placas coletoras de energia solar (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Estas etapas são listadas a seguir:

- a) determinação do volume de água quente necessário para o abastecimento da edificação;
- b) determinação do volume de armazenamento dos reservatórios térmicos;
- c) cálculo da demanda de energia útil;
- d) determinação da área de captação solar necessária para a placa coletora de energia.

Os próximos itens apresentam estas quatro etapas de dimensionamento.

4.3.1 Volume de consumo de água quente

Esta etapa consiste em “[...] apurar o volume de consumo para atendimento dos vários pontos de utilização, levando-se em consideração a vazão das peças de utilização [...] e o tempo de utilização, considerando a frequência de uso.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 28). A tabela 2 mostra o consumo de água para diferentes peças.

Tabela 2 – Consumo de pontos de utilização de água quente

Peças	Consumo Mínimo	Consumo Máximo	Ciclo diário (minuto/pessoa)	Temperatura de consumo (°C)
Ducha de Banho	3,0 L/min	15,0 L/min	10	39 - 40
Lavatório	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 - 40
Ducha higiênica	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 - 40
Banheira	80,0 L	440,0 L	banho	39 - 40
Pia de Cozinha	2,4 L/min	7,2 L/min	3	39 - 40
Lava louças (12 pessoas)	20,0 L	20,0 L	ciclo de lavagem	39 - 50
Máquina de lavar roupa	90,0 L	200,0 L	ciclo de lavagem	39 - 40

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 33)

A Norma estabelece que o volume de consumo de água quente pode ser obtido através da equação 1:

$$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times frequencia) \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

$V_{consumo}$ = volume total de água quente consumido diariamente (m³);

Q_{pu} = vazão da peça de utilização (m³/s);

T_u = tempo médio de uso diário da peça de utilização (s);

frequencia = número de utilizações da peça por dia.

4.3.2 Volume do reservatório

De acordo com a NBR 15.569, os reservatórios térmicos “[...] devem ser capazes de operar nas faixas de pressão, temperatura e demais condições especificadas em projeto, incluindo resistência de exposição direta à radiação [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 13). A Norma também estabelece que o volume dos reservatórios deve ser superior a 75% do volume de água quente consumida diariamente, e pode ser calculado através da equação 2:

$$V_{\text{armaz.}} = \frac{V_{\text{consumo}} \times (T_{\text{consumo}} - T_{\text{ambiente}})}{(T_{\text{armaz.}} - T_{\text{ambiente}})} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

$V_{\text{armaz.}}$ = volume do reservatório (m³);

V_{consumo} = volume de consumo diário (m³);

T_{consumo} = temperatura de consumo de utilização (°C), normalmente igual a 40 °C;

$T_{\text{armaz.}}$ = temperatura de armazenamento da água (°C), preferencialmente maior que a temperatura de consumo;

T_{ambiente} = temperatura ambiente média anual do local de instalação (°C).

4.3.3 Energia útil

A NBR 15.569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008) estabelece que a demanda de energia útil do sistema pode ser obtida através da equação 3:

$$E_{\text{útil}} = \frac{V_{\text{armaz.}} \times \rho \times C_p \times (T_{\text{armaz.}} - T_{\text{ambiente}})}{3600} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

$E_{\text{útil}}$ = energia útil (kWh/dia);

$V_{\text{armaz.}}$ = Volume do reservatório (m³);

ρ = massa específica da água, igual a 1000 kg/m³;

C_p = calor específico da água, igual a 4,18 kJ/kg.K;

$T_{\text{armaz.}}$ = temperatura de armazenamento da água (°C);

T_{ambiente} = temperatura média anual do local de instalação (°C).

4.3.4 Área de captação solar da placa coletora

De acordo com NBR 15.569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), a área das placas coletoras de energia solar pode ser calculada pela equação 4:

$$A_{\text{coletora}} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal.}} \times 4,901}{PMDEE \times I_G} \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

A_{coletora} = área da placa coletora (m²);

$E_{\text{útil}}$ = energia útil (kWh/dia);

E_{perdas} = somatório das perdas térmicas do sistema (kWh/dia), equivalente a 15% da energia útil;

$FC_{\text{instal.}}$ = fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar;

$PMDEE$ = produção média diária de energia específica do coletor solar (kWh/dia.m²);

I_G = valor da irradiação global média anual para o local de instalação (kWh/dia.m²).

O fator de correção para casos em que não seja possível instalar a placa com inclinação e orientação recomendadas pela NBR 15.569/2008 pode ser obtido através da equação 5:

$$FC_{\text{instal.}} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{\text{ótimo}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]} \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

$FC_{\text{instal.}}$ = fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar;

β = inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, expressa em graus;

$\beta_{\text{ótimo}}$ = inclinação ótima do coletor para o local de instalação, expressa em graus, normalmente com valor igual a 10° mais a latitude do local;

γ = ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico, expresso em graus.

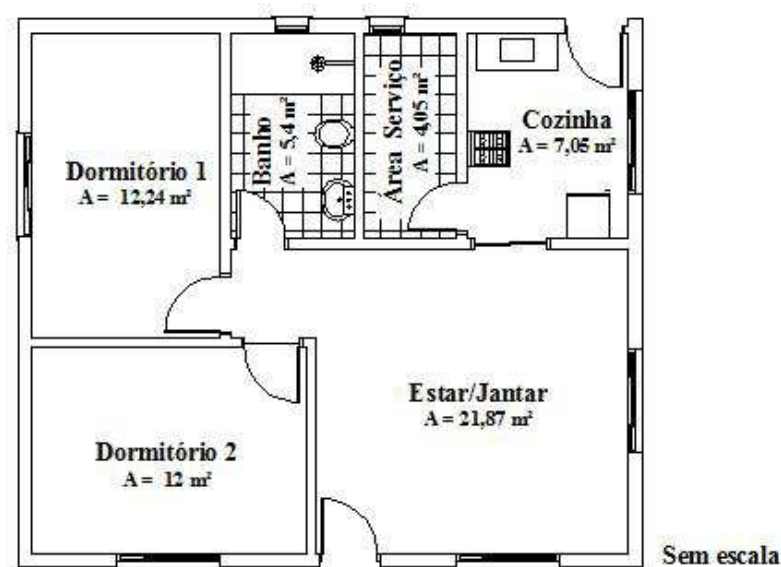
5 METODOLOGIA

Este capítulo visa descrever o local de instalação do sistema de aquecimento solar para água do chuveiro, assim como apresentar o tipo de sistema adotado e os critérios escolhidos para o seu dimensionamento, avaliando, também, os fatores que contribuem para o cálculo da área de captação solar necessária. Além disso, apresenta componentes essenciais do sistema, como as placas coletoras e os reservatórios térmicos, explicando o processo de escolha destes componentes.

5.1 OBJETO DE ESTUDO

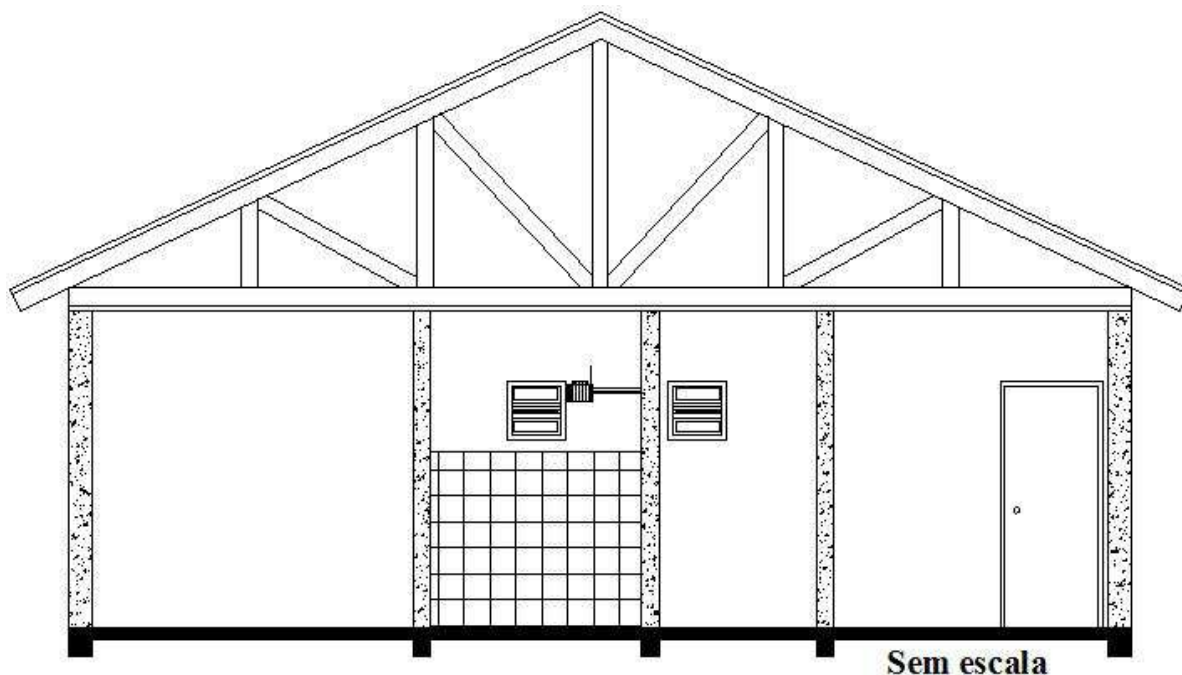
O sistema de aquecimento solar foi projetado para uma residência unifamiliar típica para quatro moradores, com dois dormitórios, uma sala de estar e jantar, uma cozinha, uma área de serviço e um banheiro, totalizando 72,8 m², para a cidade de Porto Alegre. Para esta residência, o sistema tradicional de aquecimento de água para chuveiro, baseado na energia elétrica, foi substituído pelo sistema de aquecimento de água utilizando a energia solar. As figuras 12 e 13 apresentam, respectivamente, a planta baixa e uma vista em corte da mesma.

Figura 12 – Planta baixa da residência



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 13 – Vista em corte da residência



(fonte: elaborado pelo autor)

5.2 DEFINIÇÃO DAS PLACAS COLETORAS E RESERVATÓRIO TÉRMICO

Por se tratar de um sistema de aquecimento solar exclusivo para água dos chuveiros, optou-se por utilizar coletores solares planos fechados para o projeto. As placas coletoras foram escolhidas a partir do catálogo do Inmetro, no qual constam todas as placas devidamente qualificadas e aprovadas no Programa Brasileiro de Etiquetagem. Deste catálogo, foram selecionadas placas com diferentes níveis de produção média mensal de energia específica (PMME), a fim de se avaliar a influência desta diferença de produção no cálculo da área de captação solar necessária para o sistema. Estas placas foram divididas em três grupos, de acordo com a sua PMME:

- a) menor que 75 kWh/mês.m²;
- b) entre 75 e 80 kWh/mês.m²;
- c) maior que 80 kWh/mês.m².

Foram solicitados, então, orçamentos das placas coletoras junto aos seus fabricantes. A tabela 3 apresenta as três placas escolhidas para o estudo.

Tabela 3 – Placas coletoras de energia solar estudadas no projeto

Placa	PMMEE (kWh/mês.m ²)	PMDEE (kWh/dia.m ²)	Área da placa (m ²)	Preço/placa (R\$)
A	88,60	2,95	2,37	940,00
B	77,10	2,57	1,99	565,00
C	63,40	2,11	1,02	320,00

(fonte: elaborado pelo autor)

Em relação ao reservatório térmico, tendo em vista a mudança no seu volume de acordo com o tempo de uso do chuveiro, solicitou-se, junto ao seu fabricante, o orçamento para reservatórios com diferentes volumes. A tabela 4 apresenta os preços destes reservatórios, fabricados com aço inox e revestidos com chapa de alumínio.

Tabela 4 – Valores dos reservatórios térmicos

Volume reservatório (m ³)	Preço (R\$)
0,2	915,00
0,3	1.030,00
0,4	1.140,00
0,5	1.190,00
0,6	1.245,00
0,7	1.420,00
0,8	1.610,00

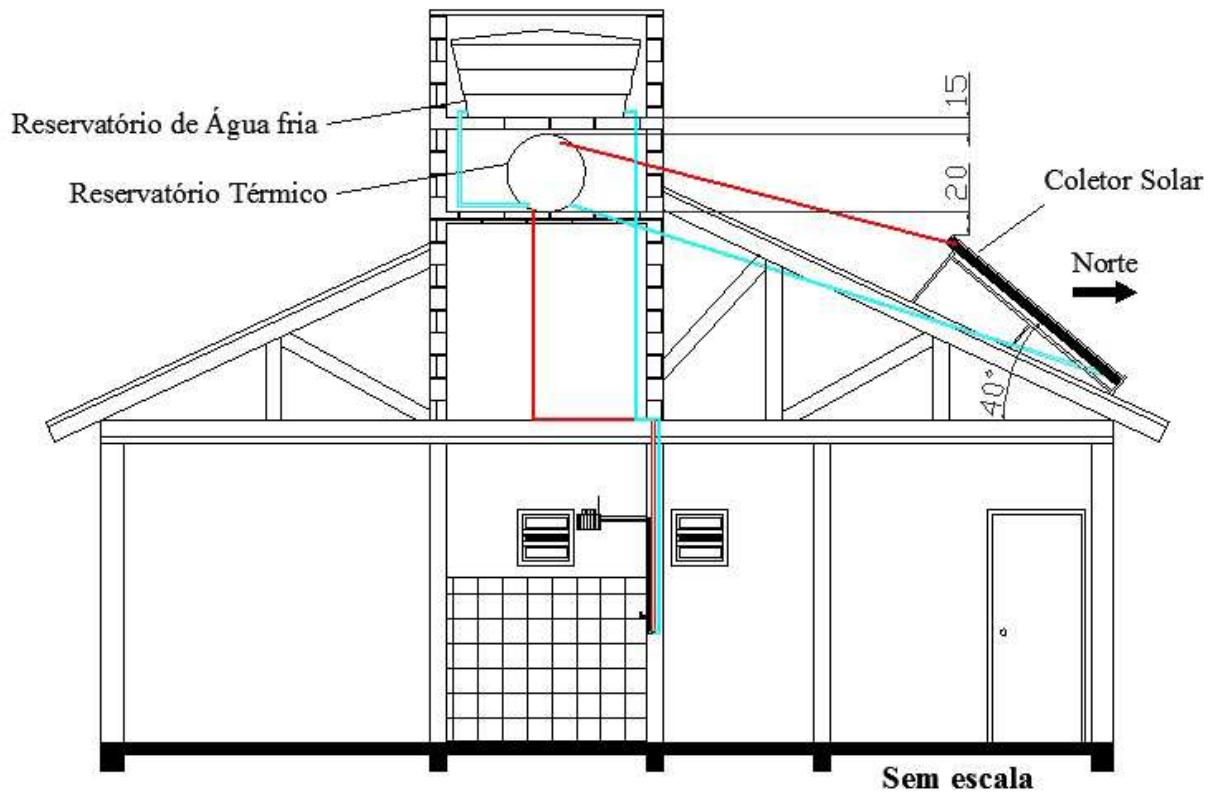
(fonte: elaborado pelo autor)

5.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

O sistema de aquecimento solar para água do chuveiro adotado no estudo é do tipo passivo, com circulação natural da água através do efeito termossifão, considerando-se a possibilidade de instalação do reservatório térmico acima das placas coletoras e a economia obtida com a ausência da motobomba, necessária em um sistema ativo. Na figura 14, pode ser vista uma representação esquemática do sistema projetado, no qual observa-se a disposição dos componentes no sistema, sendo respeitadas as exigências de desníveis mínimos estabelecidas pelo fabricante (20 cm entre a parte superior do coletor solar e a base do reservatório térmico, e 15 cm entre a parte superior do reservatório térmico e a base do reservatório de água fria).

Pode-se observar, também, a orientação geográfica da placa coletora, voltada para o norte, e sua inclinação de 40° em relação ao plano horizontal.

Figura 14 – Representação esquemática do sistema de aquecimento solar



(fonte: elaborado pelo autor)

Escolhido o tipo de sistema a ser utilizado no estudo, realizou-se o seu dimensionamento, seguindo-se as etapas apresentadas no item 4.3 deste trabalho. Os próximos itens apresentam critérios definidos em cada uma destas etapas.

5.3.1 Definições para o volume de consumo de água quente

O volume de consumo de água quente está relacionado à vazão da peça de utilização, ao tempo de uso desta peça e à frequência com a qual ela é utilizada, conforme mostra a equação 1 deste trabalho.

$$V_{consumo} = \sum (Q_{pu} \times T_u \times frequencia) \quad \text{equação 1}$$

Através da tabela 2 deste trabalho (página 43), pode-se observar, para a ducha de banho, 3,0 L/min como valor mínimo e 15,0 L/min como valor máximo para o consumo de água quente. Como critério de projeto, adotou-se o valor de 10 L/min. O tempo de banho para cada um dos quatro moradores da casa, considerando-se a frequência de 1 banho por pessoa, foi fixado em 10 minutos.

5.3.2 Definições para o dimensionamento do reservatório térmico

O reservatório térmico foi dimensionado a partir da equação 2 deste trabalho. De acordo com a equação, o volume de armazenamento do reservatório está relacionado com o volume de água quente consumido na residência, com a temperatura que o reservatório é capaz de armazenar a água, com a temperatura que se deseja consumi-la e com a temperatura ambiente.

$$V_{armaz.} = \frac{V_{consumo} \times (T_{consumo} - T_{ambiente})}{(T_{armaz.} - T_{ambiente})} \quad \text{equação 2}$$

Como critério de projeto, optou-se por uma temperatura de consumo da água igual a 40 °C e por uma temperatura de armazenamento no reservatório térmico igual a 50 °C. Para a estimativa da temperatura ambiente, foi utilizada a série temporal de temperaturas registradas na Estação 83967 de Porto Alegre, disponibilizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) que disponibiliza as temperaturas médias mensais desde o ano de 1961. A tabela 5 apresenta as temperaturas médias mensais para a cidade de Porto Alegre, para a qual chegou-se ao valor de 19,6 °C como temperatura média anual, valor considerado para a temperatura ambiente. Para o dimensionamento do sistema, tomou-se valores efetivos para o volume dos reservatórios, em substituição aos valores calculados, tendo como base os volumes fornecidos por seu fabricante.

Tabela 5 – Temperaturas médias mensais em Porto Alegre desde 1961

Mês	Temperatura média mensal (°C)
jan.	24,7
fev.	24,6
mar.	23,3
abr.	20,1
maio	17,0
jun.	14,5
jul.	14,2
ago.	15,4
set.	16,9
out.	19,4
nov.	21,4
dez.	23,5
Média anual	19,6

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.3 Definições para o dimensionamento das placas coletoras

O dimensionamento das placas coletoras de energia solar, realizado através das equações 4 e 5 deste trabalho, tem como objetivo a área de captação solar necessária para aquecer o volume de água quente consumido na residência. Esta área, além de influenciada pela qualidade da placa e por sua PMDEE, está relacionada à energia disponibilizada pelo sistema e ao local e forma de instalação.

$$A_{coletora} = \frac{(E_{útil} + E_{perdas}) \times FC_{instal.} \times 4,901}{PMDEE \times I_G} \quad \text{equação 4}$$

$$FC_{instal.} = \frac{1}{1 - [1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \gamma^2]} \quad \text{equação 5}$$

Para a residência estudada, considerou-se a possibilidade de instalação das placas com fator de correção igual a 1, ou seja, placas orientadas para o norte, sem desvio, e com ângulo de inclinação de 40° em relação ao plano horizontal, considerando-se como ângulo ideal 10° mais a latitude do local (30° para a cidade de Porto Alegre). O valor da irradiação global média anual foi estimado em 14 MJ/m².dia para a cidade Porto Alegre (conforme mostra a figura 5 deste trabalho), equivalentes a 3,89 kWh/m².dia. As áreas de captação solar para as três placas analisadas, com diferentes PMDEE, são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6 – Área de captação solar para diferentes PMDEE

V _{consumo} (m ³)	V _{armaz. calc.} (m ³)	V _{armaz. efet.} (m ³)	E _{útil} (kWh/dia)	E _{perdas} (kWh/dia)	PMDEE (kWh/m ² .dia)	A _{coletora} (m ²)
0,40	0,27	0,30	10,59	1,59	2,95	5,20
0,40	0,27	0,30	10,59	1,59	2,57	5,97
0,40	0,27	0,30	10,59	1,59	2,11	7,27

(fonte: elaborado pelo autor)

5.4 VERIFICAÇÃO DE CRITÉRIOS DE PROJETO

Além do correto dimensionamento de um sistema de aquecimento solar para água, seguindo as recomendações dadas pela NBR 15569, é importante que todo o projeto seja executado com correção para que o rendimento do sistema esteja de acordo com o que se espera. Porém, devido a dificuldades encontradas na hora da instalação, nem sempre é possível executá-lo da maneira desejada. Sendo assim, além das condições ideais de instalação, que levam a um fator de correção igual a 1, foram criados outros cenários, procurando-se avaliar a influência de desvios das placas em relação ao norte geográfico e de variações na sua inclinação em relação ao plano horizontal na área de captação solar necessária para o sistema.

Outro importante fator que afeta a área de captação solar necessária é o tempo de banho, relacionado diretamente ao consumo de água quente. Este fator, ligado às características do usuário do sistema, pode assumir diferentes valores, conforme os hábitos de cada pessoa. Dessa forma, além do tempo de banho estimado em 10 minutos para o dimensionamento do SAS, foram testados outros quatro tempos (5, 15, 20 e 25 minutos), a fim de se verificar os

diferentes períodos de retorno do investimento para cada caso e, assim, avaliar a viabilidade econômica de acordo com as características do usuário.

6 ANÁLISES E RESULTADOS

Este capítulo apresenta as verificações realizadas no sistema projetado e os resultados econômicos obtidos para o mesmo, assim como as comparações realizadas considerando-se diferentes cenários, criados a partir de possíveis mudanças na escolha da placa, no consumo de água da residência e na instalação do sistema.

6.1 VERIFICAÇÃO DA PLACA MAIS ECONÔMICA

A verificação da placa coletora de energia solar mais econômica, dentre as placas A, B e C, foi feita a partir da comparação dos custos totais para a instalação do sistema na residência em estudo. A tabela 7 apresenta os custos obtidos para cada placa.

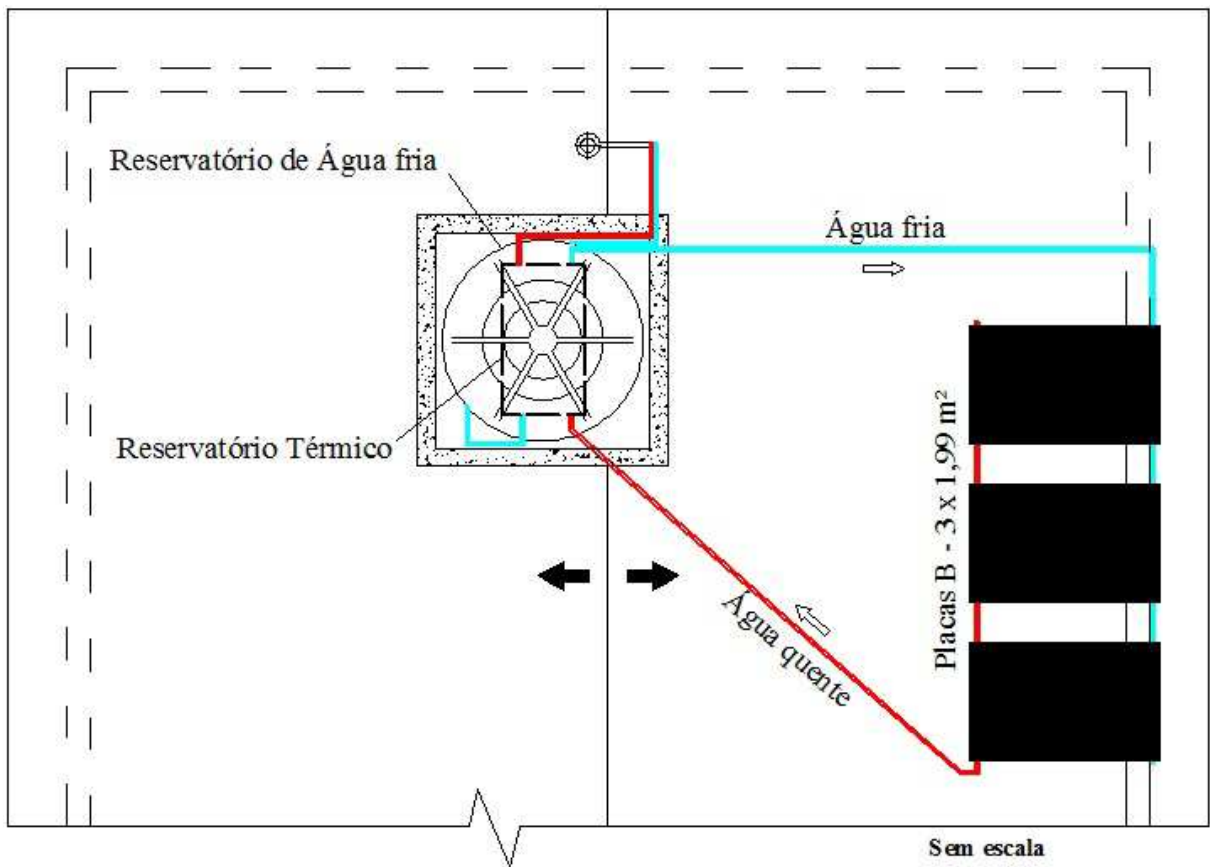
Tabela 7 – Custos totais das placas coletoras de energia solar

Placa	PMDEE (kWh/dia.m ²)	Área da placa (m ²)	Preço/placa (R\$)	Área necessária (m ²)	Quantidade de placas (unidade)	Custo total (R\$)
A	2,95	2,37	940,00	5,20	3	2.820,00
B	2,57	1,99	565,00	5,97	3	1.695,00
C	2,11	1,02	320,00	7,27	8	2.560,00

(fonte: elaborado pelo autor)

Como primeira ideia, pode-se associar a maior produção de energia a uma menor área necessária de captação solar e, conseqüentemente, a menores custos. Porém, no caso estudado, não é o que ocorre. A tabela 7 mostra que a placa B, mesmo tendo uma PMDEE inferior à da placa A, é mais econômica, pois a dimensão da placa disponível, aliada ao seu custo unitário, a torna mais vantajosa, tendo em vista a necessidade de três placas para suprir a demanda de água quente da residência em questão. A placa C, com a menor PMDEE, aparece como a segunda opção mais econômica, porém, deve-se levar em conta o alto número de placas necessárias para o sistema, o que poderia tornar inviável a sua instalação. Sendo assim, o período de retorno do investimento no sistema de aquecimento solar projetado (figura 15), apresentado nos próximos itens, foi verificado apenas para a placa B.

Figura 15 – Sistema de aquecimento solar projetado com as placas B



(fonte: elaborado pelo autor)

6.2 VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA

Neste item, é avaliado o período de retorno do investimento no sistema de aquecimento solar projetado para aquecimento de água do chuveiro, utilizando a placa B, em comparação aos gastos com o chuveiro elétrico, considerando-se a instalação ideal das placas e tempo de banho igual a 10 minutos.

6.2.1 Custos do chuveiro elétrico

A determinação dos custos anuais com a energia elétrica foi realizada tendo como base as médias anuais das tarifas da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) desde o ano de 2007 (tabela 8).

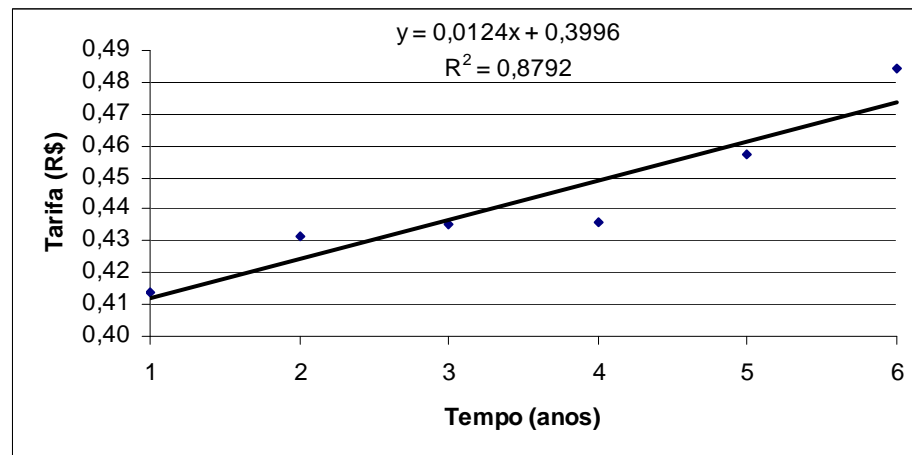
Tabela 8 – Tarifas médias anuais passadas

Ano	Tarifa média (R\$)
2007	0,413837
2008	0,431182
2009	0,434948
2010	0,435706
2011	0,457167
2012	0,484619
2013	0,393064

(fonte: elaborado pelo autor)

Com a queda do preço da tarifa de energia elétrica imposta pelo Governo Federal em 2013, a alternativa escolhida para projetar as tarifas futuras, e assim avaliar os custos com a energia elétrica, foi admitir, a partir deste ano, um crescimento com a mesma tendência observada nos anos anteriores. Este crescimento é apresentado no gráfico 3, que tem 2007 como ano 1 e se estende até o ano 6, referente a 2012. Com a equação ajustada aos pontos deste gráfico, foi possível obter uma estimativa das tarifas para os próximos anos.

Gráfico 3 – Crescimento da tarifa de energia elétrica entre 2007 e 2012



(fonte: elaborado pelo autor)

Estimando-se um tempo de banho de 10 min para cada um dos quatro moradores da residência e considerando-se um chuveiro elétrico com potência de 5500 W, através das tarifas calculadas, foram determinados os gastos futuros anuais utilizando o chuveiro elétrico. A tabela 9 apresenta as tarifas de energia elétrica projetadas e os custos anuais por consumo

do chuveiro elétrico, trazidos para o presente com uma taxa de juros igual a 5,25% ao ano, até o ano de 2022.

Tabela 9 – Tarifas de energia elétrica e custos anuais projetados

Ano	Tarifa média (R\$/kWh)	Custo anual (R\$)	Custo acumulado (R\$)
2013	0,393064	518,84	518,84
2014	0,403627	506,21	1.025,06
2015	0,416027	495,74	1.520,79
2016	0,428427	485,05	2.005,84
2017	0,440827	474,19	2.480,03
2018	0,453227	463,21	2.943,24
2019	0,465627	452,15	3.395,39
2020	0,478027	441,03	3.836,42
2021	0,490427	429,90	4.266,33
2022	0,502827	418,79	4.685,12

(fonte: elaborado pelo autor)

6.2.2 Custo do sistema de aquecimento solar

Para a avaliação do custo do sistema de aquecimento solar projetado e posterior verificação do período de retorno do investimento, foram considerados três fatores significativos: placas coletoras, reservatório térmico e mão de obra, este último obtido mediante estimativa do próprio fabricante da placa estudada. Optou-se por descartar os custos com outros materiais necessários no sistema, como por exemplo, tubos e conexões, considerando-se que estes materiais não contribuiriam de maneira significativa para a comparação dos valores com o sistema tradicional elétrico.

Para a placa B, utilizando-se um reservatório térmico de 300 litros e 3 placas coletoras, aliadas a um custo de mão de obra da ordem de R\$ 400,00, o custo total de instalação deste sistema é de R\$ 3.125,00.

6.2.3 Período de retorno do investimento

O período de retorno do investimento no sistema de aquecimento solar projetado, se comparado aos custos com a energia elétrica consumida pelos chuveiros, foi obtido através do método do Valor Presente Líquido (VPL), considerando-se como taxa de juros a taxa paga pela Poupança, que em abril de 2013 estava avaliada em 5,25% ao ano, referente a 70% da Taxa Selic, que no mesmo período era de 7,5% ao ano. Através deste método, apresentado na equação 6, os custos anuais futuros com o chuveiro elétrico são trazidos para o presente e, ao igualá-los ao investimento efetivado no sistema de aquecimento solar, é possível obter o tempo em que o SAS passa a ser vantajoso em termos econômicos.

$$VPL = C_0 + \sum_{n=1} \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad (\text{equação 6})$$

Onde:

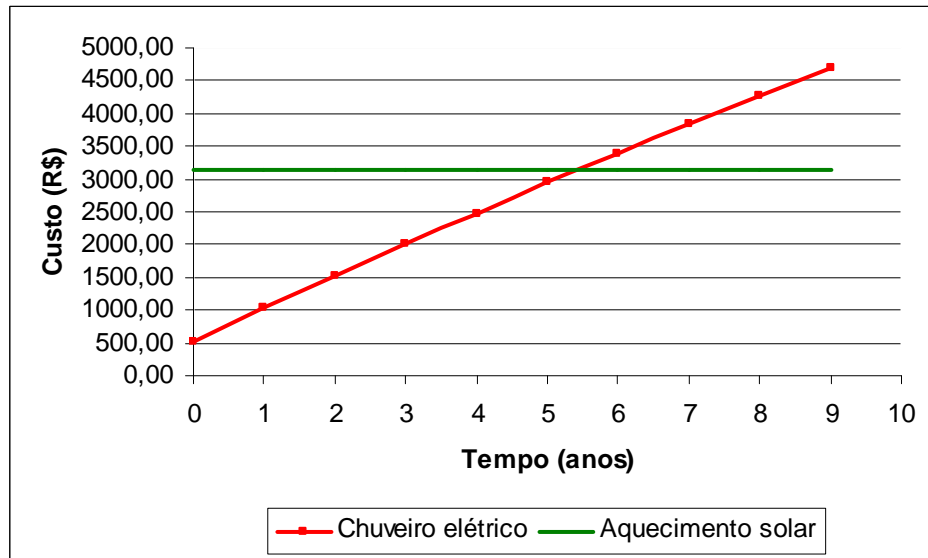
C_0 = fluxo de caixa no período zero;

C_n = fluxo de caixa no período n;

i = taxa de juros corrente no período n.

Com o investimento no sistema avaliado em R\$ 3.125,00, considerando-se o uso da placa B, tempo de banho igual a 10 minutos e condições ideais de instalação, obteve-se um tempo de retorno de 5,5 anos, o que está dentro da hipótese deste trabalho, que adota um período de retorno inferior ao tempo de vida útil do sistema (aproximadamente 15 anos). O gráfico 4 ilustra como se desenvolvem os gastos com o sistema de aquecimento solar e o sistema tradicional de aquecimento para chuveiros.

Gráfico 4 – Período de retorno do investimento



(fonte: elaborado pelo autor)

6.3 INFLUÊNCIA DA FORMA DE INSTALAÇÃO

A primeira recomendação da NBR 15569, apresentada no capítulo 4 deste trabalho, se refere à necessidade de que as placas coletoras sejam instaladas sempre voltadas para o norte geográfico. Considerando-se uma situação em que esta orientação não possa ser obtida, como por exemplo, um telhado que não tenha nenhuma de suas águas voltadas para o Norte ou até mesmo erros de projeto ou instalação, foi verificado o aumento da área de captação solar necessária de acordo com acréscimos nos desvios de orientação, permanecendo inalteradas as demais variáveis. A tabela 10 apresenta estes resultados.

Analisando a tabela 10, é possível verificar que os desvios no ângulo de orientação da placa em relação ao norte não alteram de maneira significativa a área de captação solar necessária para o sistema, sendo de 3% apenas o acréscimo na área necessária quando se tem o desvio de 30°, o máximo permitido pela Norma. Porém, para o sistema projetado, no qual três placas B, em condições ótimas de instalação, estão no limite para atender à área necessária, o desvio de 6° já é suficiente para elevar a quatro o número de placas no sistema, visto que cada placa B possui área de 1,99 m². Sendo assim, pode-se dizer que para o sistema projetado, ao qual são

previstas três placas, uma pequena mudança de orientação geográfica pode levar a perdas de eficiência do sistema, caso não se faça a correção necessária na área.

Tabela 10 – Influência do ângulo de orientação na área da placa

γ (graus)	Área calculada (m ²)	Área efetiva (m ²)	Quantidade de placas
0	5,97	5,97	3
2	5,97	5,97	3
4	5,97	5,97	3
6	5,98	7,96	4
8	5,99	7,96	4
10	5,99	7,96	4
12	6,00	7,96	4
14	6,01	7,96	4
16	6,03	7,96	4
18	6,04	7,96	4
20	6,06	7,96	4
22	6,07	7,96	4
24	6,09	7,96	4
26	6,12	7,96	4
28	6,14	7,96	4
30	6,17	7,96	4

(fonte: elaborado pelo autor)

A segunda recomendação da NBR 15569 se refere ao ângulo de inclinação das placas coletoras em relação ao plano horizontal, que deve ser de 10° somados à latitude do local de instalação. Em muitos casos, porém, devido a telhados com inclinações que dificultam a correta instalação da placa, esta recomendação acaba não sendo seguida. Desta forma, para o sistema de aquecimento solar projetado para a cidade de Porto Alegre, que requer um ângulo de inclinação das placas igual a 40°, foram testadas diferentes inclinações (permanecendo inalteradas as demais variáveis) a fim de se avaliar a influência na área de captação solar necessária. A tabela 11 apresenta os resultados obtidos.

Analisando a tabela 11, percebe-se que embora a variação na área necessária ocasionada por alterações na inclinação ótima seja pequena, é maior do que a variação observada quando se tem desvios em relação ao Norte, chegando a 12% para o caso extremo analisado, em que a placa encontra-se com 10° de inclinação. Entretanto, assim como acontece na situação anterior, inclinações de 4° em relação à inclinação ótima já tornam necessária a colocação de

uma placa a mais para atender o sistema. Considerando-se que o sistema foi projetado para trabalhar com três placas coletoras, um erro na inclinação também pode levar a uma redução de eficiência do mesmo, caso não se faça a correção necessária na área de captação solar.

Tabela 11 – Influência do ângulo de inclinação na área da placa

β	Área calculada (m ²)	Área efetiva (m ²)	Quantidade de placas
10	6,69	7,96	4
12	6,59	7,96	4
14	6,50	7,96	4
16	6,42	7,96	4
18	6,34	7,96	4
20	6,27	7,96	4
22	6,21	7,96	4
24	6,16	7,96	4
26	6,12	7,96	4
28	6,08	7,96	4
30	6,04	7,96	4
32	6,02	7,96	4
34	6,00	7,96	4
36	5,98	7,96	4
38	5,97	5,97	3
40	5,97	5,97	3
42	5,97	5,97	3
44	5,98	7,96	4
46	6,00	7,96	4
48	6,02	7,96	4
50	6,04	7,96	4

(fonte: elaborado pelo autor)

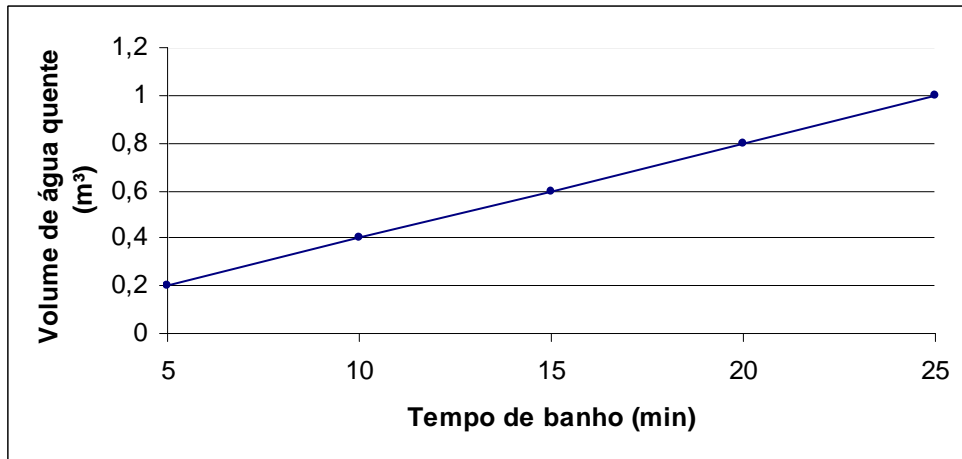
Deve-se ressaltar que estas perdas de eficiência ocorrem apenas em casos específicos como o da residência em questão, em que a área total do número de placas coletoras utilizadas no sistema já o atendem no limite. Em grande parte dos casos, o acréscimo de área necessária seria compensada pela área efetiva fornecida pelas placas.

6.4 INFLUÊNCIA DO TEMPO DE BANHO

O tempo de banho está diretamente relacionado ao volume de água quente consumido na residência. Esta variação no consumo, apresentada no gráfico 5, é avaliada neste item,

revelando-se a influência na área de captação solar necessária para a placa B e no período de retorno do investimento no sistema projetado.

Gráfico 5 – Relação entre tempo de banho e volume de água quente consumido



(fonte: elaborado pelo autor)

Como meio de se avaliar o aumento de área de captação solar necessária a partir de um tempo maior de banho, testou-se tempos entre 5 e 25 minutos, chegando-se em resultados que podem ser vistos na tabela 12. Analisando esta tabela, nota-se um aumento significativo na área das placas em função do tempo de banho, podendo ser observado que um aumento de 10 minutos (tempo considerado para o dimensionamento do sistema) para 20 minutos, dobra a área de captação solar, tornando necessário o acréscimo de 3 novas placas. Da mesma maneira, percebe-se que um banho rápido de 5 minutos reduz para 2 a quantidade de placas necessárias ao sistema. Percebe-se, logo, que a área de captação solar necessária no SAS projetado para água dos chuveiros está relacionada de maneira mais direta às características do usuário do que propriamente às características técnicas e de instalação do sistema.

Tabela 12 – Relação entre tempo de banho e área de captação solar necessária

Volume Consumo			Volume Reservatório		Energia Útil		Fator de Correção		Área da Placa Coletora			
V_{consumo} (m^3)	Q_{pu} (L/min)	T_u (min/pessoa)	$V_{\text{armaz. calc.}}$ (m^3)	$V_{\text{armaz. efét.}}$ (m^3)	$E_{\text{útil}}$ (kWh/dia)	E_{perdas} (kWh/dia)	$F_{C_{\text{instal.}}}$	β	γ	PMDEE (kWh/m ² .dia)	A_{coletora} (m^2)	Quantidade de Placas
0,2	10	5	0,13	0,20	7,06	1,06	1	40	0	2,57	3,98	2
0,24	10	6	0,16	0,20	7,06	1,06	1	40	0	2,57	3,98	2
0,28	10	7	0,19	0,20	7,06	1,06	1	40	0	2,57	3,98	2
0,32	10	8	0,21	0,30	10,59	1,59	1	40	0	2,57	5,97	3
0,36	10	9	0,24	0,30	10,59	1,59	1	40	0	2,57	5,97	3
0,4	10	10	0,27	0,30	10,59	1,59	1	40	0	2,57	5,97	3
0,44	10	11	0,30	0,30	10,59	1,59	1	40	0	2,57	5,97	3
0,48	10	12	0,32	0,40	14,12	2,12	1	40	0	2,57	7,96	4
0,52	10	13	0,35	0,40	14,12	2,12	1	40	0	2,57	7,96	4
0,56	10	14	0,38	0,40	14,12	2,12	1	40	0	2,57	7,96	4
0,6	10	15	0,40	0,50	17,65	2,65	1	40	0	2,57	9,95	5
0,64	10	16	0,43	0,50	17,65	2,65	1	40	0	2,57	9,95	5
0,68	10	17	0,46	0,50	17,65	2,65	1	40	0	2,57	9,95	5
0,72	10	18	0,48	0,50	17,65	2,65	1	40	0	2,57	9,95	5
0,76	10	19	0,51	0,60	21,18	3,18	1	40	0	2,57	11,94	6
0,8	10	20	0,54	0,60	21,18	3,18	1	40	0	2,57	11,94	6
0,84	10	21	0,56	0,60	21,18	3,18	1	40	0	2,57	11,94	6
0,88	10	22	0,59	0,60	21,18	3,18	1	40	0	2,57	11,94	6
0,92	10	23	0,62	0,70	24,71	3,71	1	40	0	2,57	13,93	7
0,96	10	24	0,64	0,70	24,71	3,71	1	40	0	2,57	13,93	7
1	10	25	0,67	0,70	24,71	3,71	1	40	0	2,57	13,93	7

(fonte: elaborado pelo autor)

A partir da quantidade de placas coletoras necessárias para atender aos consumos de água quente de diferentes tempos de banho, foi verificado o período de retorno do investimento para cada tempo. A tabela 13 apresenta os custos totais de instalação do sistema para tempos de banho de 5, 10, 15, 20 e 25 minutos, para os quais são considerados os custos das placas coletoras, reservatórios térmicos e mão de obra.

Tabela 13 – Custos totais do sistema para diferentes tempos de banho

Área da placa (m ²)	Preço/placa (R\$)	Tempo de banho (min)	Volume reservatório (m ³)	Preço reservatório (R\$)	Área necessária (m ²)	Quantidade de placas (m ²)	Mão de obra (R\$)	Custo total (R\$)
1,99	565,00	5	0,20	915,00	3,98	2	350,00	2.395,00
1,99	565,00	10	0,30	1030,00	5,97	3	400,00	3.125,00
1,99	565,00	15	0,50	1190,00	9,95	5	550,00	4.565,00
1,99	565,00	20	0,60	1245,00	11,94	6	650,00	5.285,00
1,99	565,00	25	0,70	1420,00	13,93	7	700,00	6.075,00

(fonte: elaborado pelo autor)

A comparação dos custos de instalação do SAS com os custos do chuveiro elétrico foi realizada a partir da estimativa dos custos anuais futuros com a energia elétrica, apresentados na tabela 14. No apêndice A, encontram-se tabelas e gráficos que apresentam os custos acumulados para cada ano.

Tabela 14 – Estimativa de custos futuros com o chuveiro elétrico

Tempo de banho (min)	Custo anual (R\$)									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
5	259,42	266,39	274,58	282,76	290,95	299,13	307,31	315,50	323,68	331,87
10	518,84	532,79	549,16	565,52	581,89	598,26	614,63	631,00	647,36	663,73
15	778,27	799,18	823,73	848,29	872,84	897,39	921,94	946,49	971,05	995,60
20	1037,69	1065,58	1098,31	1131,05	1163,78	1196,52	1229,26	1261,99	1294,73	1327,46
25	1297,11	1331,97	1372,89	1413,81	1454,73	1495,65	1536,57	1577,49	1618,41	1659,33

(fonte: elaborado pelo autor)

O período de retorno do investimento no sistema de aquecimento solar utilizando a placa B, para os diferentes tempos de banho, considerando-se condições ideais de instalação e uma taxa de juros de 5,25 % ao ano, é apresentado na tabela 15.

Tabela 15 – Período de retorno para diferentes tempos de banho

Tempo de banho (min)	Período de retorno (anos)
5	9,1
10	5,5
15	5,3
20	4,4
25	4,0

(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando isoladamente a tabela 13, que apresenta os custos totais do sistema, pode-se ter uma impressão de que, a medida que o consumo de água aumenta pelo maior tempo de banho, o sistema de aquecimento solar torna-se menos viável economicamente. Porém, quando comparamos com os custos que se tem com chuveiro elétrico, percebe-se uma significativa redução no período de retorno do investimento neste sistema (como mostra a tabela 15), visto que os custos com a energia elétrica crescem de maneira mais significativa.

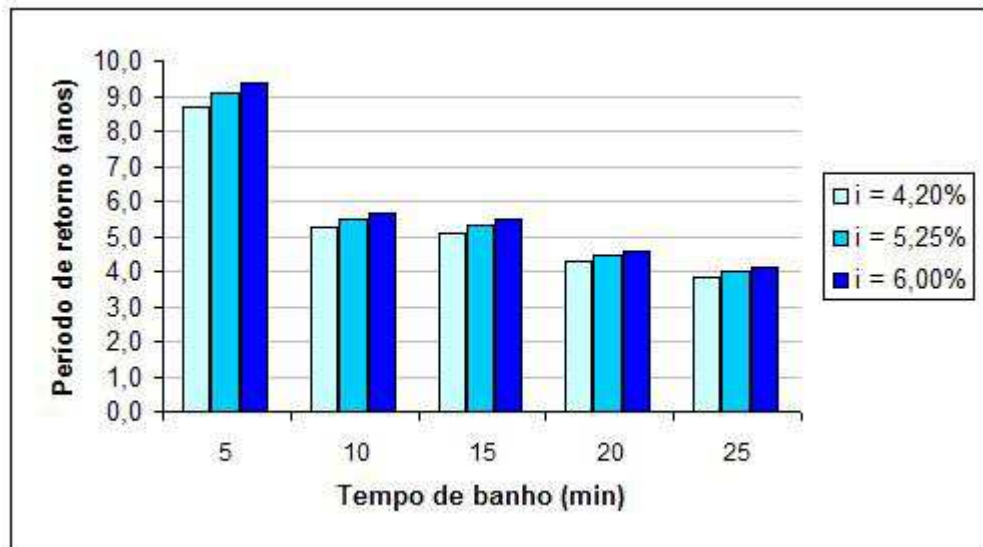
Sendo assim, para tempos de banho reduzidos ou pequenos consumos de água quente, ainda que o sistema de aquecimento solar seja viável economicamente, esta viabilidade econômica só é alcançada a longo prazo. Já para tempos de banho longos ou grandes consumos de água quente, o tempo em que se tem o retorno do investimento feito no sistema de aquecimento solar é muito curto, tornando-o uma grande alternativa para os chuveiros elétricos.

Avaliou-se, também, os períodos de retorno do investimento para diferentes taxas de juros. Desde 04/05/2012, o rendimento da Poupança está relacionado diretamente à Taxa Selic, estando limitado a 0,5% ao mês quando a Taxa Selic for superior a 8,5% ao ano, e tendo valor calculado em 70% da Taxa Selic quando a mesma encontrar-se igual ou inferior a 8,5% ao ano. Considerando que a Taxa Selic sofre grande variação ao longo do tempo, as seguintes taxas de juros foram utilizadas para a avaliação do período de retorno:

- a) 6,00% ao ano, quando a Taxa Selic estiver acima de 8,5% ao ano;
- b) 4,20% ao ano, referentes a 70% da Taxa Selic quando esta estiver em 6,0% ao ano.

O gráfico 6 apresenta as variações do período de retorno, para diferentes tempos de banho e taxas de juros.

Gráfico 6 – Período de retorno do investimento em função do tempo de banho e taxa de juros aplicada



(fonte: elaborado pelo autor)

Através deste gráfico, percebe-se que o investimento no sistema de aquecimento solar torna-se mais atrativo economicamente com a redução da taxa de juros considerada. É possível verificar, também, um crescimento mais acentuado dos períodos de retorno para tempos inferiores de banho, ainda que este período seja inferior a 15 anos, tempo de vida útil do sistema. Sendo assim, o chuveiro elétrico se mostra uma boa opção para pequenos consumos de água, porém, quando o chuveiro passa a ser consumido por mais tempo, um sistema de aquecimento solar para água, além das vantagens ambientais que oferece, acaba sendo muito mais vantajoso economicamente, podendo ter sua viabilidade econômica alcançada, inclusive, em menos de 4 anos. A tabela 16 apresenta os valores precisos para o período de retorno.

Tabela 16 – Período de retorno do investimento em função do tempo de banho e taxa de juros aplicada

Tempo de banho (min)	Período de retorno (anos)		
	i = 4,20%	i = 5,25%	i = 6,00%
5	8,7	9,1	9,4
10	5,3	5,5	5,6
15	5,1	5,3	5,5
20	4,3	4,4	4,6
25	3,9	4,0	4,1

(fonte: elaborado pelo autor)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, devido ao avanço tecnológico, a demanda por energia elétrica aumentou significativamente, porém, os recursos tradicionais usados para sua obtenção estão se tornando cada vez mais escassos. Sendo assim, é importante que novas formas de produzir energia sejam utilizadas. A energia solar, então, destaca-se como uma grande alternativa para os chuveiros elétricos, pois, sendo uma energia renovável, não se esgota, além de minimizar impactos ambientais presentes na produção de outros tipos de energia.

Tendo em vista a grande incidência de radiação solar no território brasileiro ao longo do ano, foi desenvolvido, no presente trabalho, um sistema de aquecimento solar para a água dos chuveiros, com o objetivo de verificar-se o período de retorno do investimento neste sistema, se comparado aos custos do chuveiro elétrico. Primeiramente, foram estimados os custos futuros com a energia elétrica, considerando-se um chuveiro com potência de 5.500 W. Os resultados mostraram que, para uma residência com quatro moradores, os custos oriundos exclusivamente do chuveiro elétrico são muito elevados, podendo chegar a quase R\$ 5.000,00 em 10 anos, considerando-se um tempo de banho igual a 10 minutos. Estes custos crescem ainda mais quando se aumenta o consumo de água quente, consequência do aumento do tempo de banho.

Ao mesmo tempo, foi avaliado o custo total para a implementação do sistema de aquecimento solar, considerando-se um sistema passivo e a ausência de bombas, o que torna o sistema ainda mais econômico. Os resultados obtidos mostraram que, para a placa analisada, o custo de aquisição deste sistema é alto, variando entre R\$ 2.395,00 e R\$ 6.075,00, conforme o volume de água quente considerado. Porém, o sistema torna-se viável economicamente a medida que este custo, presente apenas na sua aquisição, é comparado com os custos que se tem com a energia elétrica ao longo dos anos.

Com a comparação dos custos dos dois tipos de sistema, foi possível verificar que os chuveiros elétricos podem ser uma boa opção para pequenos tempos de banho ou baixos volumes consumidos de água quente, porém, para tempos de 10 minutos ou mais, é essencial que um sistema alternativo como o solar seja utilizado, pois a compensação do investimento é obtida em um curto espaço de tempo, e o grande consumo de energia elétrica, cada vez mais

escassa, é evitado. Verificou-se, também, que a hipótese deste trabalho, que se refere a um tempo de retorno do investimento inferior ao tempo de vida útil do sistema, é atendida para todos os tempos de banho testados.

Em relação aos fatores que influenciam na área de captação solar necessária para as placas coletoras, verificou-se que esta área está muito mais ligada às características do usuário do que à forma de instalação. Porém, em muitos casos, como o deste trabalho, pequenas alterações na instalação do sistema podem gerar a necessidade de uma maior área de captação solar que, se não corrigida, acabam por comprometer a eficiência do sistema.

O sistema de aquecimento solar mostra-se uma excelente e necessária alternativa para os chuveiros elétricos, tanto do ponto de vista ambiental como econômico. Por isso, é importante que haja uma conscientização da população e dos engenheiros para que este sistema, que já apresenta um grande crescimento nos últimos anos, esteja presente ainda mais nas residências. Para isso acontecer, além de campanhas que conscientizem e mostrem as vantagens oferecidas pelo sistema, deve haver uma qualificação por parte de engenheiros e mão de obra, para que o rendimento após a instalação esteja de acordo com o rendimento projetado.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: 2005.

AITA, F. **Estudo do desempenho de um sistema de aquecimento de água por energia solar e gás**. 2006. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ARREGUY, E. G.; PEREIRA, E. M. D.; SALVADOR, E. Aquecimento solar: panorama da evolução do mercado. In: VASCONCELLOS, L. E. M. de.; LIMBERGER, M. A. C. (Org.). **Energia solar para aquecimento de água no Brasil: contribuições da Eletrobras e parceiros**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012. p 207-214.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569**: sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. [Dados de mercado, divulgados na seção de informações do site da Abrava]. Não paginado. Disponível em: <<http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/dados-de-mercado/>>. Acesso em: 31 out. 2012.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Termo de referência**: sistemas de aquecimento solar de água – SAS. Brasília, DF, [2011]. Disponível em: <http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/desenvolvimento_urbano/gestao_ambiental/tr_sas_mcmv2.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2012.

CARVALHO JÚNIOR, R. de. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Energia solar**: princípios e aplicações. Rio de Janeiro, [2006]. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2012.

COSTA, E. R. **Limitações no uso de coletores solares sem cobertura para sistemas domésticos de aquecimento de água**. 2002. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

DECORSOL. **Manual de instalação**. Poços de Caldas, MG, [2012?].

DOLABELLA, A. L. L. B.; ASSAD, E. D. Aquecimento solar: panorama da evolução do mercado. In: VASCONCELLOS, L. E. M. de.; LIMBERGER, M. A. C. (Org.). **Energia**

solar para aquecimento de água no Brasil: contribuições da Eletrobras e parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012. p 197-206.

KOMEKO. **Manual de instalação:** aquecedor solar. Palhoça, SC. 2008.

LOURENÇO JUNIOR, I. de. **Estudo de um sistema de aquecimento de água híbrido gás-solar.** 2000. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas:** prediais e industriais. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MAZZON, L. A. F.; MESQUITA, L. C. de. S. Como construir: sistema de água quente com aquecedor solar. **Revista Técnica,** São Paulo, ano 8, n. 40, p. 69-72, maio/jun. 1999.

MESQUITA, M. Como construir: sistemas de aquecimento solar de água. **Revista Técnica,** São Paulo, ano 19, n. 177, p. 75-80, dez. 2011.

MORAES, P. R. **Geografia geral e do Brasil.** 3. ed. São Paulo: Harbra, 2005.

MOTTA, M. L. A.; CARVALHO, L. P. de. Aquecimento solar: panorama da evolução do mercado. In: VASCONCELLOS, L. E. M. de.; LIMBERGER, M. A. C. (Org.). **Energia solar para aquecimento de água no Brasil:** contribuições da Eletrobras e parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012. p 215-224.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de.; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar.** 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2006.

PEREIRA, E. M. D.; SOUZA, S. V. de.; SILVA, S. M. da. Aquecimento solar: panorama da evolução do mercado. In: VASCONCELLOS, L. E. M. de.; LIMBERGER, M. A. C. (Org.). **Energia solar para aquecimento de água no Brasil:** contribuições da Eletrobras e parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012. p. 15-26.

PINTO JUNIOR, A. V.; GUEDES, J. C. de. S. Aquecimento solar: panorama da evolução do mercado. In: VASCONCELLOS, L. E. M. de.; LIMBERGER, M. A. C. (Org.). **Energia solar para aquecimento de água no Brasil:** contribuições da Eletrobras e parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012. p 77-87.

RODRIGUES, D.; MATAJS, R. **Um banho de Sol para o Brasil:** o que os aquecedores solares podem fazer pelo meio ambiente e a sociedade. São Lourenço da Serra, SP: Instituto Vitae Civilis, 2005.

RODRIGUES, S. G. Energia Solar. **Revista Eletrônica de Ciências.** São Carlos, ano 2, n. 8, jun. 2002. Não paginado. Disponível em:
<http://cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_08/energiasolar.html>. Acesso em: 12 jul. 2012.

SALVADORETTI, J. L. **Modelo matemático para análise do desempenho térmico de coletores solares cilindro-parabólicos.** 1983. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia, Metalurgia e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1983.

TIBA, C. **Atlas solarimétrico do Brasil**: banco de dados terrestres. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.

TREIS, F. L. **Simulação de sistemas de aquecimento de água por energia solar com circulação natural**. 1991. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Recife, 2006. Versão digital 2. Disponível em

<http://www.agritempo.gov.br/publish/publicacoes/livros/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2012.

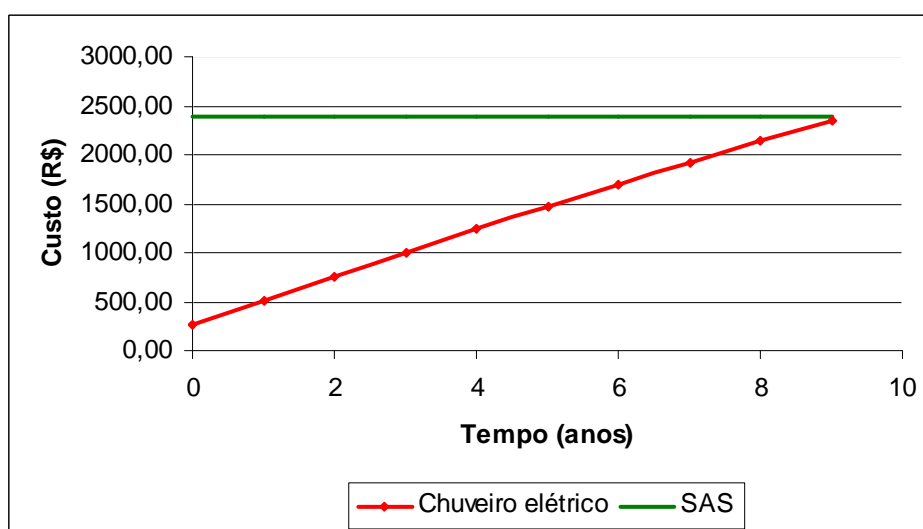
WEISS, W.; MAUTHNER, F. **Solar heat worldwide**: markets and contribution to the energy supply 2009. Gleisdorf, AUT: IEA Solar Heating & Cooling Programme, 2011.

**APÊNDICE A – Período de retorno do investimento
para diferentes tempos de banho**

Custos acumulados do chuveiro elétrico e SAS
para tempo de banho igual a 5 minutos

Ano	Custo chuveiro elétrico (R\$)	Custo SAS (R\$)
0	259,42	2.395,00
1	512,53	2.395,00
2	760,40	2.395,00
3	1.002,92	2.395,00
4	1.240,02	2.395,00
5	1.471,62	2.395,00
6	1.697,70	2.395,00
7	1.918,21	2.395,00
8	2.133,16	2.395,00
9	2.342,56	2.395,00

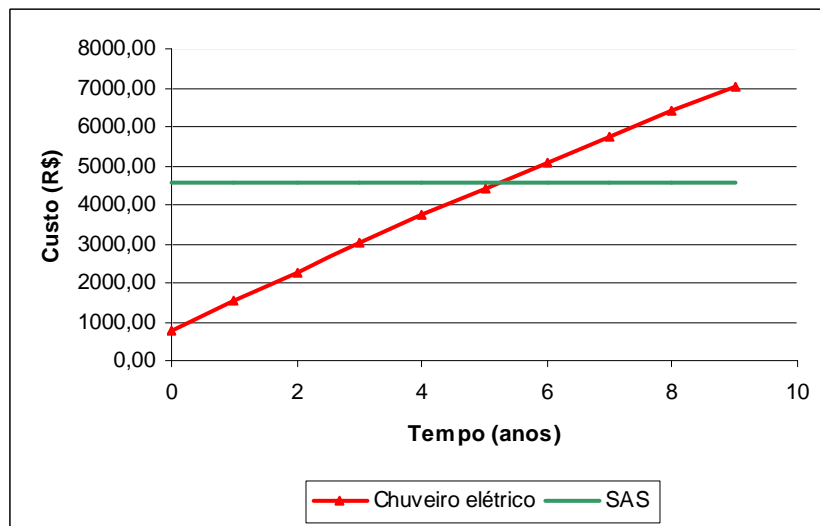
Período de retorno do investimento para tempo de banho igual a 5 minutos



Custos acumulados do chuveiro elétrico e SAS
para tempo de banho igual a 15 minutos

Ano	Custo 15min (R\$)	Custo SAS (R\$)
0	778,27	4.565,00
1	1.537,58	4.565,00
2	2.281,19	4.565,00
3	3.008,76	4.565,00
4	3.720,05	4.565,00
5	4.414,87	4.565,00
6	5.093,09	4.565,00
7	5.754,64	4.565,00
8	6.399,49	4.565,00
9	7.027,67	4.565,00

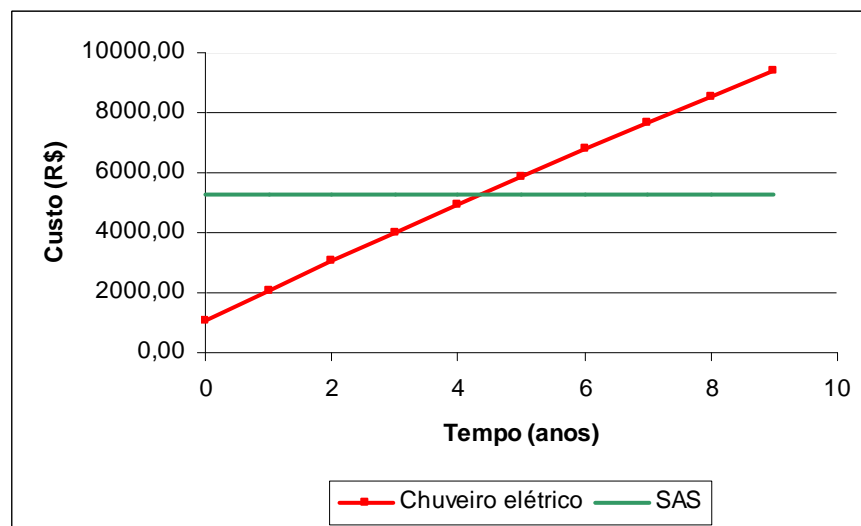
Período de retorno do investimento para tempo de banho igual a 15 minutos



Custos acumulados do chuveiro elétrico e SAS
para tempo de banho igual a 20 minutos

Ano	Custo 20min (R\$)	Custo SAS (R\$)
0	1.037,69	5.285,00
1	2.050,11	5.285,00
2	3.041,59	5.285,00
3	4.011,68	5.285,00
4	4.960,06	5.285,00
5	5.886,49	5.285,00
6	6.790,78	5.285,00
7	7.672,85	5.285,00
8	8.532,66	5.285,00
9	9.370,23	5.285,00

Período de retorno do investimento para tempo de banho igual a 20 minutos



Custos acumulados do chuveiro elétrico e SAS
para tempo de banho igual a 25 minutos

Ano	Custo 25min (R\$)	Custo SAS (R\$)
0	1.297,11	6.075,00
1	2.562,64	6.075,00
2	3.801,98	6.075,00
3	5.014,60	6.075,00
4	6.200,08	6.075,00
5	7.358,11	6.075,00
6	8.488,48	6.075,00
7	9.591,06	6.075,00
8	10.665,82	6.075,00
9	11.712,79	6.075,00

Período de retorno do investimento para tempo de banho igual a 25 minutos

