

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ LUIZ MAGAGNIN

**IMPACTOS ECONÔMICOS DO USO DE ENERGIA SOLAR PARA
AQUECIMENTO DE ÁGUA EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES**

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2010

ANDRÉ LUIZ MAGAGNIN

**IMPACTOS ECONÔMICOS DO USO DE ENERGIA SOLAR PARA
AQUECIMENTO DE ÁGUA EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Civil no curso de Engenharia Civil da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Esp. Nestor Back

CRICIÚMA, NOVEMBRO DE 2010

ANDRÉ LUIZ MAGAGNIN

**IMPACTOS ECONÔMICOS DO USO DE ENERGIA SOLAR PARA
AQUECIMENTO DE ÁGUA EM RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Civil, no Curso de Engenharia Civil da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em aquecimento solar.

Criciúma, 30 de Novembro de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Nestor Back – Engenheiro Civil – (UNESC) – Orientador

Prof. Msc. Evelise Chemale Zancan – Engenheira Civil – (UNESC)

Gisela Colombo de Freitas – Arquiteta Urbanista – (Criciúma Construções)

**A todos que estiveram torcendo por
mim nesta longa caminhada.**

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Altair e Dulce que me acompanharam desde o início da minha vida, me educando e apoiando em todos os momentos, sendo meus exemplos de vida.

A minha namorada Priscilla, que esteve comigo sempre, me dando forças e alegrando, me entendendo e apoiando em todos os momentos desta longa caminhada, me ajudando a concretizar o sonho de ser engenheiro civil.

Ao meu irmão Altair Junior, que esteve presente e ajudando desde o início.

Aos meus amigos que estiveram do meu lado durante toda a faculdade e aos colegas que lá conheci e hoje são meus grandes parceiros.

Aos amigos da Criciúma Construções, que me ajudaram e apoiaram em todos os momentos.

Ao professor Nestor, que me orientou e ajudou na elaboração deste trabalho.

A professora Evelise, que esteve ao meu lado me ajudando e dando forças para a realização deste projeto.

E por fim, a Deus, que esteve ao meu lado por toda a minha vida, nunca me deixando caminhar sozinho.

“O futuro tem muitos nomes. Para os fracos, é o inatingível. Para os temerosos, o desconhecido. Para os valentes, a oportunidade.”

Victor Hugo

RESUMO

A utilização de fontes de energia renováveis está sendo largamente utilizada em todo o país. O principal exemplo é a energia solar, que se destaca no seguimento de aquecimento de água, principalmente em residências unifamiliares.

Esse trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade econômica do uso de sistema de aquecimento solar para residências unifamiliares. A pesquisa é baseada em uma residência onde foram determinadas as variáveis necessárias para análise proposta, identificando indicadores importantes da localização e descrição da residência.

São apresentados os tipos e configurações do sistema de aquecimento, bem como suas características, e a fonte de aquecimento auxiliar que no presente trabalho será a energia elétrica.

A partir dos dados coletados, dimensionou-se o sistema solar que atenda a demanda do projeto, e com as especificações do dimensionamento foi realizado um levantamento de custos para a implantação do projeto.

Com base no custo de implantação do sistema e juntamente com os dados calculados de demanda de energia elétrica e economia da mesma com a utilização do aquecimento solar, foi realizada uma análise da viabilidade financeira, demonstrando qual a real economia ao consumidor final.

Determinou-se que o sistema de aquecimento solar tem seu retorno de investimento em 6 anos e 11 meses, demonstrando ser um sistema economicamente viável aos seus usuários.

Palavras-chave: Aquecimento solar, coletor solar, viabilidade econômica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução do mercado de aquecimento solar no Brasil.....	14
Figura 2 – Evolução do custo do m ² de coletores planos fechados instalados no Brasil	15
Figura 3 – Variação da intensidade de radiação com a latitude.....	18
Figura 4 – Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol	19
Figura 5 – Potencial de utilização de energia solar na Terra	20
Figura 6 – Potencial de utilização de energia solar no Brasil	20
Figura 7 – Atlas Solarimétrico do Brasil	21
Figura 8 – Insolação média mensal da Estação do INMET.....	22
Figura 9 – Coletores de foco concentrado: parabólico e Fresnel	23
Figura 10 – Seção típica de um coletor de superfície plana.....	24
Figura 11 – Esquema de trocas de energia no coletor.....	25
Figura 12 – Coletor solar plano fechado	26
Figura 13 – Representação da orientação e inclinação do coletor solar como condição de instalação.....	27
Figura 14 – Representação da inclinação do coletor solar.....	28
Figura 15 – Representação da orientação do coletor solar.....	28
Figura 16 – Componentes de um reservatório térmico com resistência elétrica	29
Figura 17 – Configurações utilizadas para sistema auxiliar de aquecimento	31
Figura 18 – Esquema de instalação de um sistema passivo direto com fonte de energia auxiliar interna ao reservatório de armazenamento de água quente.....	33
Figura 19 – Esquema simplificado de um sistema passivo indireto	34
Figura 20 – Esquema simplificado de um sistema ativo direto.....	34
Figura 21 - Esquema simplificado de um sistema ativo indireto.....	35
Figura 22 – Fonte utilizada para aquecimento de água para banho	36
Figura 23 – Participação do chuveiro elétrico na curva de carga residencial de Minas Gerais.....	37
Figura 24 – Consumo de pontos de utilização de água quente.....	40
Figura 25 – Fluxo de caixa	44
Figura 26 – Número médio de moradores por unidade habitacional.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custo da energia elétrica em Santa Catarina.....	57
Tabela 2 – Custo de implantação do sistema de aquecimento solar	57
Tabela 3 – Dados do projeto em estudo	58
Tabela 4 – Dados do sistema de aquecimento solar.....	59
Tabela 5 – Dados dos valores de economia de energia elétrica.....	59
Tabela 6 – Dados dos valores de consumo de energia elétrica.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditionig Engineers
CDB – Certificado de Depósito Bancário
CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SAS – Sistema de Aquecimento de água
SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia
TIR – Taxa Interna de Retorno
TMA – Taxa Mínima de Atratividade
TRC – Tempo de Recuperação de Capital
VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 A Energia Solar	17
3.1.1 Radiação Solar	17
3.1.2 Radiação Solar no Brasil	19
3.2 Principais Componentes para o Sistema de Aquecimento de Água Através da Energia Solar	22
3.2.1 Coletores de Calor Solar para Aquecimento de Água.....	23
3.2.1.1 Coletores de Concentração	23
3.2.1.2 Coletores Planos	24
3.2.1.2.1 Instalação dos Coletores Planos	26
3.2.2 Tanque de Armazenamento ou Reservatório Térmico	28
3.2.3 Fonte de Energia Auxiliar	30
3.2.4 Tubulações Térmicas	31
3.3 Configurações dos Sistemas de Aquecimento de Água Através da Energia Solar	32
3.3.1 Sistema Passivo Direto	33
3.3.2 Sistema Passivo Indireto	33
3.3.3 Sistema Ativo Direto	34
3.3.4 Sistema Ativo Indireto.....	35
3.4 O Efeito da Conservação de Energia nos Aspectos Sociais, Econômicos e Ambientais	35
3.5 Vantagens do Sistema de Aquecimento de Água	38
3.6 Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Solar	39
3.6.1 Etapas de Dimensionamento	40
3.6.1.1 Dimensionamento do Reservatório Térmico	40
3.6.1.2 Dimensionamento da Área Coletora Necessária.....	41
3.7 Avaliação Econômica de Investimento	43

3.7.1 Fluxo de Caixa	44
3.7.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	45
3.7.3 Valor Presente Líquido (VPL).....	45
3.7.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)	46
3.7.5 Tempo de Recuperação de Capital (TRC)	47
4. METODOLOGIA	49
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	50
5.1 Estudo de Caso: Aquecimento Solar de Água em Residência Unifamiliar ..	50
5.2 Dados para o Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Solar	52
5.2.1 Pontos de Consumo	53
5.2.1 Cálculo do Volume de Armazenamento	53
5.2.2 Cálculo da Área Coletora	55
5.3 Análise Econômica do Sistema	56
5.3.1 Dados de Entradas e Saídas do Projeto Estudado para a Análise de Viabilidade Econômica	58
5.3.2 Cálculo das Variáveis para a Análise Financeira	60
6. RESULTADOS OBTIDOS	64
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	66
REFERÊNCIAS.....	68
APÊNDICE.....	71
ANEXO	75

1. INTRODUÇÃO

O abastecimento energético mundial se tornou na atualidade, um dos grandes desafios para os países, principalmente os desenvolvidos, que procuram diversas maneiras para a racionalização do emprego de energia, seja na pesquisa de equipamentos, onde se busca uma maior eficiência ou por outras fontes de energia como: solar, eólica, das marés e biomassa. De acordo com a Eletrobrás (2010), 95% da energia produzida no Brasil é gerada através de usinas hidroelétricas.

Segundo Braga (2002 apud Salés, 2008), considerando-se a geração de energia elétrica, o Brasil é o país que possui a maior reserva mundial de hidroenergia. Pela imensa quantidade de rios que cobrem o país, esse é o recurso mais utilizado para a geração de eletricidade. Mesmo sendo uma fonte renovável, várias são as dificuldades para sua expansão no contexto brasileiro:

- Impactos ambientais no seu processo de implantação;
- Demanda de grandes recursos financeiros, devido à necessidade de indenização de terras causada pela desapropriação de algumas propriedades no entorno para a construção da barragem;
- Desmatamento da vegetação arbórea: Mata Ciliar, Mata de Encosta;
- Possível desaparecimento de espécies da flora, ainda não conhecidas, endêmicas ou de restrita distribuição geográfica;
- Provável morte por afogamento de indivíduos da fauna, com pouca mobilidade.

Segundo Lima (2003), a realidade vivida nos anos 90 foi de crescimento no consumo de eletricidade, sem o devido aumento da produção interna de eletricidade. Tal fato pode ser confirmado quando analisamos a oferta e demanda de energia do país e verificamos um significativo aumento nas importações deste energético. Esse aumento demonstra que o país não foi capaz de suprir ou gerir as suas necessidades.

O Brasil passou por uma crise energética nos anos de 2001 e 2002, quando, por muitos momentos, a população ficou desprovida do uso da energia

elétrica e, mesmo após a situação ser parcialmente normalizada, os brasileiros foram obrigados a fazer racionamento de energia.

Após o surgimento dos problemas acima relacionados, o uso da energia elétrica para aquecimento de água passou a despertar a atenção, não somente das entidades de geração e distribuição de energia, preocupadas com a redução da demanda de energia no horário de pico, a fim de evitar novos problemas, mas também dos projetistas e gerenciadores de sistemas prediais, que têm buscado nos últimos tempos, otimizar os sistemas para redução de gastos com energia.

Conforme Prado; Gonçalves (1992 apud Lima, 2003), há de se considerar ainda que o consumo com aquecimento da água representa uma parcela substancial da energia consumida. Em habitações de interesse social, 32% do total da energia gasta é devido ao chuveiro elétrico.

Por situações como a exposta acima é que se buscam, de forma tão intensa, a otimização do uso de energia e o incentivo ao aproveitamento de outras fontes energéticas.

Nas últimas décadas, o aproveitamento da energia solar para aplicações diversas tem sido bastante destacado, especialmente em países tropicais e subtropicais, como o Brasil, que dispõem de condições excelentes de radiação solar ao longo do ano. Ainda, esta é uma fonte energética renovável e está disponível por todo o território nacional, de forma ilimitada.

Conforme Baptista (2006), o aquecimento solar no Brasil começou a ser desenvolvido comercialmente na década de 70, mas somente a partir dos anos 90 é que o mercado obteve taxas de crescimento elevadas, principalmente devido à implantação do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE, coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. A etiqueta do INMETRO estabeleceu, de forma clara e inequívoca, critérios de comparação e avaliação dos coletores solares comercializados no Brasil. Esta etiqueta contém informações sobre a produção mensal de energia de cada coletor ensaiado.

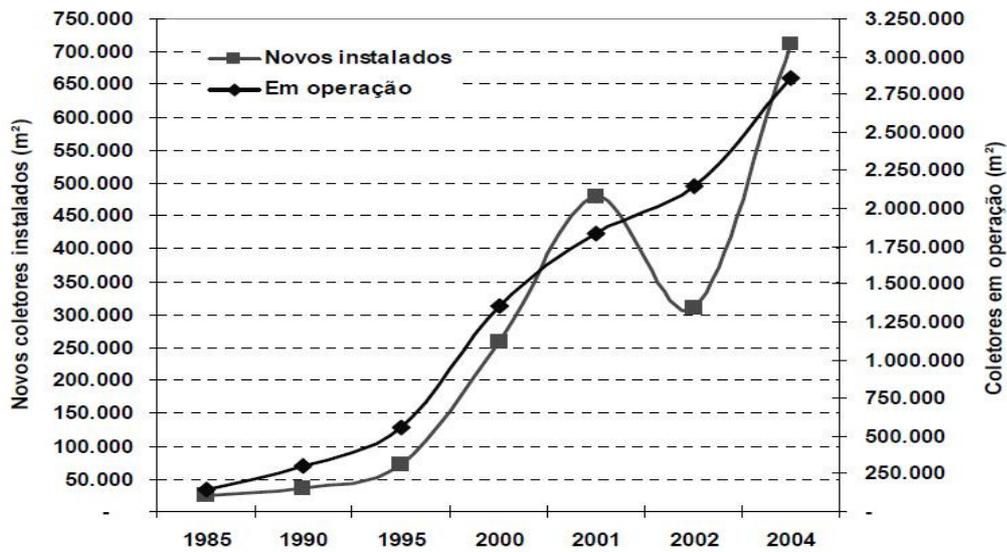


Figura 1 – Evolução do mercado de aquecimento solar no Brasil
 Fonte: BAPTISTA, 2006

Porém, ainda há uma barreira que impede a larga utilização do sistema de aquecimento solar: o custo. Esse obstáculo atinge principalmente as residências de baixa renda, já que o valor de aquisição dos equipamentos para a instalação do sistema ainda não é acessível para todas as classes sociais. A tendência, com o passar dos anos é de redução progressiva do custo. Hoje notamos uma grande diferença em relação há anos atrás, conforme podemos observar na figura 2. Essa progressão se dá principalmente pelo aumento da concorrência dos fabricantes dos sistemas e também por incentivos governamentais que ocorrem em várias regiões do país.

Outro aspecto importante é a criação de sistemas de aquecimento com materiais recicláveis, que contribuem para a socialização do sistema nas classes menos favorecidas.

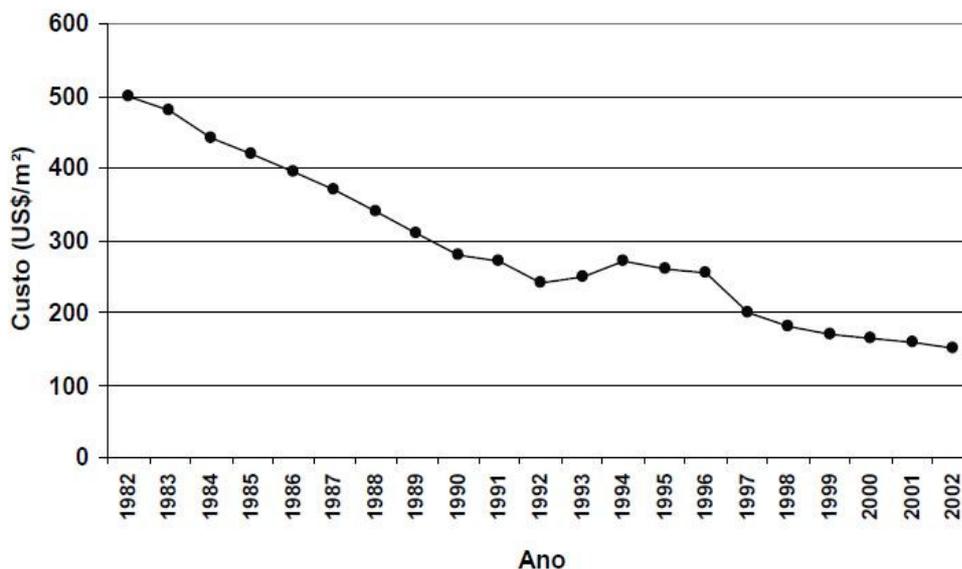


Figura 2 – Evolução do custo do m² de coletores planos fechados instalados no Brasil
Fonte: BAPTISTA, 2006

Os sistemas de aquecimento com energia solar são compostos basicamente por coletores solares, reservatório de armazenamento, fonte auxiliar de energia e um subsistema para a distribuição do fluido aquecido. O coletor solar é o componente mais importante do sistema, pois, é através dele que ocorre a conversão da energia solar em energia térmica. A existência do reservatório se dá pela necessidade do armazenamento do fluido, pois a maior demanda de utilização do mesmo ocorre no período noturno, enquanto o aquecimento do fluido acontece durante o dia.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar a viabilidade econômica da utilização de energia solar como fonte principal para aquecimento de água em uma residência unifamiliar, fazendo um comparativo com a energia elétrica, que é a fonte de aquecimento tradicional de água.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar e conhecer as formas e configurações de aquecimento solar em residências unifamiliares;
- Dimensionar um sistema de aquecimento solar segundo a Norma Brasileira NBR 15569 (2008);
- Comparar os valores de energia gastos, antes e depois da instalação do sistema solar, obtendo valores de economia;
- Fazer um levantamento do custo do sistema de aquecimento solar;
- Analisar a viabilidade econômica da utilização do sistema de aquecimento solar em relação à utilização de energia elétrica para o aquecimento de água.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A Energia Solar

Reis (2009) afirma que o sol é responsável pelo fornecimento da energia consumida pela humanidade desde seus primórdios. A energia armazenada pelas plantas através da fotossíntese, as modernas hidrelétricas, cujas represas, são abastecidas graças ao ciclo das águas, os geradores eólicos alimentados pelos ventos que são produzidos pelas diferenças de temperatura da atmosfera, os combustíveis fósseis, gerados a partir de resíduos orgânicos de tempos primitivos, são exemplos incontestáveis de nossa dependência energética do sol.

Segundo Sáles (2008), a energia solar como o próprio nome já diz, é uma energia que vem do sol, sendo irradiada continuamente por este astro. Para se ter uma ideia, em apenas um segundo, o sol produz mais energia (internamente) que toda energia usada pela humanidade desde o começo dos tempos. Esta energia pode ser aproveitada de diversas maneiras. Além das formas mais simples como secagem de produtos e aquecimento de água (energia térmica solar) pode-se utilizá-la também para produzir eletricidade (eletricidade solar ou energia fotovoltaica).

Conforme dados da ANEEL (2010), entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o primeiro é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, devido as características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

3.1.1 Radiação Solar

Segundo ANEEL (2010), a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende além das

condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar, também da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano).

Essas influências estão definidas abaixo conforme Lima (2003):

Latitude: A proporção que a latitude aumenta, a área da superfície terrestre que a mesma radiação atinge é maior, resultando em uma menor concentração de radiação, conforme figura 3;

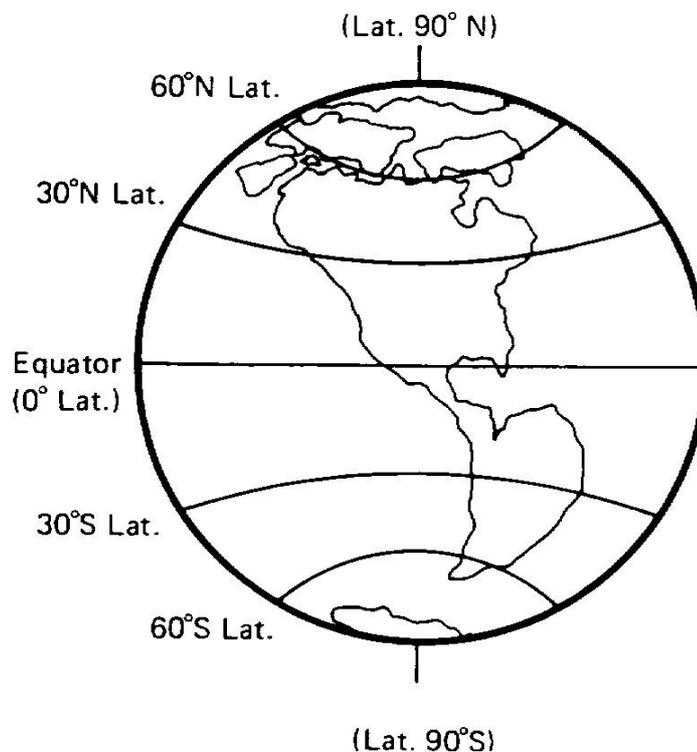


Figura 3 – Variação da intensidade de radiação com a latitude
Fonte: LIMA, 2003

Estações do ano: O movimento de translação da Terra em torno do sol, responsável pelas estações do ano, descreve uma órbita elíptica plana. O eixo de rotação da Terra em volta de si mesmo não coincide com o eixo da elipse, possuindo uma defasagem de $23^{\circ} 27'$, ver figura 4. Desta forma, por um período do ano o planeta expõe mais o hemisfério Sul à luz solar e por outro período ele expõe mais o hemisfério Norte;



Figura 4 – Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol
Fonte: LIMA, 2003

Hora do dia: A cada hora do dia os raios solares atingem uma dada superfície sob diferentes ângulos;

Condições do céu: As quantidades de nuvens que recobrem o céu interferem na radiação que atinge a superfície terrestre;

Condições atmosféricas: Dias enfumaçados, nublados ou poluídos alteram a radiação disponível. Entretanto, segundo Hudson; Markell (1985), este fator exerce reduzida influência porque a radiação que atinge a superfície terrestre é formada por radiação direta e difusa. Conforme os autores, em dias claros, 10% da radiação que chega à superfície terrestre é difusa. Contudo, em dias nublados a radiação difusa é, frequentemente, toda radiação disponível.

3.1.2 Radiação Solar no Brasil

Segundo Manual de Energia Alternativa do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL (2001 apud Sáles, 2008), o potencial de aproveitamento da energia solar de uma determinada região é determinado, principalmente, em função de sua localização no Globo Terrestre. As regiões localizadas entre os

círculos polares e os trópicos podem ser consideradas como de médio potencial de energia solar e as regiões localizadas entre as linhas tropicais podem ser consideradas de alto potencial. A figura 5 representa esta situação. O Brasil encontra-se em uma região entre os trópicos e próxima à linha do Equador, privilegiando-se dos elevados índices solarimétricos, fator determinante e alavancador para o crescente aproveitamento do aquecimento solar. A figura 6 mostra que o Brasil possui grande parte de seu território (cerca de 90%) na região considerada de alto potencial de energia solar.

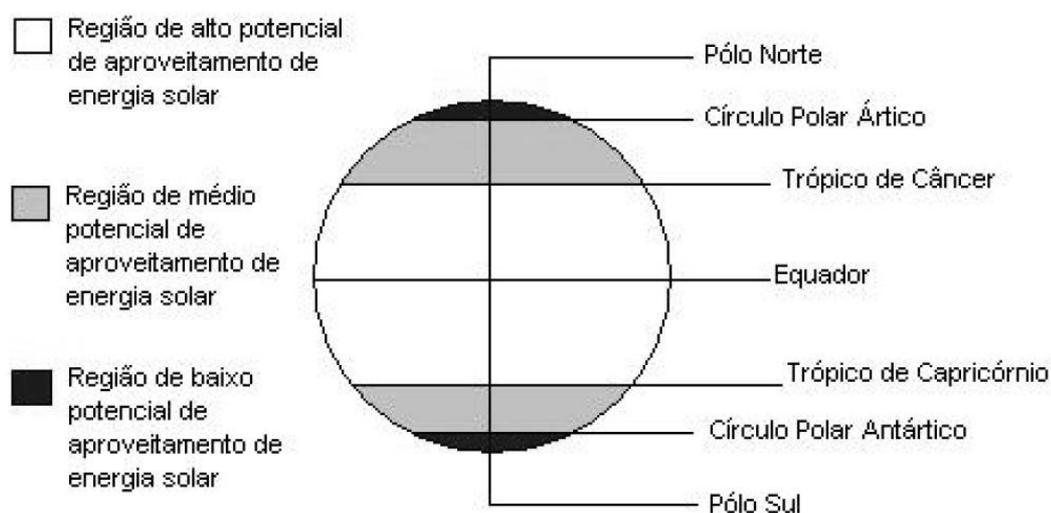


Figura 5 – Potencial de utilização de energia solar na Terra
Fonte: SÁLES, 2008

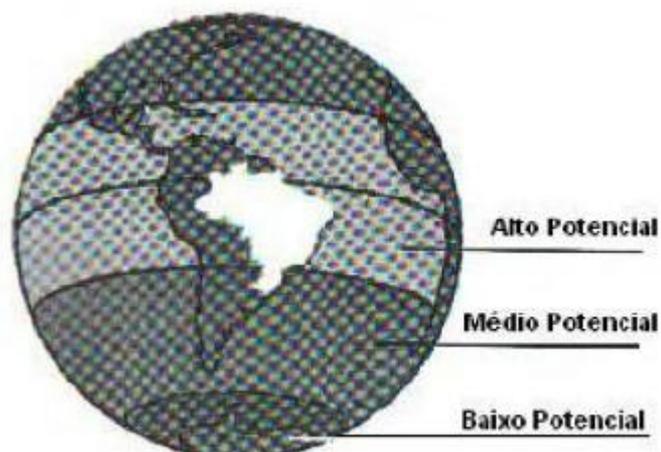


Figura 6 – Potencial de utilização de energia solar no Brasil
Fonte: SÁLES, 2008

De acordo com a ANEEL (2010), o Atlas Solarimétrico do Brasil, apresenta uma estimativa da radiação solar incidente no país, resultante da interpolação e extrapolação de dados obtidos em estações solarimétricas distribuídas em vários pontos do território nacional.

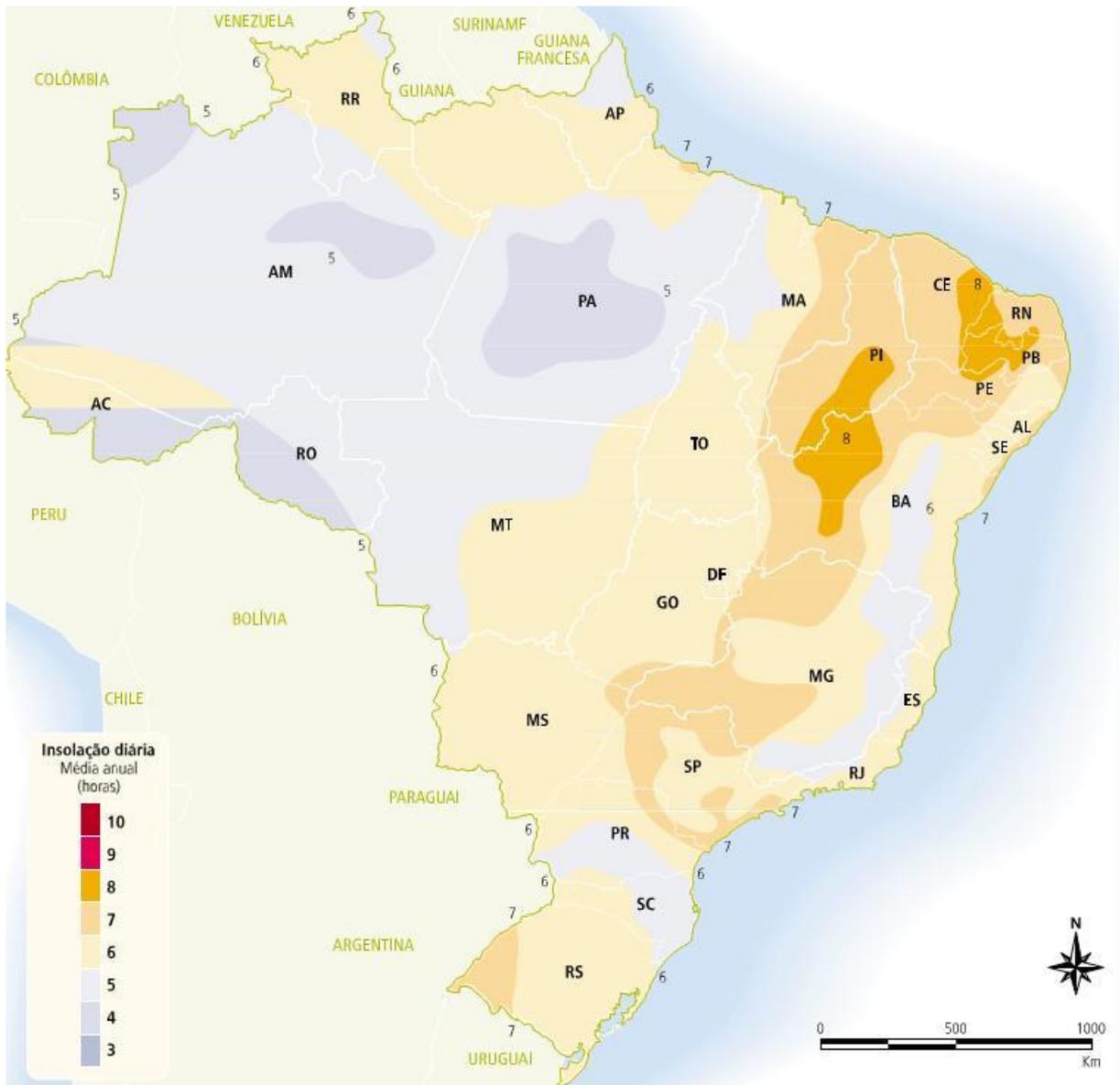


Figura 7 – Atlas Solarimétrico do Brasil
Fonte: ANEEL, 2010

Fazendo uma busca de dados mais próxima a região que será alvo do trabalho, conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, tem-se abaixo a variação média anual de insolação na Estação Meteorológica de Florianópolis, conforme figura 8.

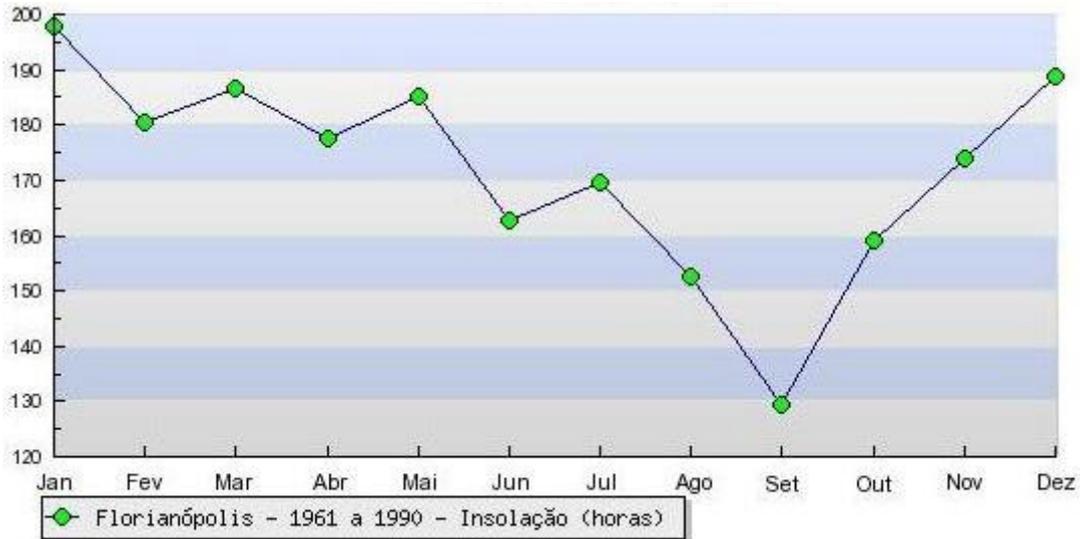


Figura 8 – Insolação média mensal da Estação do INMET
Fonte: INMET, 2010

Os meses de menor incidência solar foram de junho a outubro. Nos demais meses, a menor nebulosidade determina a época de maior insolação do ano. Janeiro é o mês com maior número médio de horas de sol. O mês de menor média de insolação é o de setembro.

Conforme se observa no Atlas Solarimétrico e no gráfico de insolação do INMET, o número médio de horas de insolação na região de Florianópolis (região mais próxima da área de estudo do trabalho) fica em torno de 5 horas diárias.

3.2 Principais Componentes para o Sistema de Aquecimento de Água Através da Energia Solar

Os sistemas de aquecimento com energia solar são essencialmente constituídos por coletores solares, tanque de armazenamento (ou reservatório térmico), fonte auxiliar de energia e uma rede de distribuição da água aquecida.

3.2.1 Coletores de Calor Solar para Aquecimento de Água

Segundo Lima (2003), o coletor é o dispositivo responsável pela captação da energia radiada pelo sol e sua conversão em calor utilizável. Existem dois tipos fundamentais de coletores:

- Coletores de concentração;
- Coletores planos.

3.2.1.1 Coletores de Concentração

Conforme Lima (2003) o coletor de concentração focaliza a energia que atinge um grande refletor parabólico ou uma grande lente de Fresnel para um absorvedor relativamente pequeno (ver figura 9). O absorvedor contém água ou outro fluido de transferência. Em virtude da concentração de energia em um absorvedor de área diminuta, o fluido alcança níveis muito mais elevados de temperatura que aqueles atingidos pelos coletores planos.

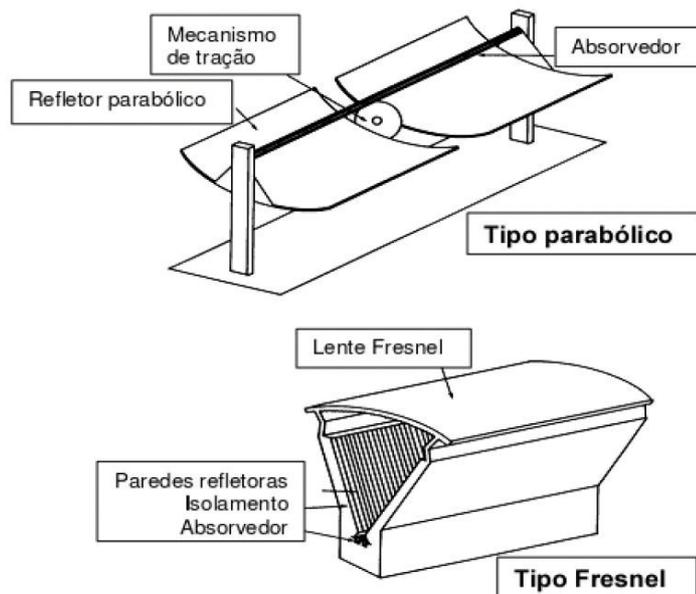


Figura 9 – Coletores de foco concentrado: parabólico e Fresnel
Fonte: LIMA, 2003

Segundo Lima (2003), o coletor de concentração requer uma montagem sob um mecanismo motorizado de rastreamento do movimento solar, pois a radiação deve incidir no refletor ou na lente com um ângulo correto para ser focalizado sobre o absorvedor. Embora, desta forma, o aproveitamento da radiação pelo coletor aumente, o equipamento de rastreamento é complexo, caro e de difícil manutenção.

3.2.1.2 Coletores Planos

Lima (2003) comenta que o coletor plano recebe e utiliza a radiação solar na mesma superfície. Se comparado com o coletor concentrador, ele opera em baixas temperaturas, geralmente abaixo de 93°C. Também alerta que a relativa eficiência diminui rapidamente acima de 71°C. As vantagens do coletor plano, em relação aos demais tipos, são: a simplicidade de construção, relativo baixo custo, nenhuma parte móvel, sem dificuldade de operar em dias nublados, relativa facilidade de reparo e durabilidade. Este coletor é composto por placa absorvedora, canalizações por onde escoam o fluido a ser aquecido, cobertura transparente e isolamento térmico (ver figura 10). A função da placa absorvedora é converter a energia radiante em calor. O calor é então transferido para os tubos, e destes para o fluido.



Figura 10 – Seção típica de um coletor de superfície plana
Fonte: LIMA, 2003

Borges (2000 apud Sáles, 2008), diz que de forma sumária, a absorção de calor pelas placas planas ocorre da seguinte forma: os raios solares incidem, através da cobertura de vidro. Parte da radiação é refletida por esta cobertura, e parte absorvida, esquentando-a. Mas, a grande parte é refratada e incide sobre a

superfície negra absorvedora. Esta se aquece e parte do calor é conduzida para a malha ou serpentina de tubos onde circula a água, que recebe este calor por convecção. A cobertura de vidro superior diminui as perdas de calor por convecção natural com o ar e é opaca à radiação de raios infravermelhos da superfície absorvedora (efeito estufa). Isto faz com que parte das perdas por radiação desta superfície seja reirradiada de volta para a mesma. Abaixo da superfície negra e dos tubos, existe uma camada de material isolante térmico. Este conjunto é fechado em uma caixa, que também auxilia no isolamento térmico.

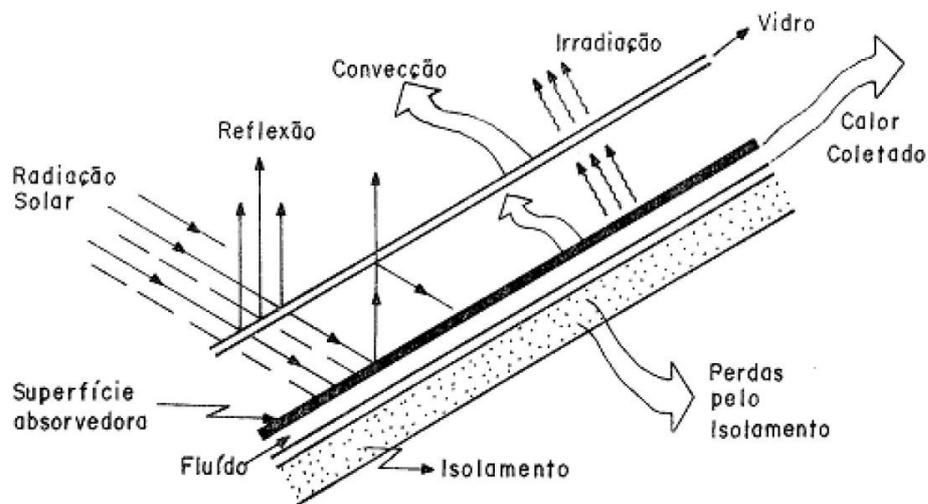


Figura 11 – Esquema de trocas de energia no coletor
Fonte: SÁLES, 2008

Tanto o tubo como os coletores são constituídos por metais que possuem alta condutividade térmica como o cobre, alumínio ou aço.

Conforme Lima (2003), a cobertura transparente reduz substancialmente as perdas radiativas e convectivas da placa absorvedora, sendo responsável pelo efeito estufa, ao refletir de volta a radiação das ondas longas para a placa. O vidro comum é o material mais utilizado para fazer esta cobertura. Alguns coletores possuem duplo vidro para aumentar a redução dessas perdas. O fluido aquecido na canalização pode ser a própria água, ar ou algum outro líquido quando necessária à proteção contra o congelamento. Atualmente, utiliza-se como fluido de transferência o etileno-glicol ou o propileno-glicol.

ASHRAE (1996 apud Lima, 2003) recomenda que o material isolante do coletor deva ser capaz de resistir a temperaturas de até 204 °C (400 °F) sem produzir

substâncias voláteis. Os materiais mais utilizados nessa isolação são: fibra mineral, fibra cerâmica, espuma de vidro, espuma de plástico.

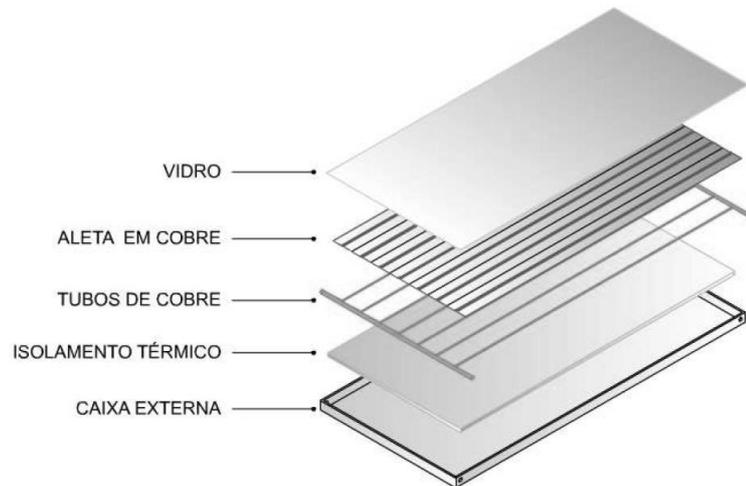


Figura 12 – Coletor solar plano fechado
Fonte: BAPTISTA, 2006

3.2.1.2.1 Instalação dos Coletores Planos

Segundo Lima (2003) na instalação dos coletores três aspectos devem ser observados para melhorar o aproveitamento da energia disponível:

- Orientação geográfica;
- Ângulo de inclinação com a horizontal;
- Não sombreamento.

Sáles (2008), afirma que os coletores solares devem ser instalados com sua face voltada para o Norte verdadeiro, que fica aproximadamente 18° à direita do Norte magnético, podendo também aceitar um desvio de 30° para Leste (nascente do sol) ou Oeste (poente do sol). A figura 13 representa esta informação.

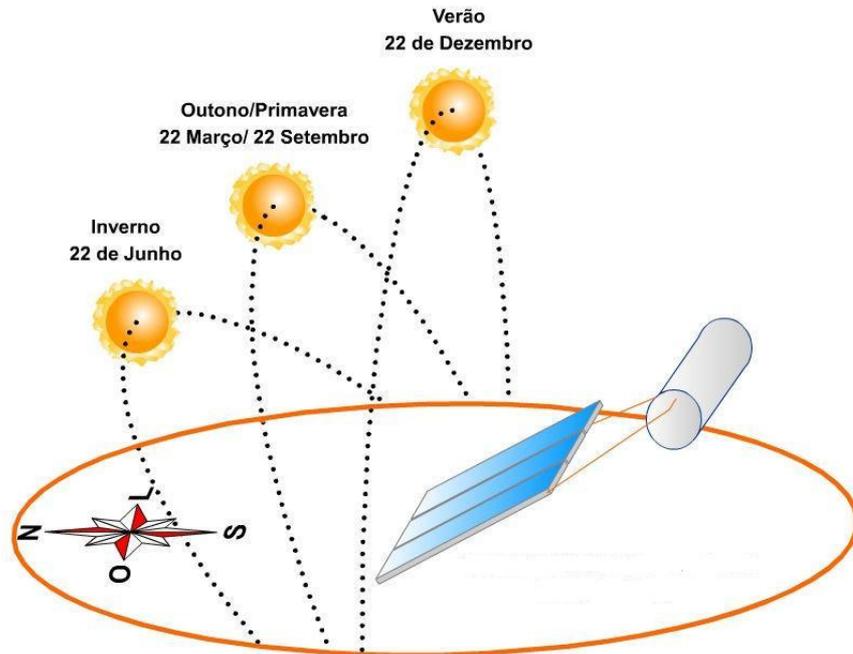


Figura 13 – Representação da orientação e inclinação do coletor solar como condição de instalação
Fonte: SÁLES (2008)

Sáles (2008), ainda comenta que a trajetória do sol é de Leste para Oeste permitindo que o coletor solar orientado para o norte (no hemisfério sul) receba radiação solar o dia todo. A correta posição do coletor solar, escolhendo a inclinação e a orientação geográfica garante uma melhor captação da radiação solar. Como a demanda por água quente é maior quando a temperatura ambiente é mais baixa e nesta época do ano a densidade de fluxo de radiação solar é a menor do ano por causa da reflexão e difração dos raios solares na entrada da atmosfera e pelo fato de não se atingir a superfície do local perpendicularmente, deve-se posicionar os coletores em relação ao plano horizontal igual à latitude local + 15°. Este ângulo irá garantir um bom rendimento do coletor solar durante todo o ano. Deve-se ter bastante cuidado com relação aos obstáculos existentes para uns nos outros.

O ângulo de inclinação dos coletores solares nunca deverá ser menor que 20 graus, pois neste caso a velocidade da água nos mesmos será muito baixa, prejudicando o rendimento do equipamento. Por esse motivo, nas regiões de latitude em que a soma dos ângulos permanecerem menor que 20 graus, adota-se uma inclinação de 20 graus.

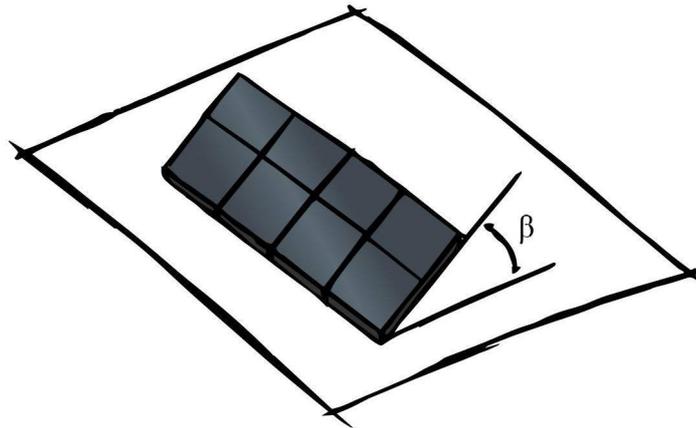


Figura 14 – Representação da inclinação do coletor solar
Fonte: SÁLES, 2008

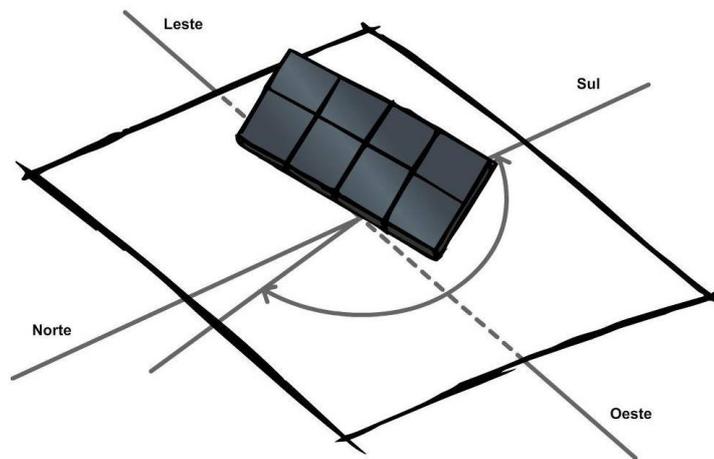


Figura 15 – Representação da orientação do coletor solar
Fonte: SÁLES, 2008

3.2.2 Tanque de Armazenamento ou Reservatório Térmico

Segundo Lima (2003), o sistema de aquecimento com energia solar para fins residenciais é, impreterivelmente, um sistema de acumulação, pois o período de consumo não coincide com o período de geração da água quente. Para outros tipos de edificações, o tanque poderá ser dimensionado de forma diferente. Um exemplo que ilustra essa afirmativa é uma lavanderia que funciona somente no horário comercial. Neste caso, a água aquecida irá ser consumida no período de radiação solar. Portanto, as necessidades de armazenamento não serão as mesmas que em uma residência.

Segundo Sáles (2008), um reservatório térmico é composto basicamente por um tanque fabricado com material resistente a corrosão, uma camada isolante e uma capa para a proteção do isolante. Normalmente o equipamento vem dotado de uma ou mais resistências elétricas ou esperas para interligação com um sistema de aquecimento auxiliar.

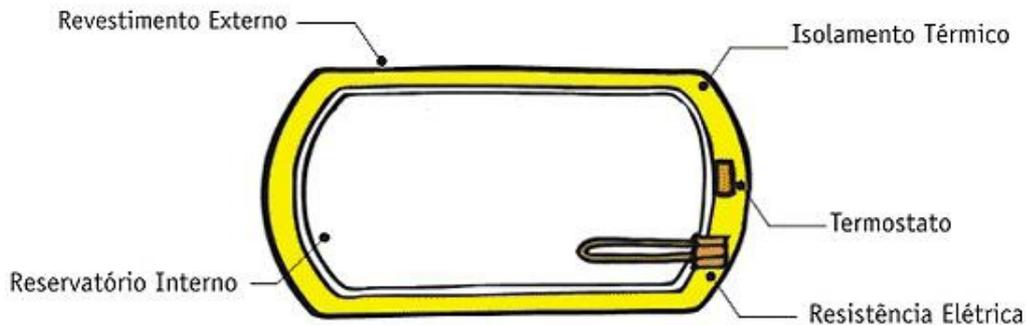


Figura 16 – Componentes de um reservatório térmico com resistência elétrica
Fonte: SOLETROL, 2010

Conforme Moreira (1985 apud Baptista, 2006), os sistemas com circulação natural ou termossifão são recomendados para sistemas com capacidade de aquecimento de até 1.500 litros de água por dia.

Alguns aspectos, segundo Lima (2003), devem ser considerados na escolha/projeto dos reservatórios térmicos:

- Tanque único ou múltiplo;
- Trocador de calor interno ou externo;
- Armazenamento pressurizado ou não;
- Material de revestimento do tanque;
- Finalidade do uso da água;
- Localização, espaço e acessibilidade;
- Limitações impostas pela disponibilidade de equipamentos.

Petrucci (1998 apud Lima, 2003), explica que devido à variação do peso específico da água em função da temperatura, a água que entra no tanque, em temperatura mais baixa que aquela que se encontra em seu interior, tende a se posicionar abaixo desta. A este fenômeno dá-se o nome de estratificação, pois a água se dispõe no interior do tanque como que em camadas, segundo suas temperaturas (ou densidades).

A American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers – ASHRAE (1996 apud Lima, 2003) afirma que o projeto e seleção do equipamento de armazenamento é um dos elementos mais negligenciados nos sistemas de energia solar. Esse reservatório possui uma grande influência no custo global do sistema, no desempenho e na confiabilidade. Numa visão sistêmica, ele não pode deixar de ser analisado interativamente com os outros elementos como o coletor e o consumo da água quente.

3.2.3 Fonte de Energia Auxiliar

Conforme Fish; Guigas; Dalenback (1998 apud Lima, 2003), o sistema de aquecimento solar da água não é projetado para fornecer 100% da demanda da água quente. Caso fosse adotado esse critério, o dimensionamento das placas e do tanque deveria ser feito para a pior situação possível, na qual se teria em conta o tempo mais frio e nublado para uma dada região. Este dimensionamento resultaria em um sistema superdimensionado para a maior parte do tempo de utilização. Por isso, o sistema solar é projetado para suprir entre 50 a 70% da demanda global de aquecimento.

De acordo com Pozzebon (2009), para que o usuário de um sistema solar para aquecimento de água tenha a confiabilidade necessária para que seu perfil de consumo de água quente na temperatura desejada seja atendido é essencial a combinação de um projeto de coletores eficiente com uma fonte auxiliar de energia. Essa fonte auxiliar de energia pode ser elétrica, à gás ou gerada por uma bomba de calor. Em geral, a utilização de uma fonte elétrica é a mais comum devido a sua facilidade de aquisição e custo. Porém muitos estudos revelaram que a combinação gás e energia solar pode ser a mais viável e eficiente para a maioria das aplicações.

A energia auxiliar pode ser instalada no sistema solar de aquecimento de água com diversos formatos de configuração. Duffie; Beckman (1991 apud Pozzebon, 2009) definem quais os mais utilizados (ver figura 17).

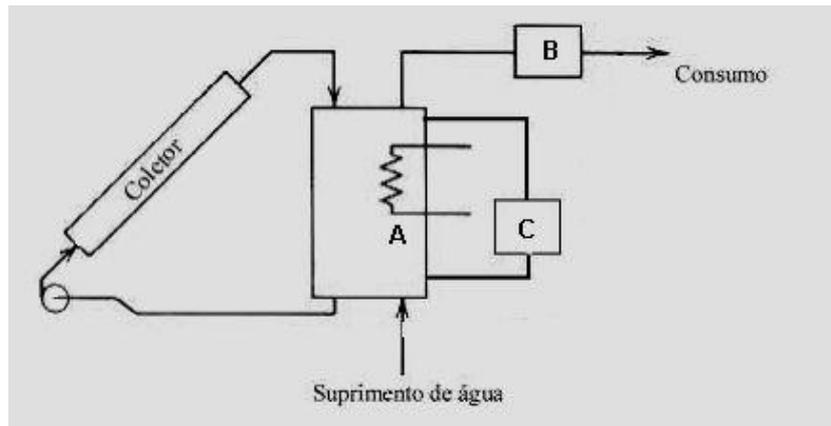


Figura 17 – Configurações utilizadas para sistema auxiliar de aquecimento
Fonte: POZZEBON, 2009

A configuração A, com o aquecedor no interior do reservatório, é uma configuração simples e com custos não muito elevados. Possui um termostato que controla a temperatura de acionamento do aquecedor para manter a parte superior do reservatório a uma temperatura pré-estabelecida.

Na configuração B, o aquecedor na linha de consumo deve complementar a energia necessária para que a água atinja a temperatura desejada.

Na configuração C, o aquecedor externo ao reservatório opera em paralelo ao tanque, sendo acionado sempre que um termostato apresentar uma temperatura do tanque menor que a temperatura pré-determinada.

Segundo Pozzebon (2009), ter o conhecimento de qual a configuração de um sistema é a melhor é pouco provável sem analisar-se o perfil de consumo. Diversas variáveis são decisivas para a obtenção de respostas. Parâmetros como o ajuste da temperatura do termostato, a altura do termostato, o tipo de reservatório, o isolamento, a necessidade de conforto, as temperaturas sazonais do ambiente, e muitos outros interferem no resultado. Ou seja, afirmar que um sistema é melhor, ou mais econômico que outro exige uma análise detalhada.

3.2.4 Tubulações Térmicas

As tubulações utilizadas para os sistemas de aquecimento solar de água em residências unifamiliares devem suportar altas temperaturas do fluido operante, sendo o máximo em torno de 100°C.

De acordo com Pozzebon (2009), o cobre é o material geralmente utilizado, pois possui uma ótima resistência à corrosão com um custo relativamente baixo. As conexões dos equipamentos com as tubulações devem ser realizadas de acordo com as normas aplicadas para qualquer encanamento e deve haver purgadores instalados com fácil acessibilidade e adequados à pressão do sistema. O isolamento térmico das tubulações é fundamental para um melhor funcionamento do sistema, de forma a minimizar as perdas por condução, através das uniões das conexões, por convecção e por radiação ao ambiente.

Pozzebon (2009) completa que o aço inox também seria uma ótima opção de material com boa resistência mecânica e condutividade térmica, apresentando, portanto, menores perdas de calor, mas como seu custo é muito elevado, ele acaba sendo o menos empregado para este fim. Outros materiais bastante empregados para as tubulações é o CPVC (Cloro de Polivinila Clorado) e PPR (Polipropileno Copolímero Random).

3.3 Configurações dos Sistemas de Aquecimento de Água Através da Energia Solar

Segundo Lima (2003), o aquecimento da água utilizada no abastecimento pode ser feito diretamente no coletor ou de forma indireta. Neste último caso um fluido refrigerante recebe calor no coletor e o transfere à água em um trocador de calor. A circulação da água ou do fluido nos coletores pode ser feito por termossifão ou por um sistema de bombeamento. A diferença de densidade devido à variação de temperatura entre os coletores e o reservatório provoca um movimento no fluido chamado de termossifão. Quando o fluxo é dado por termossifonagem, o sistema é classificado como passivo; quando o fluxo é promovido por bombeamento, é denominado sistema ativo.

Portanto, existem quatro configurações diferentes:

- Sistema passivo direto;
- Sistema passivo indireto;
- Sistema ativo direto;
- Sistema ativo indireto.

3.3.1 Sistema Passivo Direto

Conforme Sáles (2008), os sistemas passivos diretos são também chamados de sistemas com circulação natural ou ainda por termossifão. Neste sistema não se utiliza bomba para circular o fluido de trabalho. O processo de circulação ocorre quando o sol aquece o fluido no coletor, tornando-o dessa forma menos denso que o fluido contido no fundo do reservatório, assim cria-se 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.

Essa diferença de pressão criada pelos gradientes de temperatura é utilizada para produzir o escoamento do fluido aquecido sem qualquer outra fonte externa de energia, a não ser a do sol. Esses tipos de sistemas são os mais utilizados para o caso brasileiro devido a sua simplicidade de funcionamento e muitas vezes mais conveniente devido ao nosso clima, principalmente quando se trata de sistemas pequenos e de uso doméstico (ver figura 18).

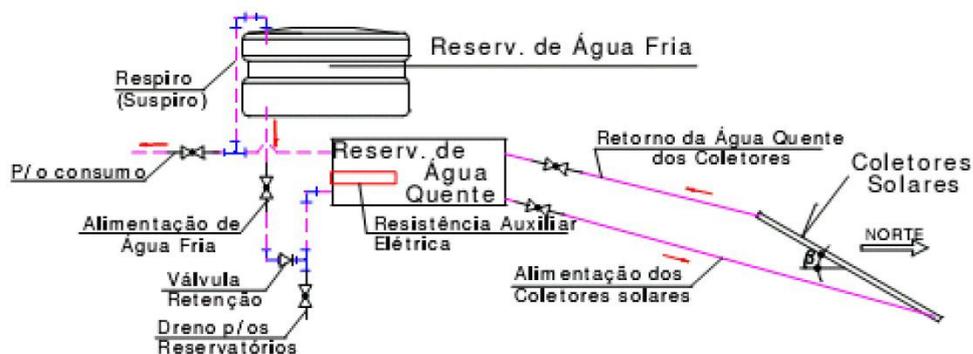


Figura 18 – Esquema de instalação de um sistema passivo direto com fonte de energia auxiliar interna ao reservatório de armazenamento de água quente.

Fonte: SÁLES, 2008

3.3.2 Sistema Passivo Indireto

Hudson; Markell (1985 apud Sáles, 2008) afirma que em países de clima tropical, um problema encontrado é o de como evitar o congelamento do fluido de trabalho nos coletores instalados em lugares sujeitos a baixa temperatura. O sistema indireto é utilizado quando existe a necessidade de proteção contra o congelamento.

Os fluidos refrigerantes mais utilizados são o etilenoglicol e o propilenoglicol. A figura 19 mostra um sistema passivo indireto.

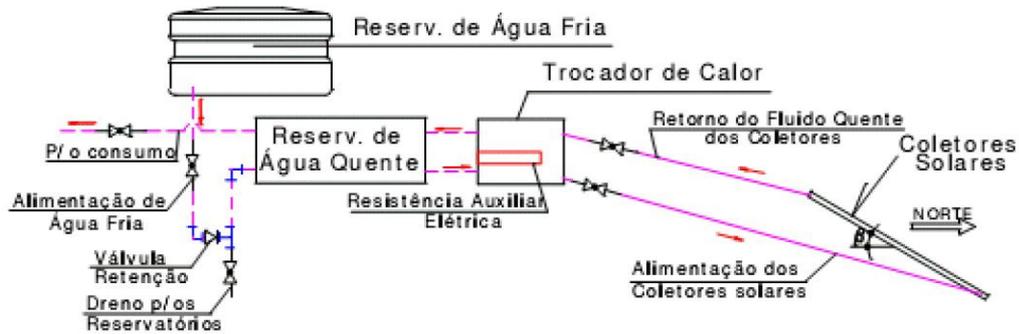


Figura 19 – Esquema simplificado de um sistema passivo indireto
Fonte: LIMA, 2003

3.3.3 Sistema Ativo Direto

Segundo Sáles (2008), neste sistema é utilizada uma bomba para impulsionar, de forma controlada, o fluido de trabalho pelo circuito. Com isso, o reservatório pode ser instalado em qualquer altura em relação aos coletores (ver figura 20). Todo sistema ativo possui um tipo de controle que aciona a bomba sempre que a energia solar estiver disponível e a desativa quando não. Deve operar com intervalos que possibilitem o máximo desempenho do sistema e em condições estáveis de funcionamento.

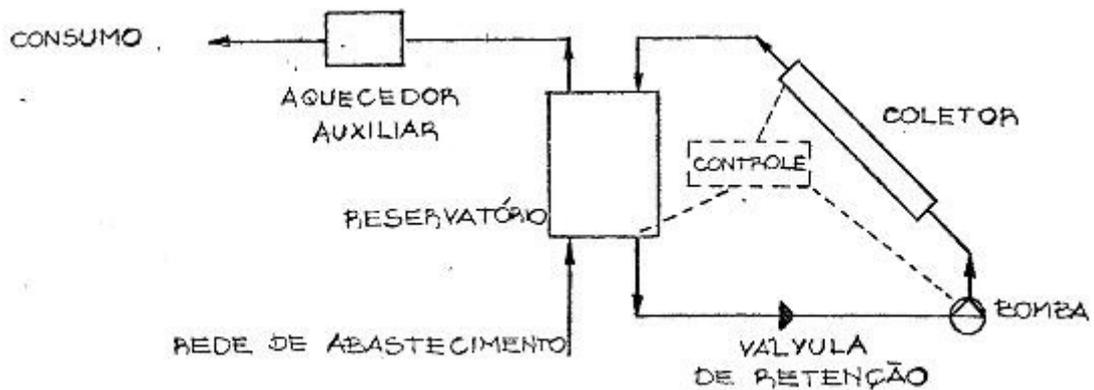


Figura 20 – Esquema simplificado de um sistema ativo direto
Fonte: SALÉS, 2008

3.3.4 Sistema Ativo Indireto

Dependendo do trocador utilizado (pode ser interno ou externo ao reservatório), esse sistema pode utilizar uma ou duas bombas. Sendo o trocador localizado externamente ao reservatório, este possibilita uma maior flexibilidade, mas, provoca maior perda de calor, para isto são necessárias duas bombas de forma a executar a circulação dos fluidos. Quando este é interno ao reservatório térmico é necessária apenas uma bomba de recalque.

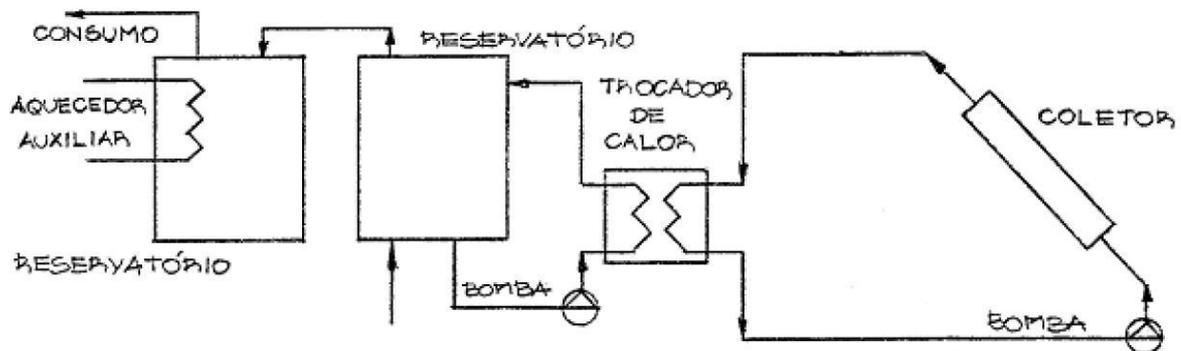


Figura 21 - Esquema simplificado de um sistema ativo indireto
Fonte: SALÉS, 2008

Este trabalho tem por objetivo investigar a viabilidade econômica do uso de coletores solares para o aquecimento de água em uma residência unifamiliar, sendo o mesmo desenvolvido em um sistema passivo direto, ou como é habitualmente chamado: sistema por termossifão.

3.4 O Efeito da Conservação de Energia nos Aspectos Sociais, Econômicos e Ambientais

É importante entender o conceito de conservação de energia elétrica. Conservar energia elétrica quer dizer melhorar a maneira de utilizar a energia, sem deixar de usufruir do conforto e das vantagens que ela proporciona. Significa reduzir o consumo, diminuindo os custos, sem perder a eficiência e a qualidade dos serviços.

Segundo a Eletrobrás (2008 apud Sáles, 2008) a conservação da energia elétrica leva à exploração racional dos recursos naturais. Isso significa que, conservar energia elétrica ou combater seu desperdício é a fonte de produção mais barata e mais limpa que existe, pois não agride o meio ambiente. Desta forma, a energia conservada, por exemplo, na iluminação eficiente, num motor e projeto bem dimensionado, pode ser utilizada para iluminar uma escola ou atender um hospital, sem ser jogada fora. Ou pode, simplesmente, não ser usada, não precisando ser produzida.

O sistema de aquecimento solar é uma forma de conservar energia elétrica. Sua utilização tem contribuído sobre alguns aspectos importantes, como o econômico, social e ambiental.

As informações relacionadas ao aquecimento de água são extremamente importantes para as ações direcionadas de eficiência energética. Além da energia elétrica, existem outras formas para o aquecimento de água, porém com uma utilização reduzida no Brasil, conforme se pode observar na pesquisa do Procel representada pela figura 22.

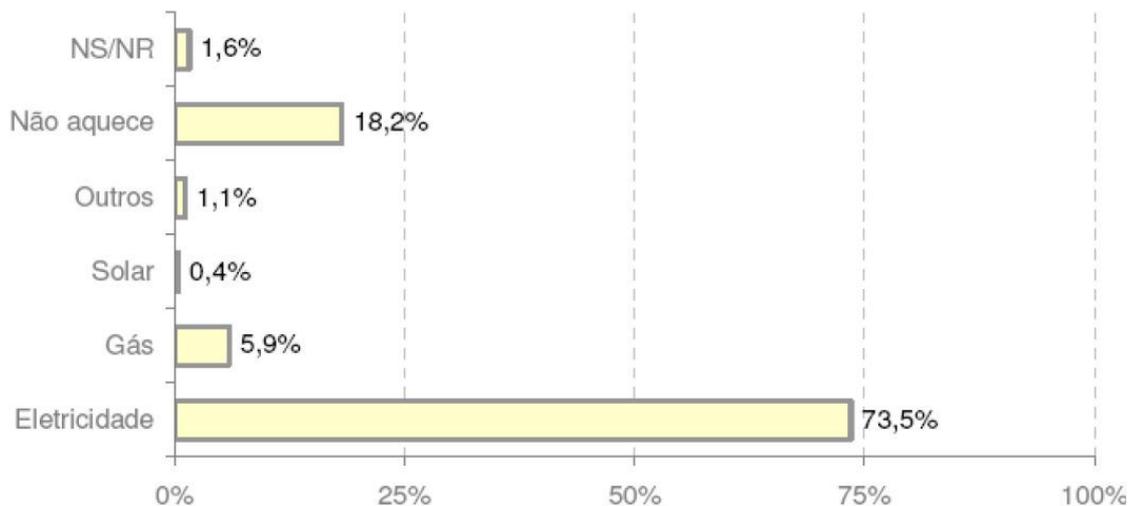


Figura 22 – Fonte utilizada para aquecimento de água para banho
Fonte: ELETROBRAS, 2008

Segundo Sáles (2008) a pesquisa do Procel demonstrou que 80,9% dos domicílios brasileiros aqueciam a água do banho de alguma forma, e 18,2% não aqueciam. A pesquisa aponta que 73,5% dos sistemas de aquecimento utilizavam energia elétrica como fonte de aquecimento e 5,9% utilizavam gás. Apenas 0,4% usavam aquecimento solar.

Ainda conforme pesquisa do Procel 73,5% da população brasileira utiliza a energia elétrica para aquecimento de água para o banho, sendo essa utilização a que demanda maior consumo de energia, conforme podemos observar na figura 23. Portanto com a utilização do sistema de aquecimento de água através da energia solar o consumo de energia elétrica reduzirá de maneira expressiva, trazendo também um benefício na economia do imóvel.

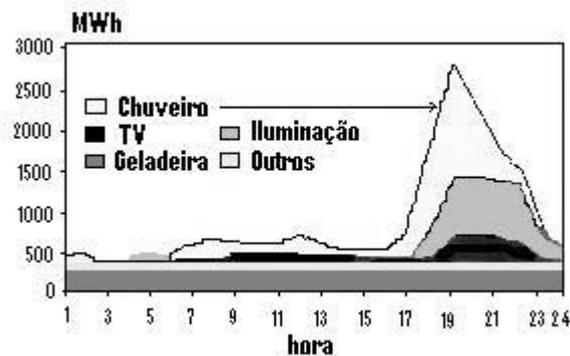


Figura 23 – Participação do chuveiro elétrico na curva de carga residencial de Minas Gerais
Fonte: BAPTISTA, 2006

Sáles (2008) aponta que a energia solar é a solução ideal para áreas afastadas e ainda não eletrificadas, especialmente num país como o Brasil onde se encontram bons índices de insolação em qualquer parte do território. Mesmo sendo considerada uma energia limpa por não emanar gases durante o seu transporte e uso, a energia elétrica possui na sua geração seus maiores problemas ambientais. Como no Brasil a geração de eletricidade é predominantemente hidráulica, há questões bastantes polêmicas referente à inundação de áreas para construção das represas. Seja na retirada da cobertura vegetal, na destruição dos ecossistemas, na extinção de espécies, na emissão de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa pela fermentação da matéria orgânica nos reservatório como também nos importantes impactos sociais.

Segundo o Portal Ambiental AMBIENTE BRASIL (2008 apud Sáles, 2008), para cada metro quadrado de coletor solar instalado evita-se a inundação de 56 metros quadrados de terras férteis, na construção de novas usinas hidrelétricas.

Sáles ainda salienta que uma parte do milionésimo de energia solar que nosso país recebe durante o ano poderia nos dar um suprimento de energia equivalente a:

- 54% do petróleo nacional;
- 2 vezes a energia obtida com o carvão mineral;
- 4 vezes a energia gerada no mesmo período por uma usina hidrelétrica.

Outro fator importante é a questão social, pois as fontes alternativas de energia, economicamente, não estão disponíveis para os consumidores de baixa renda. No Brasil, pode-se dizer que apenas algumas classes mais abastadas podem usufruir destes sistemas de aquecimento de água.

Alternativa como a criação de coletores fabricados com materiais recicláveis estão sendo cada vez mais estudadas e difundidas, para que as classes menos favorecidas também possam ter acesso a esse sistema.

Segundo Cristofari (2002 apud Costa, 2007), o principal objetivo do estudo de coletores alternativos é a redução do custo de fabricação, buscando a socialização do seu uso em sistemas de aquecimento de água doméstico e industrial, uma vez que o custo dos mesmos representa 50% do custo total de investimento para a aquisição de um sistema solar para aquecimento de água. Este alto custo deve-se ao uso de materiais de alto custo na sua fabricação.

Segundo Sáles (2008) o sudeste brasileiro foi a primeira região a mudar esse quadro com a criação do Projeto Contagem, desenvolvido em 2003 pelo GREEN SOLAR em parceria com o Procel/Eletrobrás. Este projeto beneficiou 99 famílias do conjunto habitacional do bairro Sapucaia, em Contagem/MG. Com a troca do chuveiro elétrico por aquecedores solares, os moradores obtiveram uma economia de 25,5% no uso de energia elétrica. A concessionária de distribuição do Rio de Janeiro, a Light em 2005 instalou, gratuitamente, em Nova Iguaçu e Duque de Caxias 2.750 sistemas de aquecimento solar para água para os consumidores de baixa renda.

3.5 Vantagens do Sistema de Aquecimento de Água

A implantação de sistemas de aquecimento de água através da energia solar tem tido um crescimento significativo no Brasil, devido as suas vantagens em

relação às formas tradicionais de aquecimento de água. Vantagens que beneficiam a sociedade em geral e o consumidor final.

A sociedade como um todo será beneficiada com o incentivo à implantação destes sistemas, pois, segundo Oliva; Borges (1996) e Faria (2004) apud Baptista (2006):

- Há o aproveitamento da energia solar, que é uma fonte gratuita de energia, abundante e não poluente;

- Há a contribuição para a preservação do meio ambiente por conservar a energia elétrica, o que pode levar à redução da necessidade de construção de obras de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, que causam impactos ambientais;

Já o consumidor final, de acordo com Oliva; Borges (1996 apud Baptista, 2006), será beneficiado através da economia obtida em sua conta de energia elétrica e do maior conforto, principalmente no período de inverno, pela maior vazão de água quente (já que com os chuveiros elétricos, para se obter água quente deve-se abrir o registro o mínimo possível). A economia na conta de energia elétrica significa maior orçamento disponível.

3.6 Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Solar

O objetivo do dimensionamento é determinar qual a área coletora e o volume do sistema de armazenamento necessário para atender à demanda de aquecimento de água de um determinado perfil de consumo.

O dimensionamento do sistema de aquecimento solar (SAS) utilizado nesse trabalho foi baseado na Norma Brasileira NBR 15569 (2008) – Sistema de Aquecimento Solar de Água em Circuito Direto – Projeto e Instalação, visto que a metodologia de cálculo adotado pela norma é recomendada para dimensionamento do SAS em residências unifamiliares.

O método de cálculo apresentado abaixo considera uma fração solar de 70% e que não exista sombreamento sobre os coletores solares.

3.6.1 Etapas de Dimensionamento

O dimensionamento do SAS pode ser realizado através das seguintes etapas:

3.6.1.1 Dimensionamento do Reservatório Térmico

Para dimensionar o volume do reservatório térmico é necessário levar em consideração alguns aspectos importantes como número de pessoas que utilizaram o sistema de aquecimento, quais as peças que utilizaram água quente e suas vazões, temperatura ambiente, de consumo e de armazenamento da água entre outros aspectos que estão apresentados no cálculo a seguir.

O dimensionamento deve ser realizado seguindo os seguintes passos:

– Apurar o volume de consumo para atendimento dos vários pontos de utilização, levando-se em consideração a vazão das peças de utilização (figura 24) e o tempo de utilização, considerando a frequência de uso.

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 L	440 L	banho	39 – 40
Pia de cozinha	2,4 L/min	7,2 L/min	3	39 – 40
Lava-louças (12 pessoas)	20 L	20 L	ciclo de lavagem	39 – 50
Máquina de lavar roupa	90 L	200 L	ciclo de lavagem	39 – 40

Figura 24 – Consumo de pontos de utilização de água quente
Fonte: NBR 15569, 2008

$$V_c = \sum (Q_{pu} * T_u * \text{frequência de uso}) \quad (3-1)$$

Onde:

V_c é volume total de água quente consumido diariamente expresso em litros (L);

Q_{pu} é a vazão da peça de utilização, expressa em litros por minuto (L/min);

T_u é o tempo médio de uso diário da peça de utilização, expresso em minutos (min);

Frequência de uso é o número total de utilizações da peça por dia.

– Calcular o volume do sistema de armazenamento:

$$V_{arm} = \frac{V_c * (T_c - T_{amb})}{(T_{arm} - T_{amb})} \quad (3-2)$$

Onde:

V_c é volume de consumo diário, expresso em litros (L);

V_{arm} é o volume do sistema de armazenamento do SAS, expresso em litros (L) (sugere-se que $V_{arm} \geq 75\% V_c$);

T_c é a temperatura de consumo de utilização, expressa em graus Celsius (°C);

T_{arm} é a temperatura de armazenamento da água, expressa em graus Celsius (°C) (sugere-se que $T_{arm} \geq T_c$)

T_{amb} é a temperatura ambiente média anual do local de instalação. (ver anexo A)

A partir do volume de armazenamento calculado, busca-se o volume comercial mais próximo para especificação do reservatório térmico.

3.6.1.2 Dimensionamento da Área Coletora Necessária

O cálculo da área coletora necessária tem por objetivo especificar o número de coletores solares que deverão ser utilizados no SAS.

Para esse dimensionamento são observados fatores como a energia necessária para aquecimento de certo volume de água, temperatura ambiente e de

armazenamento da água, irradiação global média, produção média de energia através dos coletores solares entre outros que serão calculados e determinados no dimensionamento abaixo.

Para o dimensionamento serão seguidos os seguintes passos:

– Cálculo da demanda de energia útil:

$$E_u = \frac{V_{arm} * \rho * Cp * (T_{arm} - T_{amb})}{3600} \quad (3-3)$$

Onde:

E_u é a energia útil, expressa em quilowatts hora por dia (kWh/dia);

V_{arm} é volume do sistema de armazenamento do SAS, expresso em litros (L) (sugere-se que $V_{arm} \geq 75\% V_c$);

ρ é a massa específica da água igual a 1, expressa em quilogramas por litros (kg/L);

Cp é o calor específico da água igual a 4,18, expresso em quilojoules por quilograma graus Celsius (kJ/kg.°C);

T_{arm} é a temperatura de armazenamento da água, expressa em graus Celsius (°C) (sugere-se que $T_{arm} \geq T_c$);

T_{amb} é a temperatura ambiente média anual do local de instalação. (ver anexo A)

– Cálculo da área coletora:

$$A_c = \frac{(E_u + E_p) * FC_i * 4,901}{PMDEE * I_G} \quad (3-4)$$

Onde:

A_c é a área coletora, expressa em metros quadrados (m²);

I_G é o valor da irradiação global média anual para o local de instalação, expresso em quilowatts hora por metro quadrado dia (kWh/m².dia) (ver anexo B);

E_u é a energia útil, em quilowatts hora por dia (kWh/dia);

E_p é o somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário, expresso em quilowatts hora por dia (kWh/dia), calculada pela soma das perdas ou pela equação:

$$E_p = 0,15 * E_u \quad (3-5)$$

$PMDEE$ é a produção média diária de energia específica do coletor solar, expressa em quilowatts hora por metro quadrado (kWh/m²), calculada através da equação:

$$PMDEE = 4,901 * (Fr\tau\alpha - 0,0249 * Fr_{UL}) \quad (3-6)$$

Onde:

$Fr\tau\alpha$ é o coeficiente de ganho do coletor solar (adimensional);

Fr_{UL} é o coeficiente de perdas do coletor solar (adimensional).

FC_i é o fator de correção para inclinação e orientação do coletor solar dado pela equação:

$$FC_i = \frac{1}{1 - [1,2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_o)^2 + 3,5 * 10^{-5} * \gamma^2]} \quad (3-7)$$

(para $15^\circ < \beta < 90^\circ$)

onde:

β é a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal, expressa em graus ($^\circ$);

β_o é a inclinação ótima do coletor para o local de instalação, expressa em graus ($^\circ$);

γ é o ângulo de orientação dos coletores solares em relação ao norte geográfico, expresso em graus ($^\circ$).

3.7 Avaliação Econômica de Investimento

A escolha da utilização de sistemas de aquecimento solar ocorre principalmente pelo fator econômico, onde o uso do mesmo gera uma redução significativa nos gastos para aquecimento de água. Algumas análises devem ser feitas para determinar qual a real economia do sistema.

Para realizar a análise financeira são necessários que alguns dados do sistema de aquecimento de água sejam levados em consideração. Segundo Duffie;

Beckman (1991 apud Sáles, 2008), os principais lançamentos para a análise do ciclo de vida de um sistema de aquecimento são:

- Custo de aquisição do sistema;
- Custo de instalação do sistema;
- Despesas com combustível (auxiliar);
- Manutenção;
- Valor de revenda (quando existente).

Alguns conceitos como fluxo de caixa, Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), e Tempo de Recuperação de Capital (TRC) são ferramentas necessárias para determinar o grau de atratividade econômica do sistema.

3.7.1 Fluxo de Caixa

Segundo Teixeira; Netto (1998), o estudo da matemática financeira é desenvolvido, basicamente, através do seguinte raciocínio: ao longo do tempo existem entradas de dinheiro (receitas) e saídas de dinheiro (desembolsos) nos caixas das empresas e nas finanças das pessoas. Essa circulação de valores é denominada, em seu conjunto, fluxo de caixa.

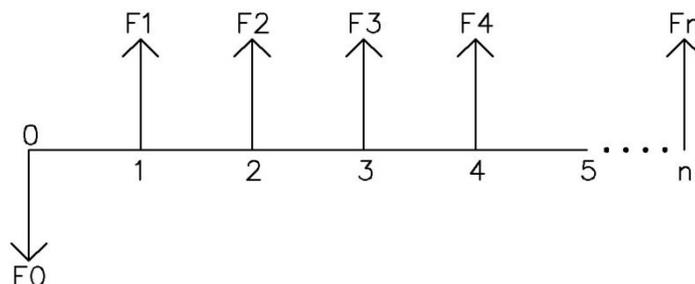


Figura 25 – Fluxo de caixa

Conforme Sobrinho (2000), no eixo horizontal é representado o tempo, subdividido em períodos unitários (dia, mês, trimestre, ano etc.), orientados da esquerda para a direita, de tal forma que todos os pontos são considerados como momentos futuros em relação ao ponto “zero”. Os recebimentos (entradas de caixa)

são representados na parte superior do eixo horizontal, indicados por setas orientadas para cima; os pagamentos (saídas de caixa) são representados na parte inferior daquele eixo, indicados por setas orientadas para baixo. Obviamente, se houver pagamentos e recebimentos num mesmo ponto, poder-se-á representar somente a diferença entre os dois.

3.7.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Segundo Filho; Kopittke (2000), a TMA é a taxa a partir da qual o investidor considera que está obtendo ganhos financeiros. É uma taxa associada a um baixo risco, ou seja, qualquer sobra de caixa pode ser aplicada, na pior das hipóteses, na TMA.

Uma das maneiras de se analisar um investimento é confrontar a Taxa Interna de Retorno (TIR) com a TMA do investidor.

Dependendo do tipo do investimento algumas taxas podem ser consideradas como TMA, dentre elas podemos citar taxa de rentabilidade da caderneta de poupança, taxa de remuneração de Títulos Públicos, taxa SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia ou ainda uma taxa qualquer que seja considerada interessante pelo investidor.

3.7.3 Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo Hochheim (2002), o Valor Presente Líquido (VPL) de um fluxo de caixa é obtido pela soma de todos os valores do fluxo de caixa, trazidos para a data presente. Ou seja, descontam-se os valores futuros para a data presente e somam-se estes valores descontados com o valor que o fluxo de caixa apresenta na data inicial. Como taxa de desconto, utiliza-se a TMA do investidor.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (3-8)$$

Onde:

F representa os valores dos fluxos de caixa;

t representa os períodos;

i representa a taxa de juros adotada pelo investidor (TMA).

Após o cálculo do VPL, faz-se a seguinte análise:

- Se o VPL for maior que zero, o investimento é viável e terá um retorno do capital investido com uma taxa maior do que a TMA;
- Se o VPL for igual a zero, o investimento ainda é viável e terá um retorno do capital investido com uma taxa igual a TMA;
- Porém se o VPL for menor que zero (negativo), o investimento não é viável, pois a taxa de retorno do capital investido será menor que a TMA.

Sobrinho (2000) exemplifica o cálculo do VPL de forma simples:

Um empresário, ao analisar a conveniência da compra de um equipamento, fixava a taxa mínima de retorno desejada, e com base nesta, calculava o valor presente das receitas líquidas estimadas para os próximos meses ou anos, que seriam geradas pela utilização do novo equipamento. Se o valor presente das receitas, deduzindo o valor de compra do equipamento, resultasse num valor positivo, o empresário faria o investimento, visto que neste caso a taxa efetiva de retorno seria seguramente maior que a taxa mínima de retorno fixada. Se a diferença fosse negativa, o equipamento não seria adquirido.

3.7.4 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Segundo Sobrinho (2000), a Taxa Interna de Retorno é a taxa que equaliza o valor presente de um ou mais pagamentos (saídas de caixa) com o valor presente de um ou mais recebimentos (entradas de caixa), ou seja, é a taxa de desconto para a qual se tem $VPL = 0$.

Hochheim (2002), ainda comenta que a TIR é determinada por tentativas, testando-se diversas taxas de desconto. Se para uma tentativa tiver-se $VPL > 0$, deve-se aumentar a taxa. Se o $VPL < 0$, deve-se diminuí-la.

A taxa final pode ser obtida por interpolação linear entre as taxas encontradas através das tentativas.

Portanto, se:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (3-8)$$

Então, a TIR é a taxa i para a qual

$$\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (3-9)$$

F representa os valores dos fluxos de caixa;

t representa os períodos;

i taxa de juros que é obtida.

Um projeto é considerado viável se a TIR \geq TMA.

3.7.5 Tempo de Recuperação de Capital (TRC)

O Tempo de Recuperação do Capital (TRC), também chamado de Período de Recuperação do Investimento (PRI), mede o tempo necessário para recuperar o capital investido. O TRC é um método não exato de análise de investimento, mas é muito usado por permitir uma avaliação do risco através do tempo necessário para recuperação do capital pelo investidor.

Existem dois tipos de cálculo para o TRC, o simples e o descontado. No simples o cálculo para determinar qual o tempo de retorno do investimento é feito

sem levar em consideração as taxas de juros (TMA). Portanto o TRC simples é calculado da seguinte forma:

$$TRC = \frac{\text{Valor do investimento}}{\text{Valor do fluxo periódico esperado}} \quad (3-10)$$

Diferente do TRC simples, que é mais simplificado, o TRC descontado leva em consideração a taxa de juros (TMA) do investidor e o fato de que nem sempre os fluxos esperados são constantes, levando em consideração o valor do dinheiro no tempo.

Portanto o TRC descontado é o tempo decorrido para que o VPL do fluxo de caixa do investimento em questão seja nulo, ou seja, determinar qual será o t da equação abaixo onde $VPL = 0$.

$$\sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (3-9)$$

F representa os valores dos fluxos de caixa;

t representa os períodos;

i representa a taxa de juros adotada pelo investidor (TMA).

4. METODOLOGIA

Para obter os resultados esperados e responder ao questionamento no qual o trabalho propôs, primeiramente serão analisados e caracterizados os componentes do sistema de aquecimento solar, estabelecer suas diferenças e configurações.

Posteriormente desenvolver uma pesquisa utilizando residências unifamiliares como base de estudo para fazer verificações do sistema de aquecimento solar, juntamente com uma análise de sua fonte de energia auxiliar.

Com base nos dados da residência em estudo e através da Norma Brasileira NBR 15569 do ano de 2008, será dimensionado o sistema de aquecimento solar, onde serão determinados os componentes principais e suas características necessárias para atender ao projeto.

Serão levantados os custos dos componentes, da implantação e de manutenção do sistema de aquecimento, a fim de realizar os cálculos de viabilidade econômica.

Através de alguns dados calculados e coletados como demanda de energia utilizada para aquecimento de água, percentual de economia devido à implantação do sistema, economia mensal de energia elétrica, valor total do investimento, valor do custo da energia, entre outros, será calculado o valor em moeda corrente do gasto de energia elétrica com e sem a implantação do sistema de aquecimento solar.

Ao final do trabalho, serão apresentados os resultados da análise econômica através das simulações realizadas, demonstrando se a utilização do sistema de energia solar é realmente vantajosa ao usuário final, bem como apresentar a relevância de ganho ao consumidor.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

5.1 Estudo de Caso: Aquecimento Solar de Água em Residência Unifamiliar

O caso em estudo será dimensionado para atender a demanda de aquecimento de água de uma residência unifamiliar, sujeita ao clima da cidade de Criciúma/SC.

Será considerado no estudo que a casa onde será instalado o sistema de aquecimento de água ofereça todas as condições técnicas para o correto funcionamento do sistema, como tubulações para o fornecimento de água quente, misturadores, posição adequada do reservatório de água fria e instalações elétricas necessárias para a fonte de aquecimento auxiliar. O custo de instalação do sistema não levará em consideração custos relacionados às instalações hidráulicas para distribuição de água fria e quente, considerando apenas os custos das tubulações e instalações ligados diretamente ao sistema de aquecimento solar.

No estudo em questão foram adotados um número médio de 4 (quatro) habitantes para a residência, dado retirado conforme Censo Demográfico (figura 26), levando como base uma residência em Criciúma (região sul) e localizada em uma área urbanizada.

<i>Situação e localização da área</i>	<i>Brasil, Região Geográfica, Unidade da Federação e Região Metropolitana</i>	<i>Média de moradores em domicílios particulares ocupados (Pessoas)</i>
Urbana - cidade ou vila - área urbanizada	Brasil	3,68
	Norte	4,39
	Nordeste	4,03
	Sudeste	3,53
	Sul	3,41
	Centro-Oeste	3,64
	São Paulo (*)	3,53
	São Paulo (**)	3,54
Urbana - cidade ou vila - área não urbanizada	Brasil	3,81
	Norte	4,10
	Nordeste	4,20
	Sudeste	3,79
	Sul	3,57
	Centro-Oeste	3,82
	São Paulo (*)	3,80
	São Paulo (**)	3,86
Urbana - área urbana isolada	Brasil	3,79
	Norte	4,52
	Nordeste	3,98
	Sudeste	3,79
	Sul	3,62
	Centro-Oeste	3,73
	São Paulo (*)	3,79
	São Paulo (**)	3,83

(*) Região da cidade de São Paulo ; (**) Região metropolitana de São Paulo.

Figura 26 – Número médio de moradores por unidade habitacional
 IBGE – Censo Demográfico – Ano 2000
 Fonte: LIMA, 2003

Para o dimensionamento do sistema de aquecimento solar é necessário também determinar alguns dados do coletor solar como orientação geográfica, inclinação e coeficientes de ganho e de perda.

Os coletores solares devem ser instalados com uma orientação geográfica conforme especificações, manual de instalação, projeto ou através de dados da norma pertinente ao assunto. Neste trabalho será adotado um a valor de orientação de 30º Leste, conforme dado da Norma Brasileira NBR 15569 (2008).

Já a inclinação dos coletores, conforme citado no referencial teórico, será o valor da latitude local + 15º, valor este que garante um melhor rendimento solar durante todo o ano. Segundo a Prefeitura Municipal de Criciúma (2010), o valor da latitude na cidade é de 28º40'28" de latitude sul, portanto a inclinação para a instalação dos coletores será de 43º.

Os coeficientes de ganho e perda do coletor solar são determinados pelo INMETRO, através do Programa Brasileiro de Etiquetagem, onde o mesmo

apresenta dados de várias marcas e modelos de coletores solares utilizados no Brasil. Para o presente trabalho foi considerado o uso do coletor solar da marca Transsen, modelo Itapuã V 1.7, onde seu coeficiente de ganho ($Fr\tau\alpha$) é igual a 0,709 e o de perda (Fr_{UL}) 6,443; ambos os valores são adimensionais. O mesmo coletor em questão tem uma área externa de 1,73 m².

Outros dados imprescindíveis para o dimensionamento do sistema são: quais pontos da residência utilizarão a água aquecida pelo sistema solar bem como suas vazões de água quente, tempo médio de utilização de cada ponto, sua temperatura de uso e frequência.

Por questões usuais, foram determinados para dimensionamento que os pontos que utilizarão água quente serão a ducha do chuveiro, torneira da cozinha, lavatório do banheiro e torneira da área de serviço.

Para a determinação das vazões dos aparelhos, tempo médio de uso, temperatura e frequência será utilizada a Norma Brasileira NBR 15569 (2008).

Abaixo segue um resumo dos dados utilizados para o dimensionamento do sistema de aquecimento solar.

5.2 Dados para o Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Solar

- Quatro moradores;
- Orientação geográfica: 30° Leste;
- Inclinação de instalação dos coletores solares: 43°;
- Água quente na ducha do chuveiro, torneira cozinha, lavatório do banheiro e torneira da área de serviço;
- Temperatura de consumo: 45°C;
- Dados do coletor solar: $Fr\tau\alpha$: 0,709 Fr_{UL} : 6,443;
- Área do coletor: 1,73m²;
- Modelo: Transsen – Itapuã V 1.7.

5.2.1 Pontos de Consumo

Ducha do chuveiro

- Tempo médio de banho: 10 minutos;
- Vazão da ducha: 6,6 L/min;
- Frequência: 2 banhos por usuário.

Torneira cozinha

- Tempo médio de uso: 3 minutos;
- Vazão da ducha: 3,0 L/min;
- Frequência: 2 utilizações por usuário.

Lavatório do banheiro

- Tempo médio de uso: 2 minutos;
- Vazão da ducha: 3,0 L/min;
- Frequência: 2 utilizações por usuário.

Torneira da área de serviço

- Tempo médio de uso: 3 minutos;
- Vazão da ducha: 3,0 L/min;
- Frequência: 2 utilizações por usuário.

5.2.1 Cálculo do Volume de Armazenamento

Conforme dimensionamento descrito no referencial teórico, segue cálculo do volume do reservatório de armazenamento.

$$V_c = \sum (Q_{pu} * T_u * \text{frequência de uso})$$

$$V_{c(\text{ducha})} = 6,6 \frac{L}{min} * 10 \text{ min} * 2 \text{ banho} * 4 \text{ usuários}$$

$$V_{c(ducha)} = 528 L$$

$$V_{c(torneira\ cozinha)} = 3,0 \frac{L}{min} * 3 min * 2 usos * 4 usuários$$

$$V_{c(torneira\ cozinha)} = 72 L$$

$$V_{c(lavatório)} = 3,0 \frac{L}{min} * 2 min * 2 usos * 4 usuários$$

$$V_{c(lavatório)} = 48 L$$

$$V_{c(torneira\ A.S.)} = 3,0 \frac{L}{min} * 3 min * 2 usos * 4 usuários$$

$$V_{c(torneira\ A.S.)} = 72 L$$

$$V_{c\ total} = \sum (528 + 72 + 48 + 72)$$

$$V_{c\ total} = 720 \frac{L}{dia}$$

Com o cálculo do volume total utilizado durante um dia, faz-se o dimensionamento do volume de armazenamento do tanque, através da equação (3-2).

A temperatura de armazenamento de água quente utilizada para o dimensionamento foi considerada 50°C, visto que a mesma poderia ter sido considerada maior, porém uma menor temperatura de armazenamento faz com que ocorra também uma redução na área coletora e por consequência torna o sistema mais econômico. Visto que adotando 50°C como temperatura de armazenamento, o sistema atende as exigências da Norma Brasileira NBR 15569 (2008), tornando sua aplicação aceitável.

A temperatura ambiente da cidade de Criciúma retirado do Atlas Brasileiro de Energia Solar (anexo A) é 20°C.

$$V_{arm} = \frac{V_c * (T_c - T_{amb})}{(T_{arm} - T_{amb})}$$

$$V_{arm} = \frac{720 * (45 - 20)}{(50 - 20)}$$

$$V_{arm} = 600 L$$

5.2.2 Cálculo da Área Coletora

- Cálculo da demanda de energia útil e perdas:

$$E_u = \frac{V_{arm} * \rho * Cp * (T_{arm} - T_{amb})}{3600}$$

$$E_u = \frac{600 * 1 * 4,18 * (50 - 20)}{3600}$$

$$E_u = 20,90 \frac{kWh}{dia}$$

$$E_{u\ mensal} = 20,90 * 30$$

$$E_{u\ mensal} = 627,00 \frac{kWh}{mês}$$

$$E_p = 0,15 * E_u$$

$$E_p = 0,15 * 20,90$$

$$E_p = 3,14 \frac{kWh}{dia}$$

- Cálculo da área coletora:

$$PMDEE = 4,901 * (Fr\tau\alpha - 0,0249 * Fr_{UL})$$

$$PMDEE = 4,901 * (0,709 - 0,0249 * 6,443)$$

$$PMDEE = 2,69 \frac{kWh}{m^2 * dia}$$

$$Fc_i = \frac{1}{1 - [1,2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{ótimo})^2 + 3,5 * 10^{-5} * \gamma^2]}$$

$$Fc_i = \frac{1}{1 - [1,2 * 10^{-4} * (28 - 43)^2 + 3,5 * 10^{-5} * 30^2]}$$

$$FC_i = 1,06$$

O valor da irradiação global média anual foi retirado do Atlas Brasileiro de Energia Solar (anexo B).

$$A_c = \frac{(E_u + E_p) * FC_i * 4,901}{PMDEE * I_G}$$

$$A_c = \frac{(20,90 + 3,14) * 1,06 * 4,901}{2,69 * 4,55}$$

$$A_c = 10,21 m^2$$

Conforme dimensionamento do sistema de aquecimento solar, o volume de armazenamento necessário para atender a demanda de água quente corresponde a 600 litros. Portanto o reservatório para o sistema será um tanque único com volume de 600 litros e resistência elétrica interna, visto que a fonte de energia auxiliar será a energia elétrica.

O sistema também necessitará de 10,21 metros quadrados de placas coletoras para atingir a demanda de aquecimento da água. Segundo o fabricante Transsen, o modelo Itapuã V 1.7 no qual está sendo utilizado para o estudo, apresenta uma área de 1,73 metros quadrados em cada placa coletora, portanto para atender a demanda necessária serão utilizadas 6 placas coletoras.

5.3 Análise Econômica do Sistema

Para realizar a análise econômica do sistema de aquecimento solar, será necessária a obtenção de alguns dados.

O primeiro dado importante a ser visto é o custo da fonte de energia auxiliar, que neste trabalho será utilizada a energia elétrica. Com base nos dados da CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina, referente ao mês de setembro de 2010, a tabela 1 apresenta tarifas de fornecimento de energia elétrica cobradas aos consumidores residenciais de baixa tensão.

Classe	Tarifa (R\$/kWh)	Pis/Pasep (%)	Confins (%)	ICMS (%)	Custo final ao consumidor (R\$/kWh)
Residencial	0,32499	0,98	4,52	25	0,42411

Tabela 1 – Custo da energia elétrica em Santa Catarina
Fonte: CELESC, 09/2010

Outro valor que foi levantado é o custo para a implantação do sistema de aquecimento, onde está relacionado o custo dos coletores solares, do reservatório térmico, das tubulações, das conexões hidráulicas e instalação do sistema. Esses dados foram coletados na região alvo do estudo (Criciúma/SC), no mês de outubro do ano de 2010.

Descrição	Custo
Custo dos coletores solares	R\$ 3.912,0
Custo do reservatório térmico	R\$ 2.351,0
Custo dos materiais hidráulicos	R\$ 620,0
Custo da instalação do sistema	R\$ 550,0
Custo total da implantação do sistema	R\$ 7.433,0

Tabela 2 – Custo de implantação do sistema de aquecimento solar

Outro dado importante a ser analisado é a fração solar.

Segundo Luchini (2007), em se tratando da energia solar, a economia mensal proporcionada depende da fração solar, denominação dada para a relação entre a oferta de energia proporcionada pelo sistema de aquecimento solar e a demanda total de energia para atender ao nível de conforto requerido. A fração solar varia de acordo com as condições climáticas locais, da temperatura de armazenamento desejada, dos parâmetros de projeto, do coletor solar selecionado e da demanda específica de energia.

$$F = \frac{\text{Energia fornecida pelo sol}}{\text{Energia total demandada para o aquecimento}}$$

Duffie; Beckman (1991 apud Manea, 2009) sugerem utilizar uma fração solar de 75%. Por outro lado, Aita (2006 apud Manea, 2009) recomenda que o valor

esteja na faixa de 50 a 70%. Não há consenso quanto a um número fixo para este fator, o certo é que em cada caso o valor ótimo é diferente.

Neste trabalho adotaremos um valor de fração solar igual a 70%, conforme adotado pelos cálculos de dimensionamento da Norma Brasileira NBR – 15569 (2008).

Para o custo de manutenção do sistema será adotado o valor de 20% do investimento inicial a cada 10 anos, conforme sugestão de Manea (2009).

De acordo com Soletrol (2010) e Manea (2009), a vida útil do sistema de aquecimento solar é de 20 anos. Portanto a análise econômica deste trabalho será realizada levando em consideração que o sistema seja utilizado por toda a sua vida útil.

5.3.1 Dados de Entradas e Saídas do Projeto Estudado para a Análise de Viabilidade Econômica

Abaixo serão apresentadas tabelas referentes às entradas e saídas do fluxo de caixa da residência em estudo. As tabelas contemplam os dados técnicos e financeiros referentes ao sistema de aquecimento solar.

Projeto em estudo	
Unidade	Residência unifamiliar
Número de usuários	4 (quatro)
Demanda diária de água quente	720 litros/dia
Volume do reservatório térmico	600 litros
Temperatura ambiente local	20°C
Demanda de energia mensal	627,0 kWh

Tabela 3 – Dados do projeto em estudo

Sistema de aquecimento solar	
Fração solar	0,7
Consumo mensal de energia	$627,0 \times (1-0,7) = 188,1$ kWh
% de economia mensal	70%
Economia mensal de energia elétrica	$627,0 - 188,1 = 438,9$ kWh
Valor total do investimento	R\$ 7.433,0
Manutenção	20% do investimento inicial a cada 10 anos

Tabela 4 – Dados do sistema de aquecimento solar

Economia de energia elétrica	
Custo da energia elétrica ao consumidor final	0,42411 R\$/kWh
Quant. de energia economizada (kWh) x custo (R\$)	$438,9 \times 0,42411$
Valor de economia mensal	R\$ 186,14
Valor de economia anual	R\$ 2.233,68

Tabela 5 – Dados dos valores de economia de energia elétrica

Consumo de energia elétrica	
Custo da energia elétrica ao consumidor final	0,42411 R\$/kWh
Quant. de energia consumida (kWh) x custo (R\$)	$188,1 \times 0,42411$
Valor de consumo mensal	R\$ 79,78
Valor de consumo anual	R\$ 957,36

Tabela 6 – Dados dos valores de consumo de energia elétrica

Após analisados os dados das tabelas acima, verifica-se que a economia mensal em dinheiro após a implantação do sistema é:

$$\textit{Economia em dinheiro} = \textit{Valor de economia} - \textit{Valor de consumo}$$

$$\textit{Economia em dinheiro} = \text{R\$ } 186,14 - \text{R\$ } 79,78$$

$$\textit{Economia em dinheiro} = \text{R\$ } 106,36 \text{ ao mês}$$

$$\textit{Economia em dinheiro} = \text{R\$ } 1.276,32 \text{ ao ano}$$

Será considerado nos cálculos um aumento anual na tarifa de energia elétrica, segundo Sáles (2008) a previsão do aumento de energia para os próximos 20 anos é de 6,3% ao ano. Valor que será adotado nos cálculos deste trabalho.

Para a análise financeira será adotado como TMA a taxa SELIC. Segundo o Portal do Consumidor (2010), a taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e Custódia) é a média de juros que o governo brasileiro paga por empréstimos tomados dos bancos.

O Portal do Consumidor (2010), ainda salienta que é a SELIC que dá a medida das outras taxas de juros usadas no país: do cheque especial, do crediário, dos cartões de crédito, da poupança. É a partir dela que os bancos calculam quanto cobrarão de juros para conceder um empréstimo. Em geral, quanto maior a SELIC, maior o rendimento das aplicações de renda fixa, como poupança e CDBs.

Segundo o Bannisul (2010) o valor da rentabilidade média da taxa SELIC (outubro/2009 a setembro/2010) é de 9,24% ao ano.

5.3.2 Cálculo das Variáveis para a Análise Financeira

Após coletados e calculados todos os dados necessários, pode-se montar um fluxo de caixa com todas as entradas e saídas do projeto, ficando representados todos os gastos e lucros que se tem ao utilizar o sistema de aquecimento solar. O fluxo de caixa completo está representado no apêndice A.

Através dos cálculos dos métodos apresentados no referencial teórico como Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e o Tempo de Recuperação de Capital será analisada a viabilidade do projeto.

Com o auxílio de uma planilha para a análise financeira, determinam-se as variáveis necessárias. A planilha está representada no apêndice B.

O topo de cada coluna está numerado, e segue abaixo conforme a ordem numérica das colunas algumas informações pertinentes para um melhor entendimento da planilha.

Coluna 1 – Período

Representa o tempo em que ocorre uma entrada ou uma saída do fluxo de caixa. Cada período na presente planilha representa um ano. O estudo foi realizado considerando um fluxo de caixa de 20 anos, sendo que foram adotados 21

períodos, iniciando no instante 0 que representa a instalação do sistema, seguindo com os próximos períodos e seus respectivos valores de fluxo de caixa.

Coluna 2 – Ano

Numeração dos anos utilizados no fluxo de caixa.

Coluna 3 – Valor de economia de energia

Esta coluna representa o valor final de economia anual com o uso do sistema de aquecimento solar. As tabelas 5 e 6 apresentam os cálculos pertinentes para que seja determinado o valor da economia, que no presente estudo foi de R\$ 1.276,32 ao ano.

Coluna 4 – Reajuste de energia

Nesta coluna está contemplado o valor do reajuste da tarifa de energia elétrica, que é de 6,3% ao ano. Percentual que é adicionado ao valor de economia apresentado na coluna 3.

Coluna 5 – Valor de economia com reajuste

Nesta coluna são apresentados os valores de economia com a utilização do sistema de aquecimento solar acrescidos do reajuste da tarifa de energia elétrica. O valor reajustado é acumulativo e o reajuste inicia-se a partir do segundo ano de uso.

Coluna 6 – Manutenção

Esta coluna representa os gastos com a manutenção do sistema durante toda a sua vida útil. O valor adotado para manutenção foi de R\$ 1.486,60 a cada 10 anos.

Coluna 7 – Fluxo de caixa

Estão apresentados nesta coluna todos os valores utilizados no fluxo de caixa construído para a análise do sistema (apêndice A). Fluxo que se inicia com uma saída de caixa, que se refere ao investimento para aquisição do sistema. Logo após são apresentadas as entradas de caixa que representam os valores da economia de energia reajustada subtraídos dos valores da manutenção do sistema.

Coluna 8 – Fluxo de caixa no instante “0”

Nesta coluna todos os valores do fluxo de caixa são trazidos ao instante “0” através da fórmula do VPL (equação 3-8), onde se utiliza uma determinada Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para fazer o desconto do valor futuro apresentado no fluxo de caixa e transformá-lo em valor presente.

Coluna 9 – Somatório dos valores no instante “0”

Obtendo todos os valores do fluxo de caixa no instante “0”, faz-se um somatório ano a ano a partir do investimento, para determinar em quantos anos o sistema será pago com a sua própria economia. Como observado na planilha o sistema tornou-se lucrativo entre o sexto e sétimo ano de uso.

Coluna 10 – Cálculo do Valor Presente Líquido

Através de uma determinada TMA, calcula-se o VPL de projeto. Foi utilizada uma TMA no valor de 9,24% ao ano (SELIC). Onde se determinou um VPL igual a R\$ 9.954,99.

Coluna 11 – Cálculo da Taxa Interna de Retorno

Com os dados do fluxo de caixa, determina-se qual a TIR de projeto, onde a mesma foi de 21,86%.

Coluna 12 – Determinação do Tempo de Retorno do Capital

Analisando o somatório dos valores no instante “0” (coluna 9), determina-se o TRC do projeto, que ocorrerá no instante em que o somatório torna-se positivo.

Verifica-se que o último débito se encontra no período 6 num valor de R\$ 877,90. Sendo que no período 7 o valor da economia no instante “0” é de R\$ 991,94 tornando o somatório positivo com o valor de R\$ 114,05.

Para verificar o TRC exato, foi calculado o valor de economia mensal no período 7:

$$\frac{\text{Economia período 7}}{12 \text{ meses}}$$

$$\frac{991,94}{12} = \mathbf{R\$ 82,66}$$

Dessa forma, o débito que restava foi zerado em 10,62 meses do período em questão, ou seja, o sistema foi pago em 6 anos e 11 meses.

6. RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos através da análise econômica do sistema de aquecimento solar, demonstrando se a utilização do sistema é viável e qual sua relevância ao consumidor final.

O sistema de aquecimento solar foi dimensionado de acordo com a Norma Brasileira NBR 15569 (2008), utilizando o modelo de residência unifamiliar apresentado, determinando o volume de armazenamento necessário para atender a demanda de água quente, que foi de 600 litros. Também se determinou a quantidade de placas coletoras para o aquecimento desta água, que foram 6 placas, cada uma com área de 1,73m².

Logo após foi calculado o valor de economia mensal, em moeda corrente, que o usuário teria com a implantação do sistema em sua residência. Através dos dados calculados no capítulo 5, obteve-se a economia mensal de R\$ 106,36, resultando em uma economia de R\$ 1.276,32 ao ano.

Foram utilizados também os valores de implantação do sistema, manutenção e reajuste da tarifa de energia elétrica, que foram respectivamente de R\$ 7.433,00, R\$ 1.486,60 a cada 10 anos e 6,3% ao ano.

A viabilidade do projeto depende do valor de dois métodos calculados no presente trabalho, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

O projeto será viável quando o VPL calculado for maior ou igual a zero, significando que o investidor terá o retorno do seu capital investido. Outro dado analisado é a TIR. Esta deve ser comparada com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) do investimento para avaliar a viabilidade ou não do projeto. Portanto, se a TIR for superior à TMA, a análise deve recomendar o investimento do projeto.

Através dos cálculos efetuados determinou-se o valor do VPL do projeto, sendo de R\$ 9.954,99. A TIR calculada apresentou valor de 21,86%.

Os resultados apresentados através das análises demonstram que a utilização do sistema de aquecimento solar em residências unifamiliares é realmente viável, pois o VPL do projeto resultou em um valor positivo e a TIR apresentou valor superior a TMA.

Com base nos cálculos efetuados definiu-se o Tempo de Recuperação de Capital (TRC) do sistema, que significa a determinação do tempo que o capital

investido levará para retornar ao investidor. O sistema em questão tem como TRC 6 anos e 11 meses. Como citado no capítulo 5, a vida útil do sistema de aquecimento solar é de 20 anos. Portanto após o TRC ser atingido o sistema ainda trará uma significativa economia ao investidor até o final da vida útil do sistema.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo principal analisar a viabilidade econômica de um projeto de aquecimento de água em uma residência unifamiliar, onde se apresentou alguns indicadores necessários para análise do sistema.

Hoje a implantação do sistema de aquecimento solar está ligada a alguns fatores importantes, onde se destacam os sociais, econômicos e ambientais. O Brasil tem uma localização favorável em relação à insolação, por isso projetos e medidas devem ser tomados principalmente pelo poder público, para que haja uma popularização do sistema de aquecimento de água.

Por meio de pesquisas na área de aquecimento solar, puderam-se conhecer as formas e configurações básicas do sistema de aquecimento solar. Com base na Norma Brasileira NBR 15569 (2008), dimensionou-se o sistema de aquecimento, determinando seus componentes e quantidades.

Durante a elaboração do trabalho puderam-se analisar as grandes vantagens do uso de aquecimento solar:

- Minimizar problemas ambientais com a redução da implantação de novas usinas hidroelétricas;
- Reduzir a demanda de energia elétrica nos horários de pico evitando uma nova crise energética no país;
- Trazer uma economia mensal ao consumidor final que utiliza o sistema;
- Aproveitamento da energia solar, que é uma fonte gratuita de energia, abundante e não poluente.

Analisou-se de forma aprofundada qual a economia financeira que o sistema de aquecimento solar traz para quem o implanta. Através do estudo do sistema e de cálculos realizados com base em um projeto de uma residência unifamiliar que o implantou e que utiliza energia elétrica como fonte de energia auxiliar, obteve-se um resultado de economia em moeda corrente de R\$ 1.276,32 ao ano após a implantação do sistema.

Com os cálculos do Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno obteve-se o resultado favorável em relação à implantação do sistema, pois o VPL apresentou valor positivo e a TIR obtida foi maior que a TMA. Através dos cálculos do Tempo de Recuperação de Capital determinou-se que o retorno do investimento

efetuado na implantação do sistema foi de 6 anos e 11 meses. Ou seja, o sistema é lucrativo ao seu usuário, conforme apresentado no capítulo 6.

Os resultados obtidos neste trabalho permitem evidenciar que o uso e aproveitamento da energia solar é bastante viável e pode representar em alguns anos uma economia extremamente significativa, reduzindo o consumo da energia elétrica.

É importante salientar que além da economia financeira, os usuários que utilizam o sistema de aquecimento solar estão trazendo também benefícios para o meio ambiente.

Após finalizado o trabalho, fica evidenciada a importância da engenharia estar ligada a matemática financeira, pois, é através desta ligação que a rentabilidade de projetos ainda não estudados podem ser analisados e discutidos.

Segue como recomendação para futuros trabalhos, um estudo da utilização de aquecimento solar com o uso de gás como fonte de energia auxiliar. Fazendo-se uma análise da viabilidade econômica e comparando com o sistema utilizado no presente trabalho, a fim de determinar qual a melhor fonte de energia auxiliar para o sistema de aquecimento solar.

Por fim recomenda-se a engenheiros e arquitetos, que as futuras construções civis sejam projetadas e executadas a fim de permitir a utilização do sistema de aquecimento solar pelos usuários. Aos profissionais da área cabe sempre buscar incentivos nas áreas de pesquisas e desenvolvimento da tecnologia de aquecimento solar, pois ainda há o que melhorar, desenvolvendo novos modelos mais eficientes que auxiliem na conservação da energia.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15569**: Sistema de Aquecimento Solar de Água em Circuito Direto – Projeto e Instalação. Rio de Janeiro, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
Disponível em: <[www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>
Acesso em: 18 ago. 2010.

BANRISUL – **Tabela de Rentabilidade**, 2010.
Disponível em:
<http://www.banrisul.com.br/bob/data/Banrisul_TabelaRentabilidade_CDB_Poupanca_Setembro2010.pdf>
Acesso em: 05 out. 2010.

BAPTISTA, A. S. C. **Análise da Viabilidade Econômica da Utilização de Aquecedores Solares de Água em Resorts no Nordeste do Brasil**. 171f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina.
Alíquotas de Tributos: Disponível em:
<http://portal.celesc.com.br/portal/atendimento/index.php?option=com_content&task=view&id=284&Itemid=94>
Tarifas da Energia Elétrica: Disponível em:
<http://portal.celesc.com.br/portal/atendimento/index.php?option=com_content&task=view&id=286&Itemid=94>
Acesso em: 04 ago. 2010.

COSTA, R. N. A. **Viabilidades Térmica, Econômica e de Materiais de um Sistema Solar de Aquecimento de Água a Baixo Custo para Fins Residenciais**. 78 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
Disponível em:
<<http://www.elektrobras.com/elb/procel/main.asp?ViewID={D81425AF-257E-44E9-8B0F-1F885CD35D6D}¶ms=itemID={D01B6476-DD91-4907-B827-4E116D02230A};&UIPartUID={D90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898}>>>
Acesso em: 03 set. 2010.

FILHO, N. C. e KOPITCKE, B. H. **Análise de Investimentos**. 9ª Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2000. 458p.

HOCHHEIM, N. **Engenharia Econômica**. Curso do IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia, Florianópolis, 2002.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – **Consulta de dados da Estação de Florianópolis, SC**.

Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>

Acesso em: 02 ago. 2010.

LIMA, J. B. A. **Otimização de Sistema de Aquecimento Solar de Água em Edificações Residenciais Unifamiliares Utilizando o Programa Trnsys**. 142 f. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LUCHINI, O. M. **Projeto Básico e Estudo de Viabilidade Econômica de um Sistema de Aquecimento de Água para Uso Doméstico**. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

MANEA, T.F. **Avaliação de Sistemas de Aquecimento de Água Solar-Gás**. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PEREIRA E. B.; MARTINS F. R.; ABREU S. L.; RÜTHER R. – **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1ª Ed. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. 60p.

PORTAL DO CONSUMIDOR – **Taxa Selic**, 2010.

Disponível em:

<<http://www.portaldoconsumidor.gov.br/noticia.asp?busca=sim&id=10270>>

Acesso em: 27 out. 2010.

POZZEBON, F. B. **Aperfeiçoamento de Um Programa de Simulação Computacional para Análise de Sistemas Térmicos de Aquecimento de Água Por Energia Solar**. 134 f. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PMC – Prefeitura Municipal de Criciúma

Disponível em: <http://www.criciuma.sc.gov.br/historia_cidade.php>

Acesso em: 13 out. 2010.

REIS, E. P. **Análise do Desempenho Térmico de Um Sistema de Aquecimento Solar Utilizando Coletor Com Superfície Absorvedora Em Chapas de Forro de Pvc.** 84 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Salvador, 2009.

SÁLES, I. C. F. **Análise da Substituição do Chuveiro Elétrico por Aquecedor Solar: Uma Contribuição ao Setor Elétrico na Conservação de Energia.** 158 f. Dissertação (mestrado) – Unidade Acadêmica Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

SOBRINHO, J. D. V. **Matemática Financeira.** 7^a ed. São Paulo: Editora Atlas, 2000. 409p.

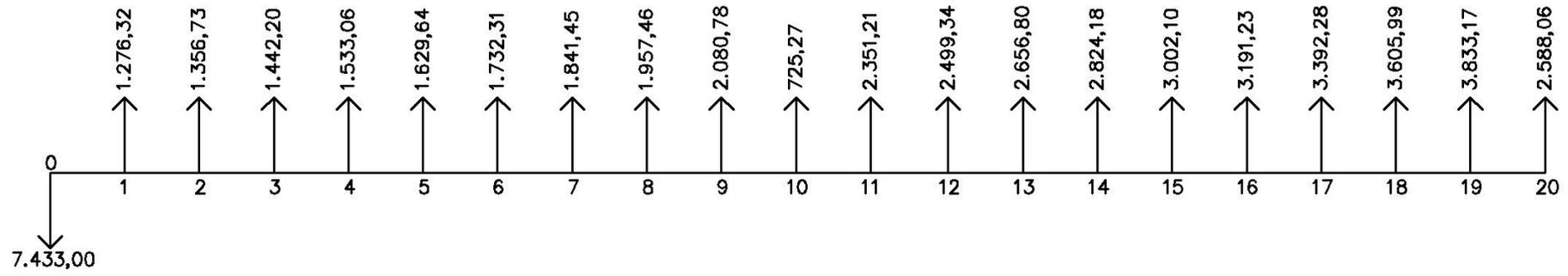
SOLETROL

Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br>>

Acesso em: 29 set. 2010.

TEIXEIRA, J. e NETTO, S. D. P. **Matemática Financeira.** São Paulo: Makron Books, 1998. 134p.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Fluxo de caixa do sistema de aquecimento solar

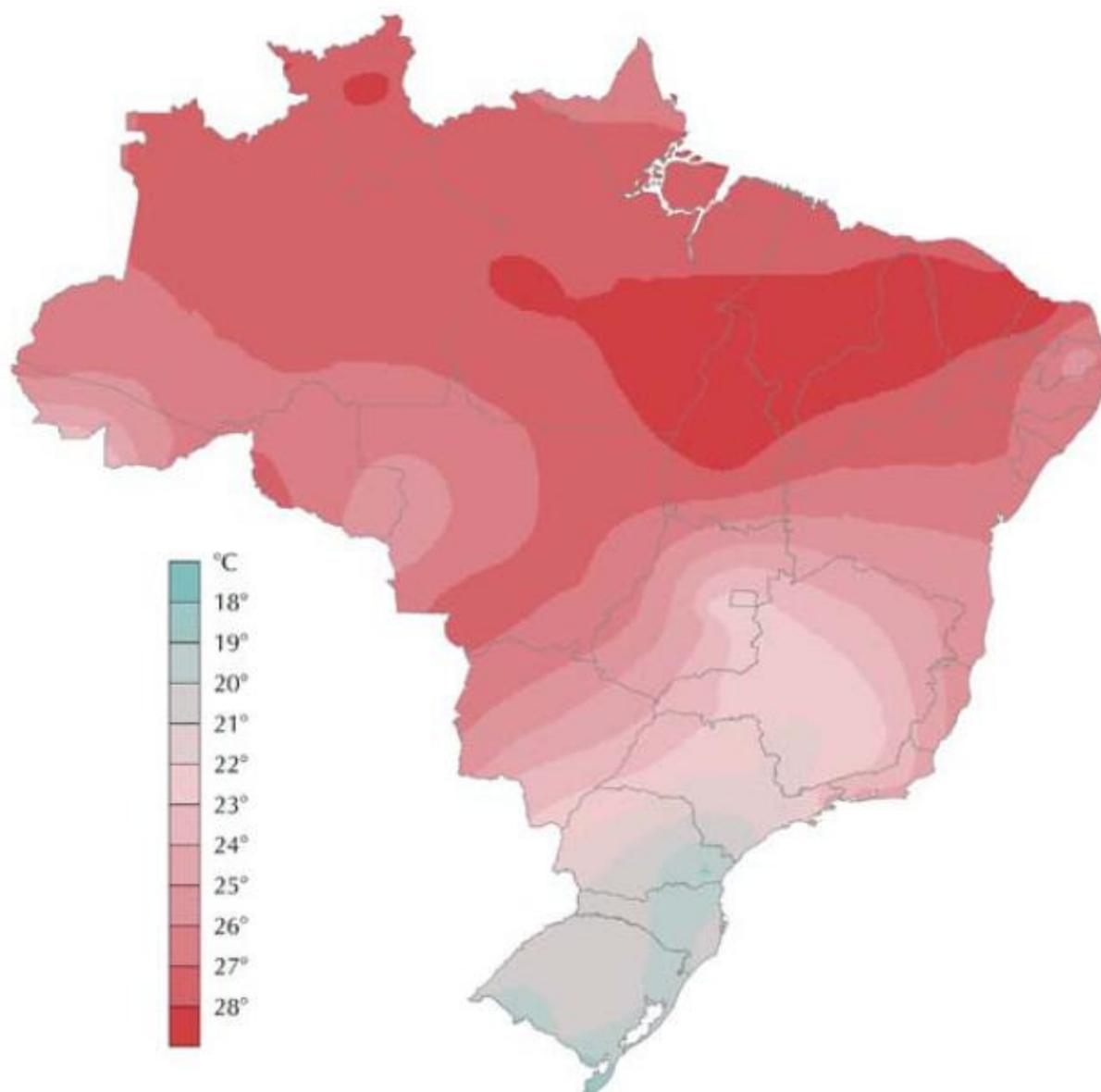
APÊNDICE B – Planilha para análise econômica do sistema de aquecimento solar (parte 1)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Período (ano)	Ano	Valor de economia de energia	Reajuste de energia	Valor de economia com reajuste	Manutenção (20% a. 10a.)	Fluxo de caixa	Fluxo de caixa no instante "0"	Somatório dos valores no instante "0"
0	2010					-R\$ 7.433,00		-R\$ 7.433,00
1	2010	R\$ 1.276,32		R\$ 1.276,32		R\$ 1.276,32	R\$ 1.168,36	-R\$ 6.264,64
2	2011	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 1.356,73		R\$ 1.356,73	R\$ 1.136,92	-R\$ 5.127,72
3	2012	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 1.442,20		R\$ 1.442,20	R\$ 1.106,32	-R\$ 4.021,40
4	2013	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 1.533,06		R\$ 1.533,06	R\$ 1.076,55	-R\$ 2.944,85
5	2014	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 1.629,64		R\$ 1.629,64	R\$ 1.047,57	-R\$ 1.897,28
6	2015	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 1.732,31		R\$ 1.732,31	R\$ 1.019,38	-R\$ 877,90
7	2016	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 1.841,45		R\$ 1.841,45	R\$ 991,94	R\$ 114,05
8	2017	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 1.957,46		R\$ 1.957,46	R\$ 965,25	R\$ 1.079,29
9	2018	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 2.080,78		R\$ 2.080,78	R\$ 939,27	R\$ 2.018,56
10	2019	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 2.211,87	R\$ 1.486,60	R\$ 725,27	R\$ 299,70	R\$ 2.318,26
11	2020	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 2.351,21		R\$ 2.351,21	R\$ 889,39	R\$ 3.207,65
12	2021	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 2.499,34		R\$ 2.499,34	R\$ 865,46	R\$ 4.073,11
13	2022	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 2.656,80		R\$ 2.656,80	R\$ 842,16	R\$ 4.915,27
14	2023	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 2.824,18		R\$ 2.824,18	R\$ 819,50	R\$ 5.734,77
15	2024	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 3.002,10		R\$ 3.002,10	R\$ 797,44	R\$ 6.532,21
16	2025	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 3.191,23		R\$ 3.191,23	R\$ 775,98	R\$ 7.308,20
17	2026	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 3.392,28		R\$ 3.392,28	R\$ 755,10	R\$ 8.063,29
18	2027	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 3.605,99		R\$ 3.605,99	R\$ 734,78	R\$ 8.798,07
19	2028	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 3.833,17		R\$ 3.833,17	R\$ 715,00	R\$ 9.513,07
20	2029	R\$ 1.276,32	6,3%	R\$ 4.074,66	R\$ 1.486,60	R\$ 2.588,06	R\$ 441,92	R\$ 9.954,99

APÊNDICE B – Planilha para análise econômica do sistema de aquecimento solar (parte 2)

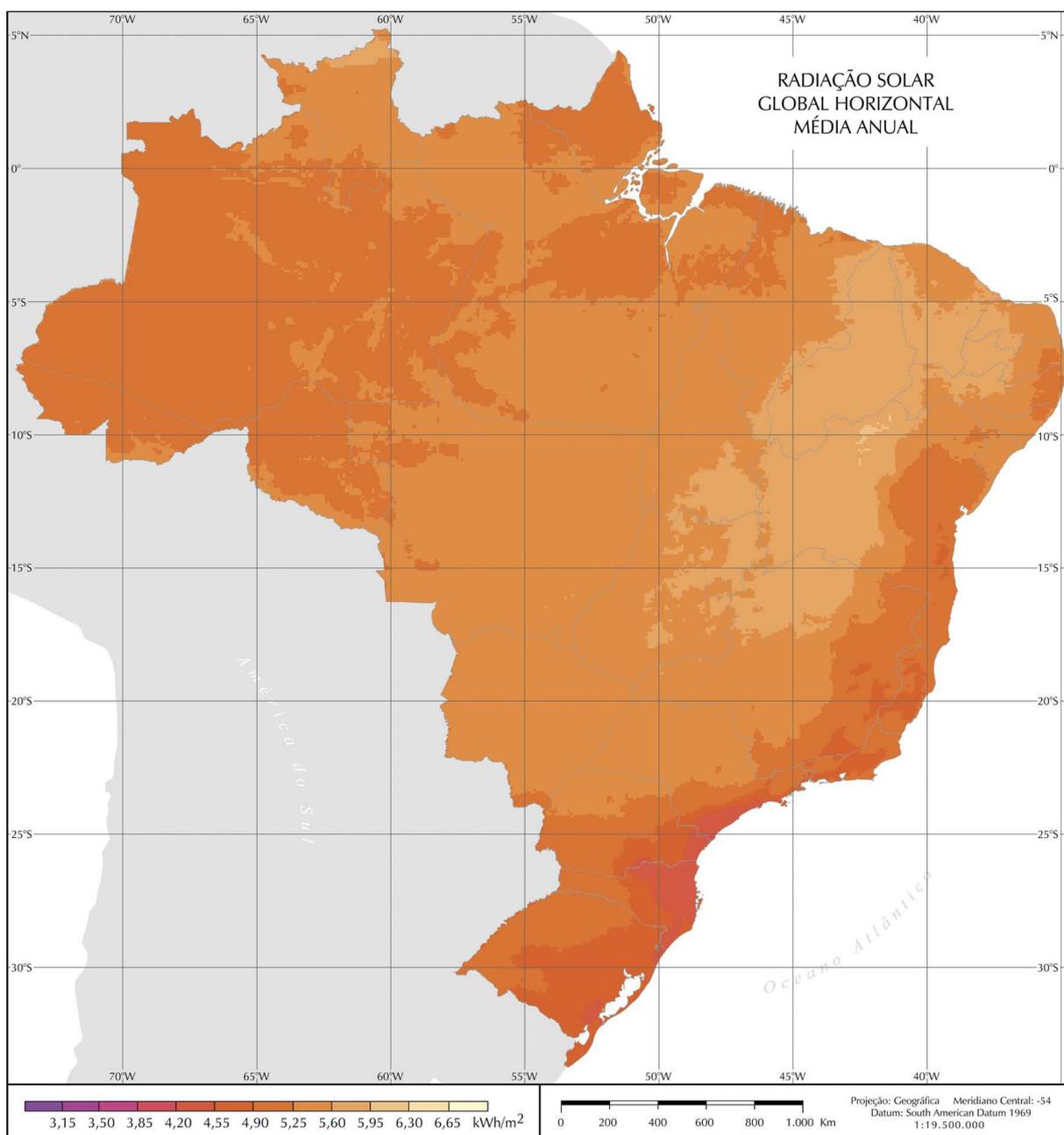
10		11	12		
TMA	VPL de projeto	TIR de projeto	Tempo de Recuperação de Capital		
9,24%	R\$ 9.954,99	21,86%	Período 6	Débito	R\$ 877,90 (ano)
			Período 7	Crédito	R\$ 114,05 (ano)
			Período 7	Economia	R\$ 991,94 (ano) R\$ 82,66 (mês)
			$\frac{\text{Débito ano Período 6}}{\text{Economia mês Período 7}} =$		10,62 mês
			O sistema se pagou em 6 anos e 11 meses		

ANEXO

ANEXO A - Temperatura média anual nas regiões brasileiras

Fonte: ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2006

ANEXO B – Radiação solar global diária em média anual nas regiões brasileiras



Fonte: ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2006