



Lucas Francisco Mund

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE
COLETORES SOLARES PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA
EM RESIDÊNCIAS**

Horizontina, RS

2014

Lucas Francisco Mund

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE
COLETORES SOLARES PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA
EM RESIDÊNCIAS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

Orientador: Fabiano Cassol, Dr.

Horizontina, RS

2014

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Análise da Viabilidade Técnica e Econômica de Coletores Solares para
Aquecimento de Água em Residências”**

Elaborada por:

Lucas Francisco Mund

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 26/11/2014
Pela Comissão Examinadora**

**Dr. Fabiano Cassol
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Dr. Ademar Michels
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Me. Jonas Rigodanzo
FAHOR – Faculdade Horizontina**

Horizontina, RS

2014

À FAMÍLIA...

Em especial a minha mãe, irmão e namorada, a vocês que estiveram ao meu lado me apoiando e motivando na busca por meus ideais. Dedico a conquista, o sonho, o diploma.

AGRADECIMENTOS

Á Deus por ter iluminado o caminho, À família pelo apoio incondicional, especialmente minha mãe que sempre estava a me esperar seja nas madrugadas frias as noites de verão. Aos professores pelo aprendizado e orientação durante todo o período de graduação, em especial ao orientador Fabiano Cassol, aos amigos e colegas que compartilharam o mesmo sonho.

“Algo só é impossível, até que alguém duvide e resolva provar o contrário”.

Albert Einstein

RESUMO

Devido as constantes pesquisas por fontes alternativas de energia, que possam suprir o abastecimento da população e que não degradem o meio ambiente, será apresentada a aplicação de um sistemas S.A.S (Sistema de Aquecimento Solar), sua utilização, descrever seus componentes e como eles podem contribuir para o futuro desenvolvimento de um mundo sustentável. Com a problemática de reduzir o contínuo crescimento da demanda de energia elétrica residencial ocasionada principalmente pelo uso do chuveiro elétrico, será realizada uma análise de viabilidade de implantação de coletores solares visando reduzir esta demanda crescente. Analisando o funcionamento do sistema de aquecimento solar e verificando suas vantagens e desvantagens. Os principais resultados encontrados no estudo exploratório partiram dos valores catalogados nos manuais dos fabricantes, no qual verifica-se a importância da instalação deste sistema de acordo com a quantidade de energia utilizada por pessoa. Os principais resultados alcançados para o programa Minha Casa Minha Vida, foram de reservatório térmico de 300 litros, área dos coletores de 3,6 m², desempenho do sistema de 68% e abatimento no valor final da residência após o financiamento de 20 anos de 6,8%, para a classe média os resultados foram de reservatório térmico de 500 litros, com uma área do coletor de 6 m², desempenho do sistema foi de 59% e o abatimento no valor final da residência de 5,5%, para a classe de alto padrão o dimensionamento do reservatório térmico ficou com 700 litros, com a área dos coletores de 8,5 m² desempenho do sistema de 56% e abatimento de 4,1% no valor final da residência.

Palavras-chave: Aquecimento Solar. Energia Solar. Radiação.

ABSTRACT

Due to constant research for alternative energy sources that can supply the supply of the population and that do not degrade the environment, the application of a SAS systems (Solar Heating System) will be displayed, describe its components and how they can contribute to the future development of a sustainable world. With the problem of reducing the continued growth of household electricity demand caused mainly by the use of electric shower, a deployment feasibility analysis of solar collectors to reduce this growing demand will be held. Analyzing the operation of the solar heating system and evaluating their advantages and disadvantages. The main results found in the exploratory study of the values set out cataloged in manufacturers' manuals, which verifies the importance of the installation of the system according to the amount of energy used per person. The main results achieved for the My Home My Life program, were thermal tank of 300 liters, the area of 3.6 m² collectors, performance of the system and 68% reduction on final value of the residence after the 20-year financing 6 , 8% for the middle class the results were 500 liter thermal tank, with a 6 m² collector area, system performance was 59% and the reduction in the final value of the residence of 5.5% for the class high standard sizing thermal tank got 700 liters, with the area of 8.5 m² of collector performance of the system and 56% reduction of 4.1% in the final value of the residence.

Keywords: Solar Heating. Solar Energy. Radiation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Variação da intensidade de radiação com a latitude	16
Figura 2: Representação das estações do ano e do movimento da Terra em torno do Sol.....	17
Figura 3: Diagrama típico de um Sistema de aquecimento solar passivo.....	20
Figura 4: Circulação em termossifão.....	22
Figura 5: Circulação forçada	23
Figura 6: Esquema aquecedor solar de placa plano	26
Figura 7: Coletor plano sem cobertura.....	27
Figura 8: Estimativa de consumo de eletrodomésticos residencial urbano.....	29
Figura 9: Esquema do processo de termo conversão da energia solar	30
Figura 10: Coletor concentrador	31
Figura 11: Coletor concentrador parabólico	31
Figura 12: Tanque de armazenamento de fabricação nacional.....	32
Figura 13: Ligação dos coletores	34
Figura 14: Ligação de conjuntos de coletores em série	35
Figura 15: Ligação de conjuntos de coletores em paralelo	35
Figura 16: Trajetória do sol e desvio do Norte geográfico (ângulos azimutais de superfície)	37
Figura 17: Levantamento das residências até o ano de 2010	39
Figura 18: Comparativo de Custo Operacional - Programa minha casa minha vida	48
Figura 19: Comparativo de Custo Operacional - Residências de classe média	49
Figura 20: Comparativo de Custo Operacional - Residências de alto padrão	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis meteorológicas de Santa Rosa (RS), nas estações do ano e anual, média de 1976 a 2005	24
Tabela 2: Residências construídas nos anos de 2010 até 2013	40
Tabela 3: Dimensionamento consumo de energia	41
Tabela 4: Consumo de água quente	42
Tabela 5: Pontos de Consumo de residências do programa minha casa minha Vida	44
Tabela 6: Volume de consumo de água quente	45
Tabela 7: Pontos de Consumo de Residências construídas no município ano de 2010 até 2013	46
Tabela 8: Pontos de Consumo em residências de Alto padrão	47
Tabela 9: Pontos de Consumo do total de residências do município até 2013.....	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 OBJETIVOS	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 ENERGIA SOLAR	14
2.2 A RADIAÇÃO SOLAR	16
2.2.1 Campo de utilização.....	19
2.3 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR	19
2.3.1 Circulação em termossifão	20
2.3.2 Circulação Forçada	22
2.3.3 Temperatura ambiente.....	24
2.4 OS COLETORES SOLARES	25
2.4.1 Coletor solar plano.....	25
2.4.1.1 A utilização do Sistema de Aquecimento Solar (SAS).....	28
2.4.1.2 Termo conversão	29
2.4.2 Coletores concentradores.....	30
2.4.3 Coletores concentradores parabólicos	31
2.5 TANQUES DE ARMAZENAMENTO	32
2.5.1 Estratificação térmica	33
2.5.2 Coeficientes de perdas no reservatório.....	34
2.6 INSTALAÇÃO.....	34
2.6.1 Plano de inclinação	36
3 METODOLOGIA	38
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	38
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	39
3.3 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA	39
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
4.1 DIMENSIONAMENTO.....	41
4.2 CÁLCULOS	44
4.2.1 Residências enquadradas no programa minha casa minha vida ano de 2010 até 2013	44
4.2.2 Residência de classe média.....	45
4.2.2.1 Residências construídas no município ano de 2010 até 2013	46
4.2.3 Residências de Alto Padrão construídas nos ano de 2010 até 2013.....	46
4.2.3.1 10% do total de residências construídas até o ano de 2013....	47
4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	48
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

Em sua vasta maioria as fontes de energia são formas direta ou indireta da energia solar. Dentre as principais fontes de geração de energia podemos citar a energia hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos. A energia solar se apresenta como uma das grandes soluções para a produção de energia sustentável.

Segundo Ribeiro (2008) os trabalhos referentes à implantação de energia solar se tornam de notável importância nos tempos atuais devido à necessidade de utilização de novas fontes de energia renováveis, pois as fontes de energias utilizadas são em sua vasta maioria, não renováveis, que podem ocasionar uma degradação ambiental futura.

De acordo com Bete Chen (2011), a energia solar tem uma vasta gama de aplicações, valendo ressaltar as mais conhecidas, tais como: Eletrificação, Telecomunicações, Sinalização aérea e náutica, Sinalização rodoferroviária, Tele vigilância, Refrigeradores e freezer, Bombeamento de água, Aquecimento de água.

A energia obtida da radiação solar pode propiciar eletricidade ou calor, dependendo da forma como ela é captada. A energia elétrica é gerada a partir de módulos fotovoltaicos, enquanto o processo de aquecimento de água a energia é gerada através de coletores térmicos. Desta maneira existe a necessidade de se aprofundar nos estudos dos componentes de conversão térmica para realizar o dimensionamento de uma placa coletora de energia solar.

De acordo com Fraidenraich (1995); Queiróz (2005); Lion (2007), a conversão da radiação solar direta em energia térmica, passa por dois estágios: 1- A radiação solar é captada através de uma superfície de captação e refletida para o tubo absorvedor e, 2- A radiação absorvida pelo tubo absorvedor é transferida ao fluido e ao ar atmosférico por convecção e por radiação.

No Brasil, o emprego de sistemas de aquecimento solar para água é relativamente baixo, em razão dos altos custos de instalação. A maciça utilização de chuveiros elétricos como fonte de aquecimento de água, acaba por sobrecarregar a rede elétrica nos horários de pico. Sendo um país privilegiado pelo mapa solar, é importante investir no processo de produção de energia gerada através da radiação solar, devido a inúmeros aspectos, como por exemplo, dificuldades para construção

de novas centrais hidroelétricas e termelétricas, entre outras fontes de energia considerada suja (não renováveis).

Investir em energias renováveis seria uma das maneiras de expandir a produção de energia limpa, fazendo com que novas empresas deste meio possam se instalar no país, oportunizando novas possibilidades de empregos e pesquisa de desenvolvimento científico alavancando o processo da transformação e captação da energia solar no país.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o avanço tecnológico o consumo de energia elétrica residencial está aumentando significativamente. Justificando este trabalho em reduzir o contínuo crescimento da demanda de energia elétrica residencial oriunda principalmente pelo uso maciço do chuveiro elétrico, através da implantação de coletores solares em diferentes classes residenciais, substituindo as tradicionais fontes de energia utilizadas por uma fonte de energia sustentável.

Investir em energias renováveis, seria uma maneira de expandir a produção de energia limpa, fazendo com que novas empresas deste meio possam se instalar no país, oportunizando novas possibilidades de empregos e pesquisa científica para alavancar o processo da transformação e captação da energia solar no país.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é realizar análise de viabilidade de sistemas de aquecimento solar para aquecimento de água para diferentes classes sociais.

Analisando a instalação de um sistema de aquecimento solar residencial consegue-se verificar o consumo de água quente utilizado pelos casos estudados, destes verificando a demanda de água quente utilizada permite-nos determinar a economia de energia elétrica oriunda caso á caso, verificando suas vantagens e desvantagens quanto ao consumo de energia elétrica, o qual vem aumentando gradativamente com o passar dos tempos. Identificar os componentes do sistema, descrever seus processos e analisar as formas de instalação para o sistema de aquecimento solar, permite-nos determinar, o consumo de água quente utilizado para cada caso, o tamanho do reservatório térmico, a área dos coletores solares, a

eficiência do sistema, a economia anual no valor total da residência após um financiamento de 20 anos, e o retorno financeiro de cada sistema.

2 REVISÃO DE LITERATURA

No referencial teórico são levantados os conceitos referentes à Energia Solar, Radiação Solar, Sistemas de Aquecimento Solar, Coletores Solares e suas formas de instalações.

2.1 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.

Conforme dados da ANEEL (2010), os processos de aproveitamento da energia solar, 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 às características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

A Energia solar é proveniente da radiação do Sol e pode ser captada por painéis solares fotovoltaicos, compostos de associação de células fotovoltaicas, e/ou painéis solar-térmicos utilizados para várias aplicações, como por exemplo, na utilização da energia solar para aquecimento de água em residências. Ela é considerada uma fonte de energia limpa e renovável, pois não polui o meio ambiente e é ilimitada (ANEEL, 2008).

O Sol é a estrela mais próxima do planeta Terra, sendo a principal fonte de luz e, conseqüentemente, de vida para a humanidade. O Sol é uma esfera de 695.000 km de raio e massa de $1,989 \times 10^{30}$ kg, cuja distância média da Terra é de $1,5 \times 10^{11}$ metros (FINEP, 2007).

Conforme Sprenger (2007), a fonte solar está disponível de forma abundante desde o surgimento da vida, mas a energia solar nunca foi aproveitada de forma eficiente ou em larga escala se comparado às outras formas de energia. O Sol, além

de fonte de vida, pode ser a resposta para a questão do abastecimento energético no futuro, uma vez que se aprenda a aproveitar de maneira racional a luz que esta estrela constantemente derrama sobre o planeta Terra (PALZ, 1981). Desta forma, a energia solar tem sido objeto de importantes estudos para torná-la cada vez mais eficiente, pois é uma fonte de energia limpa e renovável.

De acordo com Franco (2009), a energia solar se propaga sob a forma de ondas eletromagnéticas, isto é, a mesma forma de onda utilizada nas transmissões de rádio e televisão. A propagação de ondas da energia solar tem a vantagem de ter um comprimento de onda mais curto, e quanto mais curto for o comprimento de onda, mais energia tem a onda.

A utilização da energia solar térmica para o aquecimento de água tem sido significativa para o contexto atual da sociedade devido a sua importância ambiental, social e econômica. Além disso, a abundância do recurso solar em todas as regiões do planeta é um fator importante para as pessoas passarem a utilizar sistemas de aquecimento solar para água (REDE BRASIL, 2008).

A utilização de energia solar contribui de diversas maneiras para o desenvolvimento da sociedade. Conforme Sprenger (2007), em termos de efeitos de localidade, o uso de energia solar é benéfico por apresentar economias significativas de energia elétrica, já que o aquecimento de água por energia solar substitui a eletricidade.

Conforme Gamboa (2001), inúmeras são as vantagens da energia solar: é limpa, pois, seu funcionamento não emite poluente, além de ter vida útil longa e a sua manutenção quase não exista. Mas o custo para implantar um sistema desses, de forma a obter energia elétrica, através da energia solar, é a maior desvantagem. Dentre as características deste tipo de energia, podemos citar outras vantagens, tais como: é difusa, é periódica, é silenciosa, não consome combustível, não produz poluição nem contaminação ambiental, permite aumentar a potência instalada por meio da incorporação de módulos adicionais, resistente às condições climáticas extremas (granizo, vento, temperatura e humidade), eternamente renováveis à escala humana, estando disponível em quantidades elevadas.

2.2 RADIAÇÃO SOLAR

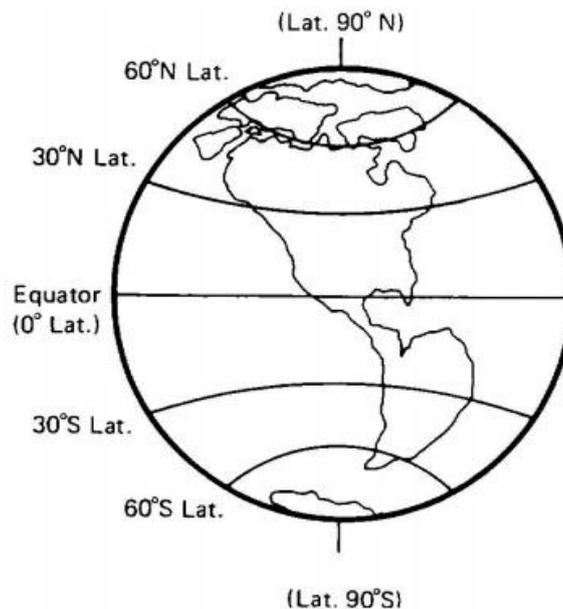
A radiação solar é a fonte primária de todos os fenômenos atmosféricos e de processos físicos, químicos e biológicos observados em ecossistemas agrícolas, podendo ser aproveitada sob várias formas, tais como a captura pela biomassa, aquecimento de ar e água para fins domésticos e industriais, fotoeletricidade para pequenos potenciais e fontes para ciclos termodinâmicos variados (PEREIRA *et al*, 2002).

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 a seguir conforme Lima (2003):

Latitude: À proporção que a latitude aumenta, a área da superfície terrestre que a mesma radiação atinge é maior, conforme Figura 1. Resultando em uma menor concentração de radiação.

Figura 1 - 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° 27', conforme Figura 2. 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 2 - 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 *apud* Magagnin (2010), 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.

A radiação solar global (RG) é a quantidade de energia que chega a superfície da Terra na forma de radiação de ondas curtas, após sofrer interações com a atmosfera. Ela é constituída da radiação solar direta e radiação solar difusa (VIANELLO & ALVES, 2000).

A radiação direta é a energia que chega diretamente na superfície do solo e a radiação difusa é composta pela energia proveniente das demais direções, correspondendo à radiação que é difundida na atmosfera devido à presença de

partículas diversas. Em dias que o céu apresenta-se descoberto a radiação direta é maior que a radiação difusa, uma vez que esta representa cerca de 15% da radiação que chega à superfície terrestre.

De acordo com Iqbal (1978) *apud* Carvalho (2013) a radiação difusa em dado instante depende de fatores importantes como altitude e latitude do local, da declinação e do ângulo de elevação do Sol, do índice de turbidez, da quantidade de vapor presente na atmosfera e da nebulosidade.

Conforme Vianello *et al.* (2000), toda energia absorvida pela superfície subtraída da energia que foi emitida por ela é conhecida como saldo de radiação, constituído pelo Balanço de Ondas Curtas (BOC) e Balanço de Ondas Longas (BOL), este corresponde ao saldo de energia entre a radiação emitida pelo sistema solo-planta-atmosfera e a contra-radiação atmosférica. Esta depende, basicamente, da temperatura do ar, quantidade de vapor d'água presente na atmosfera e da cobertura de nuvens, enquanto a radiação emitida pelo sistema solo-planta-atmosfera depende da temperatura do solo e da sua emissividade.

O saldo de radiação sobre um dossel vegetal representa a quantidade de energia na forma de ondas eletromagnéticas que este dispõe para repartir entre os fluxos de energia necessários aos processos de evapotranspiração, aquecimento do ar e do solo e para a fotossíntese (TUBELIS *et al.*, 1980). Ou seja, o saldo de radiação resulta das trocas de energia estabelecidas na atmosfera, as quais estão condicionadas pelo fluxo de radiação emitido pelo sol e refletido pela superfície, constituído predominantemente por radiação de ondas curtas e pelas radiações de ondas longas emitidas pela atmosfera e superfície terrestre, respectivamente.

Além das condições atmosféricas (nebulosidade, umidade relativa do ar etc.), a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação ou revolução).

Desse modo, a duração solar do dia – período de visibilidade do Sol ou de claridade – varia, em algumas regiões e períodos do ano, de zero hora (Sol abaixo da linha do horizonte durante o dia todo) há 24 horas (Sol sempre acima da linha do horizonte) (CARVALHO, 2013).

A radiação solar depende também das condições climáticas e atmosféricas. Somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Mesmo assim, estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (CRESESB *apud* CARVALHO, 2013).

2.2.1 Campo de utilização

Conforme Bete Chen (2011), a área de atuação utilizando a energia solar é bastante ampla, valendo ressaltar algumas aplicações mais conhecidas, tais como:

- Eletrificação - Utiliza-se para eletrificação de residências, escolas, comércio, fazendas, cercas, estradas, indústrias, estações e postos avançados de vigilância e de radiodifusão.
- Telecomunicações – Telefonia rural, torres e retransmissores, estações terrestres, radiotelefonia e radiocomunicações.
- Sinalização aérea e náutica – Faróis náuticos, sinalização em antenas de transmissão de energia elétrica e de radiodifusão, sinalização em portos e aeroportos.
- Sinalização rodoferroviária – painéis de mensagens randômicas e variáveis, para sinais luminosos e na iluminação de placas de sinalização.
- Tele vigilância – Depósitos e silos, tráfego rodoviário, rios, e pontos sujeitos a enchente.
- Refrigeradores e freezer.
- Bombeamento de água.
- Aquecimento de água.

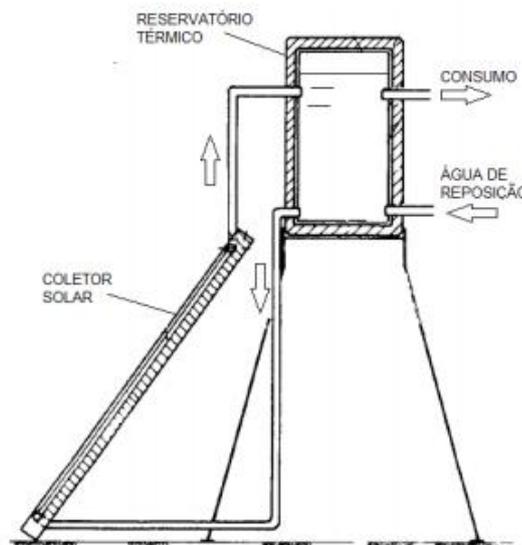
2.3 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR

Segundo Siqueira (2009), um coletor solar é o principal componente de um sistema de aquecimento solar. Ele promove a conversão da radiação solar, transferindo o fluxo energético proveniente da radiação incidente para o fluido que circula no interior do mesmo.

Pela periodicidade da variação da radiação Solar, os coletores solares são conectados a reservatórios termicamente isolados para armazenagem da água por eles aquecida, comumente chamados boilers (INMETRO, 2008).

Existem dois tipos de circulação nos sistemas para aquecimento de água utilizando a energia solar: o ativo e o passivo. O sistema ativo utiliza uma bomba para a circulação do fluido entre o coletor e o reservatório térmico, necessitando de sensores e um sistema de controle para seu funcionamento. No outro sistema, chamado passivo ou de circulação natural, a bomba é eliminada, sendo o coletor instalado num nível mais baixo do que o tanque (Figura 3). A circulação se dá por termossifão, iniciando quando a água do coletor começa a ser aquecida e se torna menos densa do que a água fria do fundo do reservatório, que flui para a entrada do coletor. A água aquecida no coletor solar se desloca para a sua parte superior e daí para o topo do reservatório térmico (PENEREIRO, 2010).

Figura 3 - Diagrama típico de um Sistema de aquecimento solar passivo



Fonte: Penereiro, 2010

Para Siqueira (2003), tais sistemas, isentos de bomba e controles mecânicos, são os mais utilizados por serem simples e de menor custo de aquisição, principalmente para pequenos sistemas de uso doméstico.

Os dois sistemas de aquecimento solares mais utilizados são o de Circulação em termossifão e o de Circulação forçada.

2.3.1 Circulação por termossifão

Dentro desta classificação destacam-se o tipo de circulação que pode ser passivo (termossifão), quando a circulação da água ocorre exclusivamente por

diferença de densidade ou ativo quando ocorre circulação forçada através de uma bomba.

Em âmbito nacional os sistemas solares de aquecimento de água mais empregados são do tipo de circulação em termossifão, e circulação forçada.

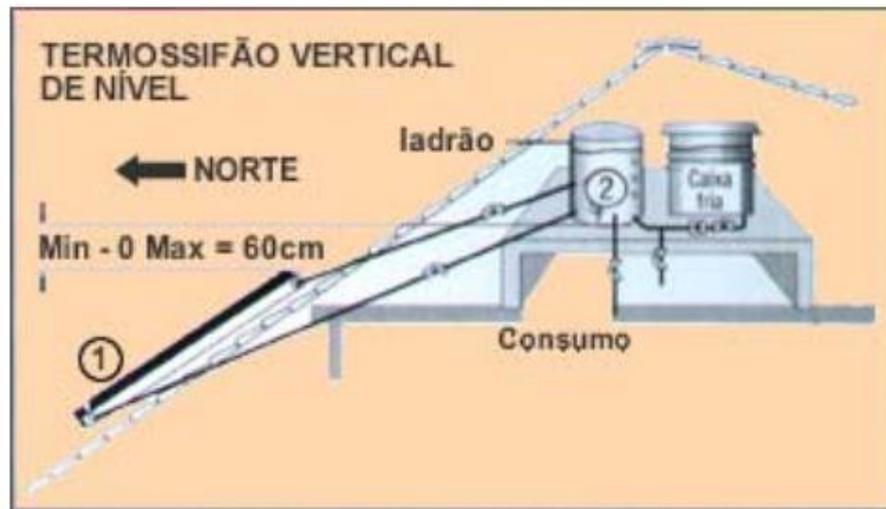
No sistema de circulação por termossifão, o depósito deve estar localizado acima do coletor. O fluido é empregado a diferentes temperaturas variando suas densidades, logo com o aquecimento do fluido, maior será a sua temperatura e menor a sua densidade. Assim, ao aquecer o fluido, este tem tendência de se separar, ficando o fluido mais quente na parte superior, e o mais frio na parte inferior.

Para Palz (1981), o processo de funcionamento do sistema de circulação em termossifão, é realizado pelo efeito da convecção da gravidade, fazendo com que em instalações de pequeno porte, o calor se mantenha em circulação, fazendo com que a água circule através do coletor.

O mesmo fluido a temperaturas diferentes tem também densidades diferentes, quanto maior é a sua temperatura menor a sua densidade. Por isso, quando se aquece um fluido, este tem tendência a estratificar-se ficando a parte mais quente na zona superior. No sistema de termossifão a água aquecida pelo sol no coletor sobe empurrando a água mais fria do depósito, forçando-a a tomar o seu lugar, descendo, para subir novamente quando, por sua vez for aquecida. O depósito deve ficar acima do coletor, senão dá-se o fenômeno inverso quando já não houver sol (termossifão invertido).

Estes sistemas são compostos pelo coletor solar, depósito acumulador, purgador, vaso de expansão e outros pequenos acessórios (PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2004). Conforme apresenta a Figura 4.

Figura 4 - Circulação em termossifão



Fonte: ASTROSOL

2.3.2 Circulação Forçada

Nos sistemas de Circulação Forçada, para ser realizada a circulação do fluido no sistema é necessário o emprego de bombas eletrocirculadora, essas bombas em sua maioria são comandadas por controle automático (o comando diferencial), mas também pode ser de controle semiautomático, dependendo das especificações do projeto. Geralmente a circulação forçada é empregada em grandes sistemas ou quando não é possível posicionar o reservatório acima do nível do coletor.

Quanto ao sistema de controle automático, este está regulado de modo a comandar a bomba, quando a diferença de temperatura entre os coletores e o reservatório atinja 5°C a bomba é acionada fazendo com que o sistema entre em funcionamento.

A Figura 5 apresenta um exemplo de sistema de circulação forçada que é formado por: 1 - Caixa d'água; 2 - Boiler; 3 - Coletor Solar; 4 – Respiro; 5 - Descida para os coletores; 6 - Retorno para os coletores; 7 - Alimentação de água fria; 8 - Consumo de água quente; 9 - Moto bomba; 10 - Termostato diferencial de temperatura (TDT); e outros pequenos acessórios (PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2004).

Figura 5 - Circulação forçada



Fonte: ASTROSOL

Para o processo de funcionamento do sistema de aquecimento solar para aquecimento de água, existem dois fatores primordiais que regem este sistema: a energia emanada pelo sol, e a água que será aquecida através da captação desta energia. Seu funcionamento dar-se-á através do aproveitamento de energia solar, consistindo na captação da radiação emitida e transferindo-a para um reservatório térmico (boiler) na forma de calor.

O corpo que recebe a energia solar pode ser dividido em três fases: absorvância (A) que é a parte absorvida, refletância (R) que é a parte refletida e transmitância (T) que é a parte transmitida. Este é basicamente o processo realizado pelo SAS. Aonde o seu desencadear vai resultar no aquecimento de água pela captação da energia solar.

A captação da radiação é realizada pelo coletor solar, e ocorre de maneira similar ao efeito estufa, os raios solares atravessam o vidro do coletor que é transparente para a luz, porém não para o calor, impedindo o mesmo de atravessar a fronteira de volta desta forma o calor incide sobre os corpos, aumentando gradativamente sua temperatura. Deste modo, absorvendo parte da luz incidida os corpos se aquecem, passando a irradiar o calor em forma de onda eletromagnética.

Baseado na teoria de absorção de energia de um corpo negro (corpo com alta capacidade de absorção de energia emitida pelos raios solares), a placa

absorvedora e a tubulação dos coletores solares são de cor escura, intensificando o calor originado pelos raios solares.

2.3.3 Temperatura ambiente

No Estado do Rio Grande do Sul, de acordo com a classificação climática de Koppen, existem dois tipos de climas: Cfa e Cfb. A letra C indica que o território gaúcho situa-se na faixa de climas subtropicais (temperados). A letra f indica que as precipitações pluviais médias são razoavelmente bem distribuídas, no sentido de que não há estação seca nem estação chuvosa bem definida. As letras “a” e “b” indicam que, em algumas regiões do Estado os verões são quentes (com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C) e, em outras, os verões são amenos. O clima Cfa é o que ocorre na maior parte do Estado. O clima Cfb ocorre somente nas regiões de maiores altitudes como Serra do Nordeste, Serra do Sudeste e Campos de Cima da Serra.

O clima da região de Santa Rosa é do tipo Cfa e caracteriza-se por precipitação pluvial bem distribuída nas estações do ano e total anual de 1.725 mm (Tabela 1). O número de dias de chuva por mês varia entre 7 (maio) e 10 (outubro e janeiro). Apesar de a precipitação ser bem distribuída nas estações do ano, é importante ressaltar que, durante os meses de verão ocorre maior demanda evaporativa da atmosfera (vaporização potencial) em função da maior disponibilidade de radiação solar e maior temperatura do ar. Em Santa Rosa, a vaporização potencial é de 119 mm no inverno e de 416 mm no verão.

Tabela 1: Variáveis meteorológicas de Santa Rosa (RS), nas estações do ano e anual, média de 1976 a 2005.

Variável meteorológica	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Anual
Temperatura do ar – média (°C)	25,4	20,8	16,0	20,9	20,8
Temperatura do ar – máxima (°C)	31,0	26,0	20,9	26,5	26,1
Temperatura do ar – mínima (°C)	19,8	15,7	11,2	15,4	15,5
Precipitação (mm)	423	429	374	499	1.725
Dias de chuva (nº)	26	23	23	27	99
Evapotranspiração potencial (mm)	416	236	119	244	1.016
Umidade relativa do ar (%)	74,9	78,9	76,3	69,4	74,8

2.4 OS COLETORES SOLARES

O coletor solar é um trocador de calor que transforma a energia solar radiante em calor. É um dispositivo concebido para absorver a maior quantidade possível de radiação solar, e transferir a maior parte desta radiação para um determinado fluido. São vendidos em módulos que podem ser acoplados entre si conforme a necessidade de energia de aquecimento (CHEN, 2011).

Os coletores são normalmente selecionados em função de sua aplicação, através da definição de características específicas para o uso pretendido. Os coletores solares devem ser resistentes às condições exteriores (clima, intempéries, etc.) e eficientes na conversão da energia compatível com o uso.

2.4.1 Coletor solar plano

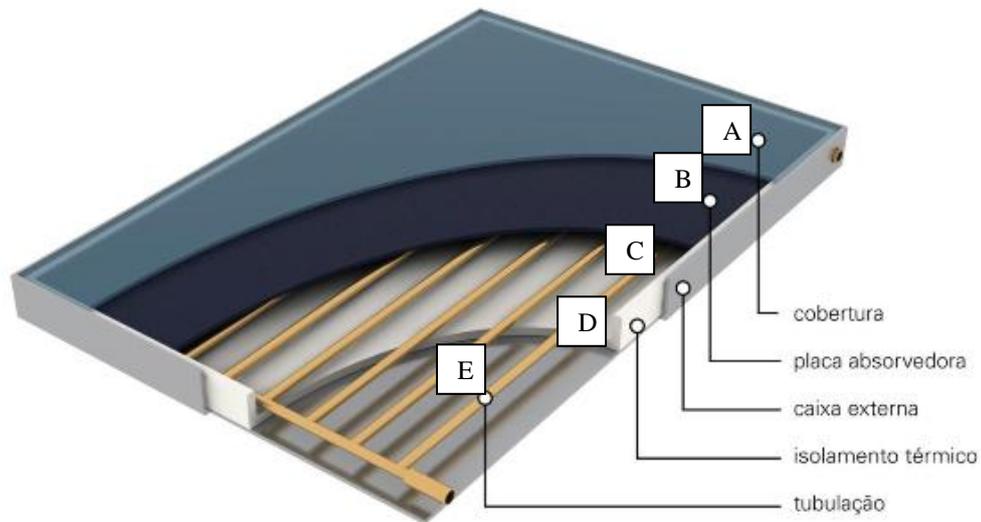
Nos coletores planos (Figura 6), o fluxo da radiação incidente (irradiância) é uniforme para toda a sua superfície coletora (CHEN, 2011). São equipamentos destinados a aquecer a água a temperaturas compatíveis ao uso sanitário e outras aplicações.

É o mais comum e destina-se a produção de água quente a temperaturas inferiores a 100°C. O uso dessa tecnologia ocorre principalmente em residências (objeto de estudo deste trabalho), mas há demanda significativa e aplicações em outros setores como edifícios públicos e comerciais, hospitais, restaurantes e hotéis ou pousadas.

Nesse tipo de sistema é possível alterar a potência do sistema realizando apenas a troca dos aquecedores, permitindo adequação da potência instalada ao longo da vida útil do sistema e das necessidades de seus usuários. Além disso, é possível trabalhar com diversos aquecedores para aquecimento de água de um mesmo reservatório, o que pode garantir potências mais elevadas e maior segurança quanto ao fornecimento de água quente (CHEN, 2011).

A utilização deste sistema de aquecimento é Praticada em diversos países, com a particularidade de utilização de caldeiras murais (ou piso) e troca de calor de forma indireta.

Figura 6 - Esquema aquecedor solar de placa plana



Fonte: Chen, 2011

O coletor solar plano é composto por diversos elementos responsáveis pelo melhor aproveitamento possível da radiação solar, conforme detalhado a seguir:

- Cobertura transparente (A): permite a passagem de grande parte da radiação solar (baixos comprimentos de onda) e retém grande parte da radiação emitida pela placa absorvedora.

Reduz as perdas de calor por convecção entre a placa absorvedora e o ambiente.

Representa uma barreira mecânica à ação meteorológica sobre a placa absorvedora. Este componente pode ser dispensado quando se deseja menores temperaturas para o aquecimento da água.

- Placa absorvedora (B): componente de um coletor solar que absorve parte da energia radiante e a transfere para um fluido.

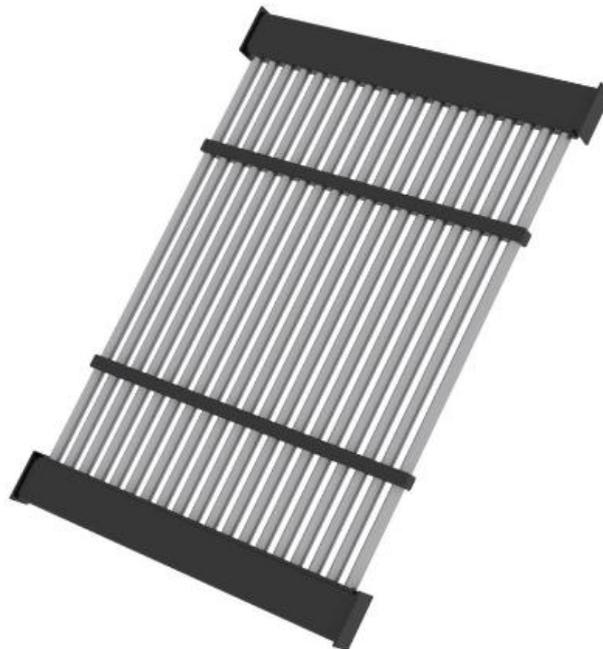
- Isolamento térmico (C): materiais de baixo coeficiente de condutividade térmica, e tem por objetivo reduzir as perdas de calor entre a placa absorvedora e a estrutura do coletor (caixa).

- Caixa (D): estrutura que protege todos os componentes da ação do meio ambiente. Deve ser estanque e ao mesmo tempo permitir a dilatação térmica dos componentes

- Tubulação do fluido (E): geralmente produzido em material metálico (bom condutor de calor), tem a finalidade de conduzir o fluido a ser aquecido e transferir a energia absorvida da placa absorvedora para o fluido.

O coletor solar sem cobertura permite a incidência dos raios do sol diretamente na placa absorvedora. Por não possuir cobertura não retém a radiação emitida pela placa absorvedora e produz aquecimento a temperaturas menores que a dos coletores com cobertura, o que os torna mais adequado para aplicações que exigem temperaturas mais baixas, como por exemplo, o aquecimento de piscina. A Figura 7 apresenta um exemplo de coletor sem cobertura (CHEN, 2011).

Figura 7 - Coletor plano sem cobertura



Fonte: Chen, 2011

A norma ABNT NBR 10184 (1988) estabelece os procedimentos para a determinação da eficiência instantânea do coletor e propõe que os testes de desempenho sejam realizados o mais próximo das condições reais de operação, estabelecendo métodos experimentais, requisitos de exatidão e condições meteorológicas.

O coletor solar plano tem a sua eficiência térmica definida como a relação entre a energia útil ganha pelo coletor e a radiação que chega ao seu plano.

A equação (1) representa a eficiência do coletor.

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G_r} = \frac{m C_p (T_s - T_e)}{A_c G_T} \quad (1)$$

Onde η é a eficiência (%), Q_u é a energia transferida à água (W), G_T é a radiação solar incidente no plano do coletor (W/m^2), A_c é a área do coletor (m^2), m é a vazão

da água (l/m), C_p é o valor específico da água (J/kg.°C), T_s é a temperatura de saída da água (°C) e T_e é a temperatura de entrada da água (°C).

A teoria dos coletores planos possibilita calcular a energia total de um coletor por meio da diferença entre a energia absorvida e as suas perdas térmicas, conforme apresentado na equação (2).

$$Q_u = A_c F_R [G_T (ra) - U_L (T_e - T_a)] \quad (2)$$

Onde F_R chamado fator de remoção de calor, representa a capacidade do coletor de transferir calor da placa para a água; $(\tau\alpha)$ é o produto da transmitância-absortância; U_L é o coeficiente global de perdas, que reúne todas as perdas térmicas do coletor e T_a é a temperatura ambiente. Com isso, a eficiência do sistema pode ser definida pela equação (3).

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c G_T} = F_R \left[(ra) - \frac{U_L (T_e - T_a)}{G_T} \right] \quad (3)$$

A equação apresenta um comportamento similar à equação de uma reta do tipo $Y = a + bx$, onde o termo “a” (constante) representa o coeficiente linear $R_{(T\alpha)}$ e a inclinação representada por “b”, o coeficiente angular FRUL.

2.4.1.1 A utilização do Sistema de Aquecimento Solar (SAS)

O componente “Sistema de Aquecimento Solar” com Coletores Planos (SAS) é composto pelos seguintes subcomponentes principais: Coletor Solar, Reservatório Térmico e Sistema de Aquecimento Auxiliar. Esses três subcomponentes principais interagem de forma a aproveitar a radiação solar convertida em calor para o aquecimento de água e armazená-la para a utilização.

Visando a substituição das tradicionais formas de energia, por uma fonte de eficiência energética e sustentabilidade encontramos diversas aplicações, entre elas podemos destacar a utilização de coletores para o aquecimento solar de água em ambiente residencial.

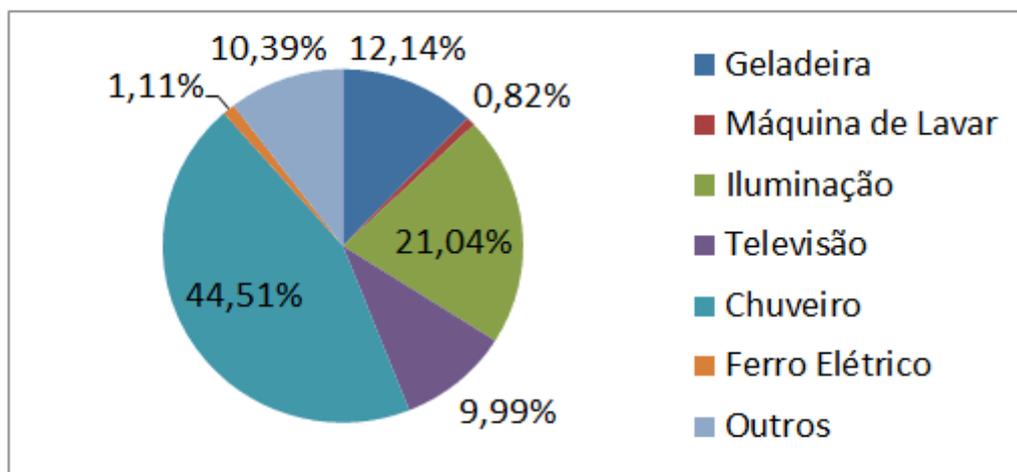
Diversos países realizaram pesquisas comprovando a eficiência técnico-econômica do sistema de aquecimento de água por aquecedores solares frente às

formas de aquecimento a gás e aquecimento elétrico (ALTOÉ *et al.* 2012 apud CRAWFORD; TRELOAR, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2008 e KALOGIROU, 2009).

No Brasil o setor residencial, os edifícios comerciais e públicos consomem uma grande parcela da energia elétrica nacional, cerca de 50% da energia consumida no país (BRASIL, 2010).

Utilizando o Sistema de Aquecimento Solar (SAS), é possível diminuir consideravelmente a utilização do chuveiro elétrico nos horários de pico, um dos equipamentos com maior índice de consumo de energia elétrica (ELETROBRAS, 2007). Conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8 - Estimativa de consumo de eletrodomésticos residencial urbano



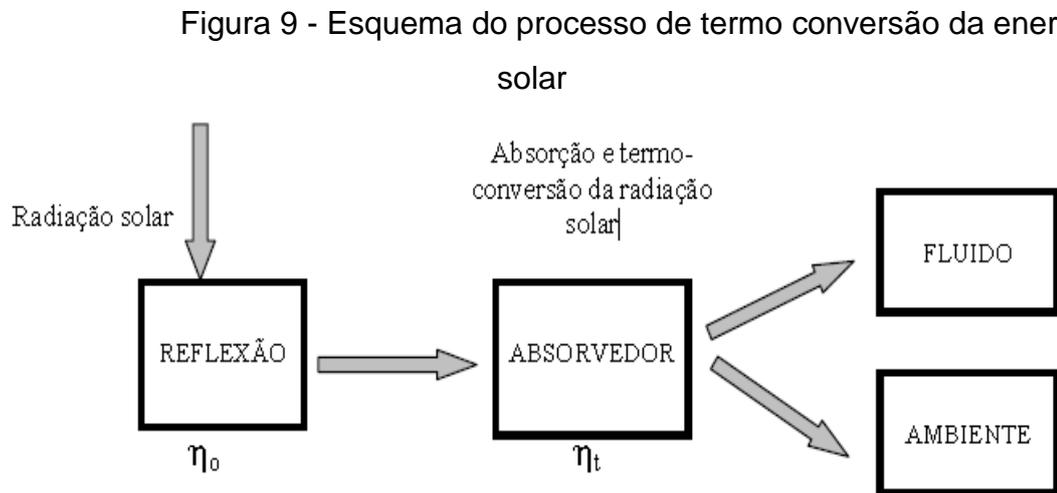
Fonte: Eletrobras; Copel, 2011.

Conforme Abrava (2008), cada m² de coletor solar instalado, utilizado durante um ano, equivale a 56 metros quadrados de áreas inundadas (hidrelétricas); 215 quilos de lenha; 66 litros de diesel; 55 quilos de gás.

2.4.1.2 Termo conversão

O processo para converter a radiação direta em energia solar térmica possui duas etapas, primeiro através da superfície de captação de energia a radiação é captada e refletida para o tubo absorvedor, segundo a radiação é transferida por convecção e por radiação ao fluido e ao ar atmosférico (FRAIDENRAICH, 1995; QUEIRÓZ, 2005; LION, 2007 *apud* TEIXEIRA; CARVALHO; LEITE (2011).

Consistindo este processo basicamente em absorver a radiação solar e transferi-la para um reservatório térmico na forma de calor. Conforme Figura 9.



Fonte: Teixeira, Carvalho e Leite, 2011

2.4.2 Coletores concentradores

Para atingir temperaturas mais elevadas é preciso diminuir as perdas térmicas do receptor. Estas são proporcionais à superfície deste. Reduzindo-a em relação à superfície de captação, consegue-se reduzir as perdas térmicas na proporção dessa redução.

Os sistemas assim concebidos chamam-se concentradores, e concentração é precisamente a relação entre a área de captação (a área de vidro que serve de tampa á caixa) e a área de recepção.

Acontece que, quanto maior é a concentração menor é o ângulo com a superfície dos coletores segundo o qual têm que incidir os raios solares para serem captados pelo que o coletor tem de se manter sempre perpendicular aos raios solares, seguindo o sol no seu movimento aparente diurno.

Esta é uma desvantagem, pois o mecanismo de controle para fazer o coletor seguir a trajetória do sol, é bastante dispendioso e complicado, para além de só permitir a captação da radiação direta (PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2004). A Figura 10 apresenta um modelo de coletor concentrador.

Figura 10 - Coletor concentrador



Fonte: Portal das Energias Renováveis

2.4.3 CPC ou coletores concentradores parabólicos

CPC ou coletores concentradores parabólicos (Figura 11). O desenvolvimento da óptica permitiu muito recentemente a descoberta de um novo tipo de concentrador (chamados CPC ou Winston) que combinam as propriedades dos coletores planos (também podem ser montados em estruturas fixas e têm um grande ângulo de visão o que também permite a captação da radiação difusa) com a capacidade de produzirem temperaturas mais elevadas ($>70^{\circ}\text{C}$), como os concentradores convencionais do tipo de lentes.

Figura 11: Coletor concentrador parabólico



Fonte: Portal das Energias Renováveis

A diferença fundamental entre coletores parabólicos e planos é a geometria da superfície de absorção, que no caso dos CPC's a superfície absorvedora é constituída por uma grelha de aletas em forma de acento circunflexo, colocadas por cima de uma superfície refletora. A captação solar realiza-se nas duas faces das aletas já que o sol incide na parte superior delas e os raios que são refletidos acabam por incidir na parte inferior das aletas, aumentando assim ainda mais a temperatura do fluido e diminuindo as perdas térmicas (PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2004).

2.5 TANQUES DE ARMAZENAMENTO

Como a radiação solar não é constante ao longo do dia se faz necessário o uso de um reservatório térmico capaz de armazenar a energia absorvida para possibilitar o uso do sistema em períodos sem radiação solar, ou quando esta é muito baixa.

Para manter a água aquecida, o reservatório térmico deve contar com um baixo coeficiente de troca térmica com o ambiente, utilizar materiais que sejam resistentes à corrosão, que tenham uma boa rigidez estrutural e suportem temperaturas entre 60°C e 80°C, faixa normalmente utilizada nos sistemas domésticos. A união destes requisitos acaba levando ao uso do aço inoxidável, podendo ser utilizados outros metais como o cobre, que apesar de seu alto coeficiente de condução térmica (385 W/mK), também é utilizado. A Figura 12 apresenta um modelo de Reservatório Térmico.

Figura 12: Tanque de armazenamento de fabricação nacional



Fonte: Soletrol, 2004

Para garantir um bom isolamento térmico, o tanque metálico é normalmente recoberto por um bom material isolante (lã de vidro e poliuretano), com coeficientes de condução térmica na ordem de 0,03 a 0,04 W/mK. Um encapsulamento de aço galvanizado ou alumínio garante um bom acabamento e certa rigidez ao sistema

2.5.1 Estratificação térmica

No processo de estratificação térmica, o fluido no interior do reservatório distribui-se em três regiões distintas: uma região onde o fluido é quente, fluido este proveniente de um sistema de captação qualquer; uma região fria, alimentada pelo fluido que retorna de um sistema de utilização; e outra região intermediária, que separa as duas precedentes e está submetida a um considerável gradiente de temperatura. A curva que representa a história da temperatura do fluido em estratificação ao longo da altura do tanque é denominada de termoclina (PADILHA, 1982).

De acordo com Padilha (1982), um dos fatores que prejudica a estabilidade da estratificação, além das perdas externas, é as denominadas correntes convectivas que aparecem no interior do fluido de trabalho, acelerando a degradação da estratificação. Este efeito faz com que o armazenador anteriormente num estado estratificado caminhe para um estado homogêneo. Os vários estágios da degradação da estratificação térmica no interior do armazenador são registrados pelas termoclinas. O conhecimento do comportamento das termoclinas servirá para a seleção de tanques em projetos de sistemas térmicos em função dos parâmetros de operação da fonte quente e da carga.

Conforme Loehrke *et al.* (1979), recentemente considerável atenção tem sido dada às técnicas que podem ser utilizadas para promover e manter a estratificação térmica em tanques de armazenamento. Dentre essas, destaca-se a utilização de um tubo de distribuição tipo chuveiro. A utilização desse dispositivo mostrou-se uma técnica bastante promissora, embora restrita a grandes vazões. Nesse caso, um tubo para injeção de líquido com orifícios em torno de sua circunferência é utilizado para distribuir e reduzir a quantidade de movimento do fluido na entrada do tanque e conseqüentemente minimizar a mistura entre as massas de diferentes temperaturas.

2.5.2 Coeficientes de perdas no reservatório

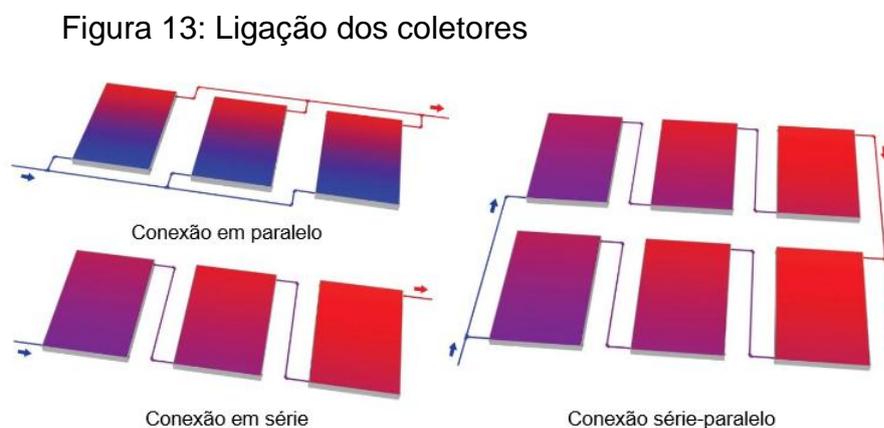
O coeficiente global de perdas térmicas (UL) dos reservatórios é definido considerando: convecção interna, condução pelas paredes, convecção e radiação nas paredes externas.

Nos sistemas de aquecimento de água por energia solar o reservatório térmico pode ser considerado como o coração do sistema, pois tanto a água quente vinda dos coletores como do aquecedor auxiliar convergem para ele. Para que a água contida no reservatório não libere calor para o ambiente devem ser utilizados reservatórios com baixo coeficiente global de perdas térmicas.

Lafay (2005) relata que determinou o coeficiente global de perdas térmicas do reservatório através da divisão da potência fornecida por uma resistência elétrica instalada no fundo do tanque para manter a temperatura da água em um certo valor pela diferença entre a temperatura do ar ambiente e a temperatura da água. Ressalta, ainda, que o método tem a vantagem de ser independente do conhecimento do volume do tanque e da sua área, assim como do material e da espessura do isolamento.

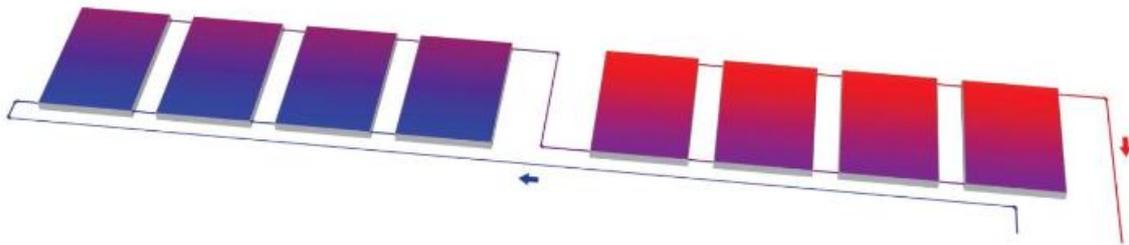
2.6 INSTALAÇÃO

De acordo com Chen (2011), os coletores solares devem ser instalados, e interligados entre si, conforme orientação do fabricante, devendo ser verificado o sentido do fluxo da água e a configuração do sistema. Como princípio básico de interligação dos coletores, resumindo as associações em: paralelo, em série ou misto, conforme a Figura 13.



As ligações em série (Figura 14) permitem que um determinado volume de água obtenha uma maior temperatura de água em função do maior tempo de percurso dentro dos coletores.

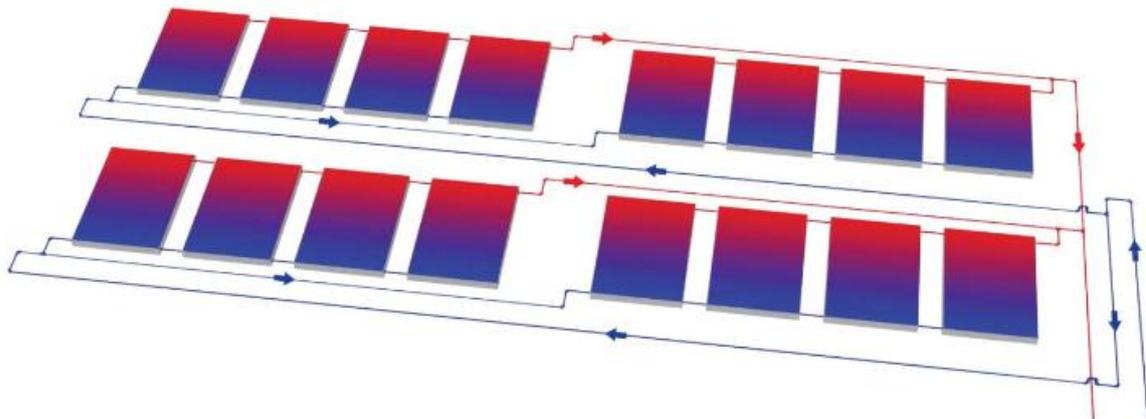
Figura 14: Ligação de conjuntos de coletores em série



Fonte: Chen, 2011

No entanto, temperaturas elevadas tendem a reduzir a eficiência de troca de calor, entre a água e o coletor. Dessa forma, evitam-se muitos coletores ligados em série mesclando o sistema com fileiras de coletores em paralelo, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 15: Ligação de conjuntos de coletores em paralelo



Fonte: Chen, 2011

O critério para a seleção dos coletores em série e paralelo são muito divergentes conforme a referência a ser utilizada

Essa divergência normalmente ocorre vinculada às diferenças das características específicas dos coletores solares ou dos sistemas de circulação adotados (características das bombas de circulação). Recomenda-se a consulta aos

fabricantes de coletores solares para identificação da associação mais eficiente (CHEN, 2011).

2.6.1 Plano de inclinação

O posicionamento do conjunto de coletores solares é essencial para o desempenho do sistema de aquecimento solar e sua compreensão possibilita a construção de instalações mais eficientes, onde se aproveita melhor a radiação do sol.

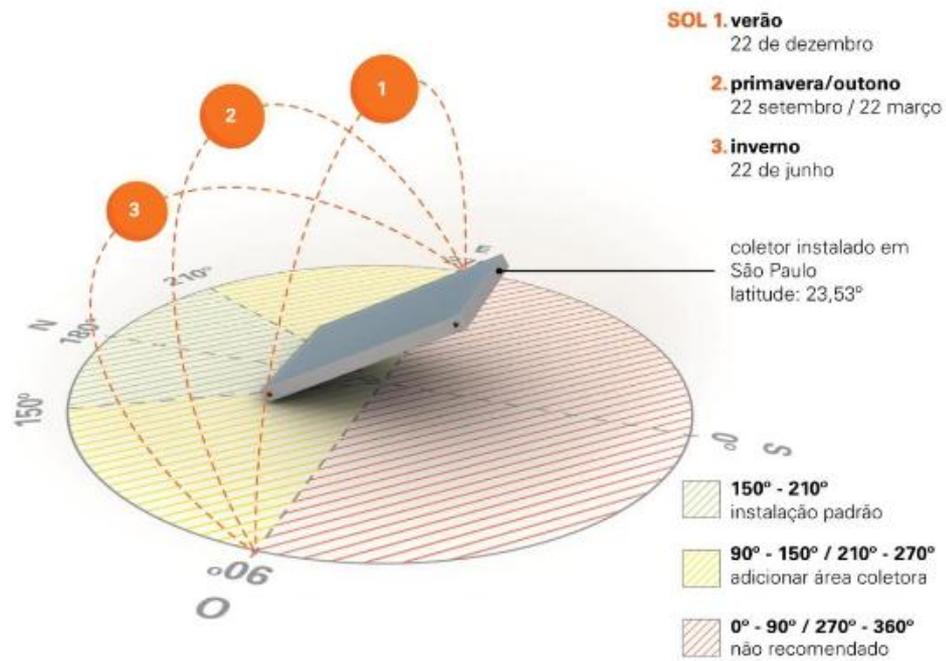
A inclinação em relação ao plano horizontal e a direção de instalação dos coletores solares são os dois elementos que influenciam o dimensionamento do sistema de aquecimento solar. Os coletores solares devem estar expostos ao sol de tal forma que a incidência da radiação solar atinja o coletor o mais que possível perpendicularmente. Como há uma variação da inclinação do sol, conforme a época do ano, os coletores são instalados com uma inclinação que maximiza e uniformiza, mês a mês, a incidência da radiação solar durante o período de um ano (CHEN, 2011).

Como regra básica, identificada em diversas metodologias internacionais, é recomendado que a instalação apresente uma inclinação equivalente à latitude da região onde será instalado o sistema solar, somando-se 10° .

Dependendo da fonte onde é pesquisada a radiação solar incidente do local existe a informação da melhor inclinação para a otimização do aproveitamento.

Além da inclinação, os coletores devem estar direcionados simétricos em relação à trajetória do sol, posição que permite o maior tempo de incidência do sol ao longo do dia. O maior aproveitamento ocorre quando os coletores solares são direcionados para o Norte Geográfico (quando instalados no hemisfério Sul como no caso do Brasil). A instalação pode ser realizada dentro de uma faixa de tolerância da direção, conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16: Trajetória do sol e desvio do Norte geográfico (ângulos azimutais de superfície)



Fonte: Chen, 2011

3 METODOLOGIA

Na metodologia serão apresentados os métodos e técnicas, os materiais e equipamentos utilizados para a análise dos resultados e o desenvolvimento do trabalho.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

O trabalho apresentado teve desenvolvimento a partir de pesquisa exploratória, cujas características são de inovações tecnológicas e de adquirir alternativas para a o uso do conhecimento científico além de pesquisa em referenciais bibliográficos para elaboração do conceito. Conforme Jung (2014). Consistindo na análise de cinco diferentes casos, para serem simulados no software Sistema de Dimensionamento Transsen, oportunizando calcular a área do coletor e a capacidade do reservatório térmico, baseados nos pontos de consumo e na vazão adotada para cada caso. Os casos analisados foram respectivamente, programa Minha Casa Minha Vida, classe média, residências construídas no ano de 2010 até 2013, classe alta, 10% do total de residências do município, sendo simulada a viabilidade dos sistemas para as residências do programa Minha Casa Minha Vida, classe média e classe alta.

A cidade referencia para estudo foi Santa Rosa situado no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, cujo clima subtropical é caracterizado por verões quentes e invernos frios. A proposta consiste em analisar três diferentes classes residenciais, dentre os cinco casos propostos: 1- Programa Minha Casa Minha Vida, 2- Classe média, 3-Classe alta. Sendo cada residência habitada por quatro integrantes. Dentre as classes analisadas será realizada a potencial economia de energia das residências. Sendo que a água originária do aquecimento é utilizada para o banho e outras atividades do dia-a-dia, conforme apresentado na tabela 3.

A monografia reportará dois horários de banho ao dia, 6-7h (manhã) e 19-20h (noite), horários de pico de energia. Esses são horários críticos, pois logo de manhã não há possibilidade de água de aquecimento solar, e à noite, dependendo da capacidade do reservatório, não há como repor a água gasta para vários banhos.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para a realização do trabalho foram necessários alguns equipamentos e recursos destinados ao estudo e desenvolvimento do trabalho.

- Livros específicos sobre sistemas de aquecimentos solares, radiação solar, fontes alternativas de energia etc.;
- Livros, revistas, manuais, e outros, que abordam o tema trabalho;
- Software de dimensionamento (Transsen).

3.3 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA

A pesquisa de levantamento de dados sobre o total de residências construídas na cidade de Santa Rosa – RS, ocorreu de duas maneiras distintas, sendo a primeira efetuada por meio de pesquisas bibliográficas, a figura 17 exprime o levantamento das residências até o ano de 2010 (dados do censo do IBGE 2010). Para os anos subsequentes foi realizada uma coleta de dados junto à prefeitura municipal entre outras entidades da cidade conforme tabela 2. Onde se encontram os dados de residências construídas nos anos de 2010 até 2013.

Figura 17 - Levantamento das residências até o ano de 2010

CENSO 2010		RIO GRANDE DO SUL				D E			
Código do município	Nome do município	Total de domicílios particulares ocupados	Total de domicílios particulares não-ocupados fechados	Total de domicílios particulares não-ocupados de uso ocasional	Total de domicílios particulares não-ocupados vagos	Total de domicílios particulares	Total de domicílios coletivos	Total de domicílios coletivos com morador	Total de domicílios coletivos sem morador
4316303	Roque Gonzales	2.399	0	127	219	2.745	2	0	2
4316402	Rosário do Sul	13.177	15	728	1.012	14.932	18	7	11
4316428	Sagrada Família	854	0	5	76	935	0	0	0
4316436	Saldanha Marinho	1.040	0	50	86	1.176	3	1	2
4316451	Salto do Jacuí	3.880	0	146	504	4.530	12	5	7
4316477	Salvador das Missões	895	0	7	62	964	2	0	2
4316501	Salvador do Sul	2.189	0	121	156	2.466	4	4	0
4316600	Sananduva	5.336	0	199	438	5.973	5	1	4
4316709	Santa Bárbara do Sul	3.064	0	143	303	3.510	11	2	9
4316733	Santa Cecília do Sul	533	0	31	46	610	0	0	0
4316758	Santa Clara do Sul	1.915	5	44	132	2.096	4	4	0
4316808	Santa Cruz do Sul	40.368	174	1.470	2.903	44.915	91	64	27
4316972	Santa Margarida do Sul	808	0	228	147	1.183	0	0	0
4316907	Santa Maria	87.228	294	6.251	7.181	100.954	110	80	30
4316956	Santa Maria do Herval	2.036	0	214	183	2.433	0	0	0
4317202	Santa Rosa	23.375	0	437	972	24.784	25	21	4
4317251	Santa Tereza	567	1	129	71	768	5	1	4
4317301	Santa Vitória do Palmar	11.111	136	4.155	1.658	17.060	67	30	37
4317004	Santana da Boa Vista	2.948	6	726	411	4.091	5	2	3
4317103	Sant'Ana do Livramento	27.355	55	1.724	2.543	31.677	56	30	26
4317400	Santiago	17.234	0	988	1.229	19.451	20	13	7
4317509	Santo Ângelo	25.727	43	713	1.964	28.447	51	23	28

Fonte: Censo do IBGE, 2010

Tabela 2. Expressa o número de residências construídas no município de Santa Rosa nos anos de 2010 até 2013, totalizando 3.621 residências, destas uma parcela de 50% está enquadrada pelo programa Minha Casa Minha Vida 35% são residências de classe média e 15% residências de alto padrão.

Tabela 2: Residências construídas nos anos de 2010 até 2013.

Ano	Domicílios construídos na cidade de Santa Rosa RS
2010	1024
2011	853
2012	857
2013	887
Total	3621
Média	906

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os cálculos para o dimensionamento do reservatório térmico e do coletor solar e a análise de viabilidade econômica de implantação dos sistemas solares.

4.1 DIMENSIONAMENTO

Para o correto dimensionamento e melhor compreensão do sistema de aquecimento solar, os cálculos foram divididos em duas etapas:

1. Cálculo do volume de água quente a ser gasto diariamente.
2. Cálculo de área dos coletores.

O dimensionamento do reservatório térmico, deve ser proporcional ao consumo de água quente consumida, para isto é necessário estabelecer os pontos de consumo que serão interligados ao sistema, conforme apresentado na tabela 3 e a quantidade de usuários por residência.

Tabela 3 - Pontos de Consumo de água quente

Ponto de Consumo	Volume de Água
Banho	50 litros / pessoa
Lavatório e Bidê	5 litros
Banheira Simples para 1 pessoa	100 litros
Banheira Dupla para 2 pessoas	200 litros
Cozinha	10 litros / pessoa
Lavanderia	20 litros / kg de roupa seca

Fonte: Soletrol

Conforme mencionado o chuveiro é o equipamento que demanda o maior consumo de energia, por esse motivo é importante dimensionar a vazão dos chuveiros empregados no sistema. Em chuveiros com maior pressão e com maior dimensão da ducha o consumo de água quente será maior, conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Classificação das Vazões

Classificação	Classificação
Igual ou menor a 3 litros/minuto	Desconfortável. É a vazão que ocorre nos chuveiros elétricos de potência baixa.
De 3 a 4 litros/minuto	Conforto reduzido. É a vazão padrão para a grande maioria dos chuveiros elétricos de potência média.
De 4 a 5 litros/minuto	Vazão razoável. É obtida por chuveiros elétricos de alta potência. É a vazão indicada para residências de padrão médio.
De 5 a 6 litros/minuto	Conforto bom. É a vazão normalmente adotada nas aplicações residenciais.
De 6 a 8 litros/minuto	Conforto ótimo. Comum em residências de padrão médio e alto. Dependendo da pressão do sistema, é necessária a instalação de dispositivos de controle de vazão.
De 8 a 10 litros/minuto	Extremamente confortável. São vazões ainda aceitáveis, porém o tamanho do sistema de aquecimento solar pode ficar muito grande.
Acima de 10 litros/minuto	Vazão exagerada. Ficando caracterizado o desperdício de água. Se o tamanho do sistema não for compatível, o consumo de energia no sistema complementar será muito alto.

Fonte: Soletrol

Em média o tempo de banho de uma pessoa normal é aproximadamente 10 minutos, desta forma será adotado este valor para os cálculos de consumo de banho por pessoa. Conforme mencionado no Capítulo 3, a monografia reportará 2 banhos ao dia por integrante. Sendo o consumo de banho é dado pela equação (4).

$$Cb = Q \times t \quad (4)$$

Onde, Cb é o Consumo de água quente por banho (litros), Q é a Vazão ou Volume de água (Litros/minuto), t é o tempo de banho (minutos).

A tabela 3 estabelece o consumo médio nos diversos pontos possíveis de consumo de água quente em uma residência baseado em uma vazão de 5 litros/minutos, e que deverão ser considerados no cálculo final do volume do reservatório térmico, porém para cada vazão deverá ser realizado novos cálculos de consumo para os pontos de uso.

Pode-se obter o volume diário de água quente em uma residência através do levantamento dos consumos individuais dos pontos de uso. O volume diário de água quente é dado pela equação (5).

$$V_{consumo} = \sum (M_{pu} \times T_u \times f) \times N \quad (5)$$

Onde, $V_{consumo}$ é o volume total de água quente consumido diariamente na edificação (l/dia), \sum é um Somatório, M_{pu} é a vazão da peça de utilização (l/min), T_u é

o tempo médio de uso diário da peça de utilização (min), f é o número total de utilização da peça por dia, N é a quantidade de pessoas residentes na edificação

O V_{consumo} é o volume máximo utilizado, porém para se determinar o tamanho do reservatório é necessário calcular o VMA volume máximo de armazenagem, ou seja, a fração de mistura de água quente e água fria que vai circular no reservatório e no coletor. Apresentado pela equação (6), onde a Temperatura de consumo é 40°C .

$$V_{MA} = V_{\text{consumo}} \times (T_c - T_1) / (T_2 - T_1) \quad (6)$$

Onde, VMA é o Volume Máximo de Armazenagem (l/dia), T_c é a Temperatura de Consumo ($^{\circ}\text{C}$), T_1 é a Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), T_2 é a Temperatura Final ($^{\circ}\text{C}$).

O tamanho do aquecedor, dado pela área da placa coletora e pelo volume do reservatório térmico é, basicamente, uma função da insolação média local, do número de usuários, da temperatura requerida para a água, da quantidade de água consumida por banho e do número de banhos de cada usuário.

A Norma Técnica Brasileira, NB 128/ABNT, que rege a instalação de água quente no Brasil, fornece as seguintes especificações para o aquecimento de água residencial: temperaturas usuais para uso pessoal em banhos ou higiene: 35° a 50°C ; cozinhas (dissolução de gorduras) 60° a 70°C . Confirmando essa Norma, diversos autores adotam o consumo médio diário entre 30 e 50 litros por pessoa, a uma temperatura entre 50° e 60°C . (ABNT), podendo os valores adotados no projeto sofrerem alterações, dependendo das exigências e costumes dos futuros usuários. Portanto será considerando uma margem de segurança de água quente $\equiv 15\%$. Esta margem será acrescida para determinar o dimensionamento final do reservatório térmico.

Para a análise de cálculos de área dos coletores solares será utilizada uma temperatura final de 50°C para a água aquecida (T_2), sendo a Temperatura média ambiente para o município de $20,8^{\circ}\text{C}$ (T_1), e a temperatura de consumo de 40°C (T_c). Portanto, a variação de temperatura será estabelecida pela equação 7.

$$\Delta_T = T_2 - T_1 \quad (7)$$

Onde, Δ_T é a Variação de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), T_1 é a Temperatura inicial (ambiente), T_2 é a Temperatura Final.

Será considerando o rendimento dos coletores solares de 60%, e considerando o tempo médio de funcionamento dos coletores de 07 horas, verifica-se uma insolação média I igual a $0,95 \text{ cal/cm}^2\cdot\text{min}$. Para o Cálculo de área dos coletores será utilizado a Equação (8).

$$S = Q / I \cdot n \quad (8)$$

Onde, S é a área dos coletores solares (m^2), Q é a Quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de uma determinada quantidade de água em $x^\circ \text{C}$, I é a Intensidade da radiação solar ($\text{cal/cm}^2\cdot\text{min}$), n é o Rendimento do coletor, fornecido pelo fabricante.

4.2 CÁLCULOS

Será apresentado no capítulo 4 os cálculos de Volume de consumo máximo, Volume de armazenamento, reservatório térmico e área do coletor além de análise de viabilidade utilizando o software Transsem.

4.2.1 Residências enquadradas no programa Minha Casa Minha Vida ano de 2010 até 2013

A análise de residências do programa Minha Casa Minha Vida, foram extraídas da tabela 2. Será considerada para este caso uma vazão de 3 litros/minuto. Encontrando um Consumo de banho (C_b) de 240 litros por dia. Considerando que a água quente será utilizada nos pontos de consumo mencionado na tabela 5. O volume de consumo máximo será de 324 litros e o volume de armazenamento de 213 litros.

Tabela 5: Pontos de Consumo, residências do programa minha casa minha vida.

Ponto de Consumo	Integrantes / Volume de Água		Total (litros)
Banho	4	30 litros x 2 banhos	240
Lavatório e Bidê	4	3 litros	12
Banheira Simples para 1 pessoa	4	X	X
Banheira Dupla para 2 pessoas	X	X	X
Cozinha	4	6 litros	24
Lavanderia	4	12 litros / kg de roupa seca	48
	Total		324

Deste modo será utilizado um reservatório térmico de 300 litros de capacidade.

Os cálculos de área dos coletores serão encontrados pela equação (8), considerando o tempo médio de funcionamento dos coletores de 07 horas, o volume total de água de 300 litros, por um período de 7 horas por dia, corresponde a 42,8 litros/hora, ou seja, 42,8 Kg/hora. Chegando a uma área (S) de 3,6 m².

Considerando uma média 453 residências/ano pelo programa minha casa minha vida, o valor total de área de coletores (S) de 1631 m²/ano.

4.2.2 Residência de classe média

Para a análise de residências de classe média, será considerada uma vazão de 6 litros/minuto. O Consumo de banho encontrado é de 480 litros. Considerando que a água quente será utilizada nos pontos de consumo mencionado na tabela 6. O volume de consumo máximo será de 678 litros e o volume de armazenamento de 452 litros.

Tabela 6: Volume de consumo de água quente

Ponto de Consumo	Integrantes / Volume de Água		Total (litros)
Banho	4	60 litros x 2 banhos	480
Lavatório e Bidê	4	6 litros	24
Banheira Simples para 1 pessoa	4	100 litros (40% utilização)	40
Banheira Dupla para 2 pessoas	X	X	X
Cozinha	4	12 litros	48
Lavanderia	4	24 litros / kg de roupa seca	96
	Total		678

Deste modo para uma residência de classe média será utilizado um reservatório térmico de 500 litros de capacidade.

Considerando o tempo médio de funcionamento dos coletores de 7 horas, o volume total de água de 500 litros, por um período de 7 horas por dia, corresponde a 71,4 litros/hora, ou seja, 71,4 Kg/hora. A área dos coletores (S) é igual a 6 m².

Deste modo, para se aquecer 500 litros de água diariamente a uma temperatura em torno de 50°C será necessária uma área total de 6 m² de coletores solares. Considerando uma média 317 residências/ano de classe média, o valor total de área de coletores (S) de 1902 m²/ano.

4.2.2.1 Residências construídas no município ano de 2010 até 2013

Para a análise de residências construídas no município de Santa Rosa - RS, a partir do ano de 2010 até o ano de 2013, considerando uma vazão de 5 litros/minuto. Os valores encontrados foram de 400 litros/dia para Consumo de banho (C_b), O volume de consumo máximo (V_{consumo}) será de 540 litros e o volume de armazenamento (V_{MA}) de 355 litros. A água quente será utilizada nos pontos de consumo mencionado na tabela 7.

Tabela 7: Pontos de Consumo de Residências construídas no município ano de 2010 até 2013.

Ponto de Consumo	Integrantes / Volume de Água		Total (litros)
Banho	4	50 litros x 2 banhos	400
Lavatório e Bidê	4	5 litros	20
Banheira Simples para 1 pessoa	4	X	X
Banheira Dupla para 2 pessoas	X	X	X
Cozinha	4	10 litros	40
Lavanderia	4	20 litros / kg de roupa seca	80
	Total		540

Deste modo será utilizado um reservatório térmico de 400 litros de capacidade. Apresentando uma área total dos coletores (S) de 5 m².

Deste modo, para aquecer 400 litros de água diariamente a uma temperatura em torno de 50°C será necessário uma área total de 5 m² de coletores solares por residência. Considerando a média de residências do município de 906 casas por ano, a área total de coletores para residências construídas dentre os anos de 2010 á 2013 será de 4530 m²/ano.

4.2.3 Residências de Alto Padrão construídas nos ano de 2010 até 2013

Para as residências de alto padrão, será considerado uma vazão de 8 litros/minuto. Os valores encontrados foram de 640 litros/dia para Consumo de banho (C_b), O volume de consumo máximo (V_{consumo}) será de 944 litros e o volume de armazenamento (V_{MA}) de 621 litros. Considerando que a água quente será utilizada nos pontos de consumo mencionado na tabela 8.

Tabela 8 - Pontos de Consumo em residências de Alto padrão

Ponto de Consumo	Integrantes / Volume de Água		Total (litros)
Banho	4	80 litros x 2 banhos	640
Lavatório e Bidê	4	8 litros	32
Banheira Simples para 1 pessoa	4	X	X
Banheira Dupla para 2 pessoas	4	200 litros (40% utilização)	80
Cozinha	4	16 litros	64
Lavanderia	4	32 litros / kg de roupa seca	128
Total			944

O reservatório térmico utilizado que melhor se ajusta é o reservatório térmico de 700 litros de capacidade. Sendo a área total dos coletores de 8,5 m². Deste modo, para aquecer. Considerando a média de residências de alto padrão de 136 residências/ano, o valor total de área de coletores é de 1156 m²/ano.

4.2.3.1 10% do total de residências construídas até o ano de 2013

Considerando 10% do valor total de residências até o ano de 2013, estas representam 2.738 residências. Utilizando uma vazão de 5 litros/minuto, os valores encontrados para Consumo de banho, Volume máximo de Consumo e Volume de armazenamento respectivamente de 400, 540 e 355 litros. Considerando que a água quente será utilizada nos pontos de consumo mencionado na tabela 9.

Tabela 9 - Pontos de Consumo do total de residências do município até 2013.

Ponto de Consumo	Integrantes / Volume de Água		Total (litros)
Banho	4	50 litros x 2 banhos	400
Lavatório e Bidê	4	5 litros	20
Banheira Simples para 1 pessoa	4	X	X
Banheira Dupla para 2 pessoas	X	X	X
Cozinha	4	10 litros	40
Lavanderia	4	20 litros / kg de roupa seca	80
Total			540

Deste modo será utilizado um reservatório térmico de 400 litros de capacidade. Com área dos coletores de 5 m².

Portanto 10% das residências construídas no município necessitam de uma área total de coletores de S = 13690 m²/ano.

4.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

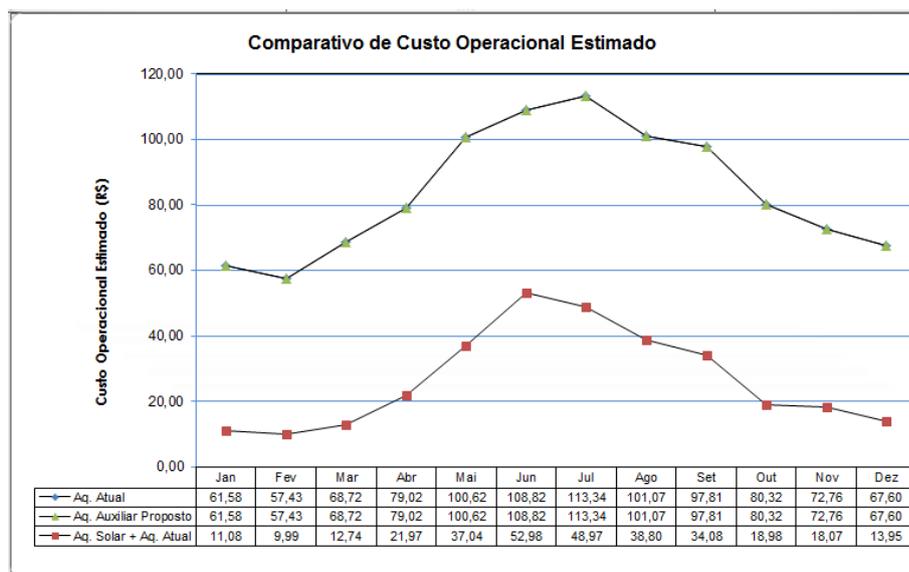
Utilizando o software para dimensionamento foi possível realizar a análise de viabilidade econômica para os três casos propostos. Sendo os dados estabelecidos de acordo com a sistemática do software.

1. Estimativa do Consumo Diário de Água Quente
2. Dimensionamento da Área Coletora e Volume do Reservatório Térmico
3. Dimensionamento do Sistema de Aquecimento Auxiliar
4. Desempenho do Sistema de Aquecimento Solar
5. Especificação Técnica e Relação de Equipamentos
- 5.1 Orçamento e Relação de Equipamentos Opcionais
6. Análise de Investimento

Chegando as seguintes informações:

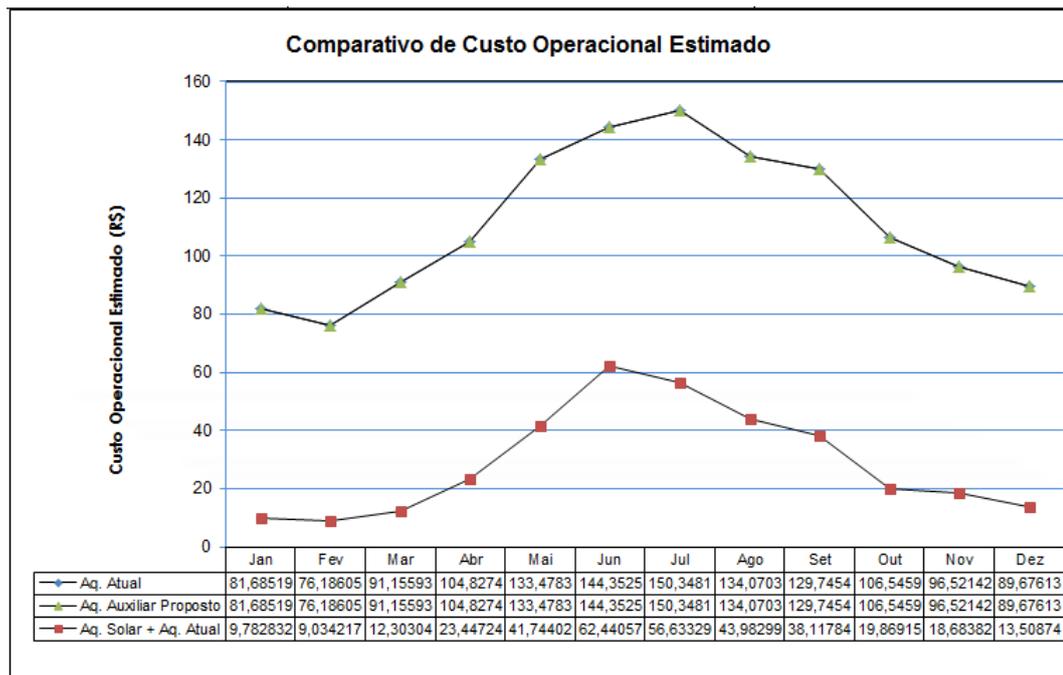
Para o programa Minha Casa Minha Vida, o valor total do sistema solar foi de R\$ 5.971,00. O desempenho do Sistema de Aquecimento Solar foi de 68% ocasionando uma demanda econômica anual de R\$ 690,44 tendo como pico de consumo os meses de Junho e Julho. Conforme a Figura 18. E retorno do investimento em aproximadamente 8,6 anos.

Figura 18: Comparativo de Custo Operacional - Programa minha casa minha vida



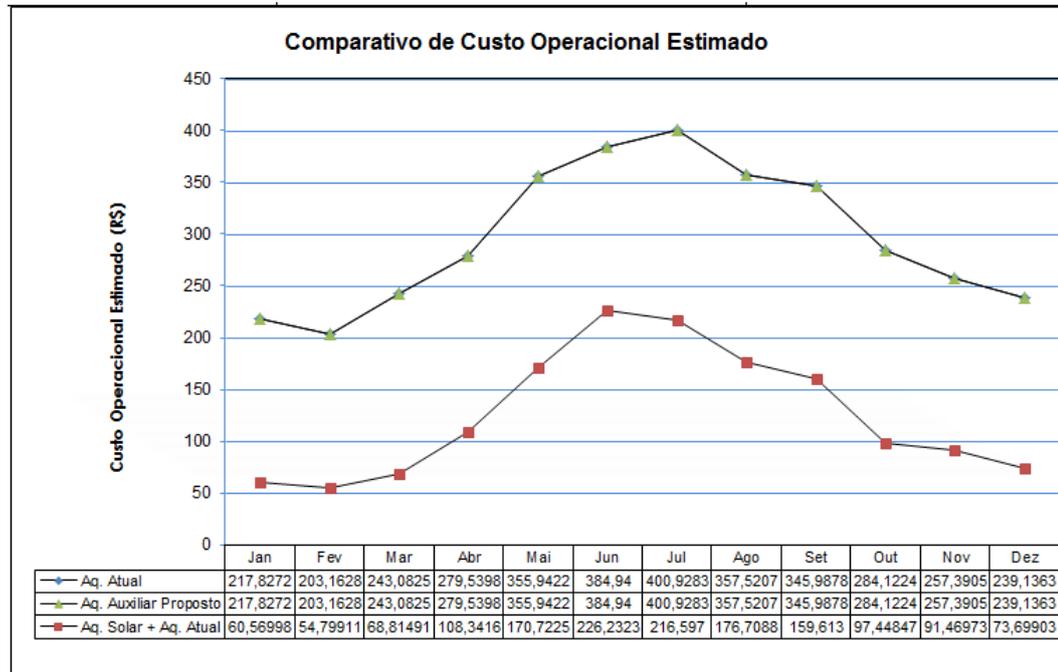
Para as residências de classe média, valor total do sistema solar de R\$ 7.146,00. O desempenho do Sistema de Aquecimento Solar foi de 59% ocasionando uma demanda econômica anual de R\$ 1.184,07, tendo como pico de consumo os meses de Junho e Julho. Conforme Figura 19. E retorno do investimento em aproximadamente 6 anos.

Figura 19: Comparativo de Custo Operacional - Residências de classe média



Para residências de alto padrão, valor total do sistema solar de R\$ 9.648,00. O desempenho do Sistema de Aquecimento Solar foi de 56% ocasionando uma demanda econômica anual de R\$ 1.517,36, tendo como pico de consumo os meses de Junho e Julho. Conforme Figura 20. Com tempo de retorno do investimento em aproximadamente 6,4 anos.

Figura 20: Comparativo de Custo Operacional - Residências de alto padrão



Levando em consideração apenas o programa Minha Casa Minha Vida se as residências a partir de 2010 tivessem instaladas com aquecimento solar a economia de energia seria de 1.194.234,84 KWh/ano ou seja aproximadamente 1,2 MW. Para fins de comparativo uma PCH (pequena central hidrelétrica) produz de 1 a 30 MW, e necessita alagar uma área em torno de 3 km² (ANEEL 2010). Podendo esta área ser utilizada para outros fins.

Conforme Abrava (2008), cada m² de coletor solar instalado, utilizado durante um ano, equivale a 56 metros quadrados de áreas inundadas (hidrelétricas); 215 quilos de lenha; 66 litros de diesel; 55 quilos de gás, sendo que se 10% da população do município de Santa Rosa tivesse um sistema solar para aquecimento de água seria possível deixar de inundar 766.640 metros quadrados de áreas, ou de queimar 2.943.350 quilos de lenha; ou de utilizar 903.540 litros de diesel; ou ainda de utilizar 752.950 quilos de gás.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente trabalho foi realizar a análise de viabilidade de um sistema de aquecimento solar em uma cidade do noroeste do Rio Grande do Sul que melhor se enquadre dentro das três classes sociais estudadas, realizando através de pesquisa bibliográfica e coleta de dados, um estudo que auxilie os acadêmicos e profissionais das áreas de engenharias e energias renováveis, fornecendo dados referentes ao clima, radiação local, permitindo que seja estudado o sistema como um todo a começar pela coleta de informações, verificando os tipos de sistemas empregados suas diferenças, dimensionamento do reservatório térmico e da área da placa dos coletores e finalizando com a verificação da eficiência do sistema e viabilidade econômica para as diferentes classes sociais propostas.

Através dos resultados obtidos e do conceito proposto, o objetivo do trabalho é alcançado, com auxílio do software sistema de dimensionamento Transsen, foram possíveis comprovar os resultados encontrados e estimar o sistema de aquecimento solar ideal para as classes abordadas. Através das variáveis levantadas na coleta de dados foi possível comprovar a viabilidade dos sistemas propostos, sendo o retorno o investimento alcançado em média em 6,8 anos, também é válido ressaltar que com o levantamento de dados é possível realizar a análise para diferentes sistemas baseado nos pontos de consumo e no volume de armazenagem. Os principais resultados alcançados para o programa Minha Casa Minha Vida, foram de reservatório térmico de 300 litros, área dos coletores de 3,6 m², desempenho do sistema de 68% e abatimento no valor final da residência após o financiamento de 20 anos de 6,8%, para a classe média os resultados foram de boiler de 500 litros, com uma área do coletor de 6 m², desempenho do sistema foi de 59% e o abatimento no valor final da residência de 5,5%, para a classe de alto padrão o dimensionamento do boiler ficou com 700 litros, com a área dos coletores de 8,5 m² desempenho do sistema de 56% e abatimento de 4,1% no valor final da residência.

Conclui-se que a vazão e os pontos de consumo são os fatores que impactam diretamente no dimensionamento e no custo final do sistema, assim quanto maior for à vazão adotada e quanto mais pontos de consumos forem empregados na residência, maior será sistema e menor será o retorno financeiro. Ainda que embora pequena a comprovação do retorno do investimento em longo prazo vem aumentando as instalações dos equipamentos principalmente em hotéis e edifícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.569:2008. **Sistema de aquecimento de água em circuito direto. Projeto e instalação**. Rio de Janeiro, 2008.

ABRAVA. **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**. 2008.

ALVARENGA, Carlos Alberto. **Energia solar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília – DF, Brasil, 2010.

CARVALHO, Carlos Henrique Fiche de. **Projeto de um Sistema de Aquecimento Solar de Água para Pousadas**. Monografia [Especialização em Fontes Alternativas de Energia]. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais, 2013.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia. **Normalização e Qualidade Industrial. Portaria 449, de 25 de novembro de 2010**. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais. Rio de Janeiro: INMETRO, 2010.

CHEN, Bete. Manual técnico para projeto e construção de sistemas de aquecimento solar & gás natural. **Sistemas de Aquecimento de Água para Edifícios através da associação Solar & Gás Natural**. Março, 2011.

CRAWFORD, R. H.; TRELOAR, G. J. Net Energy Analysis of Solar and Conventional Domestic Hot Water Systems in Melbourne, Australia. **Solar Energy**, v. 76, n. 1/3, p. 159-163, 2004.

ELETROBRAS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso: ano-base 2005, classe residencial**. Relatório Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2007.

FINEP – **Levantamento do estado da arte: energia solar**. São Paulo: 2007.

FRANCO, A.M. **Apostila do curso Objetivo**. Rede Preve/Objetivo, 2009.

GAMBOA, Roberto Marçal. **Eletricidade solar, estado atual e perspectivas**. 2001. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/roberto2001.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2014.

JUNG, C. F. **Metodologia para Pesquisa e Desenvolvimento**. Editora Axcel Books do Brasil. Rio de Janeiro 2004.

MAGAGNIN, André Luiz. **Impactos econômicos do uso de energia solar para aquecimento de água em residências unifamiliares**. Trabalho de Conclusão de Curso [Graduação em Engenharia Civil]. Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC. Criciúma, 2010.

INMETRO - Instituto Nacional De Metrologia. **Normalização e Qualidade Industrial**. Regulamento de avaliação da conformidade de sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água. Anexo da portaria INMETRO nº 395 / 2008.

LAFAY, J. M. S. **Análise Energética de Sistemas de Aquecimento de Água com Energia Solar e Gás**. Tese [Doutorado]. Porto Alegre: PROMEC/UFRGS, Brasil, 2005.

LIMA, J. B. A. **Otimização de Sistema de Aquecimento Solar de Água em Edificações Residenciais Unifamiliares Utilizando o Programa TRNSYS**. Dissertação [Mestrado]. São Paulo: POLI/USP, Brasil, 2003.

TEIXEIRA, Alexandre de Almeida; CARVALHO, Matheus Costa; LEITE, Leonardo Henrique de Melo. Análise de viabilidade para a implantação do Sistema de energia solar residencial. **e-xacta**, Belo Horizonte, v. 4, n. 3, p. 117-136. (2011). Editora UniBH.

LOEHRKE, R. I.; HOLZER, J. C.; GARI, H. N.; SHARP, M. K. Stratification enhancement in liquid thermal storage tanks. **J. Energy**, v. 3, p. 129-130, 1979.

KALOGIROU, S. Thermal Performance, Economic and Environmental Life Cycle Analysis of Thermosiphon Solar Water Heaters. **Solar Energy**, v. 83, n. 1, p. 39-48, 2009.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Potencial de Redução do Consumo de Energia Elétrica pela Utilização de Aquecedores Solares no Estado de Goiás. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 406-416, 2008.

PADILHA, A. **Estocagem por estratificação térmica de líquido em reservatório**. 1982. 127 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1982.

PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas**. São Paulo: Hemus, 1981.

PENEREIRO, J. C.; Melo, L. P.; Coradi T. B. Construção de um aquecedor solar de baixo custo sem cobertura: análise experimental da eficiência térmica para vários ensaios. **Revista de ciência & tecnologia**. Nova Iguaçu - Rio de Janeiro. v.10 n. 1 (Jun-2010). Gráfica Universitária, 2010.

PEREIRA, André Belmont, et al. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.2, p.211-216, abr/jun. 2002.

ENERGIAS RENOVÁVEIS. 2004. Disponível em: <<http://www.energiasrenovaveis.com>>. Acessado em: set. 2014.

REDE BRASIL – **Noções iniciais sobre aquecimento solar**. Rede Brasil de Capacitação em Aquecimento Solar. 2008.

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.

RUAS, R. A. A. et al. Análise energética de um protótipo de aquecedor solar de baixo custo. **Global Science and Technology**. Vol. 02, n. 2, p. 01-07. Mai/agos, 2009.

SIQUEIRA, A. M. **Desenvolvimento de um programa de simulação computacional de sistemas de aquecimento solar para água**. Tese [Doutorado]. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, 2003.

SIQUEIRA, D. A. **Estudo do desempenho de um aquecedor solar de baixo custo**. Uberlândia. Dissertação [Mestrado]. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2009.

SOLETROL – **Aquecedores solares de água**. Disponível em: <<http://www.soletrol.com.br>>. Acessado em: set. 2014.

SPRENGER, R.L. **Aplicação do sistema fechado no aquecedor solar de água de baixo custo para reservatórios residências isolados termicamente: concepção e comissionamento de um sistema-piloto de testes.** Dissertação [Mestrado em Construção Civil]. Curitiba: UFPR, 2007.

TUBELIS, A. et al. Estimativa da Radiação Solar Global Diária em Botucatu, P, a partir da Insolação Solar Diária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 53-60, 1980.

VIANELLO, R. L. & ALVES A. R. **Metereologia básica e aplicações.** Viçosa, MG: Editora UFV, 449p, 2000.