

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM
EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA DA UFSM – EAD
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL – UAB
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

**ANÁLISE DE CUSTOS ENTRE COLETORES
SOLARES QUANTO A ASPECTOS CONSTRUTIVOS**

MONOGRAFIA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Álvaro Daniel de Oliveira

Novo Hamburgo, RS, Brasil
2014

ANÁLISE DE CUSTOS ENTRE COLETORES SOLARES QUANTO A ASPECTOS CONSTRUTIVOS

por

Álvaro Daniel de Oliveira

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos**.

Orientadora: Dra. Ísis Portolan dos Santos

Novo Hamburgo, RS, Brasil

2014

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB
Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a monografia de Pós-Graduação

**ANÁLISE DE CUSTOS ENTRE COLETORES SOLARES
QUANTO A ASPECTOS CONSTRUTIVOS**

elaborada por

ÁLVARO DANIEL DE OLIVEIRA

Como requisito parcial para a obtenção do título de
**Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos
Produtivos**

COMISSÃO EXAMINADORA:

Ísis Portolan dos Santos, Dra (UFSM) - Presidente/Orientadora

Verônica Venturini Rossato, Ma (UFSM) - Coorientadora

Cláudio Roberto Losekann, Dr (UFSM)

Natanael Rodrigues Gomes, Dr (UFSM)

Alexandre Buenos, Dr (UFSM)

Novo Hamburgo, 20 de dezembro de 2014.

RESUMO

Monografia de Pós-Graduação
Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE DE CUSTOS ENTRE COLETORES SOLARES QUANTO A ASPECTOS CONSTRUTIVOS

AUTOR: ÁLVARO DANIEL DE OLIVEIRA

ORIENTADORA: ÍSIS PORTOLAN DOS SANTOS

Data e Local da Defesa: Novo Hamburgo, 19 de dezembro de 2014.

Este trabalho tem como objetivo investigar a fabricação de coletores solares térmicos, buscando avaliar aspectos de adaptações, melhorias e inovações em relação à sensibilidade dos mesmos à possíveis problemas causados por baixas temperaturas externas. Verificou-se que, conforme a necessidade regional, torna-se imprescindível a utilização deste tipo de painel com a correção de um defeito pertinente aos modelos apresentados no referencial teórico, sobretudo para torná-los menos suscetíveis a trincas geradas pelo congelamento e cristalização da água. Este fenômeno é recorrente no estado do Rio Grande do Sul, devido às baixas temperaturas, as quais abrangem uma faixa crítica, próxima de 0°C, características do inverno do sul do Brasil. Com base neste aspecto, foi feita uma revisão bibliográfica mostrando algumas alternativas existentes, e seus custos. A revisão focou nas alternativas apresentadas pelos fabricantes que possibilitam eliminar esse defeito, como por exemplo; o emprego de tubos confeccionados em liga de aço inoxidável, coletor com tubos evacuados, ou até mesmo o emprego de uma válvula anticongelamento. As comparações dos custos entre os métodos expôs alguns aspectos que podem orientar os usuários na correta escolha de um coletor adequado, como o tempo de retorno (payback simples) e o maior valor presente líquido, de cada modelo apresentado.

Palavras-chave: Coletores Solares Térmicos. Congelamento e cristalização da Água. Alternativas. Custos.

ABSTRACT

This work aims to investigate the production of solar thermal collectors, seeking to assess aspects of adaptations, improvements and innovations in sensitivity thereof to the possible problems caused by low external temperatures. It was found that, according to regional needs, it is essential to use this type of panel with the correction of a defect relevant to the models in the theoretical framework, especially to make them less susceptible to cracks generated by freezing and crystallization of water . This phenomenon is recurrent in the state of Rio Grande do Sul, due to low temperatures, which cover a range criticizes, close to 0 °C, winter features of southern Brazil. Based on this aspect, a literature review was made showing some alternatives and their costs. The review focused on the alternatives presented by the manufacturers that allow eliminate this defect, such as the use of tubes made of stainless steel alloy, collector with evacuated tubes, or even the use of an anti-freeze valve. The cost comparisons between the methods exposed some aspects that can guide users to the correct choice of a suitable collector, as the return time (simple payback) and the highest net present value of each reporting model.

Keywords: Thermal Solar Collectors. Freezing and crystallization of water. Alternatives. Costs.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Objetivos	8
1.1.1 Objetivo Geral	8
1.1.2 Objetivos Específicos	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Aquecedor solar de água	9
2.2 Coletor solar plano	11
2.3 Dilatação anômala da água	15
2.4 Relação da temperatura do sul do Brasil com a temperatura da dilatação anômala da água	15
2.5 Congelamento e Cristalização da água.....	16
2.6 Adoção de tubulações de aço inoxidável em coletores solares planos.....	19
2.7 Tubos a vácuo	19
3 METODOLOGIA	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 Comparação entre algumas propriedades do cobre e do aço inoxidável	23
4.2 Alternativa com válvula anticongelamento	24
4.3 Alternativa por tubos a vácuo	25
4.4 Teste comparativo entre os coletores a vácuo e os coletores solares planos	27
4.5 Comparativo de custos entre os dois sistemas	29
4.6 Análise econômica	30
4.6.1 Cálculo do valor líquido presente –VLP	31
4.6.2 Cálculo do Payback	32
5 CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

A energia solar é a fonte de energia mais abundante que há em nosso planeta. Buscando aproveitá-la, ao longo dos anos foram criadas algumas técnicas para a conversão de energia solar em elétrica, através de placas fotovoltaicas ou mesmo aproveitando suas características “diretas”, como iluminação natural e aquecimento.

No caso do aquecimento, o método mais usado para o aproveitamento da energia do sol é através dos chamados “coletores solares térmicos”, que são sistemas hidráulicos fechados que “captam” o aquecimento proveniente da radiação solar através da troca térmica e direcionam esta energia aquecendo um determinado volume de água, que por sua vez é armazenado em um recipiente para ser aproveitado em momentos adequados. Essa forma de utilização é muito aplicável, especialmente na região sul do Brasil, por apresentar como característica uma grande variação de temperatura ambiente ao longo do dia.

A principal vantagem da utilização dos coletores solares térmicos consiste na redução do consumo de eletricidade, visto que parte da energia elétrica que seria disponibilizada para o aquecimento de água (geralmente do chuveiro) passa a ser substituída pelo aquecimento direto proporcionado pelos coletores. Cabe ressaltar também que o nível de manutenção desses equipamentos é relativamente baixo, pois na maioria das vezes não há moto-bombas nem outras partes móveis, evitando danos gerados por algum tipo de desgaste mecânico.

Em geral, um dos poucos tipos de problema que podem surgir neste tipo de equipamento é causado pelo rompimento das tubulações, situação que gera grandes transtornos aos usuários, pois além de inabilitar a operação do sistema, devido à perda da água, podem causar infiltrações e desperdício de água. Além disso, o reparo destas tubulações exige mão-de-obra especializada, visto que em geral são tubos de cobre que devem ser substituídos e soldados. Observa-se também que devido às instalações serem em telhados, geralmente de difícil acesso, o serviço de manutenção expõe o profissional que fará o reparo a riscos de queda.

O rompimento das tubulações (que normalmente são de cobre ou alumínio) é provocado pela tensão extra que surge nas tubulações devido ao congelamento e cristalização da água em repouso nos coletores.

Deve-se propor alternativas que possam resolver este problema, assim estimulando o emprego desta tecnologia e reduzindo a frequência de paradas para manutenção.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este projeto propõe revisar algumas alternativas de coletores solares térmicos comercialmente disponíveis, seus custos e algumas soluções adotadas por fabricantes para evitar o rompimento da tubulação devido ao congelamento da água.

1.1.2 Objetivos Específicos

Analisar as soluções disponibilizadas pelos fabricantes juntamente com seus respectivos custos e dessa forma identificar as opções mais adequadas que garantam o correto funcionamento, com reduzido riscos de paradas para manutenção além de buscar a melhor atratividade econômica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Rio Grande do Sul é conhecido por ter, ao lado do estado de Santa Catarina, e do Paraná as temperaturas mais baixas do país. Devido a isso, é recomendável que se busquem alternativas para elevar a temperatura de alguns ambientes ou até mesmo de líquidos, como o caso da água utilizada para o banho. Este é o objetivo principal dos coletores solares térmicos, que aproveitam o potencial energético da irradiação solar.

A Figura 1 demonstra um estudo feito pelo PNUMA (Programa das Nações Unidas pelo Meio Ambiente), no qual é possível verificar, através do mapa “a” (esquerda), que o Rio Grande do Sul está entre os estados que mais gastam energia para aquecimento de água, razão pela qual, no mapa “b” (direita), podemos ver que é o local onde o retorno do investimento financeiro é mais rápido.

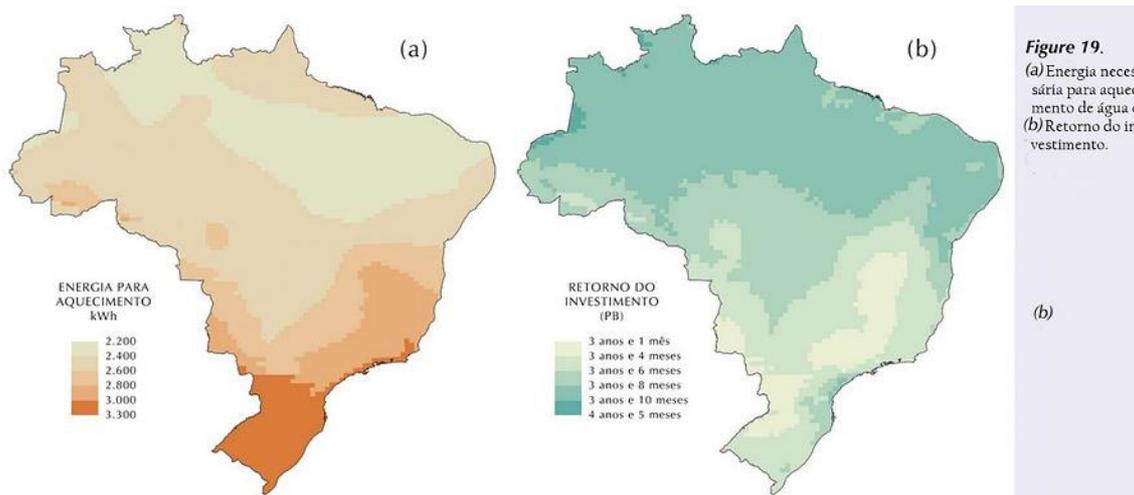


Figura 1- Mapas representativos da energia para aquecimento, e retorno do investimento

Fonte: Programa das Nações Unidas pelo Meio Ambiente

2.1 Aquecedor solar de água

Uma experiência científica idealizada por Horace de Saussure, em 1767, comprovou que é possível capturar a energia solar e armazená-la por um período de tempo. Ele construiu uma simples caixa de madeira, quadrangular e de poucos centímetros de altura, revestida de cortiça, pintada de preto por dentro e tampa de

vidro com três laminas separadas uma da outra como mostrado na Figura 2. Expondo convenientemente ao sol durante um dia, conseguiu registrar uma temperatura de 118°C. Tal invento recebeu o nome de “caixa quente” conforme Sprenger (2007). Pode-se dizer que a partir daí deu-se o início da utilização da energia solar para o aquecimento de água.

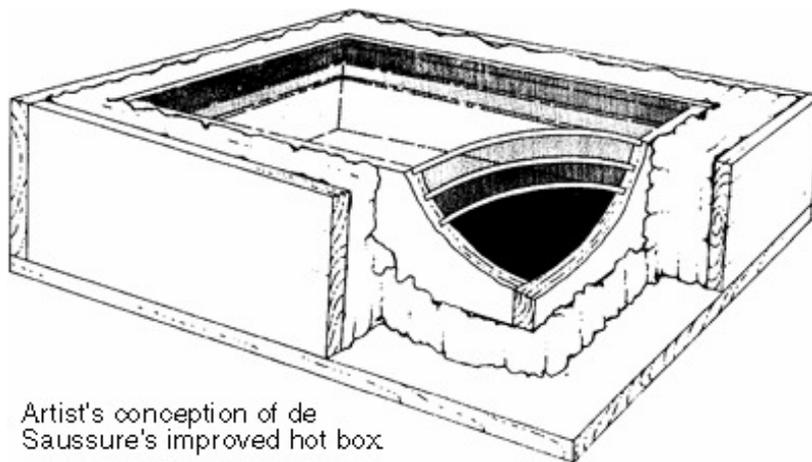


Figura 2- Caixa preta de Horace de Saussure

Fonte: vidasolar, 2014

Segundo Rísoli (1999) o processo de aquecimento da água aproveitando a energia solar consiste basicamente em absorver a radiação solar e transferi-la para um reservatório térmico na forma de calor. Um corpo que recebe energia solar pode ser dosado em frações de absorbância (α), refletância (ρ) e transmitância (τ). A primeira parte é a fração absorvida, a segunda parte é a fração refletida e última é a transmitida. A soma dessas três frações gera o índice 1. As substâncias que têm absorbância unitária ou aproximadamente unitária, são o negro de fumo, a platina negra e o bismuto negro, absorvendo de 0,98 a 0,99 da radiação total incidente. Um corpo que possui refletância e transmitância nulas, é considerado um “corpo negro”.

O princípio de funcionamento do aquecimento solar de água é bastante simples. Ele é baseado na transmissão de calor através de dois itens básicos: o reservatório térmico (Figura 3) e o coletor solar (placas).

Quinteros (2001), destaca que o reservatório térmico serve para armazenar água quente para consumo. É fabricado por fora em alumínio e por dentro em cobre ou aço inox. Internamente, a água quente se mistura com a fria ficando a água

quente sempre na parte superior. O reservatório do tipo “Boiler” possui uma resistência elétrica que aquece a água em dias em que não há luz solar suficiente. Comandada por um termostato, ela liga e desliga de acordo com a temperatura da água. O poliuretano expandido reveste toda a parede interna do reservatório térmico. Em dias com grande luminosidade, a água quente pode ficar armazenada por várias horas sem precisar acionar a resistência elétrica. Existem reservatórios térmicos de alta pressão e de baixa pressão. Os de baixa pressão trabalham com até 5mca e os de alta pressão com até 20mca. Os reservatórios térmicos podem ser de nível (colocado no mesmo nível da caixa fria) ou desnível (abaixo da caixa fria). A escolha vai depender da altura do telhado da residência.

Segundo Sprenger (2007) para que haja circulação por termosifão é necessário que as placas coletoras solares estejam instaladas no mínimo a 30 cm abaixo da base do reservatório térmico. A distância entre o reservatório térmico e as placas também deve ser limitada, caso esta distância ultrapasse 5 metros pode não ocorrer a circulação por termosifão.



Figura 3 - Reservatório térmico

Fonte: Soletrol (2006)

2.2 O coletor solar plano

Segundo Lima (2003), o coletor de calor solar (Figura 4) para aquecimento da água é o dispositivo responsável pela captação da energia radiada e sua conversão em calor utilizável. Existem dois tipos fundamentais de coletores: coletores de concentração e coletores planos. O coletor de concentração focaliza a energia que

atinge um grande refletor parabólico ou uma grande lente para um absorvedor relativamente pequeno. O absorvedor tem água ou fluido de transferência.

Em virtude da concentração de energia em um absorvedor de área diminuta, o fluido alcança elevadas temperaturas, bem maiores que as atingidas pelos coletores planos. O coletor plano recebe e utiliza a radiação solar na mesma superfície. Ele opera em baixas temperaturas em relação ao coletor concentrador, ficando a temperatura abaixo de 93°C. As vantagens do coletor plano comparadas aos outros tipos de coletores são: simplicidade de construção, custo relativamente baixo, ausência de parte móvel, a relativa facilidade de reparo e manutenção.

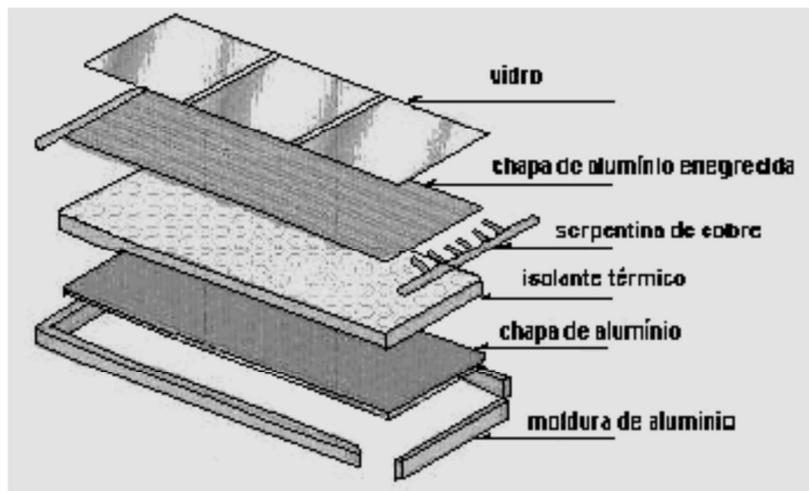


Figura 4 - Construção de um coletor solar plano

Fonte: Quinteros (2001)

Como indicado na Figura 4, o coletor plano é composto pelos seguintes materiais: vidro, chapa de alumínio enegrecida, serpentina de cobre, isolante térmico, chapa e moldura de alumínio.

O vidro impede que entrem no coletor água de chuva, materiais sólidos, poeira etc. Tem como finalidade principal provocar o efeito estufa. Ou seja, a luz do sol, incidindo diretamente no vidro, faz com que parte dela penetre no interior do coletor, refletindo outra parcela de luz. Na reflexão, a luz é composta basicamente de raios infravermelhos que não conseguem ultrapassar a camada de vidro, provocando assim um aquecimento interno que ajudará no aquecimento da água que está circulando na tubulação de cobre.

Segundo Rísoli (1999) o efeito estufa ocorre quando a luz penetra numa região cuja fronteira, obviamente transparente para a luz, não é transparente para o calor. Nesse caso, os corpos internos à região absorvem parte da luz nela incidente

e se aquecem, passando a irradiar o calor como onda eletromagnética que, não podendo atravessar a fronteira, volta a incidir sobre esses corpos, aquecendo-os cada vez mais, enquanto durar o processo.

O tubo de cobre tem a função de conduzir a água que captará o calor do sol. O cobre, sendo um ótimo condutor de calor, absorverá todo esse calor do coletor e o transmitirá para a água que está circulando.

A chapa de alumínio enegrecida tem por finalidade auxiliar no aquecimento do coletor. Pela sua cor negra, absorve melhor o calor de a luz solar, transmitindo-o para os tubos de cobre e conseqüentemente para a água.

Poliuretano expandido ou lã de vidro são os materiais normalmente utilizados como isolantes. Isolam termicamente o coletor, impedindo que o calor captado pela luz solar escape para o ambiente.

Segundo Arruda (2004) nos sistemas de aquecimento de água através do aproveitamento da energia solar, seus componentes (coletores, reservatórios, trocadores de calor, fonte auxiliar de calor e tubulações) podem apresentar-se sob diversas configurações. A água aquecida para o consumo pode receber o calor diretamente no coletor (sistema direto), ou através de um líquido refrigerante que, após receber a energia térmica no coletor, o transfere à água em um trocador de calor (sistema indireto). Tais sistemas podem ter ainda a circulação de fluído, entre o reservatório de armazenamento e os coletores ou trocadores de calor, feita através de bombeamento, quando é chamado de sistema ativo, ou através do efeito de termossifonagem, chamado sistema passivo.

Segundo Lima (2003), se observa mundialmente uma forte tendência ao uso de sistemas de aquecimento solar indireto e/ou sistemas com circulação forçada. Isto ocorre, pelo fato de que a maioria da bibliografia vem de países do hemisfério norte de alta latitude, nos quais existem problemas com o congelamento de tubulações. A maioria dos sistemas de aquecimento solar residenciais instalados no Brasil funciona com o aquecimento do fluído diretamente no coletor e a circulação é feita através da diferença de densidades conforme mostrado nas Figuras 5 e 6. Os sistemas diretos são utilizados aqui em nosso país, principalmente em residências, há mais de vinte anos, sempre usando a energia potencial do reservatório superior e o efeito da termossifonagem para movimentar a água. Na circulação por termossifonagem o movimento se dá pela diferença de densidade entre o fluído

aquecido no coletor e o fluido armazenado no fundo do reservatório, que tem menor temperatura conforme Arruda (2004).

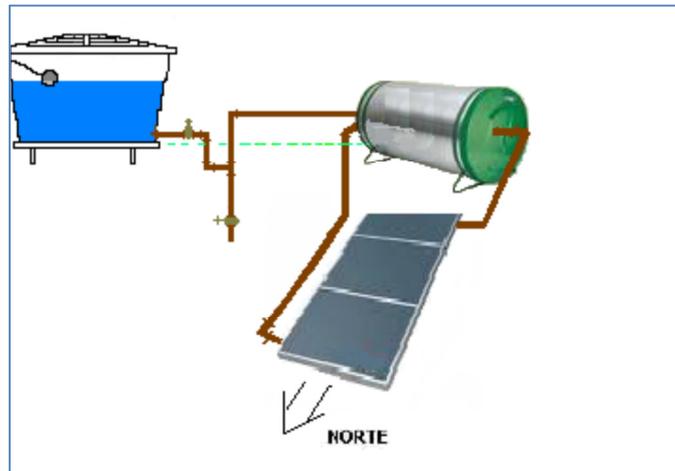


Figura 5 – Sistema completo residencial

Fonte: Sprenger, 2007

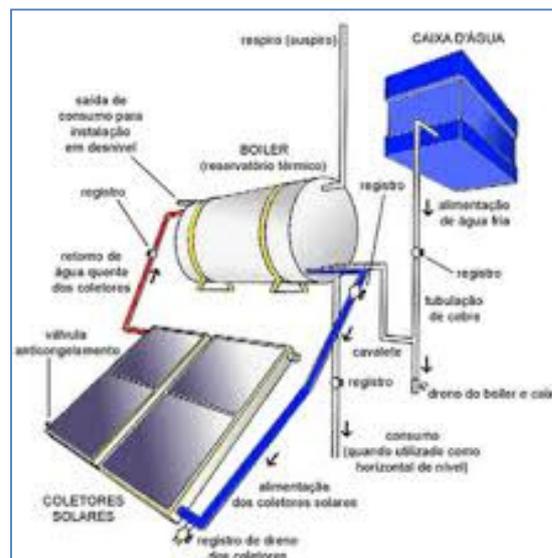


Figura 6 - Sistema fechado de aquecimento solar

Fonte: Soletrol, 2006

Segundo Quinteros (2001) a termossifonagem apresenta a vantagem de não ser necessário o uso de energia elétrica para a movimentação da água. Este fato dispensa da utilização de bombas. Para que haja esse tipo de circulação, é necessário que as placas coletoras solares estejam instaladas no mínimo a 30cm abaixo da base do reservatório térmico. A distância entre o reservatório térmico e as placas também deve ser limitada, caso esta distância ultrapasse 5 metros pode não

ocorrer a circulação por termossifão. Na circulação forçada ocorre o emprego de uma micro bomba instalada no circuito. As desvantagens nesse tipo de instalação é a dependência da eletricidade e a possibilidade de ocorrerem problemas na micro bomba.

O reservatório térmico pode ser posicionado em relação ao reservatório de água fria (caixa d'água) em nível ou em desnível.

Em nível quando a altura for muito baixa entre a laje de forro e a cumeeira da cobertura. Nessa situação o reservatório térmico será instalado no mesmo nível que a caixa d'água;

Em desnível quando existe espaço suficiente entre a laje de forro e a cumeeira da cobertura. Nesse caso o reservatório térmico deve ser instalado abaixo da caixa d'água (Sprenger, 2007).

2.3 Dilatação anômala da água

De acordo com Young (2008), quando a temperatura de um corpo se eleva, é comum que seu volume aumente. É o chamado “coeficiente de expansão volumétrica” ou “coeficiente de expansão térmica” que se define como razão entre a variação do volume pela variação da temperatura a pressão constante. A maior parte das substâncias expande ao ser aquecida, mas a água é uma exceção importante a essa regra (dentro de uma certa faixa de temperatura). Quando a água se aquece a temperatura inferior a 4°C, ao invés da dilatação ocorre uma contração. Essa propriedade tem consequência importante na ecologia dos lagos. Por exemplo, nas temperaturas mais elevadas que 4°C em um lago, ao se elevar a água torna-se mais densa e tende a flutuar, por isso o gelo se forma em primeiro lugar na superfície da água e conseqüentemente atua como isolante térmico para a água que fica por baixo.

Se for medido um litro de água em diferentes temperaturas, vamos obter os gráficos de volume versus temperatura apresentados na Figura 7.

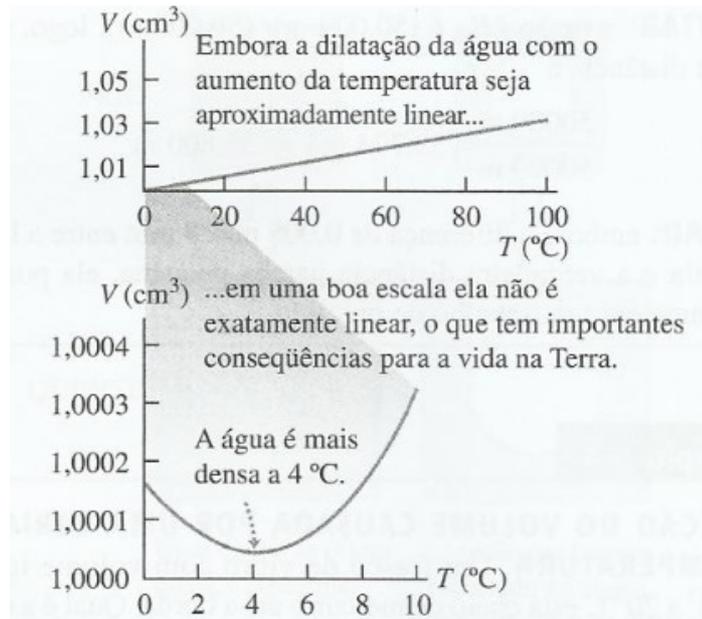


Figura 7 - Gráficos de volume versus temperatura

Fonte: Young, 2008

As figuras acima mostram o volume de um grama de água no intervalo de 0°C a 10°C . A 10°C , o volume aumentou para $1,034\text{cm}^3$. Se o coeficiente de dilatação volumétrica fosse constante, a curva deveria ser uma linha reta.

De acordo com Young (2008), é por este motivo que, em alguns países onde o inverno é rigoroso, os lagos e os rios se congelam apenas na superfície, enquanto que, no fundo, encontra-se a água de máxima densidade, isto é, água a 4°C . Este fato é fundamental para a preservação da fauna e flora destes lugares. Se a água não apresentasse esta irregularidade na dilatação, os rios e lagos se congelariam totalmente, causando danos irreparáveis as plantas e animais aquáticos.

2.4 Congelamento e Cristalização da água

De acordo com Carvalho (2007) a água congelada tem um comportamento peculiar: expande-se ao cristalizar e, ao fundir-se, tem a tendência de recristalizar, de aglutinar, formando longos e protudentes cristais de gelo. Estes cristais agulhas como são chamados, geram uma série de danos mecânicos.

O congelamento da água em repouso presente no interior dos coletores solares pode ocorrer se houver temperatura externas muito baixas, (geadas por exemplo), que podem ocorrer no inverno da região sul do Brasil. A expansão

causada esse congelamento e conseqüentemente a sua cristalização pode danificar a tubulação dos coletores causando o seu rompimento e levando à vazamentos da água. Devido a isso, alguns fabricantes buscam alternativas para evitar esse tipo de transtorno. Entre algumas soluções adotadas atualmente pode-se citar, a adoção de uma isolamento térmica da água com a temperatura ambiente mais eficiente por vácuo (os chamados coletores evacuados), adoção de tubos de aço inoxidável em conjunto com tubos de cobre com intuito de melhorara sua resistência mecânica, ou também e adoção de válvulas anticongelamento, que evitam esse problema através da movimentação e drenagem da água em repouso.

2.5 Relação da temperatura do sul do Brasil e riscos de congelamento da água dos coletores.

Na Figura 8, conforme o boletim climático do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de 2014, que abrange os meses de Agosto, Setembro e Outubro temperatura neste período no sul do Brasil pode atingir valores próximos de zero.

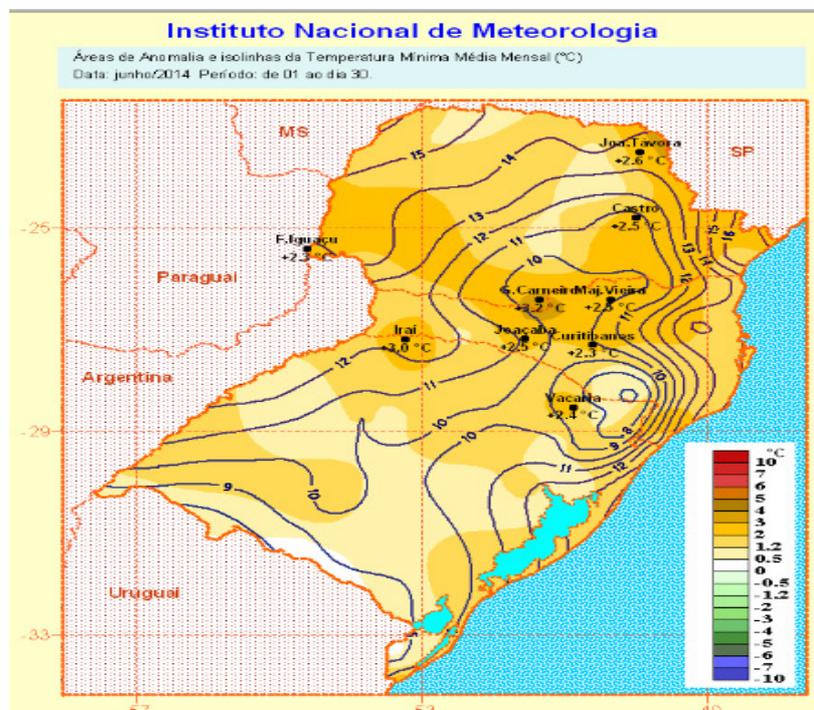


Figura 8- Boletim Climático do Rio Grande do Sul

Fonte: INPE , 2014

Outros dados apresentados neste sentido, referentes ao ano de 2011 demonstram as temperaturas mínimas em estações climatológicas de seis cidades da região sul, duas do estado do Paraná (Castro e Ivaí), duas do estado de Santa Catarina (São Joaquim e Lages) e duas do estado do Rio Grande do Sul (Bom Jesus e Bagé). Os dados foram obtidos no ano de 2011 e estão referidos os meses de junho (figura 9), julho (figura 10), agosto (figura 11).

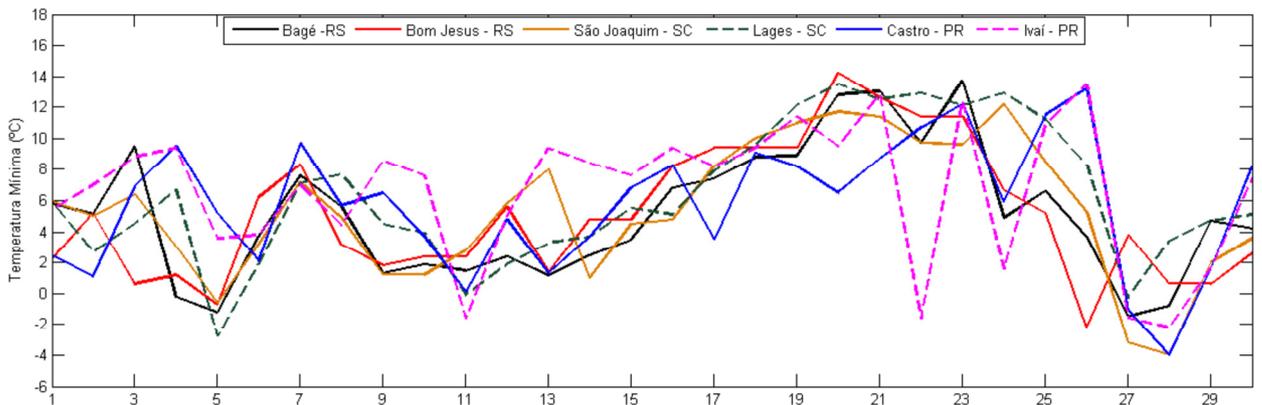


Figura 9- Gráfico climático de temperaturas mínimas em seis cidades do sul do Brasil no mês de junho de 2011.

Fonte: Costa,2011

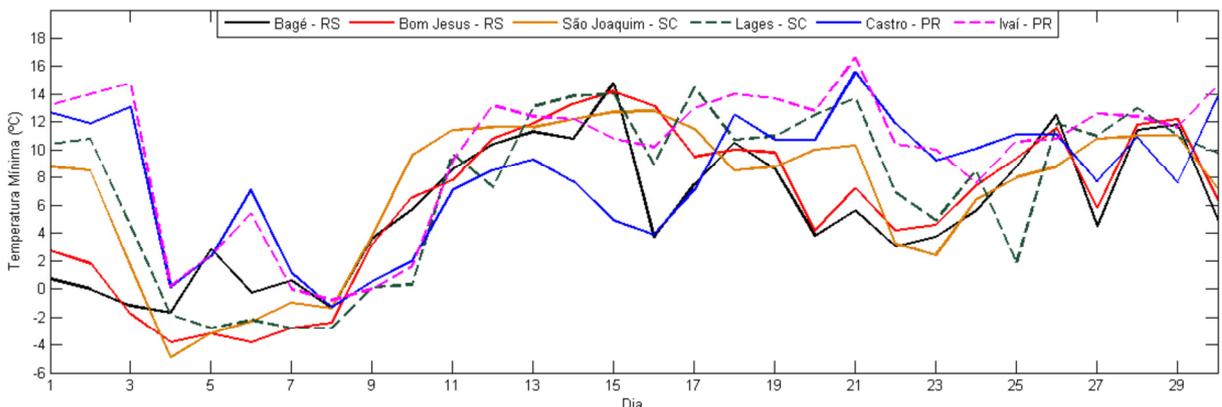


Figura 10- Gráfico climático de temperaturas mínimas em seis cidades do sul do Brasil no mês de julho de 2011.

Fonte: Costa,2011

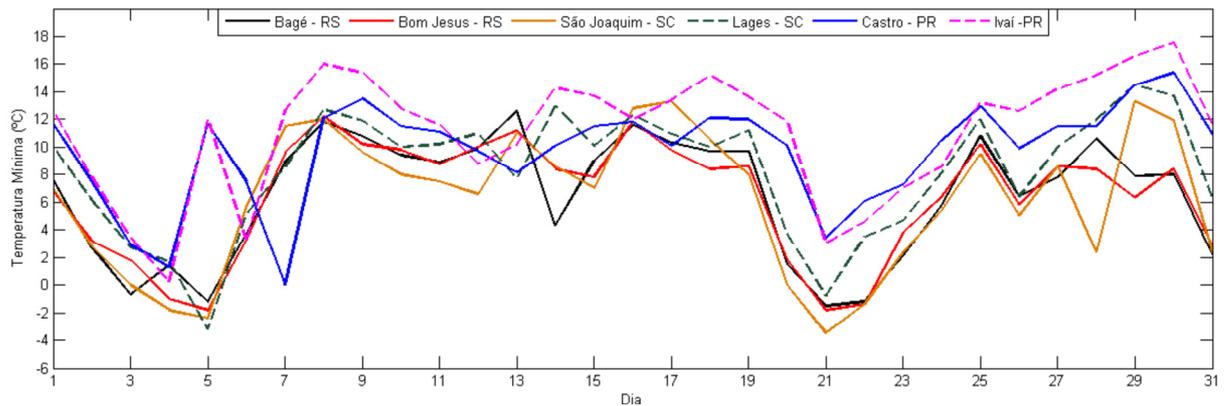


Figura 11- Gráfico climático de temperaturas mínimas em seis cidades do sul do Brasil no mês de agosto de 2011.

Fonte: Costa,2011

Conforme representado nas Figuras 9, 10 e 11 é justificado ainda mais a importância da prevenção do congelamento da água residual dos coletores, devido a possibilidade de haver temperaturas muito baixas em regiões do sul do Brasil.

2.6 Adoção de tubulações de aço inoxidável em coletores solares planos

A expansão causada pelo congelamento da água que está em repouso na tubulação, pode causar rompimento das paredes de tubos confeccionados em cobre ou alumínio. Alguns fabricantes estão adotando combinado com esses materiais com o aço inoxidável (figura 15), alegando conferir maior resistência mecânica ao conjunto. De acordo com Chiaverini (1986) apresenta o aço inoxidável apresenta uma maior resistência mecânica que o cobre.

2.7 Tubos a vácuo

Um coletor solar à vácuo ou evacuado é composto por três partes: estrutura, cabeçote e tubos. Os tubos são de vidro, composto por dois tubos concêntricos onde no interno está o fluido de trabalho e o mesmo está coberto na parte externa com uma camada seletiva. Entre os internos e o externo está o isolamento a vácuo, que segundo Rosa (2012) é o principal responsável por atenuar as perdas térmicas por convecção e condução. Devido a isso, o fluido (água) não absorva a temperatura

externa, protegendo desta maneira o sistema, e com isso evitando a utilização de sistemas anticongelamento como válvulas mecânicas, elétricas ou sistemas de circulação de água nos coletores, métodos que podem gerar perda de água ou energia. Desenhos esquemáticos dos tubos podem ser vistos nas Figuras 12 e 13.

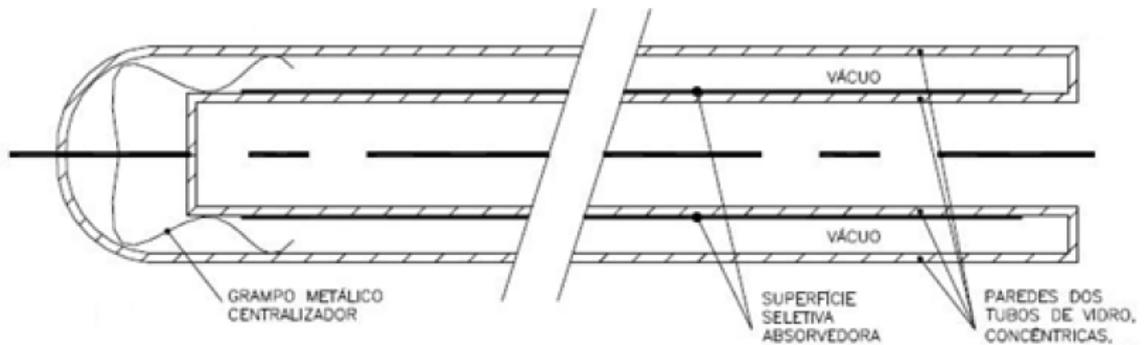


Figura 12 - Esquema de um tubo coletor

Fonte: Rosa (2008)

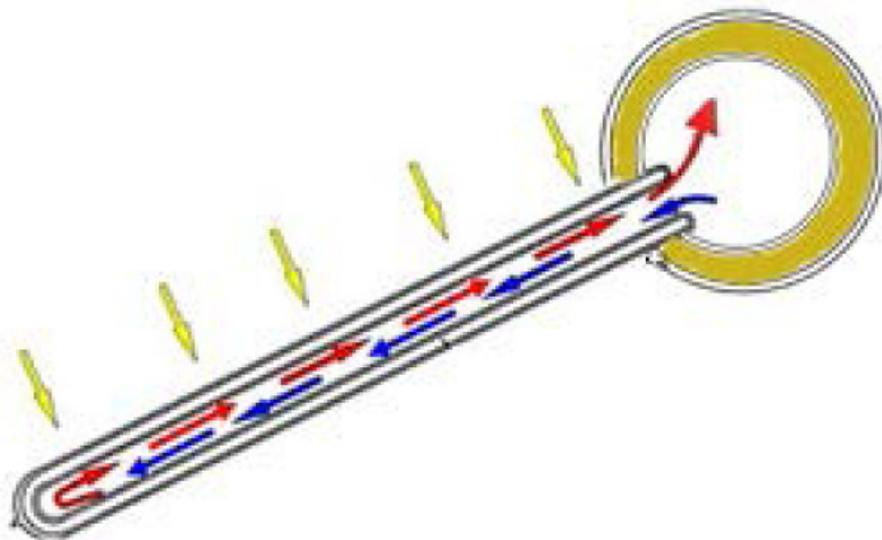


Figura 13 - Esquema de um tubo coletor operando

Fonte: Rosa (2008)

3 METODOLOGIA

Depois de definido qual a abordagem principal proposta no trabalho e a maneira de que seria descrito foi necessário a busca de informações em diversos meios. Foi realizada uma revisão bibliográfica das características dos coletores solares térmicos existentes que possam justificar a implementação dos diferentes materiais, além de possíveis alternativas já existentes no mercado que possam sanar este defeito. As propriedades térmicas da água, também foram analisadas, visto que este é o fluído a ser aquecido, e portanto a razão principal da existência dos coletores.

Os dados climáticos enfatizaram principalmente a região sul do Brasil, pois é o local onde os equipamentos são mais importantes devidos as baixas temperaturas, exigirem mais aquecimento para manter o conforto térmico ,bem nesse tipo de clima os coletores estão mais sujeitos a romperem por causa do congelamento da água.

O levantamento dos dados climáticos foi obtido através de pesquisa digital, com a busca das informações na página eletrônica dos respectivos órgãos governamentais.

A pesquisa incluiu visita a bibliotecas para o levantamento de dados contidos em livros pudessem fundamentar algumas referencias abordadas no trabalho, como as propriedades físicas da água e de alguns materiais utilizados nos coletores solares, bem como alguns aspectos relevantes sobre seu funcionamento.

A busca através da Homepage de universidades e sites de busca de material acadêmico facilitou a obtenção das informações sobre o funcionamento geral dos aquecedores e dos comparativos de rendimentos entre ambos. Foi feito a leitura e seleção das informações contidas nos respectivos artigos para que cada material contribuísse para um parte específica do tema.

Como o objetivo do trabalho também foi buscar informações de produtos que estão disponíveis no mercado, foi necessário a busca de informações nos sites de alguns fabricantes de coletores solares térmicos. Levantamento de preços, de informações contidas em manuais dos fabricantes, catálogos técnicos e informativos comerciais também foram utilizados, ilustrando o que realmente está a disposição dos consumidores que buscam esse tipo de equipamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as alternativas analisadas presentes no mercado, é recomendável estar atento a questão que remete o possível congelamento da água, que pode levar ao rompimento da tubulação. Comparar métodos que atendem a esses requisitos, principalmente para usuários da região sul do Brasil bem como analisar, seu custo e retorno de investimento de acordo com a demandas e suas disponibilidade.

Segundo Chiaverini (1986), na Tabela 1 podemos verificar que na comparação entre os materiais propostos, o tradicional cobre e a alternativa, o aço inoxidável. O aço possui uma tensão de escoamento maior.

Algumas empresas já estão começando a adotar tubos de aço inoxidável em conjunto com tubos de cobre, usando essa combinação como argumento de venda, ressaltando a sua durabilidade, conforme mostrado na Figura 15.

A Figura 14 apresenta um modelo de coletor solar com tubos de aço inoxidável da marca HVAC, com a cor preta, caracterizando a baixa refletância.



Figura 14 – Coletor solar com tubos de aço inoxidável

Fonte: ENERGIAECO,2014.

Na sequência, a Figura 15 traz o registro de um folder extraído da página da empresa Solar Haus, onde a empresa destaca a combinação do uso de tubos de aço inoxidável em conjunto com tubos de cobre.

combinação cobre -inox

Coletor Solar

Altíssima Performance para absorção de energia solar e durabilidade especial.

- Proporciona um altíssimo rendimento térmico em função das chapas com 0,4mm de espessura, garantindo extrema eficiência na captação dos raios solares.
- Serpentina de tubo elaborada com 100% de cobre que proporciona maior resistência e durabilidade.

Sistema Anti-Congelamento

A praticidade de como a resistência do mm.

Tubo de inox
Tubo de cobre
Junta de pintura especial

Solução exclusiva

- Projetado em poliestireno expandido com proteção de alumínio. Isolamento especial para que em condições de temperaturas mais baixas, a perda de calor seja minimizada.
- Os coletores solares são produzidos com materiais extremamente resistentes. Contam com acabamento diferenciado e design otimizado de forma a ocupar o menor espaço possível.

BRA - Coletores com classificação "A" no Inmetro

Modelo	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)	Perfilado
1	1	1	1	perfilado
2	2	2	2	perfilado
3	3	3	3	perfilado
4	4	4	4	perfilado

10 ANOS DE GARANTIA

* especificações técnicas, garantia e possíveis alterações técnicas de acordo com o fabricante. (www.unisolaquecedores.com.br)

Figura 15- Informativo da empresa Solar Haus

Fonte: SOLAR HAUS,2014

É possível observar que no folder ainda aparece em destaque que a combinação dos dois materiais (aço inoxidável dentro do tubo de cobre) a empresa ressalta que é uma solução exclusiva da empresa, tratando como sistema anticongelamento, evitando assim o rompimento da tubulação.

4.1 Comparação entre algumas propriedades do cobre e do aço inoxidável

Segundo Chiaverini (1986), para a aplicação tradicional em permutadores de calor e tubulações para sistemas de aquecimento e refrigeração, são utilizados tubos de cobre do tipo Cu DLP, com baixo teor de carbono, apresentando boa condutividade térmica e elétrica, além de boa soldabilidade. Na mesma obra, também podemos verificar opções de aços inoxidáveis, que conforme suas características citadas apresentam uma boa resistência à corrosão, além de grande resistência mecânica à tração e ao escoamento, características importantes para reduzir os riscos de rompimentos das tubulações.

Abaixo, na Tabela 1 são apresentados dados técnicos de materiais conforme Chiaverini (1986).

Tabela 1 – Dados técnicos do aço inoxidável e do cobre

Material	Resistên cia à tração	Limite de escoame nto	Alongame nto	Dureza Brinell	Resistên cia ao choque
Aço inoxidável austenítico tratado termicamente	60 - 70 kgf/mm ²	21-28 kgf/mm ²	45-60%	140-160	97-15,2 kgf.m
Cobre <i>Cu DLP</i>	22- 45 kgf/mm ²	5-35 kgf/mm ²	48-60%	45-105	-

De acordo com a Tabela 1, podemos comparar de forma genérica as características de cada material, mas fica claro que o aço inoxidável austenítico tratado termicamente apresenta valores mais elevados de suas propriedades mecânicas, principalmente nas duas características mais ligados as tensões de ruptura, que são a resistência à tração, 60 - 70 kgf/mm² do aço, contra 22-45 kgf/mm² do cobre, e limite de escoamento, 21-28 kgf/mm², contra 5-35 kgf/mm² do cobre.

Cabe ressaltar que embora alguns fabricantes adotem esse material em substituição ou em conjunto ao cobre, ainda não existem muitos trabalhos científicos comparando esses dois materiais, visto que aspectos como condutividade térmica, soldabilidade e demais aspectos construtivos também devem ser considerados.

4.2 Alternativa com válvula anticongelamento

A válvula anticongelamento pode ser utilizada em conjunto com os coletores solares planos nas regiões com grandes possibilidades de geadas ou com temperaturas muito baixas, congelando a água que está repousando no coletor. É importante que o sistema esteja bem aferido e dimensionado com a válvula anticongelamento, pois as possibilidades de geadas constantes em algumas regiões do país, principalmente no sul, que normalmente atingem temperaturas negativas com muita facilidade no inverno, podem trazer danos irreversíveis aos coletores, já que a água quando levada a baixas temperaturas, pode congelar, aumentando o seu

volume e danificando internamente os coletores solares (Manual de Instalação Komeco, 2008).

A válvula anticongelamento trabalha com um sistema mecânico que é acionado quando a temperatura da água atinge 5°C (, antes de atingir a faixa da dilatação anômala da água ainda em uma temperatura segura). Neste momento a válvula libera a passagem da água, conforme mostrado na Figura 16, fazendo o sistema circular até que a temperatura aumente e seja suficiente para fechar novamente a válvula (Manual de instalação Komeco, 2008).

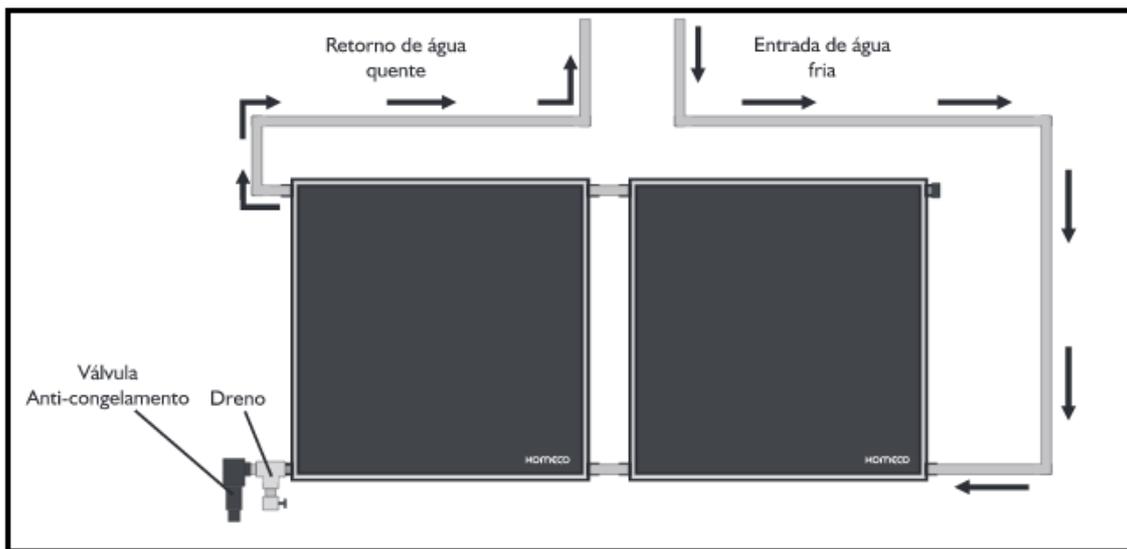


Figura 16 – Esquema de sistema de placas com válvula anticongelamento

Fonte: manual de instalação Komeco (2008)

4.3 Alternativa por tubos a vácuo

Tubos a vácuo (Figura 17) representam a tecnologia mais moderna em aquecedores solares de água, representando uma evolução do sistema de placas. Sua superioridade se deve à tecnologia de isolamento térmico utilizada, além do próprio formato dos tubos, que por serem cilíndricos permitem maior absorção dos raios solares, com uma superfície de contato de 360° que faz com que os feixes solares diretos sempre incidam em um ângulo de 90°, além de possibilitar a absorção da radiação difusa (Mesquita, 2013).



Figura 17 – Fotografia de sistema de tubos a vácuo

Fonte: ENERGIAECO, 2014

Segundo Mesquita (2013) o isolamento dos tubos evacuados lhes conferem pouca troca térmica, portanto em dias em que temperatura externa é próxima de zero ou inferior, durante a noite, os coletores de placas podem estourar devido ao seu congelamento, já os tubos a vácuo sofrem muito pouca influência do meio externo devido à sua isolação térmica e por isso resistem, sem problemas, a temperaturas negativas.

Além disso, no caso de danos no equipamento de placas, toda unidade deve ser substituída, ao passo que no equipamento de tubos, se um tubo quebrar, apenas ele será substituído, com menor custo.

A concepção dos tubos de vácuo lhes permitem absorver mais de energia solar por um longo período do dia. Ao meio-dia, ambos os tubos de vácuo e painéis planos ficam perpendiculares ao sol e com a máxima eficiência aplicada a cada tipo de coletor - 92% e 40%. Em outras inclinações, apenas os tubos de vácuo estarão perpendiculares ao sol e com a máxima eficiência. Os coletores planos passam a refletir a luz solar ao invés de absorvê-la a partir de certa inclinação.

Na sequência a Tabela 2 apresenta alguns dados técnicos de um dos coletores a vácuo comercializado pela empresa Porto Solar, de Porto Alegre/RS.

Tabela 2 - Dados técnicos de um coletor solar a vácuo

Pressão interna do vácuo	$\leq 5.0 \times 10^3$ Pa
Absortividade	$\geq 0,92$ (AM1.5)
Emissividade	$\leq 0,08$ ($80 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$)
Temperatura de estagnação	$\geq 270 \text{ }^\circ\text{C}$
Material	Vidro borossilicato 3.3
Revestimento de absorção	AL / cobre / aço inoxidável
A perda de calor	$22\text{W}/\text{m}^3.\text{K}$
Resistência ao frio	$-30 \text{ }^\circ\text{C}$

Fonte: (PORTO SOLAR AQUECEDORES: Disponível em: < <http://www.portosolar.com> acesso em 16 nov. 2014)

4.4 Teste comparativo entre os coletores a vácuo e os coletores solares planos

Para verificar a eficiência dos dois métodos, Mesquita (2013) demonstra que foi realizado um teste comparativo usando exemplares das duas tecnologias, no período de maio a setembro de 2013, na cidade de São Manuel no Estado de São Paulo. Um dos sistemas foi montado com coletores solares planos comuns, com absorvedor pintado e sem superfície seletiva, típico dos coletores usados no Brasil. O outro sistema recebeu tubos evacuados de vidros simples com tubos de calor (heat pipe) e aletas com superfície seletiva. A área externa dos dois sistemas foi aproximadamente a mesma. A área externa do coletor de tubo evacuado é de $2,88\text{m}^2$ e sua área transparente é de $1,75\text{m}^2$ (sem considerar a área do refletor). Para que as áreas externas fossem aproximadamente iguais ao de tubos evacuados foram utilizados dois coletores solares planos $1,43\text{m}^2$ com, área externa total de $2,86\text{m}^2$. Os dois sistemas foram montados lado a lado com coletores instalados na posição norte a uma inclinação de 20° . O experimento foi dividido em duas etapas. Na primeira fase os dois sistemas foram conectados a reservatórios de 200 litros. Na segunda fase os coletores planos foram conectados ao mesmo reservatório de 200 litros e os tubos evacuados a um reservatório de 100 litros, conforme Figura 18.

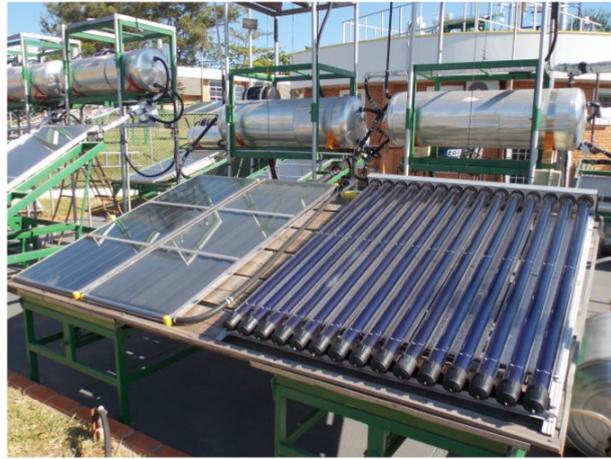


Figura 18 – Teste comparativo entre coletores planos e tubos evacuados

Fonte: Mesquita, 2013

Os resultados foram apresentados em forma de gráfico na Figura 19. A forma de produção medida de energia foi em m^2 da área coletora total. Em ambos os casos os sistemas com os coletores solares planos produziu mais aquecimento que o sistema evacuado.

A diferença de produção entre as fases se deu em razão da diferença das condições meteorológicas. Na primeira fase a média de irradiação foi de $13,1 \text{ MJ/m}^2$ e temperatura média ambiente foi de $22,6^\circ\text{C}$. Na segunda fase a irradiação solar média foi de $14,4 \text{ MJ/m}^2$ e a temperatura média ambiente de $22,3^\circ\text{C}$.

Vale ressaltar que os testes valem apenas para as amostras realizadas.

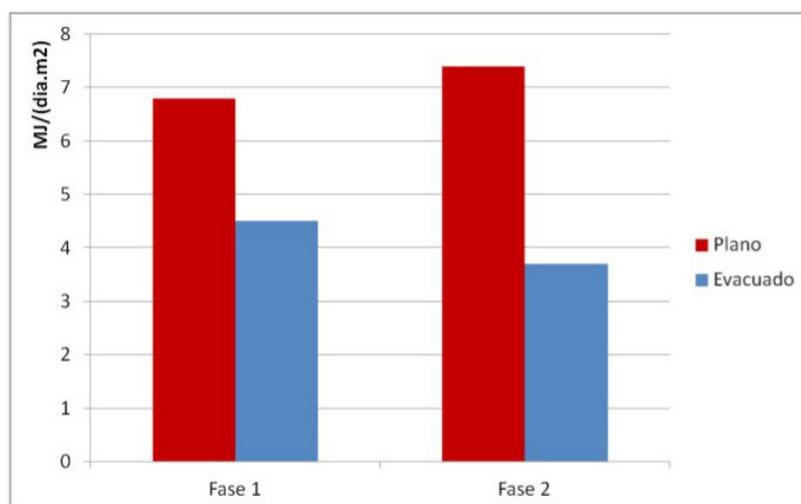


Figura 19- Gráfico comparativo entre sistemas

Fonte: Mesquita, 2013

Através da análise dos dados obtidos no experimento, podemos concluir que na maioria das vezes os aquecedores solares planos são mais eficientes para o aquecimento para o banho que os evacuados. Em outras palavras, os coletores planos precisam de uma área menor para aquecer o mesmo volume de água. Esta diferença de temperatura foi reduzida à medida que a temperatura foi aumentada no caso na fase 2 a temperatura passou de 22,6 para 22,3°C. Uma análise prévia pode demonstrar que a temperaturas menores, como no caso do Rio Grande do Sul, portanto, seria mais aplicável. Os coletores com tubos evacuados aparentemente possuem uma maior eficiência a temperaturas mais elevadas, devido ao seu isolamento que confere a característica de pouca troca térmica. Isso ficou claro no experimento, pois à medida que a temperatura subiu, a sua troca térmica foi aumentada (Mesquita, 2013).

4.5 Comparativo de custos entre os sistemas

Foi realizado um orçamento junto à empresa Solar Haus em Novo Hamburgo, comparando os aquecedores planos e o com tubos evacuados, com o intuito de se obter uma noção de valores comerciais dos equipamentos através da comercialização local. É importante que em um dos sistemas com placas solares planas vendidos na referida empresa já utilizam aço inoxidável e, segundo a mesma, evitam o problema de rompimento causado pelo congelamento da água.

No caso do coletor a vácuo, foi estipulado que o necessário para uma residência com 4 pessoas é um painel com área de aproximadamente 6m², exigindo um total de 40 tubos. O custo estimado de cada tubo é de R\$ 110,00, totalizando R\$ 4.400,00.

Com relação ao custo dos aquecedores a placas solares planas com tubos de aço inoxidável, como cada painel também possui uma área de 2m² e custo unitário de R\$1.200,00, seriam necessários três painéis para a mesma área de aquecimento proposta (6m²) resultando um custo total de R\$ 3.600,00.

No caso do om relação ao custo dos aquecedores a placas solares planas como cada painel tem uma área de 2m² e custo unitário de R\$1.200,00, seriam necessários três painéis para a mesma área de aquecimento proposta (6m²)

Na Tabela 3 é apresentada a comparação de custos totais entre os dois sistemas. Cabe ressaltar que os demais acessórios, como o boiler, e os custos com a instalação não foram considerados, visto que esse tipo de material pode ser o mesmo nos dois casos, portanto o comparativo ficou restrito aos coletores solares que é o que realmente diferencia os sistemas.

Tabela 3 – Orçamento dos coletores com tubos evacuados e placas solares planas, com e sem tubulação interna de inox .

Tipo de coletor solar				
Tubos Evacuados		Placa Solar Plana com tubos de inox		Placa Solar Plana
Custo unitário / tubo evacuado	R\$ 110,00	Custo unitário da placa de 2m ²	R\$ 1.200,00	R\$ 640,00
Quantidade de tubos	40	Quantidade de placas	3	3
Área total coletora	6m ²	Área total coletora	6m ²	6m ²
Custo total	R\$ 4.400,00	Custo total	R\$ 3.600,00	R\$ 1920,00

Fonte: SOLAR HAUS –Sistemas para Aquecimento - **Catálogo Informativo**. Disponível em: < <http://www.solar.com.br>- acesso em 02 nov. 2014

Observa-se que de acordo com a Tabela 3, no caso de opção pelos coletores de placa solar plana, o investimento inicial para a aquisição dos mesmos é em torno de 18% menor do que a opção pelos sistema de tubos evacuados .

4.6 Análise econômica

Segundo Fedrigo et. al. (2009) os valores de consumo do chuveiro elétrico em relação ao consumo total da residência, mais próximos dos apresentados na região sul do país, são 39% para o verão e 43% para o inverno.

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados dados referentes ao consumo de uma residência unifamiliar em três níveis de conforto, além da influencia do chuveiro elétrico e a estimativa de economia gerada pelo coletor solar.

Tabela 4 – Consumo de energia elétrica da residência, do chuveiro elétrico e a participação dessa opção de aquecimento de água no consumo total da residência

Conforto de banho	Residência (kWh/ano)	Chuveiro elétrico (kWh/ano)	Participação do chuveiro elétrico	
			Verão (%)	Inverno (%)
Reduzido	2.033,5	915,8	41,1	49,8
Regular	2.363,2	1245,6	51,1	54,8
Bom	2.667,7	1.550,0	54,5	62,3

Fonte: Altoé et.al. (2012)

Tabela 5 – Consumo de energia elétrica da residência, do sistema solar com apoio elétrico e a participação dessa opção de aquecimento de água no consumo total da residência

Conforto de banho	Residência (kWh/ano)	Energia solar coletor (kWh/ano)	Participação do chuveiro elétrico	
			Verão (%)	Inverno (%)
Reduzido	1.343,9	225,9	14,3	20,2
Regular	1.463,2	345,5	20,3	27,8
Bom	1.702,0	583,5	30,1	39,5

Fonte: Altoé et.al. (2012)

Com base nos dados apresentados nas tabelas, podemos definir alguns parâmetros para cálculo, demonstrando a perspectiva, e se há atrativos econômicos para a implantação do projeto.

A Tabela 6 apresenta os custos de implantação para três modelos de coletores solares existentes recomendados no mercado (região sul):

- Coletor solar plano com tubos de cobre .
- Coletor solar plano com tubos de cobre revestidos com tubos de aço inoxidável;
- Coletor solar com tubos evacuados.

Tabela 6 - Custo de implantação dos três sistemas

	1	2	3
Caso	Coletor plano revestido com tubos inox	Coletor com tubos evacuados	Coletor simples com tubos de cobre e válvula anticongelante
Coletor	R\$ 3.600,00	R\$ 4.400,00	R\$ 1.920,00
Reservatório 300L	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00	R\$ 1.500,00
Instalação	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00
válvula anticongelante	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 80,00
Custo total	R\$ 6.100,00	R\$ 6.900,00	R\$ 4.500,00

Fonte: o autor

4.6.1 Cálculo do valor líquido presente –VLP

O cálculo do VLP foi feito considerando a taxa de juros de 8% ao ano e uma vida útil de 30 anos, conforme dados informados pelos fabricantes.

A economia proporcionada pelos coletores solares considerando um “bom conforto” (tabela 5) é de 583,5kWh por ano. Considerando como R\$ 0,37 o valor do kWh, tem-se uma economia anual de R\$ 215,90.

Caso 1 - Coletor plano com tubulação interna revestida com tubos de aço inoxidável:

Investimento inicial total: R\$ 6.100,00

$$VPL = - I + A \cdot FVP(i, n)$$

Onde:

I=investimento inicial

A= lucro (ou valor economizado)

FVP(i, n)= Fator de valor presente

$$VPL = -6.100 + 215,90 \cdot 11,2575 = -3.669,51$$

Caso 2 - Coletor com tubos evacuados:

Investimento inicial total: R\$ 6.900,00

$$VPL = - I + A \cdot FVP(i, n)$$

$$VPL = -6.900 + 215,90 \cdot 11,2575 = -4.469,51$$

Caso 3 - Coletor plano simples:

Investimento inicial total: R\$ 6100,00

$$VPL = -I + A \cdot FVP(i, n)$$

$$VPL = -4.500 + 215,90 \cdot 11,2575 = -2.069,51$$

É possível observar que nos três casos o valor líquido presente (VLP) apresentou valores negativos, o que demonstra que não há atratividade econômica baseando-se nesse critério.

4.6.2 Cálculo do payback

A análise pelo método de retorno do investimento pelo critério do cálculo de payback simples (PBS) ou payback não descontado é apresentada na sequência.

Caso 1 - Coletor plano com tubulação interna revestida com tubos de aço inoxidável:

$PBS = A / I \Rightarrow 6.100,00/215,90 = 28,25$ anos, neste caso, analisando o PBS, chegamos à conclusão de um tempo de retorno de 28 anos e 3 meses.

Caso 2 - Coletor com tubos evacuados:

$PBS = A / I \Rightarrow 6.900,00/215,90 = 31,96$ anos, neste caso, analisando o PBS, chegamos à conclusão de um tempo de retorno de aproximadamente 32 anos.

Caso 3 - Coletor plano simples:

$PBS = A / I \Rightarrow 4.500,00 / 215,90 = 20,84$ anos, neste caso, analisando o PBS, chegamos à conclusão de um tempo de retorno de aproximadamente 20 anos e 10 meses.

5 CONCLUSÕES

A popularização dos painéis possibilita redução do consumo de eletricidade nas residências. Para tanto, faz-se necessário o estímulo da aquisição deste tipo de equipamento. Além disso, é importante que o equipamento tenha um funcionamento adequado às características climáticas da região em que é instalado.

Algumas formas de análise e comparação, estão contempladas neste trabalho, como redução das paradas para a manutenção dos sistemas devido ao rompimento causado pelo congelamento da água residual nos coletores.

Cabe salientar que o objetivo do trabalho foi analisar as alternativas presentes no mercado, por isso foram escolhidas algumas que segundo seus fabricantes, são eficientes em aspectos que previnem o congelamento dos tubos

Porém vale ressaltar que é importante que se façam estudos científicos por estudantes e engenheiros principalmente na questão dos coletores solares planos que utilizam tubos de aço inoxidável em conjunto com tubos de cobre, demonstrando a eficiência e confiabilidade deste sistema, já que por enquanto as informações sobre essa alternativa é disponibilizada apenas pelos fabricantes.

Fica evidenciado portanto a necessidade de aperfeiçoamentos posteriores por técnicos, engenheiros e estudantes, no intuito de reduzir custos de coletores e de sistemas anticongelamento estimulando o melhor aproveitamento deste tipo de energia, pois certamente, com as características apresentadas associadas é redução gradual dos custos de fabricação e aos estímulos à redução do consumo de energia, podem levar a popularização e ao melhor aproveitamento dessa fonte energética tão importante e ao mesmo tempo infinita chamada sol.

De acordo com o que foi analisado, é possível determinar como melhor opção para o nosso Estado os coletores solares planos. Os tubos a vácuo apresentam eficiência a temperaturas mais elevadas, devida à pouca perda térmica proporcionada pelo bom isolamento do vácuo, que ao mesmo tempo em que permite a passagem da radiação solar e com isso absorve o calor, funciona como isolante térmico. E o fato de se conseguir uma temperatura de até 270°C. Porém, como os coletores planos se mostraram mais eficientes a baixas temperaturas, para instalações residenciais no Estado no Rio Grande do Sul, onde tem-se uma

temperatura mínima mais amena, essa ainda é a melhor opção, sobretudo pelo fato de poder se utilizar coletores menores, com custo reduzido e desvalorizando menos a estética da casa. Mesmo com emprego do aço inoxidável que o torna mais resistente, conforme analisado, o seu custo também é menor, o que corrobora para a escolha do aquecedor solar plano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTOÉ, L.; OLIVEIRA FILHO, D.; CARLO, J. C. **Análise energética de sistemas solares térmicos para diferentes demandas de água em uma residência unifamiliar.** Ambiente construído, Porto Alegre, 2012.

ARRUDA, L.B. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos.** São Paulo: Tese de doutorado, Escola Politécnica da USP, 2004.

CARVALHO, F. de. **Indução de estruturas esféricas ou similares durante a cristalização da água por processos físicos ou químicos.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2007.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica.** 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

COSTA, I. J. de.; COSTA. P. dos S.; SILVA, J. V.; CUSTÓDIO, L. L. M. **Entry of cold fronts argentinas and your impact in southern brazil: a case study for austral winter of 2011.** MANAUS: Universidade do Estado do Amazonas, Escola Superior de Tecnologia (EST-UEA), 2011.

ENERGIAECO. **Catálogo Informativo.** Disponível em:<http://www.energiaeco.com.br>. acesso em 11 nov. 2014.

FEDRIGO, N. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro.** In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTECONSTRUÍDO, 10., 2009, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2009. p. 367-376.

INPE. **Boletim Climático.** Período de Agosto-Setembro-Outubro de 2014, Estado do Rio Grande do Sul. Pelotas, 2014.

KOMECO-**Manual de instalação de Aquecedores Solares,** versão 29/12/2008, São José, 2008.

LIMA, J.B.A. **Otimização de sistema de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS.** São Paulo: Dissertação de mestrado Escola Politécnica da USP, 2003.

MESQUITA, L. C. S. **Eficiência de Coletores Solares Térmicos 1.ed.** São Manuel: Universidade do Sol, 2013.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; de ABREU, S. L.; RUTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** São José dos Campos : INPE, 2006.

PORTO SOLAR AQUECEDORES. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www.portosolar.com> acesso em 16 nov. 2014.

QUINTEROS, A. R. **Aquecimento de Água por Energia Solar**. Revista Sinergia, São Paulo, SP, 2001. Disponível em: <http://www.cefetsp.br/edu/sinergia/andre2.html>>. Acesso em: 25 de novembro de 2014.

RÍSPOLI, Í. A. G. **Projeto e Cálculo de uma Reforma Hidráulica para Escola Universitária**. São Paulo, 1999.

ROSA, F. N. da. **Aplicabilidade dos Coletores Solares à Vácuo no Brasil**, 2012. 65 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2012.

SOLAR HAUS. **Sistemas para Aquecimento. Catálogo Informativo**. Disponível em: < <http://www.solar.com.br>- acesso em 02 nov. 2014.

SOLETROL. **Aquecedores Solares de Água**. São Manuel 2006. Disponível em: <http://www.soletrol.com.br/>. Acesso em: 30 de novembro de 2014.

SPRENGER, R. L. **Aplicação do Sistema Fechado no Aquecedor Solar de Água de Baixo Custo para Reservatórios Residenciais Isolados Termicamente: concepção e comissionamento de um sistema-piloto de testes**. Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2007.

VIDASOLAR. **Sistemas para Aquecimento/ historia-do-aquecedor-solar Catálogo Informativo**. Disponível em: <http://www.vidasolar.com.br/historia-do-aquecedor-solar/>. Acesso em: 17 de Dezembro de 2014.

YOUNG, H. D. **Física II: Termodinâmica e Ondas**. 12 Ed. São Paulo: Pearson, 2008.