

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS FRANCISCO BELTRÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL:
ANÁLISE E TECNOLOGIA AMBIENTAL

JEAN CARLOS RAVANELLI APPEL

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE BAIXO
CUSTO E COMPLEXIDADE TÉCNICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FRANCISCO BELTRÃO

2019

JEAN CARLOS RAVANELLI APPEL

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE BAIXO
CUSTO E COMPLEXIDADE TÉCNICA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof^o Dr. Bruno Arantes Moreira.

FRANCISCO BELTRÃO

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UTFPR – Câmpus Francisco Beltrão

A646d Appel, Jean Carlos Ravanelli

Desenvolvimento de sistema de aquecimento solar de baixo custo e complexidade técnica / Jean Carlos Ravanelli Appel. – Francisco Beltrão: [s.n.], 2019.
80 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Arantes Moreira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Francisco Beltrão, 2019.

Bibliografia: f. 76-80

1. Energia solar - Sistema passivo. 2. Aquecedores solares de água. 3. Energia - Fontes alternativas. 4. Aquecimento solar. I. Moreira, Bruno Arantes, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. III. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Ambiental. IV. Título.

CDD: 628



FOLHA DE APROVAÇÃO Nº 007

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE BAIXO CUSTO E
COMPLEXIDADE TÉCNICA**

por

Jean Carlos Ravanelli Appel

Esta dissertação foi apresentada às nove horas e trinta minutos do dia vinte e sete de maio de dois mil e dezenove como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL, com área de concentração em Meio Ambiente, linha de pesquisa em Tecnologia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. William Renzo Cortez Vega - UFGD
Membro externo

Prof. Dr. Bruno Arantes Moreira – UTFPR
Orientador

Prof.^a Dr.^a Michelle Milanez França – UTFPR
Membro

Prof. Dr. Rodrigo Lingnau – UTFPR
Coordenador

A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NA COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL: ANÁLISE E TECNOLOGIA AMBIENTAL

“ A inovação é resultado,
curiosidade, mais dedicação e
muita criatividade”

AGRADECIMENTOS

Dedico este Trabalho ao meu avô paterno Erick Apel “In Memoriam”, o qual me ensinou que: se vale a pena fazer algo, deve ser bem feito! Sempre instigando a inventividade através de suas criações e alegria de transmitir conhecimento.

A minha mãe, Iracema Ravanelli, por ter sempre me mostrado que humildade traz alegria e agrega conhecimento.

Em especial minha namorada, Danielly Rebelato, por sempre me incentivar, motivar em todos os momentos difíceis e participar de todos os momentos felizes, me fazendo ver de forma diferente os problemas e o mundo.

Aos meus amigos, por terem me ajudado de forma direta ou indireta nesta jornada, compartilhando seu estimado tempo e engrandecendo meu caráter.

A UTFPR-FB e todos seus integrantes, por serem sempre tão compreensivos e prestativos, desde os detalhes burocráticos com a alegria da Jaqueline e até a cordialidade do Anderson ao me atenderem ou no empenho do Davi, para que todos conseguissem absorver seu conhecimento.

Ao Professor Doutor Ivan, que mesmo com seu tempo escasso e os problemas de saúde que o afastaram do programa influenciou positivamente e contribuiu enormemente para o invento, bem como, os conselhos do Professor Doutor Lingnau, durante a troca de orientador.

Aos professores da UTFPR os quais sempre foram solícitos, ficaram saudosas lembranças dos livros que a Professora Doutora Elisete sempre conseguia, para compartilhar seu amor pela química, dos slides e brincadeiras do Professor Doutor Davi, para que o conhecimento se fixasse em nossas mentes distraídas, as lembranças das investidas argumentativas do Professor Doutor Reinaldo, instigando-nos a defender nossas ideias ou do encanto da Professora Doutora Michele por nossos projetos, todos nos dando forças de diferentes formas.

Em especial ao meu orientador, Professor Doutor Bruno Arantes Moreira, o qual eu gostaria de resumir aqui através de uma situação que marcou sua orientação, onde ele se encontrava na UTI e estava preocupado por não conseguir enviar as correções da dissertação. Pessoa incrível, que sempre foi compreensivo e mesmo sem nunca ter sido cobrado adotou mais um orientando (eu) e fez **muito** mais do que eu jamais esperaria de um orientador.

A Professora Mestre Cleila Navarini Valdameri, por estar sempre incentivando e compartilhando suas ideias e anseios.

Agradeço a banca, por acolherem o convite desta grande etapa de minha vida, pela atenção e engajamento na busca de aprimoramentos e sugestões para o Trabalho.

Concluindo, gostaria de agradecer a todos, por criarem a oportunidade de resolver um problema e por me fazer acreditar que podemos criar soluções que tenham impactos positivos para a sociedade. Thomas Edison disse “Há uma forma de fazer isso melhor – encontre-a” e neste trabalho busquei encontrar esta forma.

Para inovar
é fundamental errar muito,
errar rápido, errar barato.
(Edgar Andrade)

APPEL, Jean Carlos Ravanelli. DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE BAIXO CUSTO E COMPLEXIDADE TÉCNICA. 2019. 81f. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2019.

RESUMO

O desenvolvimento das tecnologias de obtenção e armazenamento energia solar trouxe várias inovações em distintas áreas, como o aquecimento, iluminação, cocção, bem como usos industriais. Dentre estas tecnologias, a tecnologia de aquecimento solar se destaca por ser de fácil implantação em residências e com grande impacto socioeconômico, reduzindo o consumo de energia para aquecimento, o qual corresponde a quase $\frac{1}{4}$ do consumo residencial. Ao reduzir o consumo, reduz-se a necessidade de novas usinas como as hidroelétricas e nucleares e seus impactos ambientais. Neste trabalho, foram desenvolvidos dois captadores solares de baixo custo, sendo um indicado para coberturas planas, denominado coletor espiral divergente e o segundo, denominado sistema coletor "S", o qual pode ser instalado diretamente sobre coberturas inclinadas. Os ensaios foram conduzidos com auxílio de um termômetro digital com dois termopares em regime de batelada, com circulação de água passiva, somados aos dados da estação meteorológica da UTFPR, com intuito de verificar a temperatura de entrada e saída do coletor, em reservatório termicamente isolado e um convencional. Também foram analisadas a incidência de ventos e precipitação de chuva. Através dos resultados, foi possível concluir que o sistema "S", mostrou-se altamente viável para implementado em residências, devido a sua capacidade de ser instalado em coberturas inclinadas, de maneira rápida e sem a necessidade de conhecimentos técnicos específicos. Este trabalho resultou em dois protótipos sendo que o sistema S obteve patente registrada no INPI atestando sua originalidade e garantindo a instituição sua propriedade intelectual bem como trouxeram uma redução significativa no custo de construção e na quantidade de conexões, sendo estes pontos passíveis de falha, além de grande facilidade para fabricação. Com a utilização de 100 metros de mangueira, o coletor "S", atingiu um pico de temperatura de 44°C, onde os ganhos térmicos ao longo do dia chegaram a 17,9°C, aquecendo o reservatório termicamente isolado (boiler), com capacidade de 100 litros, somados aos 49,1 litros de água contidos no captador. Desta forma, o sistema aqueceu 149,1 litros, proporcionando um ganho térmico que consumiria 49,78kW com o uso de resistência elétrica. Tais resultados mostram a viabilidade e funcionalidade da invenção proposta, indicando a possibilidade de implementação em larga escala.

Palavras-chave: Energia solar. Aquecedores solares de água. Energia - Fontes alternativas. Aquecimento solar. Energia - Fontes alternativas. Aquecimento solar.

APPEL, Jean Carlos Ravanelli. DEVELOPMENT OF LOW COST SOLAR HEATING SYSTEM AND TECHNICAL COMPLEXITY. 2019. 81f. Dissertation. Graduate Program in Environmental Engineering: Analysis and Environmental Technology. Federal Technological University of Paraná. Francisco Beltrão, 2019.

ABSTRACT

The development of technologies for obtaining and storing solar energy has brought several innovations in distinct areas such as heating, lighting, cooking as well as industrial uses. Among these technologies, solar heating technology stands out for being easy to install in homes and with great socioeconomic impact, reducing energy consumption for heating, which corresponds to almost $\frac{1}{4}$ of residential consumption. Reducing consumption reduces the need for new hydroelectric and nuclear power plants and their environmental impacts. In this work, two solar collectors of low cost were developed, one being indicated for flat roofs, denominated divergent spiral collector and the second, denominated collector system "S", that can be installed directly on inclined roofs. The tests were conducted using a digital thermometer with two thermocouples in batch mode, with passive water circulation, added to the UTFPR meteorological station data, in order to verify the temperature of the collector inlet and outlet, in a thermally insulated tank and a conventional one. The incidence of winds and precipitation were also analyzed. Through the results, it was possible to conclude that the "S" system proved to be highly feasible to be implemented in residences due to its ability to be installed in inclined roofs quickly and without the need for specific technical knowledge. This work resulted in two prototypes being that the S system obtained a patent registered in the INPI attesting its originality and guaranteeing the institution its intellectual property as well as they brought a significant reduction in the cost of construction and the quantity of connections, being these points of failure, besides easy to manufacture. With the use of 100 meters of hose, the collector "S" reached a temperature peak of 44°C, where the thermal gains during the day reached 17.9°C, heating the thermally insulated reservoir (boiler), with a capacity of 100 liters, added to the 49.1 liters of water contained in the collector. In this way, the system heated 149.1 liters, providing a thermal gain that would consume 49.78kW with the use of electrical resistance. These results show the feasibility and functionality of the proposed invention, indicating the possibility of large-scale implementation.

Keywords: Solar energy. Solar water heaters. Energy - alternative sources. Solar heating; Energy - Alternative sources. Solar heating.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 – Distribuição do consumo energético.....	19
Figura 02 – Mapa da distribuição da radiação solar x potência recomendada para chuveiro.....	20
Figura 03 - Mapa de localização.....	21
Figura 04 - Temperaturas e precipitação.....	22
Figura 05 - Temperatura média anual.....	23
Figura 06 - coletor solar plano.....	24
Figura 07 - Custo padrão dos SAS instalados.....	26
Figura 08 - Características e custos por tipo de sistema.....	27
Figura 09 - Aquecedor solar composto com tubos de PVC.....	28
Figura 10 - Esquema do aquecedor solar composto com tubos de PVC.....	28
Figura 11 - Sistema de aquecimento com forro de PVC.....	29
Figura 12 - Sistema de coletor com armazenamento integrado.....	30
Figura 13 - Coletor solar espiral.....	31
Figura 14 - Modelo de habitação unifamiliar.....	32
Figura 15: Habitação unifamiliar COHAB/MG.....	33
Figura 16 - Coletor solar feito com tubos de PVC, conexões tee, garrafas PET e caixa de leite.....	35
Figura 17 – Sistema coletor com policarbonato alveolar.....	36
Figura 18 - Sistema plano com forros de PVC.....	37
Figura 19 – Sistema espiral.....	37
Figura 20 - Materiais analisados.....	38
Figura 21 – Captador espiral.....	42
Figura 22 – Captador solar de baixo custo espiral divergente estruturado por hastes metálicas.....	43
Figura 23 - Teste de circulação passiva.....	43
Figura 24 - Captador solar de baixo custo espiral divergente autoportante.....	44
Figura 25 – Sistema com captador parabólico.....	45
Figura 26 – Esquema do captador solar de baixo custo em configuração “S”.....	47
Figura 27 – Etapas para a instalação do captador solar de baixo custo em configuração “S”.....	48
Figura 28 – Posicionamento do captador solar de baixo custo em configuração “S”......	49

Figura 29 – Esquema da posição dos termopares.....	50
Figura 30 – Configuração do captador solar de baixo custo em configuração “S”.....	51
Figura 31 – Modelo do reservatório utilizado no experimento 04 e 05.....	52
Figura 32 – posicionamento dos sensores termo pares.....	53
Figura 33 – Montagem do sistema S com dois coletores paralelos.....	54
Figura 34 – Vista superior do captador solar de baixo custo em configuração “S” duplicado, na configuração paralelo.....	58
Figura 35 – Aquisição de dados do experimento 05.....	59

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Comparativo de custos por material.....	58
Gráfico 02 – Experimento 02: coleta 01.....	60
Gráfico 03 – coleta 02: temperatura.....	61
Gráfico 04 – Coleta 03: temperatura do reservatório conectado ao captador (T1), temperatura medida no reservatório residencial (T2) e temperatura ambiente (T. AMB).....	62
Gráfico 05 – Coleta 03: vento.....	63
Gráfico 06 – Coleta 03: precipitação.....	63
Gráfico 07 – coleta 04: temperatura.....	64
Gráfico 08 – Coleta 04: vento.....	64
Gráfico 09 – Coleta 04: precipitação.....	65
Gráfico 10 – Coleta 05: temperatura.....	66
Gráfico 11 – Coleta 05: vento.....	67
Gráfico 12 – Coleta 05: precipitação.....	67
Gráfico 13 – Coleta 06: temperatura.....	68
Gráfico 14 – Coleta 06: temperatura.....	69
Gráfico 15 – Coleta 07: vento.....	69
Gráfico 16 – Coleta 07: precipitação.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ASBC	Aquecimento solar de baixo custo
CFC	Clorofluorcarboneto
COHAB/SC	Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina
Copel	Companhia Paranaense de Energia
CO ₂	Dióxido de carbono
GW	Gigawatt
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEC	Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor
Km/h	Quilômetros por hora
KWh/m ²	Quilowatt-hora por metro quadrado
mm	Milímetros
m ²	Metro quadrado
m/s	Metros por segundo
O	Oeste
PAC 2	Programa de Aceleração de Crescimento
PET	Polietileno tereftalato
PP	Polipropileno
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de vinila
S	Sul
SAS	Sistemas de aquecimento solar
w	watts
W/m ²	
°	Graus
°C	Grau Celsius
'	Minutos
''	Segundos

SUMÁRIO

1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS	13
1.1 INTRODUÇÃO.....	13
1.2 PROBLEMA.....	16
1.3 HIPÓTESE.....	16
1.4 OBJETIVOS.....	17
1.4.1 Objetivo Geral	17
1.4.2 Objetivos Específicos	17
1.5 JUSTIFICATIVA.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 A ENERGIA SOLAR.....	19
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO.....	21
2.3 PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA.....	22
2.4 COLETORES E CONCENTRADORES SOLARES.....	23
2.5 COLETORES SOLARES DE BAIXO CUSTO.....	26
2.6 NORMATIVAS TÉCNICAS.....	31
2.7 CARACTERIZAÇÃO DE PONTOS PASSÍVEIS DE MANUTENÇÃO.....	32
2.8 INCLINAÇÃO DOS TELHADOS DE RESIDÊNCIAS DE BAIXO CUSTO.....	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 ANÁLISE DA VIABILIDADE ENTRE OS VOLETORES SOLARES DE BAIXO CUSTO E OS COMERCIAIS.....	34
3.2 PROPOSTAS DE CAPTADORES SOLARES ALTERNATIVOS DE BAIXO CUSTO.....	39
3.3 EXPERIMENTOS REALIZADOS NO CAPTADOR SOLAR ESPIRAL DIVERGENTE E NO CAPTADOR SOLAR EM CONFIGURAÇÃO “S”.....	40
3.4 EXPERIMENTOS.....	41
3.4.1 Experimento 01	41
3.4.2 Experimento 02	42
3.4.3 Experimento 03	46
3.4.4 Experimento 04	51
3.4.5 Experimento 05	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1 EXPERIMENTOS E COLETAS.....	59

4.1.1 Experimento 01	59
4.1.2 Experimento 02	59
4.1.3 Experimento 03	61
4.1.4 Experimento 04	65
4.1.5 Experimento 05	67
4.2 VIABILIDADE TÉCNICA	70
5 MÍDIAS	73
5.1 PUBLICAÇÃO DE ARTIGO REFERENTE AO TRABALHO	73
5.2 PATENTE	73
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
6.1 PERSPECTIVAS FUTURAS	75
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

1 ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

1.1 INTRODUÇÃO

Atualmente a energia solar é amplamente utilizada. Os captadores solares de baixo custo, geralmente são desenvolvidos para trabalhar com baixas e médias temperaturas. Podem ser utilizados em locais com climas quentes ou em climas frios e tem um grande potencial para a utilização da energia solar, impactando positivamente na economia da energia elétrica.

Em 2001, a capacidade de geração elétrica nacional instalada era aproximadamente de 75GW. Segundo dados do Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos, em 2010, esta capacidade aumentou para 121GW e no ano de 2018 a Agência Nacional de Energia Elétrica anunciou marca de 164.826.054GW com previsão de mais 20GW nos próximos anos. Nota-se, atualmente, uma grande preocupação em expandir e modernizar todos os segmentos ligados a energia elétrica.

Da energia gerada no Brasil, 63,8% é proveniente de hidroelétricas e 24,5% de termoeletricas 88,3% de toda matriz elétrica, segundo dados do Banco de dados de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2018) e com a crescente demanda energética, são necessárias cada vez mais usinas, linhas de transmissão e redes de distribuição. Os aquecedores solares, tem o potencial de redução no consumo e estes investimentos poderiam ser postergados ou evitados, tais como as áreas de vegetação, que não seriam alagadas e desmatadas, realidade recorrente no norte do país (COURSES; SCHOOLS, 2015).

O Plano Decenal de Expansão de Energia de 2023 – (PDEE 2023), prevê uma alteração na matriz energética brasileira nos próximos anos, com uma redução das fontes hidráulicas e um aumento da participação de outras fontes renováveis, que pode impulsionar a energia solar (BRASIL, 2014).

O chuveiro elétrico, representa 22,8% do consumo de energia nos segmentos de residenciais, nos quais os moradores possuem sua renda de até dois salários mínimos. Em um âmbito nacional, o chuveiro é responsável por 34% do consumo de energia de todo o sistema energético brasileiro (ACHÃO e SCHAEFFER, 2004).

O Sol é considerado uma fonte de energia limpa e gratuita, além de ser uma fonte sustentável. Sua incidência de radiação no Brasil, tem variação entre 5,2 a 5,9KWh/m²), com uma diferença de 13% dependendo da região do país, variação considerada baixa, quando relacionada a variação de consumo de energia para chuveiros, levantada pelo IDEC - Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (2018), a qual acentua-se nas regiões norte e sul do Brasil, havendo diferença de quase 230%, onde as resistências usadas nos chuveiros têm um consumo que varia de 2.400W a 7.900W.

O governo federal tem incentivado o uso da energia solar através do PAC 2 (Programa de Aceleração de Crescimento), fez um investimento de R\$ 1,1 bilhão, através da instalação de aquecimento solar para o banho em dois milhões de residências, a serem financiadas pelo programa "Minha Casa, Minha Vida" (GOY, 2010).

Uma das formas de se utilizar a radiação solar como fonte de energia térmica, é de forma direta, para aquecer fluidos e armazenar estes para uso posterior no aquecimento de ambientes ou nas atividades que demandam água quente para seu funcionamento. Essa utilização, se dá através do uso de coletores, os quais tem a função de captar a radiação solar convertendo-a em energia térmica para um fluido. Tal sistema quando associado com um reservatório térmico são denominados de Sistemas de Aquecimento Solar - SAS (SILVA, 2015).

Nos últimos anos, o tema de desenvolvimento de sistemas de aquecimento solar de água com baixo custo de aquisição e instalação tem sido abordado inúmeras vezes em trabalhos científicos, tais como Bainbridge (1983), Kemp (1891), Reddy (1995), Niemeyer (2006), Sprenger (2007), Alano (2007), Gevorkian (2008), Energy e Program (2009), Hudon et al. (2012), Santos et al. (2012), Gonçalves, Mendes & Silveira, (2012), Costa (2016), dentre outros, tanto para analisar sua viabilidade técnica e econômica, bem como suas limitações em relação a durabilidade e a manutenção que estes sistemas demandam, em especial junto às classes sociais brasileiras de menor poder aquisitivo.

Um dos modelos de aquecimento solar alternativo de baixo custo mais conhecido é o sistema com tubos de PVC 25 mm, ligados através de conexões *tee* para formar um sistema com vários tubos paralelos. O isolamento do sistema ocorre através do uso de garrafas PET (polietileno tereftalato) e suas aletas são compostas

por embalagens cartonadas (conhecidas popularmente como caixinhas longa vida ou tetra pack).

Este coletor de baixo custo foi amplamente divulgado pela Celesc Distribuição S.A., por meio do seu Programa de Responsabilidade Social, visando viabilizar políticas comprometidas com a qualidade de vida e com o desenvolvimento sustentável da sociedade, preservando recursos ambientais e culturais. Este sistema tem se mostrado economicamente viável e sustentável, porém utiliza um elevado número de conexões e seus tubos são submetidos a elevadas temperaturas, que podem ocasionar problemas de vazamento, principalmente nas suas conexões.

Sanches (2008), aponta que grande parte das falhas em tubulações hidráulicas em PVC, estão ligadas ao seu uso e instalação incorretos, tais como, torções nas tubulações, falta de proteção mecânica contra impactos, conexões improvisadas, adaptações nas tubulações, o uso incorreto das técnicas de instalação, o aquecimento dos tubos e vários problemas nas conexões, em maioria das vezes, ficando evidente que as conexões são um ponto crítico de projetos hidráulicos.

Em um contexto sócio espacial, verificou-se através de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE de 2011, que 10,3% dos brasileiros não possuem acesso à energia elétrica nas áreas rurais, observando-se que na região norte este número aumenta para 38,5% (ROBERT et al., 2016).

Neste contexto, foi proposto neste trabalho, o desenvolvimento de um sistema de captação solar que reduza os pontos de falha verificados nos atuais sistemas de aquecimento solar de baixo custo (ASBC), que seja de simples montagem, com o mínimo de conexões e construído com um custo bem inferior quando comparado com os clássicos captadores comerciais.

De maneira geral, o presente trabalho apresenta uma contribuição sobretudo para as populações de baixa renda, viabilizando condições básicas de boa qualidade de vida e buscando prover subsídio técnico, que devem contemplar avanços tecnológicos da eficiência energética, soluções que considerem os benefícios e avanços tecnológicos da eficiência energética e da sustentabilidade. Os setores energéticos hídricos e ambientais demandam de soluções que atuem positivamente para a redução do consumo energético.

1.2 PROBLEMA

Atualmente, aquecedores solares de baixo custo têm sido amplamente debatidos, perante o impacto positivo que trazem ao meio ambiente, através da redução do consumo elétrico, reciclagem e reuso de materiais usados em sua produção, bem como, sua importância socioeconômica.

Neste contexto questiona-se: é possível reduzir ainda mais o custo dos aquecedores solares de baixo custo (ASBC) atualmente estudados, reduzindo o número de conexões, objetivando reduzir os pontos passíveis de falha, sem comprometer sua função?

1.3 HIPÓTESE

A resolução de problemas ambientais de âmbitos ecológico, social, econômica e tecnológica é o cerne da Engenharia Ambiental, almejando promover o desenvolvimento sustentável. Viabilizar um sistema alternativo de aquecimento ou até mesmo de pré-aquecimento de água para o chuveiro elétrico, o qual é usado em 97% das habitações brasileiras (IBGE-PNAD, 2004), onde o consumo residencial compõe 20% a 25% da demanda energética do país, prover tecnologias que resultem economia no setor residencial e reduzam os picos de energia no sistema são de suma importância.

A indústria brasileira de aquecedores solares, no intuito de aumentar a eficiência energética, tem investido cada vez mais em treinamento e tecnologias, para que os aquecedores tenham menos problemas e ocupem espaços reduzidos, em contrapartida, isso demanda de mão de obra altamente qualificada para instalação dos sistemas comerciais.

Com o intuito de conceber melhorias na qualidade de vida da população de baixa renda e que possuem pouco conhecimento técnico nesta modalidade, esta dissertação oferece uma contribuição para o aumento da adoção do aquecedor solar nas residências, direcionado ao aquecimento de água para o chuveiro, assim difundindo o protótipo aqui apresentado.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de aquecimento de água de baixo custo, reduzindo pontos passíveis de falha, de montagem e instalação que exija um menor conhecimento técnico, reduzindo o tempo necessário em sua implantação e que atenda a demanda de água quente para banho, em uma residência unifamiliar composta por dois integrantes.

1.4.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- Utilizar a luz solar como fonte de energia, aproveitando as boas condições de insolação do Brasil;
- Reformular a atual montagem dos sistemas de aquecimento de baixo custo, com intuito de reduzir ainda mais seus custos;
- Produzir um sistema com menor custo de fabricação, menor complexidade de execução, durável e com baixa expectativa de falha, através da reformulação do sistema;
 - Desenvolver um sistema de captação com o mínimo de conexões possíveis;
 - Desenvolver um sistema que possa ser instalado diretamente sobre o telhado das edificações;
 - Comparar o custo dos materiais dos coletores mais difundidos e os sistemas propostos;
 - Registrar o ganho e perda de temperatura do sistema em relação as temperaturas ambientes.

1.5 JUSTIFICATIVA

Nos países em desenvolvimento, as energias renováveis proporcionam uma série de vantagens e recursos, tendo em vista que a utilização de energia traz consigo

a incidência de várias taxas consequentes do desenvolvimento econômico. (HINRICHS et al., 2011)

Por grande parte da matriz energética brasileira ser composta por hidroelétricas, ela fica muito vulnerável as variações climáticas, fazendo necessário o uso de fontes menos ecologicamente adequadas, como termoelétricas movidas a gás (10,6%), nuclear (1,6%) e a carvão (1,5%), potenciais geradoras de poluição. (LENZ et al., 2017).

Somado ao fato de que o território brasileiro é amplo e possui baixa variação da radiação solar, nota-se um grande potencial para o desenvolvimento de energias sustentáveis (VECCHIA, 2010). Faz-se necessário promover a conscientização em relação ao consumo desenfreado de energia elétrica, produzindo soluções que reduzam este consumo e o impacto ambiental, bem como as emissões de CO₂, conservando os recursos hídricos finitos e contribuindo socioeconomicamente na qualidade de vida das famílias de menor renda.

A elaboração deste trabalho, tem o intuito de desenvolver um sistema de captação solar diferente dos atuais projetos existentes, afim de cumprir os objetivos do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

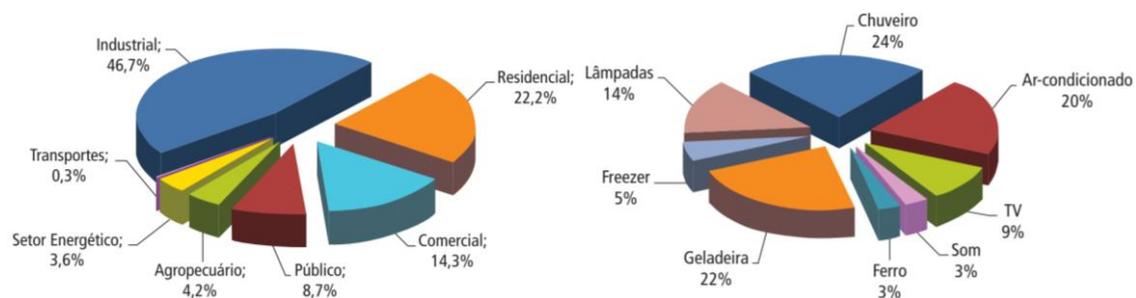
Neste capítulo, serão exibidos conceitos relevantes referentes aos sistemas de aquecimento solar, bem como, os sistemas que interagem com ele, suas características tecnológicas e principais pontos de falha, tanto em sua construção como durante sua atuação, visando elucidar as principais características de funcionamento e caracterizar os atuais pontos positivos e negativos dos captadores solares.

2.1 A ENERGIA SOLAR

Um dos principais fatores na radiação solar, é a inclinação que a Terra tem $23,5^\circ$ em relação do seu eixo de rotação, que durante o movimento de translação expõem mais um hemisfério que outro. Com isso, a quantidade de energia chegando em um hemisfério, é diferente da energia chegando no outro, podendo haver grande alterações na quantidade de energia, sendo de 2572W/m^2 no inverno e 6626W/m^2 no verão criando uma grande amplitude térmica entre as estações (RADIATION, 2013). Essa energia, é equivalente a produção elétrica de 10 bilhões de usinas hidroelétricas como a Itaipu (STENSMANN, 2002).

Segundo (LAMBERTS et al., 2010), no Brasil, a partir do ano de 2005 a demanda elétrica residencial é de cerca de 22,2% e é composta por equipamentos que incluem sistemas de iluminação, refrigeração e aquecimento, eletrodomésticos e outros dispositivos, conforme pode-se observar na Figura 01:

Figura 01: Distribuição do consumo energético.



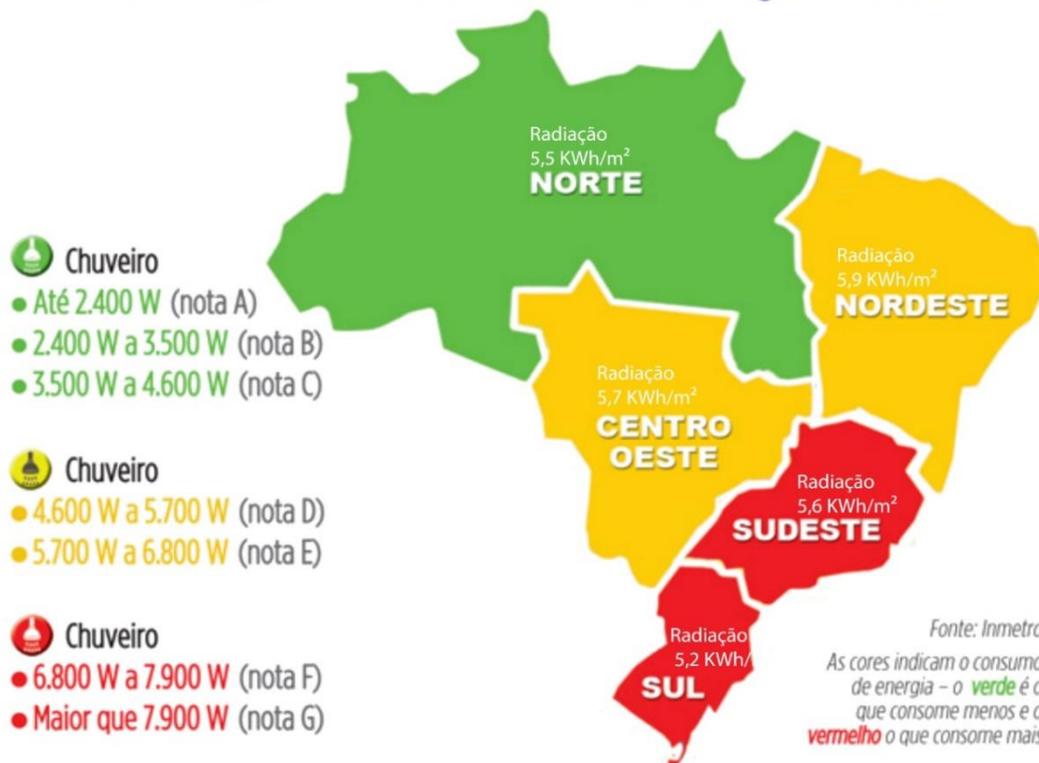
Fonte: Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor - <https://idec.org.br/consultas/dicas-e-direitos/saiba-quais-so-os-viloes-de-consumo-de-energia-no-inverno>, acesso em setembro de 2018.

Percebe-se que os maiores responsáveis pela demanda elétrica residencial são os chuveiros, com 24%, a geladeira com 22%, seguidos pelo ar-condicionado com 20%. Por compor cerca de $\frac{1}{4}$ do consumo médio de uma residência, o chuveiro tem grande impacto no consumo, levando em conta que nem todas as residências possuem ar condicionado, o chuveiro toma lugar ainda mais importante na composição de consumo de energia nas residências, tornando o estudo ainda mais relevante.

Segundo o IDEC - Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (2018), a irradiação solar tem pequena variação no território brasileiro, de cerca de 5,5KWh/m² na região norte e de 5,2KWh/m² na região sul, enquanto a potência recomendada para chuveiros no Norte é de 2.400W à 4.600W, no Sul esta recomendação é de 6.800W a 7.900W ou maior, como demonstrado na Figura 02:

Figura 02 – Mapa da distribuição da radiação solar x potência recomendada para um chuveiro.

Escolha o chuveiro de acordo com a região onde mora



Fonte: Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor - <https://idec.org.br/em-acao/revista/falsos-magros/materia/chuveiro-o-vilo-do-banheiro>, acesso em 02 de setembro de 2017.

Ao comparar a grande diferença de potência entre os chuveiros (Norte 2.400W e do Sul 7.900W), quanto a pouca variação da radiação solar que o território

brasileiro possui (nordeste 5,9KWh/m² e no Sul 5,2KWh/m²), fica evidente o grande potencial do uso de aquecedores solares de água na região sul do país.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Segundo dados do censo de 2017 do IBGE, a cidade de Francisco Beltrão possui população estimada em 89.942 pessoas, com seu maior adensamento no centro da cidade, local qual desenvolveu fortemente o comércio e conta com diversas construções públicas, agências bancárias e lojas diversificadas.

Francisco Beltrão situa-se na coordenada geográfica de latitude 26° 04' 51'' Sul e longitude 53° 03' 18'' Oeste segundo Machado (2015) com área total de 731.731km² e o núcleo da cidade com aproximadamente 50km², segundo o IBGE de 2018.

Francisco Beltrão localiza-se no centro do Sudoeste do estado do Paraná (Figura 03), a cerca de 470km (quilômetros por hora) da capital do estado do Paraná, a cerca de 70km da Argentina e a 30km da divisa do estado com Santa Catarina (IPARDES, 2018).

Figura 03 - Localização



Fonte: Rebelato, 2019.

2.3 PRECIPITAÇÃO

Denomina-se precipitação qualquer deposição da água proveniente da atmosfera, estando no estado físico, sólido ou líquido, abrangendo desde chuvisco, granizo, neblina, orvalho, neve, entre outros. Sua medição se dá através de coleta de precipitação em uma área de 1m² e medida em milímetros onde 1 mm é equivalente a precipitação de um litro em uma área de 1m², segundo o Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR (2017).

Francisco Beltrão tem precipitação média anual conforme demonstra na Figura 04 de 160 mm, com temperaturas que variam de 29,7°C a 6,2°C, com média anual de 18,24°C. Como pode ser visto na Figura 05, segundo o IAPAR (2017), a menor média mínima mensal desde 1974 foi de 9°C no mês de julho de 1994, enquanto a máxima se deu em janeiro de 1991, atingindo a média mensal de 30,2°C.

Observa-se na Figura 04 e 05 que não há grande possibilidade de congelamento do sistema, pois o mesmo não tem sistema de aletas, o qual amplifica a condução térmica do coletor através do aumento de área em contato com o ambiente. Nota-se também, que há uma boa incidência solar média anual, com 2.331 horas de luz solar por ano.

Figura 04 – Média histórica de temperaturas e precipitação de 1974-2016

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (C°)	23,6	23,2	22,1	19,3	15,6	14,1	14,2	16	17,5	20,1	21,7	23,1
Temperatura mínima (C°)	18,5	18,4	17	14,2	10,7	9,3	9	10,3	11,9	14,6	15,9	17,7
Temperatura máxima (C°)	30,1	29,9	29,2	26,2	22,3	20,7	21,1	23,4	24,4	26,8	28,4	29,6
Chuva (mm)	79,1	64	71,1	59,4	48,3	43	60	77	79,8	83,1	88,3	87,6

Fonte: Adaptado de IAPAR.

Figura 05 - Temperatura média anual

ESTACAO: FRANCISCO BELTRAO / CODIGO: 02653012 / LAT: 26.05 S / LONG: 53.04 W / ALT: 650 M

PER.: 1974/2016

MES	TEMPERATURA DO AR (.c)						U.REL		VENTO		PRECIPITACAO			EVAPOR.		INSOL.
	média máxima	média mínima	máxima abs	ano	min abs	ano	média comp	média %	dir pr.	m/s	total	máxima 24h	ano	dias chuva	total mm	total horas
JAN	30,2	18,5	36,4	91	8,0	74	23,6	74			188,8	146,8	80	14	79,1	219,7
FEV	29,9	18,4	37,6	2014	8,7	91	23,2	77			173,0	131,0	83	13	64,0	192,9
MAR	29,2	17,0	37,4	2005	3,4	76	22,1	76			141,8	98,4	83	11	71,1	214,3
ABR	26,2	14,2	33,8	2007	1,0	99	19,3	78			167,6	178,0	2010	10	59,4	188,6
MAI	22,3	10,7	31,9	81	-0,2	2007	15,6	81			186,5	176,5	2014	9	48,3	171,3
JUN	20,7	9,3	31,0	74	-4,2	78	14,1	81			167,3	183,6	91	10	43,0	145,6
JUL	21,1	9,0	30,0	94	-5,0	75	14,2	77			137,7	137,8	83	10	60,0	172,8
AGO	23,4	10,3	34,0	99	-2,4	84	16,0	71			111,1	152,0	2011	8	77,8	193,2
SET	24,4	11,9	35,7	88	-0,4	2002	17,5	70			165,2	116,0	2014	10	79,8	182,0
OUT	26,8	14,6	36,4	2014	3,3	82	20,1	71			251,7	113,2	75	12	83,1	201,0
NOV	28,4	15,9	38,3	85	4,8	95	21,7	69			178,1	137,0	82	11	88,3	224,3
DEZ	29,6	17,7	38,2	85	8,6	2010	23,1	72			177,5	117,0	94	12	87,6	225,7
ANO	26,0	14,0					19,2	74,7			2046			131	841	2331
EXT			38,3		-5,0							183,6				

Fonte: http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Francisco_Beltrao.htm, acesso em 2018.

Verifica-se que nas últimas décadas a amplitude térmica na cidade foi de 21,2°C, sendo que, a menor média mensal de amplitude térmica foi de 9°C e a maior 30,2°C. A média anual de amplitude térmica ficou entre 14°C e 26°C, variações aceitáveis para a implantação de SAS de baixo custo.

2.4 COLETORES E CONCENTRADORES SOLARES

Os primeiros relatos de uso de aquecedores existem desde 1800, no estado de Utah nos Estados unidos da América, por fazendeiros fazendo o uso de latas pintadas de preto, que ficavam no sol até que as mesmas ficassem aquecidas. Segundo Bainbridge (1983) haviam anúncios e informativos apresentando o passo a passo da montagem e usos deste sistema.

Herschel em 1830, construiu uma “caixa quente” para cozinhar, durante uma expedição ao Cabo da Boa Esperança na África do Sul, conseguindo temperaturas até 240° F (GEVORKIAN, 2008).

Kemp, em 1891, obteve a primeira patente para um coletor solar, o Clímax, que possuía vários tanques cilíndricos de aço galvanizado, pintados de preto. Conseguiu-se um aumento no rendimento ao isolar esses tanques com papel de feltro

e colocá-los em uma caixa de madeira com cobertura de vidro, além de conseguir, assim, conservar a água quente (NIEMEYER, 2006).

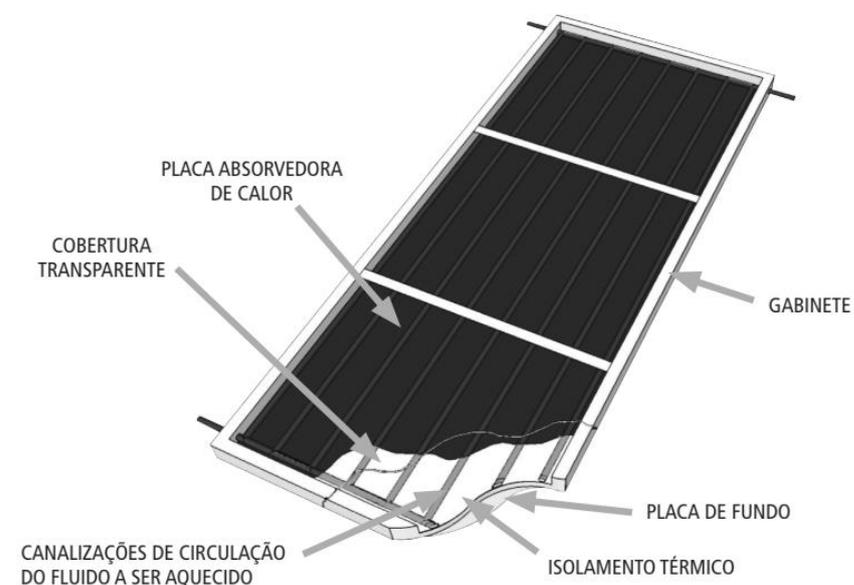
Em 1902, já haviam relatos de aquecedores passivos, como relatados por (BAINBRIDGE, 1983), onde evidencia-se em fotos históricas o uso de aquecedores em Los Angeles.

REDDY (1995), publicou um estudo comparativo entre os gastos relacionados ao aquecimento de água por meio de sistemas elétrico e solar. A pesquisa concluiu que o aquecedor solar é a melhor proposta para os consumidores. Isso porque, além da viabilidade econômica, trata-se de uma fonte de natureza renovável e que promove qualidade ambiental.

Atualmente, os modelos mais difundidos são os captadores solares planos e concentradores:

- Coletor solar plano: são atualmente um dos sistemas com menor custo de produção e implantação e são de concepção bastante simples como pode-se observar na Figura 06, sendo compostos por uma placa absorvedora e possuem diferentes isolamentos térmicos. Os coletores de tubo evacuado possuem tecnologia mais sofisticada, permitindo obter eficiências maiores e temperaturas mais altas. Os coletores sem cobertura, não possuem isolamento térmico e cobertura de vidro, fazendo com que sua eficiência seja baixa e custo reduzido.

Figura 06 - Coletor solar plano



Fonte: O autor 2019

O coletor plano é, atualmente, o mais empregado no setor residencial brasileiro, com temperaturas inferiores a 100°C. Sua simplicidade construtiva, boa relação de custo para a temperatura de trabalho desejada, durabilidade e fácil manutenção são seu principal ponto positivo.

Muitos dos sistemas de aquecimento solares residenciais utilizam-se do sistema de circulação passiva conhecido como termossifão o qual reduz o custo de utilização tornando-se desnecessário o uso de um equipamento de bombeamento, que consumiria eletricidade além de deixar o sistema inoperante quando há quedas de luz. Sabese que bombas de agua respondem por um percentual significativo do custo de produção de um coletor.

Nos coletores solares planos, a energia solar atravessa a cobertura transparente sendo absorvida pela placa coletora, geralmente construída de cobre, alumínio ou PVC. A placa coletora funciona como uma aleta, transportando o calor para o fluido. O isolamento tem como objetivo reduzir as perdas térmicas para o ambiente bem como criar um efeito estufa maximizando a absorção de energia pelas placas

- Captadores solares concentradores: dentre os modelos mais utilizados, destaca-se os coletores do tipo bacia parabólica, calha parabólica, torre e lentes Fresnel e tem como característica principal direcionar os raios solares em uma área de concentração, a qual retém ou converte o calor em energia.

Após a captação solar, o fluido é aquecido no coletor e feito o transporte do mesmo até o reservatório, para o armazenamento. O transporte pode ocorrer através de bombeamento ou de forma passiva, através do fenômeno chamado termossifão (SPRENGER, 2007).

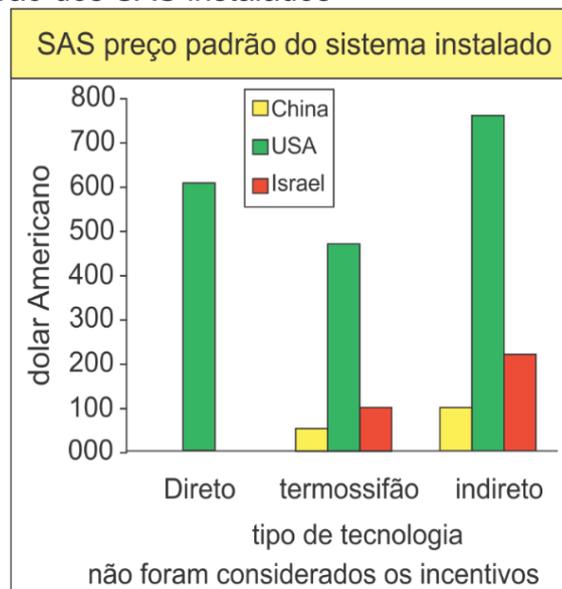
Em um contexto geral, os sistemas concentradores são de difícil execução, tendo custo de construção médio a alto, necessita de manutenção constante, as lentes concentradoras ou espelhos concentradores requerem limpeza constante para que funcionem plenamente, requer bombeamento do fluido e muitos dos sistemas concentradores só se tornam viáveis com ajustes de posição ao longo das estações do ano e em alguns modelos os ajustes são feitos várias vezes durante o dia (COSTA, 2016).

2.5 COLETORES SOLARES DE BAIXO CUSTO

Os coletores solares de baixo custo são geralmente sistemas não comerciais, que tem por objetivo criar um sistema de aquecimento solar com custo bem inferior aos modelos comerciais. Estes coletores utilizam materiais com custos menos expressivos ou mesmo materiais reciclados. Além disso, tais coletores operam com temperaturas mais baixas.

Segundo HUDON et al. (2012), os sistemas de coletores solares de baixo custo são compostos por reservatórios de 110 a 190 litros, e uma área de captação térmica de 1,8 m². Este tipo de coletor utiliza também o princípio de circulação passivo, termossifão, como pode ser verificado na Figura 07:

Figura 07 - Custo padrão dos SAS instalados



Fonte: Adaptado de Hudon et al., 2012.

Na Figura 07, é demonstrado que em todos os países estudados o sistema de circulação mais barato é o de termossifão seguido do sistema direto e do sistema indireto, além de ficar evidente na Figura 08 que a mão de obra é um item impactante no custo de cada sistema, sendo que os Estados Unidos foi o local com maior custo de mão de obra em todos os sistemas dentre os países pesquisados, chegando a custar até 10 vezes mais que a china, observa-se que a capacidade de armazenamento de água quente chegar se o dobro da capacidade utilizada em israel por exemplo.

Figura 08 - Características e custos por tipo de sistema

Características	Estados Unidos	Israel	China
Custo do sistema instalado (domestico, 2-4 pessoas)	\$ 5.000 - 10.000	\$1.000 - 1.800	\$ 300 - 1.000
Tecnologia mais comum	Indireto (com bomba)	Termossifão (sem bomba)	Termossifão
Capac. Do reservatório	302 Litros	115 Litros	115-190 Litros
Tamanho do coletor	4,65 m ²	1,85 m ²	1,85 m ²
Sistema auxiliar	Convencional elétrico / gás	Resistencia elétrica	Resistencia elétrica
Quantidade	Altissimo	Alto	Baixo
Instalação típica	Coletores no telhado, reservatorio interno, designe complexo, alto custo de instalação	Coletores e reservatório no telhado, sistema simples, custo de instalação médio	Coletores e reservatório no telhado, sistema simples, custo de instalação baixo
Volume de vendas	30.000 instalações por ano	70.000 instalações por ano	6.000.000 instalações por ano

Fonte: Adaptado de (HUDON et al., 2012)

Outro ponto fundamental para redução do custo é a instalação direta na cobertura, sem necessidade de suporte ou mão de obra altamente qualificada para a instalação.

Nos sistemas apresentados na Figura 08, o aquecimento auxiliar (quando a água não atingiu a temperatura desejada apenas com a aquecedor solar) se dá através de aquecedores elétricos. Hudon et al. (2012), evidencia que os países como China e Israel tem grandes demandas de sistemas de aquecimento d'água de baixo custo.

Os sistemas de coletores solares de baixo custo mais difundidos na literatura são:

- Aquecedor solar composto com tubos de PVC: neste tipo de aquecedor solar utiliza-se tubos de PVC 25mm, envolvidos por garrafas PET e embalagens cartonadas (conhecidas popularmente como tetrapak). O protótipo foi patenteado por José Alcino Alano, em 2004, o qual fora denominado "Aquecimento solar composto de embalagens descartáveis" registro de Patente: nº PI 0402869-4 A. Este foi desenvolvido para permitir economia de energia elétrica e reduzir o impacto ambiental, através da reciclagem direta.

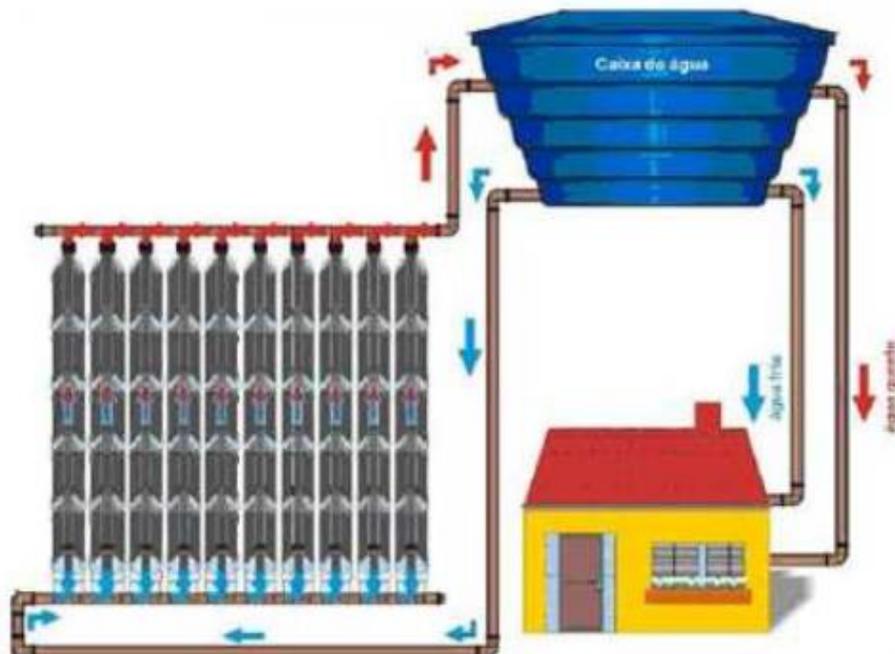
A captação da radiação solar se dá através das aletas, feitas de embalagens cartonadas. O isolamento térmico e efeito estufa é provido pelas garrafas PET, que isolam os tubos de PVC que foram pintados de preto fosco para maximizar a absorção de radiação e sua configuração de montagem propicia o efeito de termossifão, não sendo necessário o bombeamento d'água (ALANO, 2007). Uma ilustração deste sistema está apresentada nas Figuras 09 e 10.

Figura 09 - Aquecedor solar composto com tubos de PVC



Fonte: Maia, Raphael & Gonçalves, 2013.

Figura 10 - Esquema do aquecedor solar composto com tubos de PVC



Fonte: Maia, Raphael & Gonçalves, 2013.

- Sistema de aquecimento com forro de PVC: este sistema apresentado por Santos et al. (2012) é composto por duas barras de um metro de cano PVC de 32mm de diâmetro, três placas de forro de PVC, conexões de 32mm onde são criados vincos nas barras de tubo, para o encaixe das placas de forro, que agem como aletas captadoras e transportam o fluido verticalmente, formando o termosifão. Todo o

conjunto foi pintado de preto fosco, para ampliar a captação de radiação solar, o sistema pode ser observado na Figura 11:

Figura 11 - Sistema de aquecimento com forro de PVC

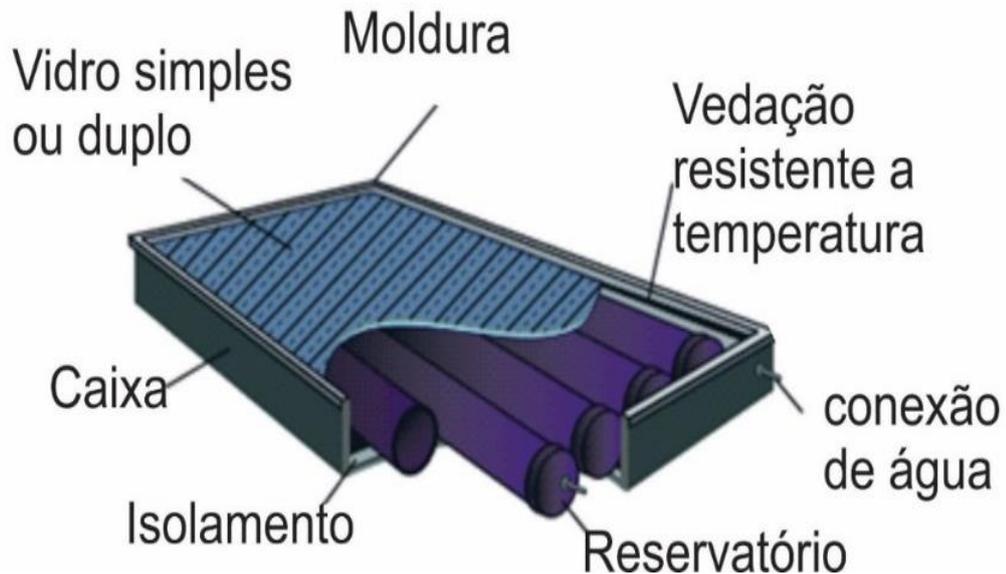


Fonte: Silva & Sá, 2009.

- Sistema de coletor com armazenamento integrado: o sistema apresentado por Energy e Program (2009), tem sua composição idêntica ao sistema de coletor comercial, porém seu sistema de armazenamento está integrado com a placa coletora, reduzindo a quantidade de tubulações e fazendo desnecessário o uso de reservatório, seus tubos tem amplo diâmetro, para que o próprio coletor seja o reservatório de água quente se faz necessário uma maior capacidade de armazenamento, neste sistema o isolamento térmico é de extrema importância uma vez que toda água ficara exposta as intemperes durante o período noturno sofrendo grandes perdas térmicas nas interações com o ar, chuva, orvalho e neve. Outra peça importante é a vedação superior transparente que permite maior aquecimento através da retenção de calor e menos interações com o ambiente, como pode-se verificar na Figura 12:

Figura 12 - Sistema de coletor com armazenamento integrado

Coletor integrado com o reservatório



Fonte: Adaptado de Singh, Lazarus & Souliotis, 2016.

- Coletor solar espiral: o sistema apresentado por Gonçalves et al. (2012) é composto por dois coletores formados por tubos de polietileno, totalizando 100 metros lineares, que formam dois espirais contínuos, servindo de coletores sem sistema de isolamento ou aletas.

A geometria do sistema não permite a ação do termossifão, sendo portanto, necessário a utilização de bombeamento da água contida no interior dos tubos (Figura 13). Devido a necessidade da utilização de bombeamento, os sistemas em espiral são frequentemente utilizados para o aquecimento de água de piscinas por estas já contarem com sistema de bombeamento.

Usualmente estes sistemas são instalados sobre áreas com bastante insolação como coberturas e pergolados, sendo usados quase que exclusivamente no período diurno, sendo estas desligadas durante a noite pois ocasionam o resfriamento da água quando não há incidência solar sobre o coletor.

Quando analisamos o custo de montagem deste sistema o bombeamento é responsável por mais de 90% custo, o qual sem bombeamento pode resultar em um dos mais baixos e simples entre os sistemas estudados, bem como seus dutos flexíveis reduzem a utilização de conexão dramaticamente e o tempo de montagem quando comparada outros sistemas abordados.

Figura 13 - Coletor solar espiral



Fonte: Gonçalves, Mendes & Silveira, 2012.

2.6 NORMATIVAS TÉCNICAS

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram utilizadas as seguintes Normas Brasileiras aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas e respectivamente suas atribuições para realizar a elaboração do captador solar:

- NBR 5626:1998 – Instalação predial de Água fria;
- NBR 7198 – Projeto e instalação de água quente predial;
- NBR 10184 – Coletores – desempenho;
- NBR 10185 – Reservatórios – desempenho;
- NBR 12269:1992 – Instalação de sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto;
- NBR 15569 – Sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e Instalação (substitui a NBR-12269 Execução de instalações de sistemas de aquecimento solar);
- NBR 8039 NB 792 – Projeto e Execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa.

As exigências e sugestões de cada NBR adotadas serão abordadas nos capítulos subsequentes, onde sua pertinência será indicada.

2.7 CARACTERIZAÇÃO DE PONTOS PASSÍVEIS DE MANUTENÇÃO

Ao fazer cinco estudos de caso em edificações que usam sistemas de aquecimento solar, os autores Mendon e Polit (2009) verificaram que há uma alta taxa de vazamentos nos sistemas, decorrentes de vários fatores, tais como: falta de manutenção, movimentação estrutural, sistemas de tubulação obsoletos, corrosão, bem como problemas nas conexões entre as tubulações e o reservatório.

Os modelos de coletores solares de baixo custo, atualmente são compostos por tubos de PVC, conexões, aletas e isolamento com diferentes configurações. A grande parte das falhas em tubulações hidráulicas em PVC, estão ligadas a grande quantidade de conexões e instalação incorretas, tais como torções nas tubulações, falta de proteção mecânica contra impactos, adaptações nas tubulações sem o uso correto das técnicas de instalação e o aquecimento dos tubos, ficando evidente que as conexões são um ponto crítico de projetos hidráulicos (SANCHES, 2008).

2.8 INCLINAÇÃO DOS TELHADOS DE RESIDÊNCIAS DE BAIXO CUSTO

Para criar um padrão de inclinação das coberturas das residências, foram consultados dados da COHAB/SC - Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina (2010), que disponibilizou gratuitamente três projetos técnicos para construção de moradias, com as dimensões de 42,71m² (metro quadrado), 46,05m² e 48,85m², possuindo dois quartos, sala com cozinha conjugada, banheiro e área de serviço externa coberta. Um dos modelos de habitação unifamiliar pode ser visualizado através da Figura 14:

Figura 14 - Modelo de habitação unifamiliar



Fonte: http://cohab.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=282&Itemid=190, acesso em 2018

Os três modelos foram analisados e em todas a tipologia do telhado usado foi a telha cerâmica, as quais devem ser executados com declividade compreendida entre 32% (17.75°) e 40% (21.81°) segundo a NBR 8039 NB 792 (1983).

Também foram analisados os projetos disponibilizados pela COHAB/MG (2007), que apresentaram a mesma tipologia de cobertura, com inclinação de 35% (19.3°), conforme pode ser observado na Figura 14:

Figura 15: Habitação unifamiliar COHAB/MG



Fonte: <http://www.cohab.mg.gov.br/galerias/inauguracao-varzelandia/#prettyPhoto>, acesso em 2018.

Segundo COHAB (2010), apenas no estado de SC a companhia implantou 64.640 unidades habitacionais desde sua criação, assumindo assim, que grande parte das edificações de interesse social sigam esta tipologia disponibilizada por este órgão.

3. METODOLOGIA

Nesta seção são descritos os materiais, equipamentos e as métodos utilizados neste estudo.

3.1 ANÁLISE DA VIABILIDADE ENTRE OS COLETORES SOLARES DE BAIXO CUSTO E OS COMERCIAIS

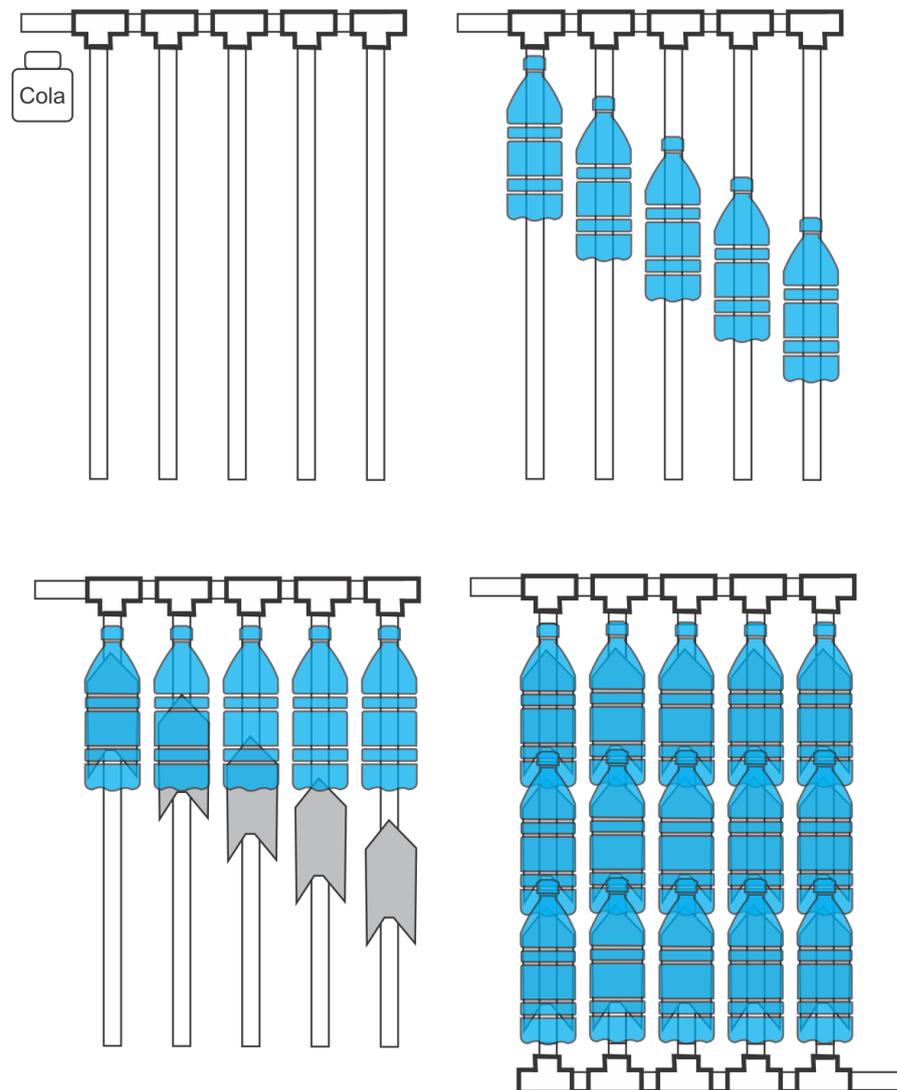
Os sistemas de aquecimento de baixo custo apresentados na revisão bibliográfica foram modelados em software tridimensional onde suas montagens e capacidades de armazenamento de fluido foram analisadas, verificou-se prós e contras destes coletores solares, nos quesitos complexidade de execução, custo de construção e manutenção e assim definiu-se:

- Sistema 01 - sistema de tubos de PVC com garrafas PET e caixas de leite: este sistema reutiliza garrafas pet e caixas longa vida de leite, contribuindo imensamente para preservação do meio ambiente e cumprem muito bem sua função.

É composta através do posicionamento de vários tubos longitudinalmente, com conexões *tee* em suas extremidades, conectadas a sua saída unilateral, os *tees* superiores são ligados a entrada de água fria do reservatório. Os *tees* inferiores são ligados a saída de água fria do reservatório, as garrafas pet criam uma câmara de ar, que evita as interações dos ventos e das intemperes com os tubos e permite absorção de radiação solar através do efeito estufa. Enquanto as caixas de leite anexadas aos tubos aumentam a área de contato do coletor solar, captando mais energia solar irradiada e aquecendo por condução os tubos, como pode-se verificar na Figura 16. Sua montagem pode ser feita diretamente sobre a cobertura sem a necessidade de se instalar um suporte para o coletor, reduzindo assim seu custo de produção e instalação.

Sua montagem não exige grandes conhecimentos técnicos, porém, seu alto número de conexões faz com que o sistema torne-se suscetível a problemas de vazamentos, decorrentes de choques mecânicos (granizo), exposição ao sol (dilação e degradação), torções no momento de sua implantação, incidência de ventos fortes, bem como, as conexões dos tubos e a cola, que oneram e aumentam o tempo de montagem do captador.

Figura 16 - Coletor solar feito com tubos de PVC, conexões tee, garrafas PET e caixa de leite



Fonte: Sociedade do sol, adaptado pelo autor (2019).

- Sistema 02 – coletor com policarbonato alveolar: este sistema de captador solar, é montado a partir de uma chapa de policarbonato alveolar, pintada de preto. Duas de suas extremidades são vazadas, para conectar-se a dois tubos de PVC de 40mm, através de um rasgo feito com furadeira, encaixando-o dentro deste rasgo, posteriormente, a conexão da chapa com o tubo é vedada através de cola epóxi, uma das extremidades do tubo é fechada através de conexão cap e a outra é ligada ao reservatório como pode se apreciar na Figura 17.

Sua montagem demanda cerca de uma hora, porém, a cura da cola leva algumas horas e posteriormente a necessidade de pintura, que demanda mais algumas horas para secagem desta.

Figura 17 – Sistema coletor com polícarbonato alveolar



Fonte: SoSol – Sociedade do Sol (2017).

Sua concepção não reutiliza materiais, porém, seu custo é bem reduzido em relação ao sistema com tubos de PVC e garrafas PET. Entretanto, os estudos demonstraram que por não existir conexões projetadas e normatizadas entre a chapa e os tubos, vários problemas como vazamentos e deslocamentos foram relatados.

- Sistema 03 - com forros de PVC: quanto ao captador com forro de PVC, sua montagem se dá de forma idêntica ao captador com chapas de polipropileno alveolar, a única alteração são as chapas de forro de PVC, que tornam a execução do projeto mais rápida e mais barata, contudo, ainda são demandadas adaptações para conectar as placas aos tubos, etapas de cura de cola e pintura demonstrado na Figura 18.

Figura 18 - Sistema plano com forros de PVC



Fonte: SoSol – Sociedade do Sol (2017).

- Sistema 04 – sistema espiral: a montagem do captador espiral de mangueiras, é de extrema rapidez e simplicidade. Se dá ao criar uma espiral com mangueira de irrigação e normalmente é mantida em sua posição através de barras metálicas, cada coletor tem duas conexões com o reservatório ou com outro coletor, reduzindo enormemente os problemas de vazamento. O modelo do sistema pode ser observado na Figura 19:

Figura 19 – Sistema espiral



Fonte: Gonçalves et al 2012

O custo do coletor é exponencialmente inferior ao captador com tubos de PVC, apesar disso, o formato requer bombeamento para que haja circulação nos captadores, o que faz com que seu preço aumente consideravelmente, além do que, gera gastos com energia e o sistema inativo quando ocorre a falta da mesma.

A fim de obter parâmetros similares de custos entre os captadores apresentados, foram elaborados modelos tridimensionais de cada captador e calculou-se o custo de um sistema que supra um reservatório de 250 litros, prevendo o uso de coletores com cerca de 14 litros de capacidade.

A partir do volume de 14 litros de água, levantou-se o custo de cada captador, usando o valor total dividido por sua capacidade, gerando assim, um custo por capacidade/litro de cada captador. O valor foi orçado em três lojas de materiais de construção.

Figura 20 - Materiais analisados



Fonte: O autor, 2019.

Nesta análise, foram descartados o forro de PVC e a chapa de policarbonato, por usarem sistemas de conexão precários e dificuldade de execução, como verificado pelo Instituto Federal Sul-rio-grandense (2009). Quanto a utilização dos

forros de 6mm, pode-se obter a seguinte conclusão, segundo a Silva e Sá (2009, p.50): “o painel de PVC apresentou vazamento entre as emendas do forro de 6 mm sendo necessário o uso de maior volume de adesivo epóxi o que aumentou o custo de construção do painel e não foi eficiente na vedação das mesmas”.

Segundo o Instituto Federal Sul-rio-grandense (2009), com o forro de 8 mm, mesmo com alterações metodológicas, visando a eliminação das emendas entre os forros de PVC, o experimento não obteve resultados consistentes, sendo eliminado o sistema de coletor que faz uso de forro de PVC como captador, principalmente por problemas de conexão, os quais podem gerar prejuízos maiores que os benefícios trazidos pelo mesmo, assim, foi optado pela elaboração de um sistema que use mangueiras, por existirem produtos amplamente utilizados no mercado e conexões especificamente projetadas e normatizadas, evitando assim vazamentos.

3.2 PROPOSTAS DE CAPTADORES SOLARES ALTERNATIVOS DE BAIXO CUSTO

Tendo em vista, as desvantagens associadas aos pontos críticos comumente encontrados em sistemas de aquecimento solar de baixo custo, o presente estudo propôs dois novos protótipos de captação solar:

- Protótipo 01: Captador solar de baixo custo espiral divergente
- Protótipo 02: Captador solar de baixo custo em configuração "S"

Tais captadores foram propostos de forma a aliar: baixo custo, construção simplificada e redução nos possíveis vazamentos (comuns em captadores de baixo custo). O protótipo 01 foi desenvolvido para ser instalado em superfícies planas, enquanto, o protótipo 02, em superfícies inclinadas.

Ambos os protótipos foram constituídos basicamente por tubos de polietileno, conhecidos comercialmente como mangueiras de irrigação ou de jardim. Tal material possui característica de elevada flexibilidade, permitindo, desta forma, a montagem tanto na configuração espiral quanto no formato “S”.

Vale mencionar que ambos os coletores (espiral e sistema S), foram desenvolvidos para serem utilizados como uma melhor alternativa em relação aos clássicos captadores solares de baixo custo, bem como, aos coletores comerciais.

Para uma melhor compreensão dos ensaios experimentais realizados neste trabalho, serão explanados na sequência, algumas definições:

a) Ensaios passivos em regime batelada: neste sistema o reservatório é preenchido com água em temperatura ambiente no início do dia e antes da incidência do sol nos captadores, assim que havia incidência solar nas placas iniciava-se a circulação natural de água;

b) Ensaios passivos em regime contínuo: neste sistema, o reservatório é preenchido com água em temperatura ambiente no início do experimento e o sistema é ligado por vários dias, sem que a água do reservatório seja substituída, caracterizando um sistema contínuo de circulação natural da água, possibilitando aquisição de dados durante o período noturno, bem como, a variação térmica ao longo de vários dias.

3.3 EXPERIMENTOS REALIZADOS NO CAPTADOR SOLAR ESPIRAL DIVERGENTE E NO CAPTADOR SOLAR EM CONFIGURAÇÃO “S”

Através dos dois protótipos, foram desenvolvidos cinco experimentos e sete coletas. Ambos captadores sofreram pequenas alterações como pode ser visto na Tabela 01, para melhor aperfeiçoamento do projeto e visando melhorar seu funcionamento.

Tabela 01 – Organização dos protótipos e suas respectivas configurações

EXPERIMENTO	TIPO DE COLETOR	COLETA	REGIME DA COLETA	DATA DA COLETA	INTERVALO
Experimento 01	espiral divergente coletor com 20 metros de mangueira e 5 litros de reservatório	sem	regime batelada e ciclo contínuo	03/08/17 às 14:00	sem
Experimento 02	espiral divergente coletor com 20 metros de mangueira e 5 litros de reservatório	01	regime batelada e ciclo contínuo	08/08/17 às 10:00 até 17:00	1:00
Experimento 03	Captador em configuração S com 50 metros de mangueira e 310 litros de reservatório	02	regime batelada e ciclo contínuo	15/01/18 às 16:00 até 18:30	1:00
		03		24/01/18 às 09:40 até 18:00	0:20
		04		20/02/18 às 05:35 até 21/02/18 às 20:20	0:15
Experimento 04	Captador em configuração S com 50 metros de mangueira e 100 litros de reservatório (boiler)	05	regime batelada e ciclo contínuo	23/02/18 às 7:00, até o dia 24/02/18 às 18:00	1:00
Experimento 05	Captador em configuração S com 100 metros de mangueira e 100 litros de reservatório (boiler)	06	regime batelada e ciclo contínuo	02/03/18 às 10:02, até o dia 06/03/18, às 17:42.	1:00
		07		dia 14/01/19 às 12:00 até o dia 17/01/19 às 8:00	1:00

FONTE: O autor, 2019.

- Experimento 01: ensaio passivo em regime batelada e ciclo contínuo, com captador solar de baixo custo espiral divergente de 20m, estruturado por hastes

metálicas e reservatório de cinco litros. Este experimento teve o intuito de verificar se o sistema termossifão funcionaria neste modelo de captador solar;

- Experimento 02: ensaio passivo em regime batelada e ciclo contínuo, com captador solar de baixo custo espiral divergente de 20m, autoportante e reservatório de 5 litros. Através deste experimento houve a coleta 01, assim, obteve-se a análise de ganho térmico;

- Experimento 03: ensaio passivo em regime batelada e ciclo contínuo, com captador solar de baixo custo em configuração “S” de 50m e reservatório de 310 litros. Neste experimento foi realizado a coleta 02, 03, 04, analisado e comparado a temperatura do reservatório do coletor e do reservatório convencional;

- Experimento 04: ensaio passivo em regime batelada e ciclo contínuo, com captador solar de baixo custo em configuração “S” de 50m e reservatório com isolamento e capacidade de 100 litros (boiler). Através deste experimento, foi realizado a coleta 05 e analisado o ganho térmico;

- Experimento 05: ensaio passivo em regime batelada e ciclo contínuo, com captador solar de baixo custo em configuração “S” de 100m e reservatório com isolamento e capacidade de 100 litros (boiler). Foi realizado através deste experimento as coletas 06, 07 e análises de ganho térmico.

3.4 EXPERIMENTOS

Nesta seção serão descritos os protótipos e suas alterações visando aumentar a temperatura captado pelo coletor.

3.4.1 Experimento 01

O experimento 01 foi realizado com o captador solar de baixo custo espiral divergente de 20m, estruturado por hastes metálicas e reservatório de cinco litros, através de ensaio passivo em regime batelada e ciclo contínuo e teve o intuito de verificar se o sistema termossifão funcionaria neste modelo de captador solar.

Os modelos de coletores solares de baixo custo atualmente são compostos por tubos de PVC que se associam formando um sistema com diversas conexões.

A grande parte das falhas em tais sistemas estão ligadas as conexões e adaptações nas tubulações, sendo, portanto, um ponto crítico em tais equipamentos.

Figura 21 – Captador espiral



FONTE: O autor, 2019.

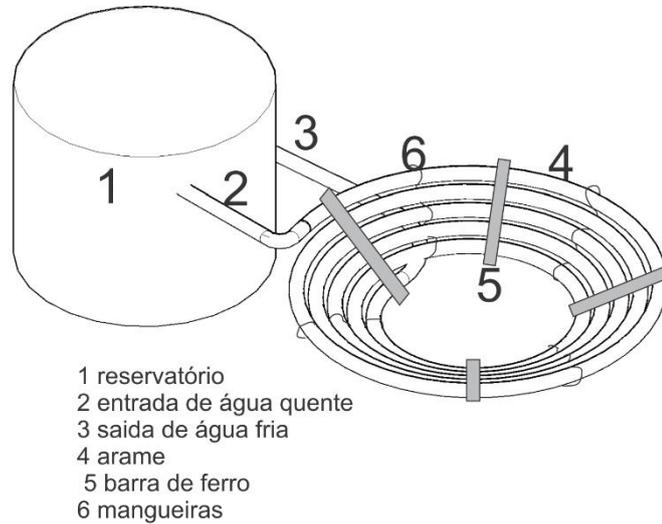
Por este motivo, a construção do captador solar de baixo custo espiral divergente foi baseada no sistema de aquecimento de piscinas (Figura 21), o qual é composto de uma espiral feita com mangueiras de irrigação, com apenas uma entrada e uma saída de água, ou seja, um sistema que praticamente não utiliza acessórios de tubulações para seu funcionamento. No entanto, sabe-se que tal sistema necessita bombeamento, para que o fluido circule no captador.

De forma a não aumentar o número de acessórios, algumas alterações foram realizadas no sistema espiral, e assim, permitir a remoção da necessidade de bombeamento.

No entanto, a configuração em espiral do tubo foi mantida, porém, adicionado um pequeno aclave, criando um sistema parabólico. Esta nova configuração mostrou-se eficiente em promover a circulação passiva de fluido, ou seja, a ocorrência do fenômeno termossifão e portanto, a possibilidade de eliminação da necessidade de bombeamento do fluido.

A montagem inicial do captador solar de baixo custo espiral divergente foi composta por uma mangueira de 20m. Para manter a espiral em formato parabólico, foi utilizado quatro hastes de ferro com diâmetro de $\varnothing 5\text{mm}$. A mangueira foi fixada com 10 metros de arame recozido nas hastes e seu reservatório era de 5 litros, como pode ser verificado na Figura 22:

Figura 22 – Captador solar de baixo custo espiral divergente estruturado por hastes metálicas

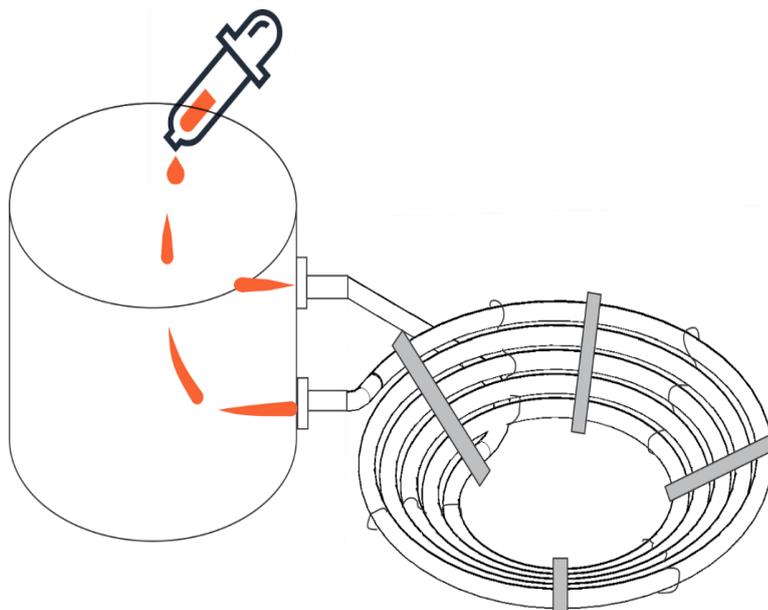


Fonte: O autor, 2019.

Esta primeira montagem do captador se deu no dia 03 de agosto de 2017 e houveram algumas dificuldades na montagem, especificamente nas ligações feitas com arame para fixação das mangueiras, a qual demandou cerca de 40 minutos.

Sendo posicionada sobre piso nivelado, analisou-se apenas se esta montagem permitia circulação passiva como demonstrado na Figura 23.

Figura 23 – Teste de circulação passiva



Fonte: O autor, 2019.

Utilizando uma pequena quantidade de corante, foram lançadas algumas gotas do mesmo no reservatório, para que se verificasse o fluxo de água, assim, percebeu-se que o captador obteve circulação passiva.

3.4.2 Experimento 02

Para o experimento 02, também foi utilizado o captador solar de baixo custo espiral divergente de 20m, porém, autoportante, ou seja, não houve a necessidade da utilização das hastes metálicas para sua sustentação, apenas a própria mangueira e braçadeiras de náilon. O reservatório utilizado foi de cinco litros através de ensaio passivo em regime batelada e ciclo contínuo. Este experimento teve o intuito de analisar o ganho térmico, através da coleta 01.

Com o intuito de agilizar a montagem o projeto foi alterado, onde antes era utilizado arame recozido para fixação das mangueiras, de momento utilizou-se apenas braçadeiras de náilon para a fixação dos mesmos 20 metros de mangueira a aproximadamente cada 30 centímetros de sua circunferência.

Figura 24 - Captador solar de baixo custo espiral divergente autoportante

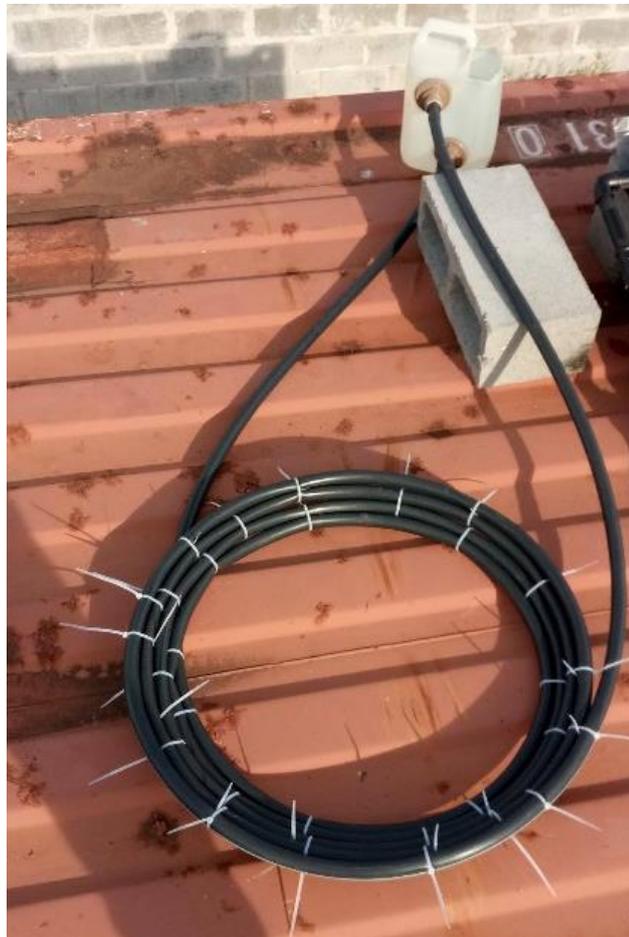


Fonte: O autor, 2017.

Com essa configuração, como demonstrado na Figura 24, não se fez necessário o uso de hastes e reduziu o tempo de montagem para cerca de 20 minutos, metade do tempo do experimento 01.

Logo após a definição do sistema com a montagem simplificada, o protótipo foi instalado em uma cobertura plana com o intuito de criar condições similares as condições de uma cobertura residencial. O captador foi conectado com um pequeno reservatório através de flanges, com diâmetro nominal de 25 mm, conforme pode ser observado na Figura 25, porém, o reservatório foi protegido da incidência solar para que o mesmo não obtivesse ganho térmico excessivo pela exposição ao sol.

Figura 25 – Sistema com captador parabólico



Fonte: O autor, 2017.

Os dados de temperatura do reservatório foram coletados no dia 08 de agosto de 2017, a partir das 11:00 horas da manhã até as 17:00 horas, sendo medida a temperatura do reservatório duas vezes na primeira hora e as demais medições com intervalo de uma hora, com o termômetro digital da marca Mastech, modelo MS6514,

com dois termopares tipo k, com precisão de $0,1^{\circ}\text{C}$ e faixa de captação de -200°C a 1372°C . Os dados obtidos foram comparados com os dados da estação meteorológica, instalada no campus da UTFPR-FB, a cerca de cinco quilômetros do local do experimento situado nas coordenadas $26^{\circ} 3' 55''$ Oeste e $53^{\circ} 2' 30''$ Sul.

O captador solar de baixo custo espiral divergente não se mostrou eficaz quanto sua instalação sobre cobertura inclinada, as quais são encontradas com maior frequência na região, como exposto anteriormente.

Deste modo, motivou-se o desenvolvimento de um outro protótipo, que funcionasse com a inclinação dos telhados e de forma passiva.

3.4.3 Experimento 03

Procurando atender todos os quesitos deste trabalho, iniciou-se um novo sistema de captação, o qual pudesse ser instalado facilmente sobre a face inclinada do telhado.

No experimento 03, foi desenvolvido um captador solar de baixo custo em configuração “S”, com 50m e um reservatório de 310 litros de fibras de vidro sem isolamento termico, este, já estava previamente instalado na edificação, onde o sistema foi implantado.

Neste caso, foi utilizado o ensaio passivo em regime batelada e ciclo contínuo teve como objetivo analisar e comparar a temperatura do reservatório do coletor com a temperatura do reservatório convencional, através dos dados da coleta 02, 03 e 04.

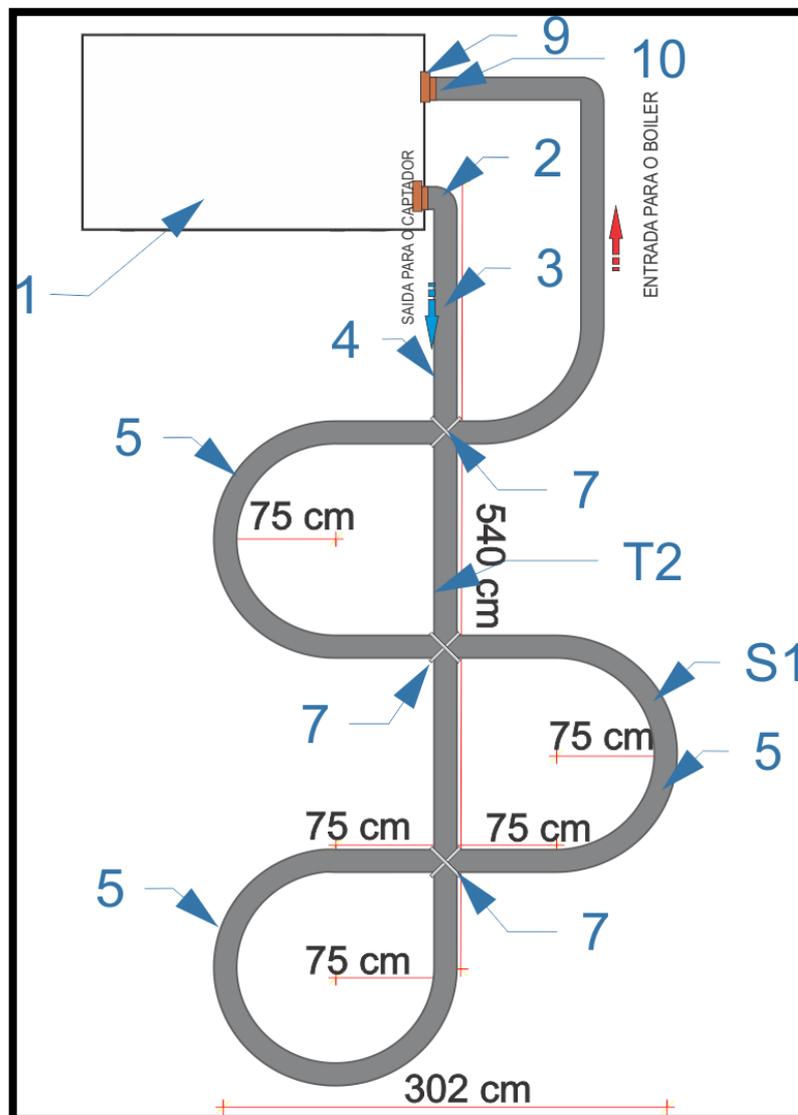
O captador solar em configuração “S” também foi proposto com materiais constituídos por tubos de polietileno. A montagem do sistema S pode ser feita basicamente com abraçadeiras, não exigindo, portanto, elevado conhecimento técnico para a construção e instalação. Além disso, tal coletor foi desenvolvido para ser instalado facilmente sobre a face inclinada de um telhado, eliminando a necessidade de suportes de ajustes de inclinação os quais poderiam onerar a construção do coletor.

Como pode ser observado na Figura 26, o sistema “S” é composto de um reservatório (1), no qual está prevista uma saída (2) para o captador na forma de uma mangueira (3) que se prolonga inicialmente de maneira retilínea (4) e desenvolve, em seu trajeto, deslocamentos em arco (5), compondo trajetos semelhantes a senoidais (6), os quais, nos cruzamentos com a parte retilínea (4), recebem abraçadeiras

(7) plásticas, sendo que, após os trajetos senoidais (6), se projetam até a entrada (8) para o boiler, fazendo uso de flanges (9) e adaptadores (10) para mangueiras (3) .

O funcionamento do coletor proposto consiste em introduzir a água no reservatório (1) térmico, desta forma, a água fria contida no reservatório (1) escoam em movimento descendente pela mangueira (3) reta, até a parte mais baixa do coletor, aumentando sua temperatura e reduzindo sua densidade. Por este motivo, tem-se então o movimento ascensional do fluido aquecido, ocorrendo seu retorno para o boiler ou reservatório (1), através da tubulação ou mangueira (3) em trajeto senoidal (6).

Figura 26 – Esquema do captador solar de baixo custo em configuração “S”



Fonte: O autor, 2019.

Para a montagem e instalação do captador solar, foram empregados: 50 metros de mangueira (3) de polietileno de $\frac{1}{2}$ polegada, seis abraçadeiras (7), dois adaptadores (10) de mangueira (3) e duas flanges (9).

A instalação do coletor pode ser realizada seguindo as etapas a seguir, que são demonstradas na Figura 27:

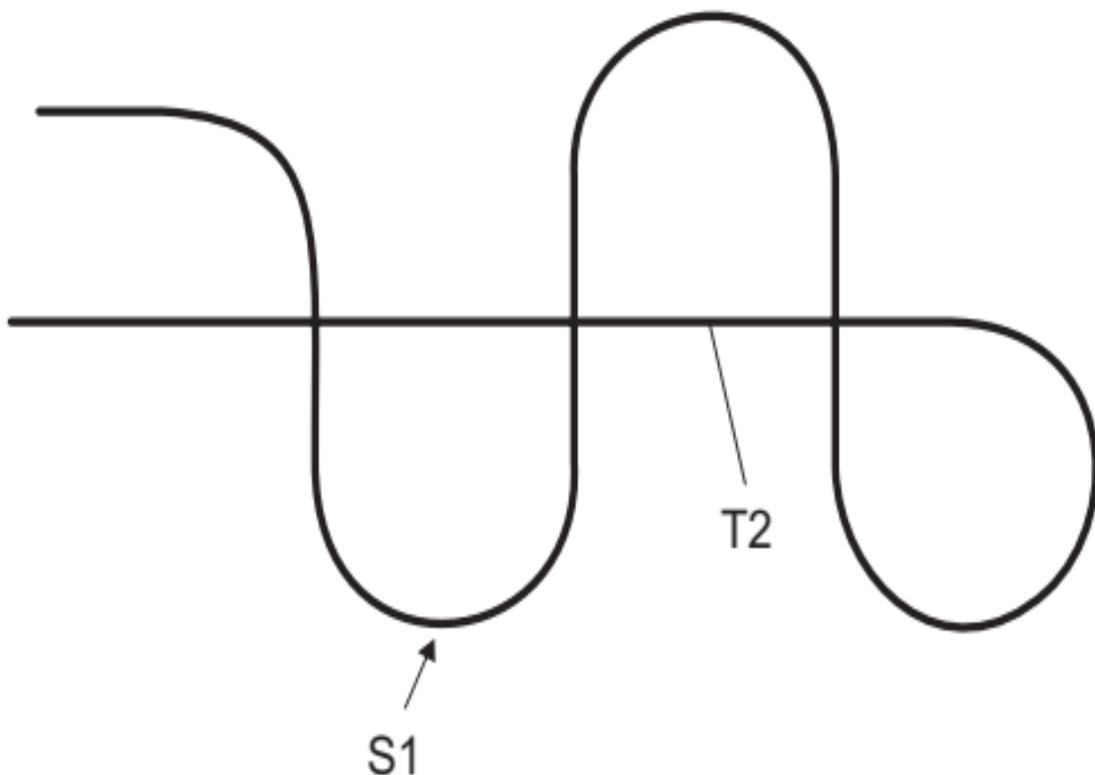
1º Passo: conectar a saída de água fria do boiler ou reservatório (1) com o flange e o adaptador de mangueira (3);

2º Passo: configurar o tubo (T2) de polipropileno em formato reto por 5,40 metros;

3º Passo: após a obtenção do trecho reto do tubo (T2), iniciar o serpenteamento para obtenção de uma configuração com formato senoidal (S1) - sistema "S". Os raios das curvas devem ser de aproximadamente 75 cm;

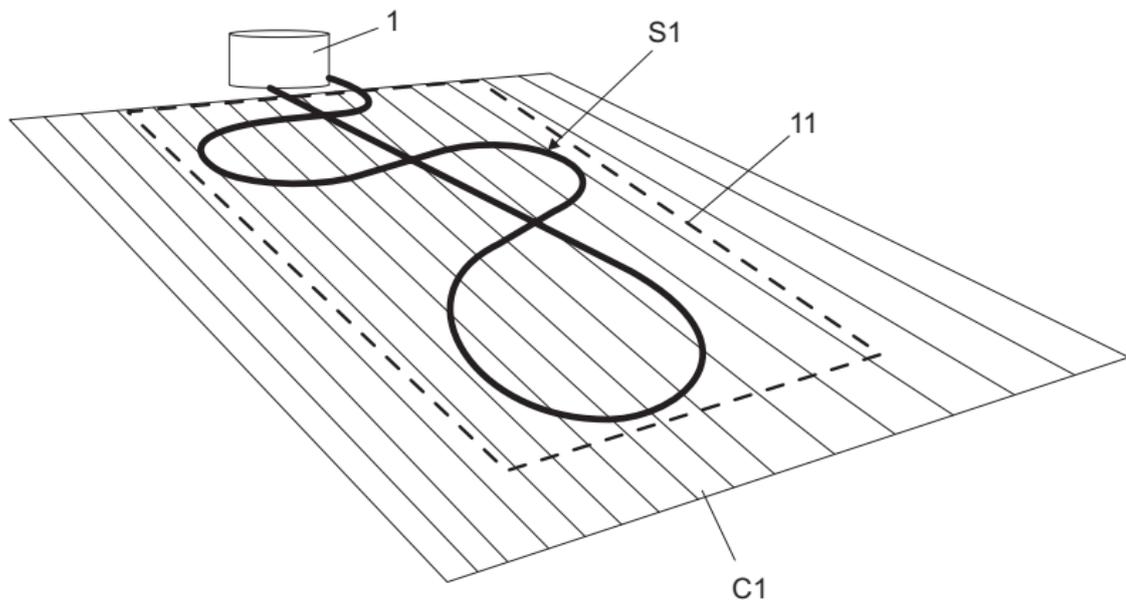
4º Passo: conectar a entrada de água quente do boiler com o flange e o adaptador de mangueira (3).

Figura 27 – Etapas para a instalação do captador solar de baixo custo em configuração "S"



Para melhor compreensão do protótipo, a Figura 28 apresenta a ilustração em perspectiva do coletor solar proposto, instalado na cobertura de uma edificação, onde é mostrada a cobertura (C1) e a área de captação solar (11).

Figura 28 – posicionamento do captador solar de baixo custo em configuração “S”



Fonte: O autor, 2019.

Verificou-se que o sistema não tem complexidade técnica, quanto a montagem ou instalação e que este sistema tem-se a indução do efeito de circulação passiva (termossifão).

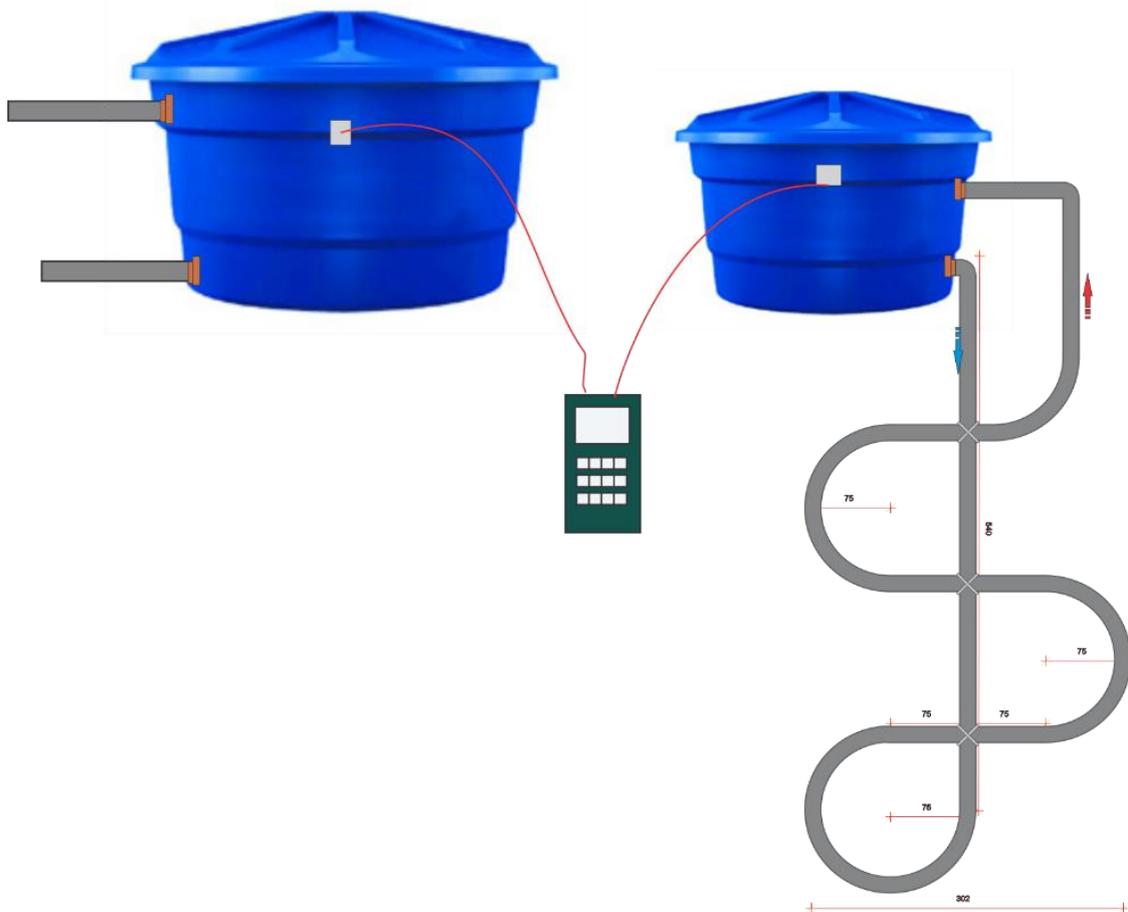
Nesta configuração, foram medidas as temperaturas ambiente, do reservatório onde o captador foi instalado e a temperatura do reservatório convencional de 500 litros, sem coletor solar, visando identificar as temperaturas do reservatório.

Foram efetuadas três coletas, denominadas coleta 02, coleta 03 e coleta 04, aferidas na seguinte ordem:

- Coleta 02: aferida no dia 15/01/18, das 16:00 às 18:30hs, por se tratar de um período reduzido de tempo no qual as condições climáticas eram adequadas optou-se por aferir a temperatura com intervalo de 15 minutos, com o termômetro digital da Mastech, modelo MS6514, através de dois termopares, como demonstrado na Figura 29;

- Coleta 03: realizada no dia 24/01/18, das 9:40 às 18:00hs, com intervalo de 20 minutos, com o termômetro digital da Mastech, modelo MS6514, através de dois termopares com a mesma configuração da coleta 02;
- Coleta 04: teve início no dia 21/02/18, das 6:05 às 20:05hs, com intervalo de 60 minutos, com o termômetro digital da Mastech, modelo MS6514, através de dois termopares com a mesma configuração da coleta 02.

Figura 29 – Esquema da posição dos termopares



Fonte: O autor, 2019.

Foram posicionados 2 termopares o primeiro na parte superior no reservatório ligado ao captador solar e o segundo fixado na parte superior do reservatório residencial o qual supria a demanda de água fria da casa onde o sistema foi instalado.

3.4.4 Experimento 04

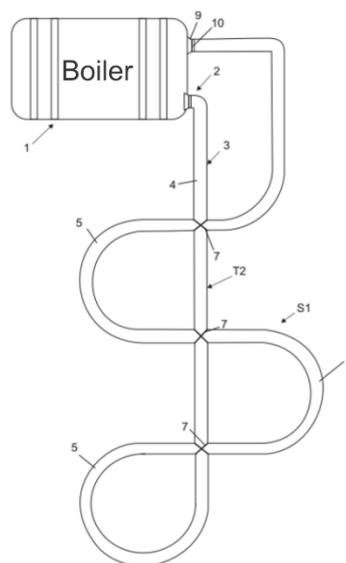
Para o experimento 04, também foi utilizado o captador solar de baixo custo em configuração “S” de 50m, porém, com reservatório com isolamento e capacidade de 100 litros (boiler).

Optou-se por reduzir a capacidade do reservatório de 310 litros (R\$ 139,00) para 100, com base nos dados obtidos através do experimento 03, que segundo Friedrich Ferrer (2017) em comunidades de baixa e média renda na África, são utilizados cerca de 3,1 litros por hora ou cerca de 121 litros por dia no inverno, enquanto no Brasil a NBR 5626/98 define que a vazão de chuveiros elétricos são de 0,1 litro por segundo, sendo capaz de abastecer aproximadamente 17 minutos de banho. Tomaz (1999) define que uma residência com duas a três pessoas tenha um tempo estimado de 15 minutos de uso diário do chuveiro, atendendo assim uma demanda média de quatro banhos diários.

Para a obtenção da coleta 05 e ser possível analisar o ganho térmico deste experimento, foi realizado ensaio passivo em regime batelada e ciclo contínuo.

Como pode ser observado na Figura 30, a configuração do captador manteve-se a mesma, sendo apenas alterado o reservatório convencional (caixa d’água de 310 litros) por um reservatório termicamente isolado comercial (boiler):

Figura 30 – Configuração do captador solar de baixo custo em configuração “S”



O reservatório utilizado foi comprado em 2017 e teve um custo de R\$ 667,00 (seiscentos e sessenta e sete reais), sua capacidade é de 100 litros e possui isolamento térmico com manta de lã de rocha e PU (poliuretano) rígido sem CFC (clorofluorcarboneto), é revestido com alumínio, seu suporte inferior é composto de PP (polipropileno) e o reservatório em si é de inox AISI 304, como pode ser visto na Figura 31.

Figura 31 – Modelo do reservatório utilizado no experimento 04 e 05

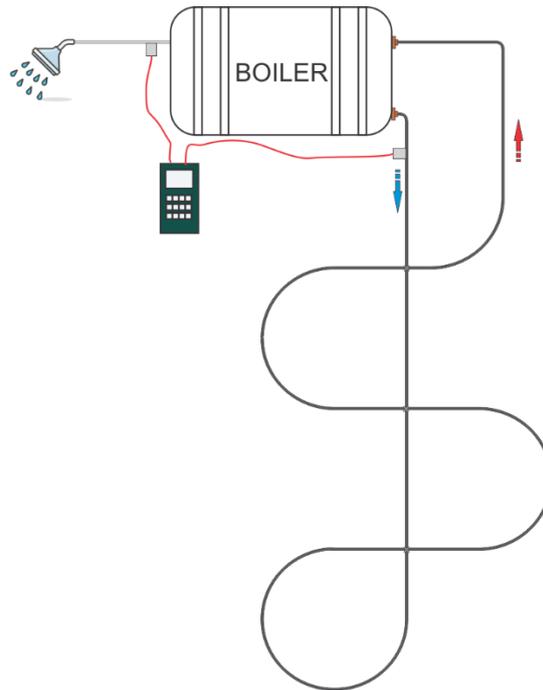


Fonte: O autor, 2019

Além disso, o reservatório possui resistência elétrica para aquecimento secundário controlado através de um termostato configurável, podendo manter a temperatura entre 0°C e 90°C e é um produto certificado pelo Inmetro Procel.

A obtenção de dados para este experimento, coleta 05, iniciou-se no dia 23/02/18 as 7:00 horas, até o dia seguinte, 24/02/18 com finalização as 18:00 horas.

Figura 32 – posicionamento dos sensores termo pares



Fonte: O autor, 2019.

Os dados foram coletados com um intervalo de uma hora, com o termômetro Mastech, modelo MS6514, através de dois termopares, um inserido na entrada do captador, responsável por registrar a temperatura mais baixa do sistema e o outro termopar, foi instalado dentro do boiler, em sua parte superior próximo a saída do reservatório, para o consumo da residência, como apreciado na imagem acima, Figura 32.

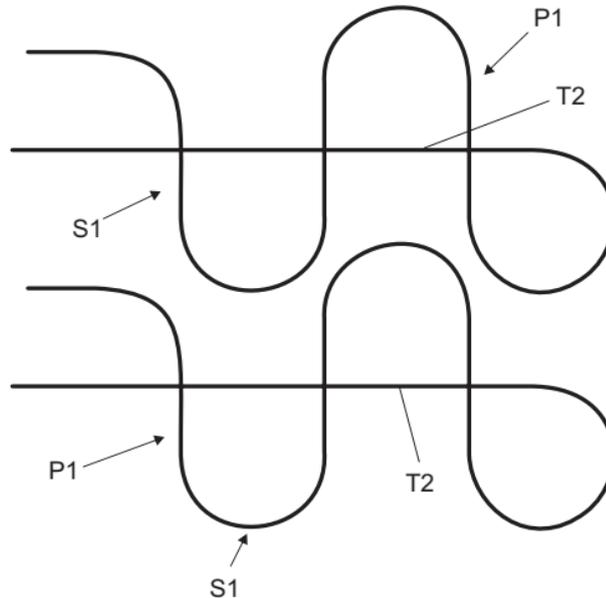
3.4.5 Experimento 05

Tecnicamente e conforme as necessidades, se torna fundamental aumentar a área de captação térmica para atingir temperaturas maiores no interior do reservatório (1) térmico. Desta forma, o captador pode ser estendido em vários sistemas “S” configurados em paralelo.

Nesse sentido, a Figura 33 representa a vista superior do sistema em “S” com o captador duplicado, na configuração paralelo, sendo adicionada uma mangueira de 50 m no sistema de captação solar, totalizando 100 metros de mangueira, com o intuito de ampliar a área de superfície do captador solar, a qual segundo (XUE, 2016), esta medida amplia não somente a temperatura, bem como, a eficiência do sistema

como um todo, objetivando alcançar a temperatura para cerca de 40°C, temperatura ideal para que não seja necessário o acionamento do chuveiro elétrico.

Figura 33 – Montagem do sistema S com dois coletores paralelos



Fonte: O autor, 2019.

Conforme a descrição da forma de realização, segundo mencionada na Figura 34, foram utilizados:

- 100 metros de mangueira (1) de polietileno de ½ polegada;
- 12 abraçadeiras (2);
- 04 adaptadores (5) de mangueira (1);
- 04 flanges (4)

A montagem e instalação do coletor pode ser realizada seguindo as mesmas etapas que o coletor único, já descrito com algumas alterações, conforme descrição abaixo:

1º Passo: conectar as saídas de água fria do reservatório (1) ou boiler com o flange (9) e o adaptador (10) de mangueira, ou usando um *tee* para ligar os dois captadores a apenas um flange (9), conforme Figura 28;

2º passo: configurar o tubo (T2) de polipropileno em formato reto por 5,40 metros e o segundo tubo (T2) ao seu lado;

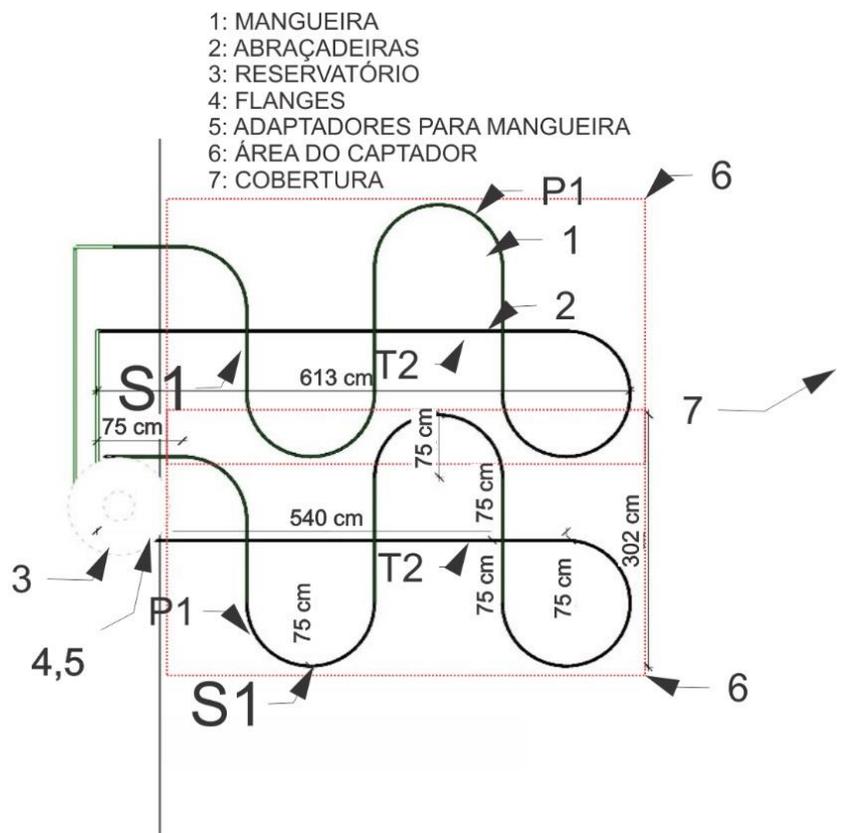
3º Passo: após a obtenção dos trechos retos da tubulação, iniciar o serpenteamento para obtenção de uma configuração com formato senoidal -sistema "S". Os raios das curvas devem ser de aproximadamente 75 cm;

4º Passo: conectar a entrada de água quente do boiler ou reservatório (1) com o flange (9) e o adaptador (10) da mangueira (3). Repetir o processo para o segundo captador.

A entrada de água fria situada no final do trecho retilíneo de ambos os coletores é ligada a uma conexão *tee* a qual por sua vez esta conectada a parte inferior do reservatório, as saídas de água quente nas extremidades serpenteadas do coletor também se ligam através de uma conexão *tee* a qual esta ligada a parte superior do reservatório, garantindo assim a circulação passiva de fluido.

Para facilitar as manutenções do coletor é indicada a instalação de dos registros de esfera um na saída de água fria entre a flange do reservatório e a conexão *tee* que interliga os coletores e outro entre a flange de entrada de água quente do reservatório e a conexão *tee* que une os 2 coletores, permitindo que desligue-se o fluxo de água entre o reservatório e o coletor.

Figura 34 – Vista superior do captador solar de baixo custo em configuração “S” duplicado, na configuração paralelo

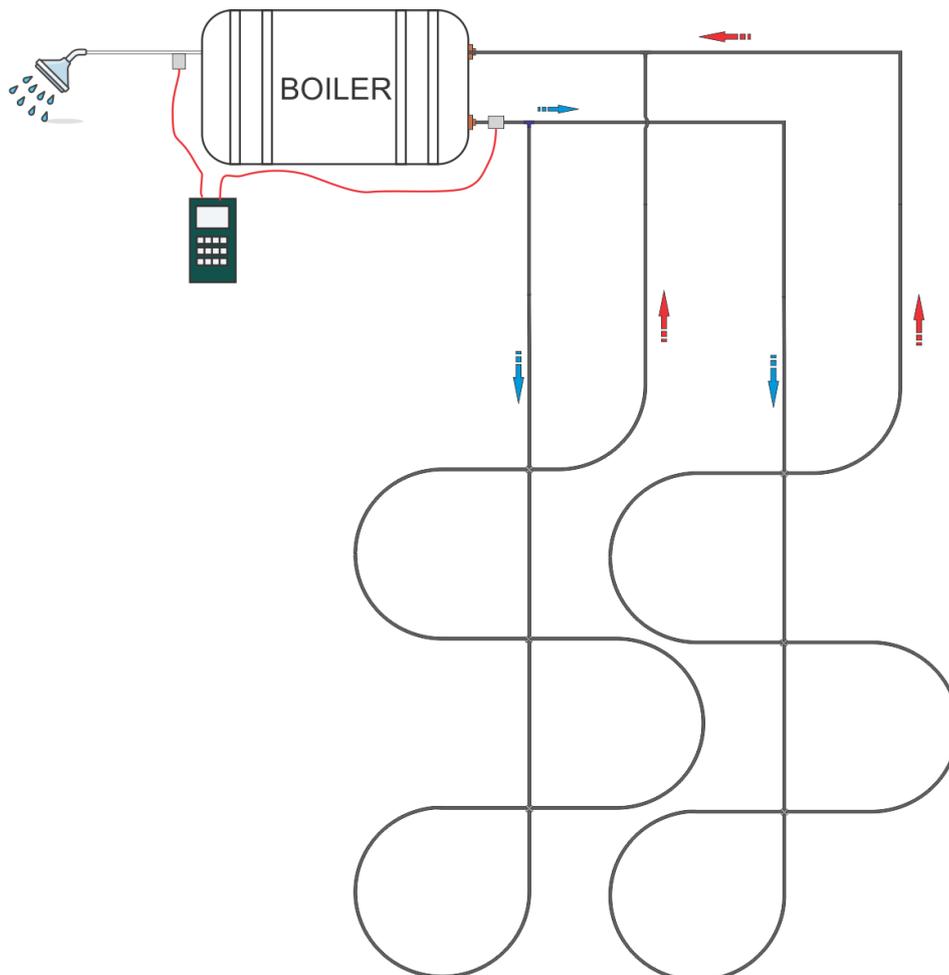


Conforme pode ser observado, o serpenteamento da tubulação (configuração em “S”) reduz significativamente a utilização de conexões, tornando o sistema com menor necessidade de manutenção e maior facilidade de construção e instalação.

No experimento 05, o ensaio passivo em regime de ciclo contínuo foi utilizado para as coletas 06 e 07, para assim, analisar o ganho térmico do mesmo. O reservatório utilizado, foi o boiler citado na Figura 29, com capacidade de 100 litros.

Nas coletas realizadas, visando verificar se é necessário aferir medições com mais frequência que a estação de meteorologia da UTFPR-FB as temperaturas foram medidas com intervalo de 60 minutos, com o termômetro Mastech, modelo MS6514, através de dois termopares: um inserido na entrada do captador, responsável por registrar a temperatura mais baixa do sistema e o outro termopar, foi instalado dentro do boiler, em sua parte superior próximo a saída do reservatório, para o consumo da residência, como apreciado na Figura 35:

Figura 35 – Aquisição de dados do experimento 05



Vários estudos sobre coletores solares indicam que um dos maiores fatores de perda de temperatura, se dá através do resfriamento do coletor durante a noite, período no qual a temperatura do ambiente é inferior que a do reservatório, resfriando assim o coletor, podendo gerar o efeito de termossifão reverso, reduzindo significativamente a temperatura da água.

Como já citado, este experimento tem as mesmas configurações do experimento anterior, porém, objetivou aferir medições durante um período mais longo de tempo.

Para melhor compreensão das interações do coletor com o ambiente, também foram utilizados dados meteorológicos da estação instalada no campus de Francisco Beltrão da UTFPR, a qual se encontra a aproximadamente cinco quilômetros do local onde o coletor foi instalado.

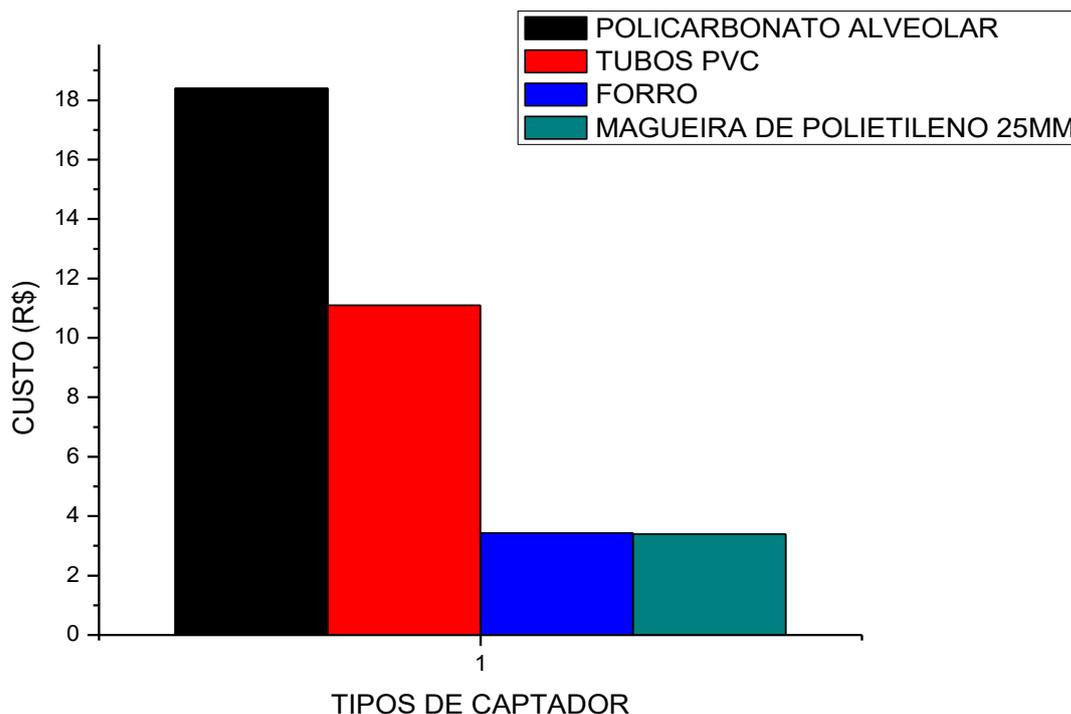
A coleta 06 teve seu início no dia 02/03/18 às 10:02horas e término no dia 06/03/2018 às17:42 horas, com medições em intervalos de 60 minutos. A coleta 07, realizada nas mesmas configurações da coleta 06, objetivou aferir medições durante um período mais longo de tempo, tendo seu início no dia 17/01/19 as 15:00hs até as 11:00hs do dia 21/01/19, com intervalos de 60 minutos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Verificou-se através de modelagem tridimensional onde foram elaborados os modelos de ASBC em policarbonato alveolar, tubos de PVC, forro de PVC e mangueiras conforme modelos encontrados na bibliografia.

Posteriormente, calculou-se qual o volume de água contido em cada ASBC bem como seu custo de fabricação foi orçado em loja local, que a montagem do sistema de captação solar com tubos de PVC composto por 9m de canos 25mm e 10 m de tubos 32mm, 10 conexões *tee* de 32mm, seis conexões joelho 90° de 32mm, 12 caixas de leite, 30 garrafas PET, totalizou um valor de R\$ 257,00 (duzentos e cinquenta e sete reais), contra R\$ 48,02 (quarenta e oito reais e dois centavos) do sistema com forro em PVC, composto por quatro peças de forro PVC, com comprimento de 1,5m, 10 metros de tubo de PVC 40mm, um tubo de cola, quatro tampões, duas reduções. Já o sistema com mangueiras é composto por 50m de mangueira, seis abraçadeiras de nylon, duas conexões para tubo PVC 25mm, custou R\$ 47,46 (quarenta e sete reais e quarenta e seis centavos), conforme pode ser visto no Gráfico 01:

Gráfico 01 - Comparativo de custos por material



Fonte: O autor, 2019.

Os dois modelos que se mostraram financeiramente mais promissores, foram o modelo com mangueira de polietileno e o de forro de PVC, com um custo de R\$3,39 e R\$3,43 por litro de água de capacidade no captador.

Desta forma, o baixo custo associado ao desenvolvimento de um captador solar a base de mangueiras de polietilano motivou o desenvolvimento dos dois protótipos propostos neste trabalho. O resultado da viabilidade dos protótipos estão dispostos na sequência.

4.1 EXPERIMENTOS E COLETAS

4.1.1 Experimento 01 - Coletor solar de baixo custo espiral divergente com tubulação de 20m e reservatório de 5 litros, teste de circulação passiva do fluido.

O protótipo foi montado sobre piso nivelado no dia 03/08/17 as 14:00hs, o coletor ficou exposto ao sol 15 minutos e quando o corante foi pingando próximo a flange superior (saída de água quente do captador para o reservatório) do reservatório, percebeu-se que havia um fluxo de água saindo pelo flange inferior e retornando pela superior, demonstrando assim, o funcionamento do termossifão.

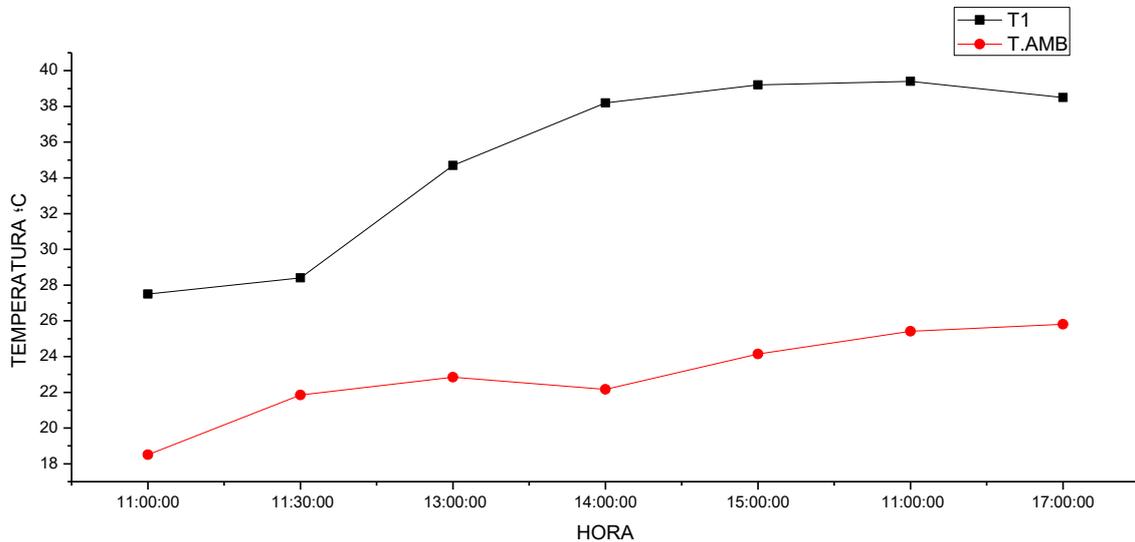
Não houveram coletas de dados de temperatura nesta etapa, pois o experimento 01 foi apenas para verificar se haveria circulação passiva de água.

4.1.2 Experimento 02 - Coletor solar de baixo custo espiral divergente com tubulação de 20m e reservatório de 5 litros.

O experimento 02 foi conduzido com o captador solar de baixo custo espiral divergente de 20m, autoportante fixado através de abraçadeira de *nylon* de 10cm e reservatório de 5 litros. Através de ensaio passivo em regime batelada e ciclo contínuo, houve a coleta 01, no dia 08/08/17, as 10 horas, assim, obteve-se a análise de ganho térmico.

Para avaliar melhor os resultados, o Gráfico 02 apresenta os dados obtidos na coleta 01:

Gráfico 02 – Experimento 02: coleta 01 com coletor espiral divergente dia 08/08/2017 com temperatura do reservatório conectado ao captador (T1) e temperatura ambiente (T. AMB)



Fonte: O autor, 2019.

Identifica-se um grande ganho térmico por parte do fluido no reservatório (T1) em relação a temperatura ambiente (T.AMB) somando 11° C. Desta forma, este captador mostrou-se como uma excelente proposta de captação solar, aliando baixo custo e redução na quantidade de acessórios necessários para implementação e instalação.

Apesar da viabilidade verificada deste captador solar, verificou-se durante a realização dos experimentos que este captador era indicado principalmente para locais com superfície de instalação plana, pois, não era possível manter a ocorrência do fenômeno de termosifão quando o mesmo era instalado apoiado em superfícies inclinadas.

Por isso, para utilização de tal protótipo em uma superfície que possui algum declive, faz-se necessário a criação de um suporte para manter o captador na posição horizontal em relação a face inclinada.

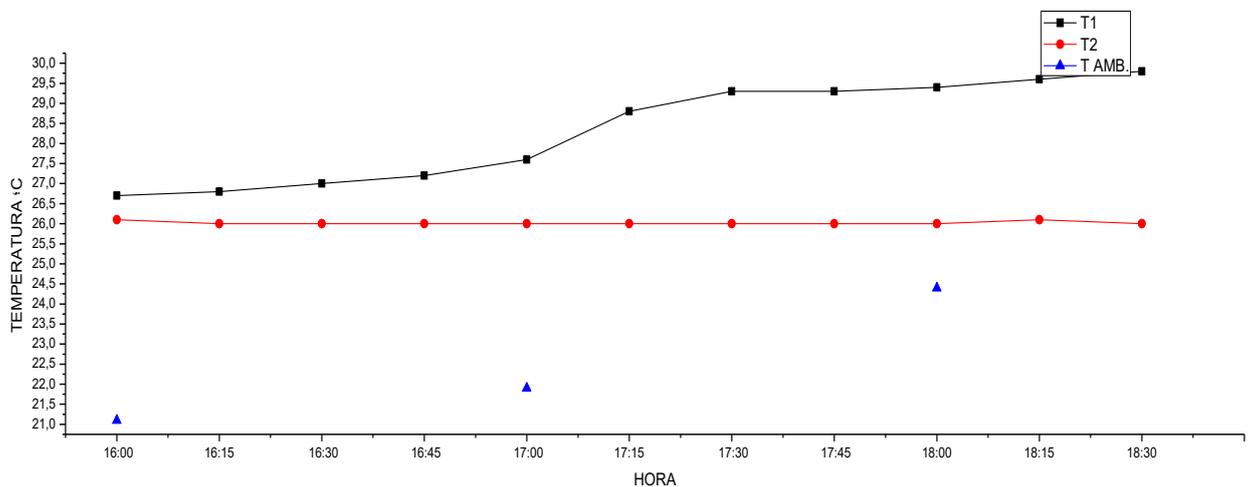
Tendo em vista, que a grande maioria das coberturas de residências são inclinadas, e que os captadores solares são instalados apoiados em tais locais, motivou-se então propor um novo protótipo em que o fenômeno de termosifão ocorresse em superfícies com tais características.

4.1.3 Experimento 03 - Coletor solar de baixo custo em configuração “S” com tubulação de 50 m e reservatório comum de 310 litros.

Para o experimento 03 foi utilizado um novo captador solar de baixo custo, este, em configuração “S” com 50 m de mangueira de polietileno e reservatório de 310 litros. Neste experimento foi realizado a coleta 02, 03, 04, analisado e comparado a temperatura do reservatório do coletor e do reservatório convencional, através de ensaio passivo em regime batelada e ciclo contínuo.

A coleta 02 por se tratar de um teste preliminar esta coleta teve um período reduzido de coleta e foi realizada no dia 15/01/2018, das 16:00hs às 18:30hs. Através desta coleta foi possível analisar a interação entre a temperatura do reservatório conectado ao captador solar (T1) com a temperatura do ambiente (T. AMB), bem como, com a temperatura da água do reservatório residencial (T2) usado para o abastecimento d’água. Os dados podem ser observados através do Gráfico 03:

Gráfico 03 – coleta 02: com coletor em configuração S no dia 15/01/2018 com temperatura do reservatório conectado ao captador (T1), temperatura medida no reservatório residencial (T2) e temperatura ambiente (T. AMB)



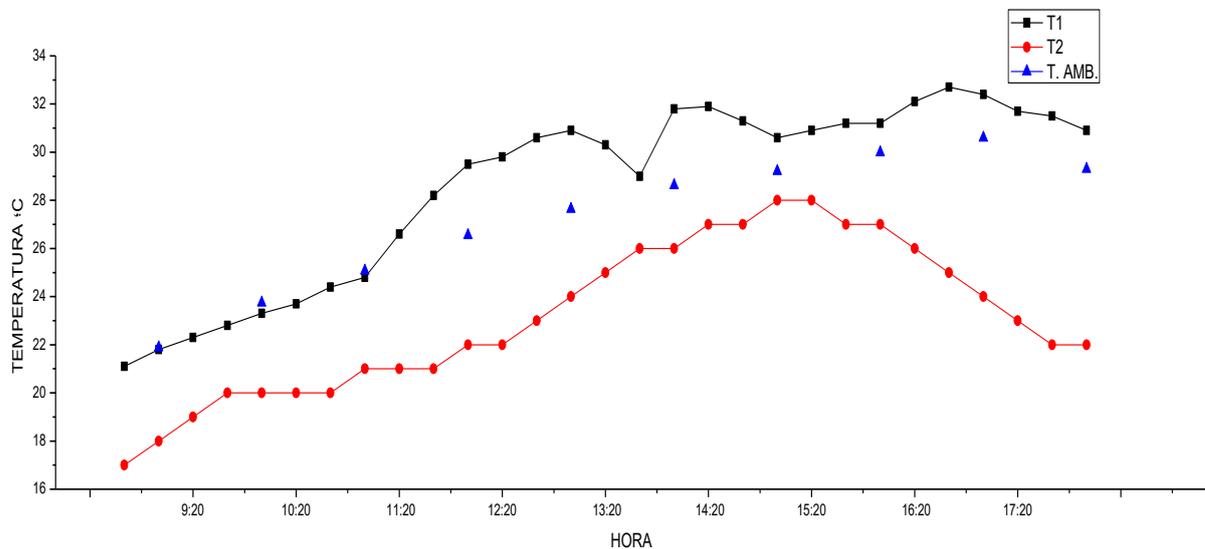
Fonte: O autor, 2019.

Verificou-se ao analisar o Gráfico 03, que o sistema teve um ganho superior a 15%, em comparação a temperatura do reservatório convencional, obtendo um aquecimento da água de 4°C.

Sabe-se que um litro de água requer 15 calorias ou 0,018654KW/h para aumentar 1°C, sendo assim, o SAS aqueceu 310 litros (cerca de 4°C). Tal aquecimento iria requerer cerca de 23,13096KW, através da utilização de resistência elétrica.

A coleta 03, foi realizada no dia 24/01/2018, das 9:40hs às 18:00hs. Os resultados de temperatura do reservatório e temperatura do ambiente ao longo do dia, estão apresentados no Gráfico 04.

Gráfico 04 – Coleta 03: com coletor em configuração S no dia 24/01/2018 com temperatura do reservatório conectado ao captador (T1), temperatura medida no reservatório residencial (T2) e temperatura ambiente (T. AMB)

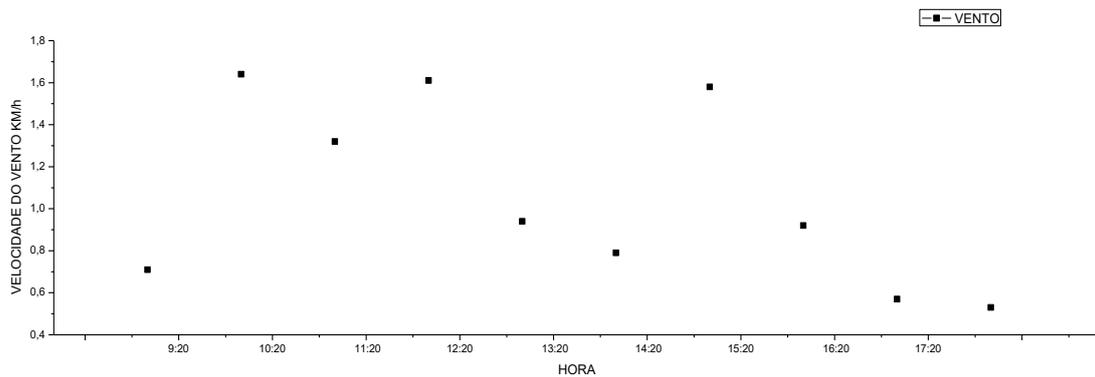


Fonte: O autor, 2019.

Ao analisar o Gráfico 04, verifica-se que ao longo da coleta, a temperatura do reservatório conectado ao captador (T1), obteve um ganho térmico de 8,3°C. Esta, no início da coleta, às 8:40hs, se encontrava a 24,4°C, chegou a 32,7°C às 16:40 e obteve um ganho de 7°C em relação a temperatura medida no reservatório residencial (T2). Devido a grande inércia térmica da água ao final do experimento, a redução de temperatura ambiente foi maior que a redução de temperatura do reservatório.

As variações da temperatura ambiente (T. AMB) mostraram-se consistentes com as variações medidas no reservatório aquecido (T1). Esta constatação pode ser atribuída a baixas interações entre o coletor e o vento, como verificado no Gráfico 05:

Gráfico 05 – Coleta 03: vento no dia 24/01/2018

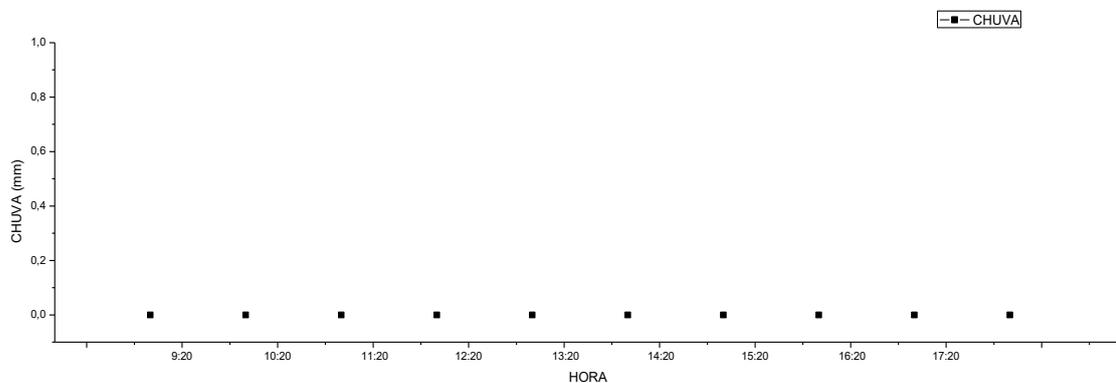


Fonte: O autor, 2019.

O vento atingiu uma velocidade máxima de 1,58 m/s às 15:00hs, ou seja, uma velocidade consideravelmente baixa. Por haverem poucas incidências de vento nesta coleta, não se pode afirmar que a interação do vento com o captador tem relevância para o aquecimento d'água do reservatório.

Através do gráfico 06, é possível verificar que não foram registradas precipitações na coleta 03.

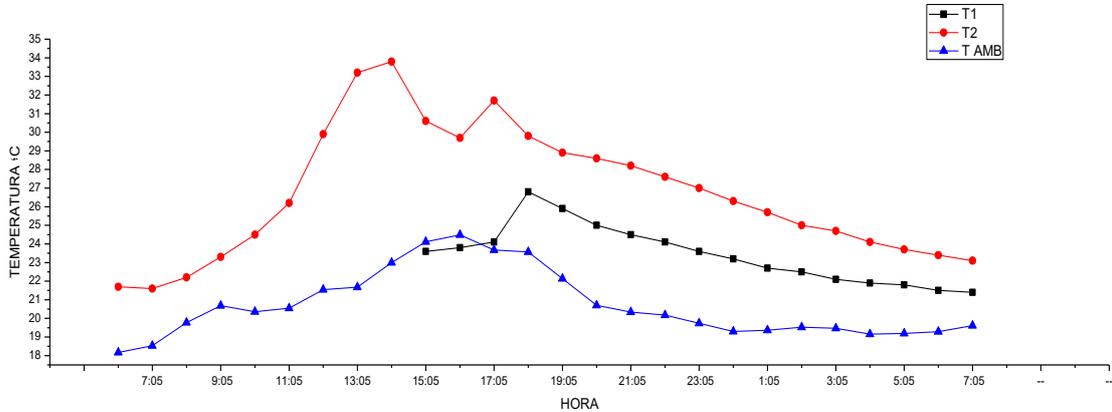
Gráfico 06 – Coleta 03: precipitação no dia 24/01/2018



Fonte: O autor, 2019.

A coleta 04, teve início no dia 20/02/18, às 06:05 h e finalizou no dia 21/02/18, às 20:05 h. Logo após o início das medições, o reservatório residencial teve uma baixa considerável em seu nível de água, ocasionada por uma interrupção no abastecimento de água da cidade. Por este motivo, em alguns momentos os sensores perderam o contato a água, resultando em uma falta de dados (T1) em algumas partes do Gráfico. Os resultados da coleta 04 são mostrados no Gráfico 07.

Gráfico 07 – coleta 04: com coletor em configuração S no dia 20/02/2018 a 21/02/2018 com temperatura do reservatório conectado ao captador (T1), temperatura medida no reservatório residencial (T2) e temperatura ambiente (T. AMB)

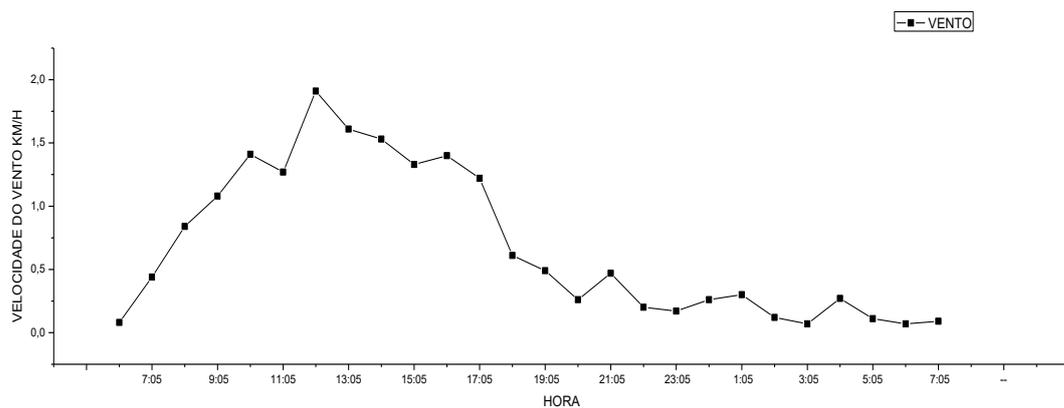


Fonte: O autor, 2019.

A temperatura do reservatório do captador (T2), a qual iniciou nesta coleta com a temperatura de 22,1°C, atingiu 33,8°C, às 15:05 h, somando um ganho térmico da 11,9°C. Ao comparar a temperatura T2, com a temperatura ambiente T. AMB a qual atingiu 23°C às 14:05hs, percebe-se um ganho imediato de 10°C.

No Gráfico 08, observa-se os resultados da velocidade do vento durante a coleta 04.

Gráfico 08 – Coleta 04: vento no dia 20/02/2018 a 21/02/2018



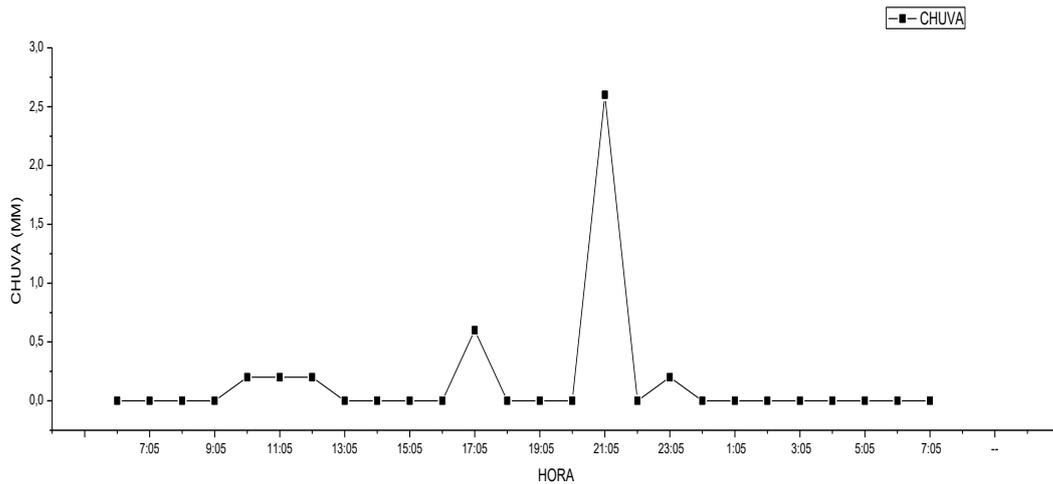
Fonte: O autor, 2019.

Neste ensaio experimental, não houveram grandes incidências de ventos, tendo estes atingido a velocidade de 1,99 m/s às 12:05h. Aparentemente, esta

velocidade não implicou em alterações no padrão de aquecimento d'água, tendo mantido uma curva semelhante a curva da temperatura ambiente (T AMB).

Abaixo, pode-se constatar no Gráfico 09, que houveram precipitações durante a coleta:

Gráfico 09 – Coleta 04: precipitação no dia 20/02/2018 a 21/02/2018



Fonte: O autor, 2019.

A maior concentração de chuva ocorreu às 21:05 horas, sendo esta de 2,6 mm. Acredita-se que por se tratar de um período sem incidência solar, esta quantidade de chuva não teve grandes impactos na temperatura do aquecedor.

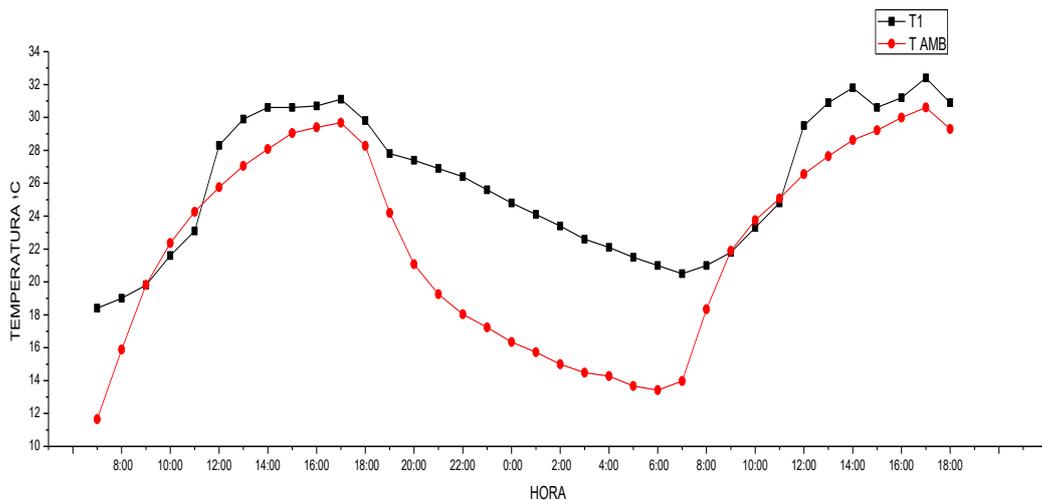
Vale mencionar sobre a facilidade verificada para montagem e implementação do coletor em configuração “S”. A montagem deste coletor mostrou-se ocorrer de forma bem mais fácil quando comparado com o sistema espiral divergente. Além disso, pode-se mencionar que não é necessário conhecimentos técnicos avançados ou de instrumentação técnica específica para instalação e construção do mesmo.

4.1.4 Experimento 04 - Coletor solar de baixo custo em configuração “S” com tubulação de 50 m e reservatório com isolamento térmico.

O experimento 04 foi conduzido através do captador solar de baixo custo em configuração “S” com tubulação de 50 m de comprimento e reservatório com isolamento e capacidade de 100 litros (boiler). Através deste experimento foi realizado a coleta 05 e analisado o ganho térmico, em ensaio passivo em regime batelada e ciclo contínuo.

A coleta 05 foi realizada do dia 23/02/18 às 7:00h, até o dia 24/02 às 18:00h. Através dela, foram coletadas temperaturas ao longo de 35 horas consecutivas, com oscilações térmicas de mais de 19°C entre a temperatura do boiler (T1) e a temperatura ambiente (T. AMB), como pode-se verificar no Gráfico 10.

Gráfico 10 – Coleta 05: com coletor em configuração S no dia 23/02/18 a 24/02/18 com temperatura do reservatório conectado ao captador (T1) e temperatura ambiente (T. AMB)



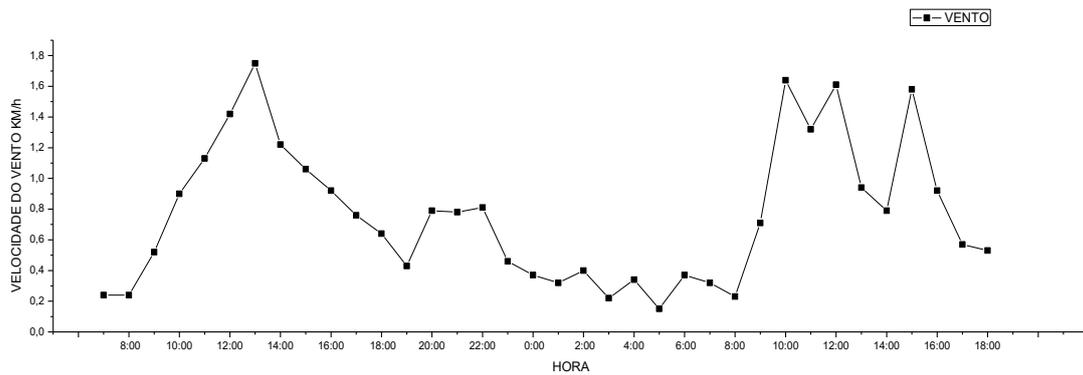
Fonte: O autor, 2019.

Observa-se que o pico de temperatura em ambos os dias deu-se às 17:00 h, chegando a 31,1°C no primeiro dia (23/02) e a 32,4°C no segundo dia (24/02). Desta forma, sugere-se que este horário seja o momento onde a radiação solar não é mais suficiente para aumentar a temperatura do boiler.

O saldo térmico do primeiro dia (23/02) foi de 12,7°C, onde a água estava na temperatura de 18,4°C às 7:00 h da manhã, alcançando os 31,1°C às 17:00 h do mesmo dia. Devido às baixas temperaturas que chegaram a 13°C durante a noite, a temperatura do boiler teve uma queda considerável, chegando ao seu limiar às 7:00 h do dia 24/02, com uma temperatura de 20,5°C. Considerando que a temperatura ambiente neste momento era de 13,97°C e que no dia anterior no mesmo horário o boiler encontrava-se a 18,4°C, pode-se considerar um possível acúmulo térmico ao longo dos dias, aumentado as temperaturas máximas atingidas pelo coletor a longo prazo.

No Gráfico 11 é possível verificar que houveram oscilações na velocidade dos ventos.

Gráfico 11 – Coleta 05: vento 23/02

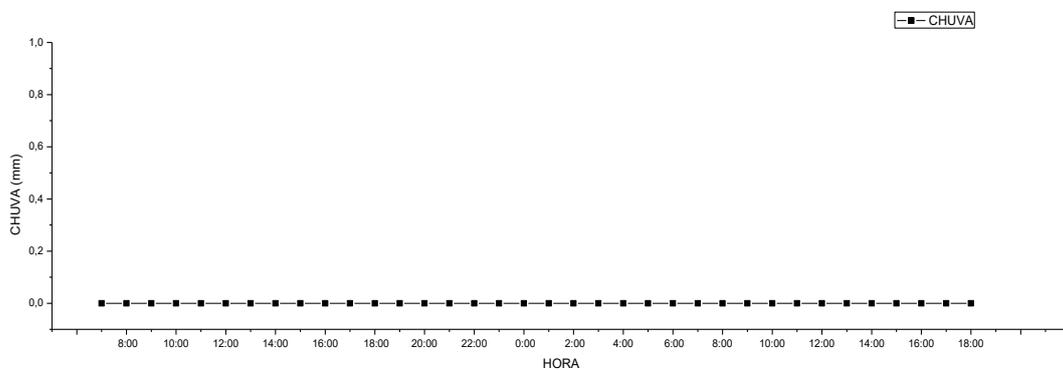


Fonte: O autor, 2019.

A velocidade dos ventos durante a coleta, chegou a 1,75 m/s, equivalentes a 6,3 Km/h. Pode ser notada, pequenas oscilações na T1 durante os períodos onde a velocidade do vento era maior.

Durante esta coleta, não houve precipitações, como verificado no Gráfico 12:

Gráfico 12 – Coleta 05: precipitação



Fonte: O autor, 2019.

Fica claro nesta coleta, a necessidade de maiores espaços de tempo, para verificar o acúmulo de calor ao longo de vários dias, bem como, quais impactos de chuva e ventos com maiores velocidades têm sobre o funcionamento do captador.

4.1.5 Experimento 05 – Coletor solar de baixo custo em configuração “S” com tubulação de 100 m em paralelo com reservatório boiler.

O experimento 05 foi conduzido com o captador solar de baixo custo em configuração “S”, e tubulação de 100m de comprimento total, instalado em paralelo,

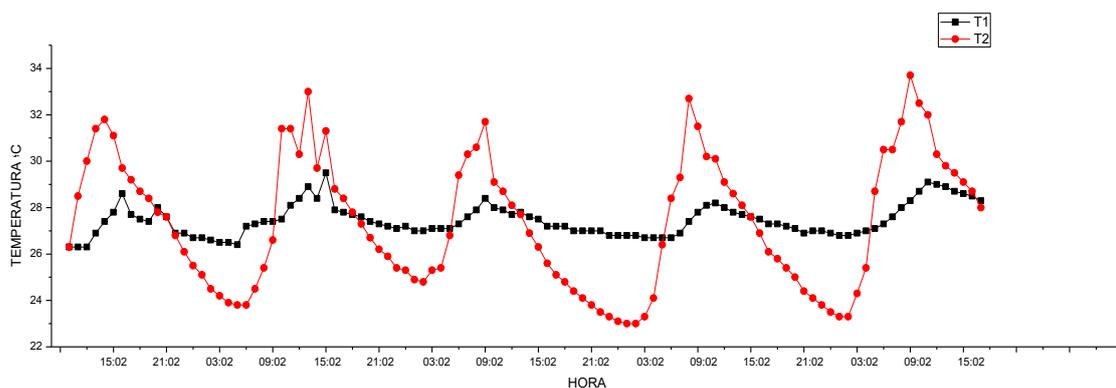
de forma a duplicar a área de captação térmica a cada 50 metros. Neste experimento foi utilizado um reservatório com isolamento térmico (boiler) e capacidade de 100 litros.

Foram realizados através deste experimento as coletas 06, 07 e as análises de ganho térmico através de ensaio passivo em regime de ciclo contínuo.

O experimento 05 teve duas importantes alterações em relação ao seu predecessor: o aumento de área do coletor, visando aumentar a temperatura máxima e a condução de ensaios experimentais em uma maior período de tempo, de forma a verificar o acúmulo térmico ao longo dos dias e as perdas de temperatura durante a noite.

A coleta 06, deu-se do dia 02/03/18 às 10:02 h, ao dia 06/03/18, às 17:42 h. Para melhor compreensão do Gráfico 13, os intervalos de medição passaram de 20 minutos para 60 minutos tendo em vista o longo período de coleta bem como os dados da estação meteorologia serem de 60 minutos, permitindo assim uma leitura mais dinâmica dos dados.

Gráfico 13 – Coleta 06: com coletor em configuração S no dia 02/03/2018 a 06/03/2018 com temperatura da saída para o consumo (T1), temperatura na saída do reservatório para o captador (T2) e temperatura ambiente (T. AMB)



Fonte: O autor, 2019.

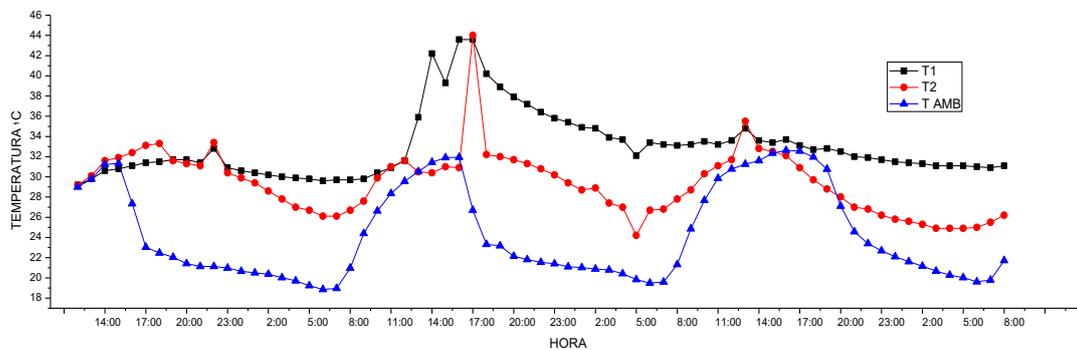
Para melhor análise, além da temperatura de saída para o consumo (T1), foi adicionada a temperatura de saída do reservatório para o captador (T2), permitindo saber qual o ganho de temperatura que o fluido teve, após circular pelo captador.

O reservatório alcançou sua temperatura mínima no dia 05/03 às 2:00 horas e um pico de temperatura de 34,4°C às 10:40 h do último dia de coleta (06/03). Percebe-se que existe uma grande perda térmica no período noturno, sugerindo que

estava ocorrendo o fenômeno de termossifão invertido durante a noite, fazendo com que a água do reservatório perdesse calor através dessa circulação de fluido no coletor.

A coleta 07 foi realizada do dia 14/01/19 às 12:00 h até o dia 17/01/19 às 8:00 h e obteve as maiores temperaturas de todos os experimentos. Sua temperatura máxima foi atingida no dia 15/01, às 17:00 h, chegando a 44°C e sua temperatura mínima foi às 5:00 h do dia 16/01, como pode ser verificado no Gráfico 14.

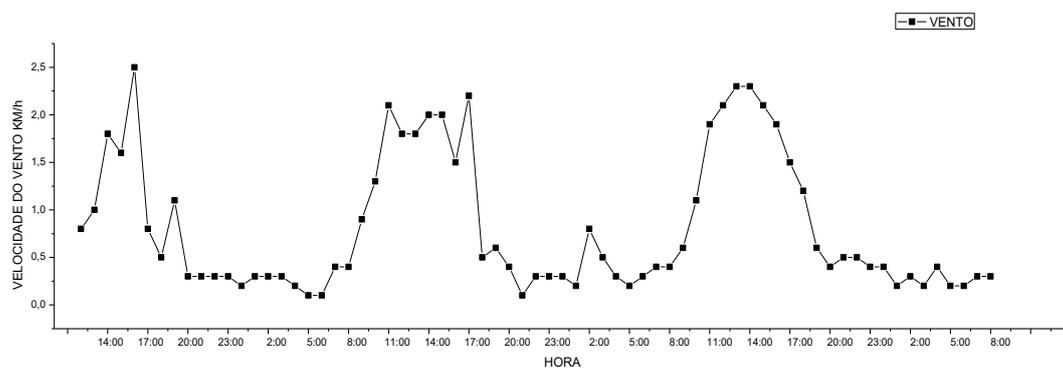
Gráfico 14 – Coleta 07: com coletor em configuração S no dia 14/01/2019 a 17/01/2019 com temperatura da saída para o consumo (T1), temperatura na saída do reservatório para o captador (T2) e temperatura ambiente (T. AMB)



Fonte: O autor, 2019.

Verifica-se que as temperaturas do boiler (T1) mantiveram-se sempre acima da temperatura ambiente (T AMB), sendo registradas temperaturas de 17°C acima da temperatura ambiente (T AMB), mesmo sendo registrados ventos, como apresentado no Gráfico 15.

Gráfico 15 – Coleta 07: vento

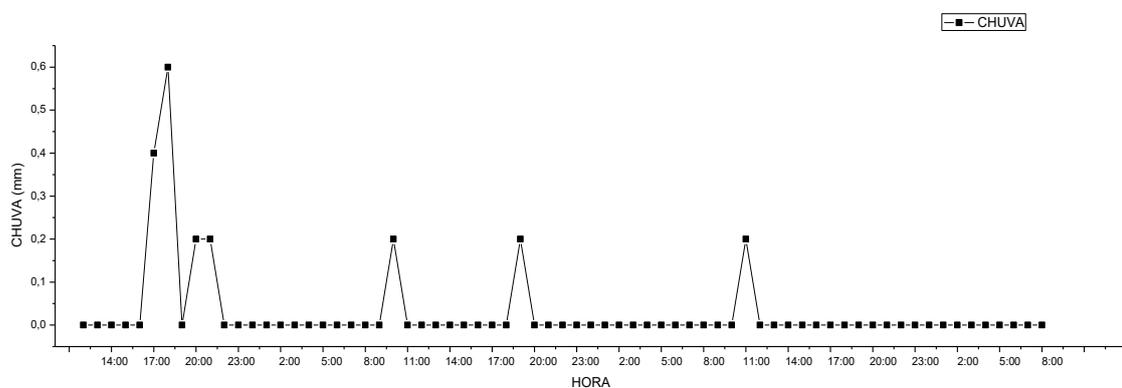


Fonte: O autor, 2019.

Na coleta 07 foram registrados ventos de até 2,5 m/s sendo 9 km/h no dia 14/01 às 16:00 h. Os maiores registros de vento coincidiram com a maior temperatura atingida pelo captador, o que pode indicar que as interações do vento não tiveram grande influência nos resultados desta coleta.

Outro fator importante a ser analisado é a precipitação de chuva durante a coleta, onde pode-se verificar no Gráfico 16 que houveram pequenas quantidades de chuva.

Gráfico 16 – Coleta 07: precipitação



Fonte: O autor, 2019.

Levando em consideração que esta coleta foi a mais favorável, pode-se verificar que foi aquecido 100 litros do reservatório somados aos 49,1 litros do captador, onde a temperatura inicial de 26,1°C às 7:00 h do dia 15, atingiu 44°C às 17:00 do mesmo dia, ou seja, houve um ganho térmico de 17,9°C.

É sabido que um litro de água requer 15 calorias ou 0,018654KW/h para aumentar 1°C, sendo assim o SAS aqueceu 149,1 litros, cerca de 17,9°C. Tal aquecimento iria requerer cerca de 49,785KW através da utilização de resistência elétrica.

6.4 VIABILIDADE TÉCNICA

No experimento 01, sua montagem inicial com uso de barras de aço para manter sua forma parabólica, conforme a Figura 21, se mostrou de complexa execução, a qual foi substituída por abraçadeiras de náilon e a própria mangueira de irrigação como estrutura de montagem (experimento 02), porém, seu formato exige

que sua instalação seja feita em uma superfície plana, sendo que a grande maioria das edificações desta região, possuem superfícies com inclinação de 30% (16.7°), o protótipo foi descartado por atender uma quantidade reduzida de edificações.

No experimento 03, foi utilizado um novo formato de captador solar (sistema “S”), o qual até o presente momento não foi encontrado nenhum modelo similar na literatura. Seu formato possui uma saída linear do captador e retorna ao reservatório em configuração senoidal. Desta forma, foi possível verificar a presença de circulação passiva da água pelo captador quando utilizado em superfícies inclinadas

O protótipo mostrou ter simples execução, por fazer uso de tubulações flexíveis, sendo apenas necessário conexões com o reservatório (flanges), reduzindo drasticamente a quantidade de conexões, as quais são os principais componentes responsáveis por vazamentos. A fixação utilizada no sistema “S” pode ser realizada feita no próprio reservatório e na própria mangueira, através de abraçadeiras de nylon no cruzamento das mangueiras, que foram previamente posicionadas sobre a cobertura da edificação sem que haja necessidade de suportes ou preparos para sua implantação.

Para o experimento 04, a mudança foi apenas referente ao reservatório, que antes era de 310 litros e passou a ser um reservatório com isolamento e capacidade de 100 litros. O boiler utilizado neste experimento possuía resistência elétrica para aquecimento secundário, controlado através de um termostato configurável, podendo manter a temperatura entre 0°C e 90°C e é um produto certificado pelo Inmetro Procel.

No experimento 05 o captador foi ampliado em mais 50 metros em configuração paralela, o que resultou em um ganho de temperatura cumprindo o parâmetro de possibilitar o uso da luz solar como fonte de energia.

Por se tratar de um sistema de fácil e rápida instalação, o sistema “S” proposto neste trabalho tem potencial para aplicação em ampla escala ou mesmo a elaboração e distribuição de kits de instalação através de programas sociais. Assim, além de contribuir positivamente para o bem-estar da parcela mais carente da população, ainda contribui com a redução de demanda energética da já sobrecarregada rede, que por sua vez, reduz a implantação de usinas hidroelétrica e termoelétrica.

O protótipo desenvolvido neste trabalho tem um custo de construção de aproximadamente R\$ 107,00 (cento e sete reais) constituído de:

- 100 metros de mangueira de polietileno de ½ polegada: R\$ 72,74
- 12 abraçadeiras: R\$ 1,20

- 04 adaptadores de mangueira: R\$ 6,50
- 02 flanges: R\$ 24,16
- 02 tees: R\$2,40

Ao analisar os materiais necessários pra construir um aquecedor solar de baixo custo feito com tubos de PVC, fornecido no manual do ASBC através do site <http://www.sociedadedosol.org.br>, de forma gratuita, com a mesma capacidade de armazenamento, verificou-se o valor aproximado de R\$ 1.184,00 (um mil cento e oitenta e quatro reais), para comportar os mesmos 34 litros circulando no captador, porém, o uso de aletas e isolamento térmico para criar o efeito estufa amplifica-se a capacidade de aquecimento do sistema com tubos de PVC, HUDON et al. (2012) observa que são necessários apenas 11,72 litros de capacidade, os quais tem custo aproximado de R\$ 447,00 (quatrocentos e quarenta e sete reais), mesmo tendo capacidade reduzida, seu custo ainda é de 213% do valor do protótipo elaborado.

Com todo o arranjo, o custo do captador com capacidade para 31,4 litros totalizou em R\$ 107,16, tendo um valor de construção aproximado de R\$ 3,40 por litro de captador sem considerar o custo do reservatório.

Nas melhores condições este captador aqueceu 131,4 litros de agua sem uso de energia elétrica que seria de 49,785KW. Segundo a copel (Companhia Paranaense de Energia) atualmente um KW/h da tarifa convencional incluindo impostos (ICMS e Pis/Cofins), custa R\$ 0,69118 para os consumidores residenciais, resultando um valor de R\$ 34,41 em energia elétrica para obter o mesmo resultado que o coletor obteve, existem muitas variáveis a se analisar em trabalhos posteriores, porem o coletor se mostrou de várias maneiras economicamente viável.

5 MÍDIAS

5.1 PUBLICAÇÃO DE ARTIGO EM EVENTO REFERENTE AO TRABALHO

REBELATTO, DANIELLY LETÍCIA; APPEL, JEAN CARLOS RAVANELLI; MOREIRA, BRUNO ARANTES; VALDAMERI, CLEILA CRISTINA NAVARINI. Desenvolvimento de um novo modelo de coletor solar plano de baixo custo. XX ENGEMA Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. USP – São Paulo, 2018.

5.2 PATENTE

O protótipo de captador solar elaborado neste trabalho foi patenteado com invenção autêntica com o nome de COLETOR DE ENERGIA SOLAR DE BAIXO CUSTO EM CONFIGURAÇÕES PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA, Publicado na Revista nº 2516 sob a patente BR 10 2019 000765 6.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram propostos dois captadores solares de baixo custo: a) coletor solar de baixo custo espiral divergente b) coletor solar de baixo custo em configuração “S”.

Tais coletores foram desenvolvidos com o intuito de:

- Diminuir a quantidade de acessórios (pontos passíveis de falha) para construção, de forma a reduzir possíveis vazamentos;
- Exigir menor conhecimento técnico para montagem e instalação,
- Reduzir o tempo necessário para construção e implementação do captador;
- Reduzir substancialmente os custos de construção em relação aos coletores comerciais.

O coletor solar de baixo custo espiral divergente mostrou-se indicado para ser instalado em superfícies planas amplamente utilizadas nas periferias. Embora tal coletor tenha se mostrado promissor, a montagem do sistema nesta configuração mostrou-se um pouco mais trabalhosa quando comparado com sistema “S”. Além disso, este coletor não se mostrou funcional quando instalado em superfícies inclinadas.

O coletor em configuração “S” mostrou-se mais promissor dentre os coletores propostos, atingido melhor viabilidade para implementação em residências. Este coletor mostrou-se indicado para ser instalado em superfícies inclinadas (como geralmente ocorre nas coberturas de edificações).

Além disso, o captador em configuração “S” quando associado a um boiler de 100 litros, alcançou um pico de temperatura no sistema de 44 °C. com apenas 100 m de comprimento linear de mangueira de polietileno. Tal constatação confirma a grande aplicação e viabilidade do equipamento proposto.

O ganho térmico no coletor em configuração “S” para o reservatório foi de 14%, o qual significa um potencial de aquecimento onde seriam necessários 23,13096 KW/h em apenas um dia, ganho consideravelmente relevante, bem como percebesse um potencial a ser estudado do coletor com fim de aquecimento de água no meio industrial tendo em vista que grande parte dos processos industriais demandam aquecimento de grande quantidade de água tanto para o processo em si como para a limpeza ou esterilização dos utensílios.

6.1 PERSPECTIVAS FUTURAS

Próximas etapas:

- Modificar o coletor solar em configuração “S” adicionando uma cobertura isolante, de forma a promover o efeito estufa no sistema e a consequente melhora na eficiência do equipamento;
- Avaliar o aumento do ganho térmico com a utilização de maiores áreas de troca térmica dos protótipos propostos neste estudo (sistema S e coletor espiral divergente);
- Desenvolver um suporte para a instalação do coletor solar divergente em superfícies inclinadas;
- Analisar o comportamento do protótipo em configuração “S” em uma unidade habitacional e quais seus impactos no consumo energético;
- Verificar em ambiente controlado qual a capacidade de absorção do captador solar em configuração “S” em relação aos captadores solares comerciais.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de dados de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> acesso em 2018.

ALANO, JOSÉ ALCINO. Patente número PI 0402869-4 A2. **Aquecimento solar composto de embalagens descartáveis**. 2004. Disponível em <<https://www.escavador.com/patentes/421393/aquecimento-solar-composto-de-embalagens-descartaveis>> acesso em Outubro de 2018.

ALANO, J. A. **Manual sobre a construção e instalação do aquecedor solar composto de embalagens descartáveis**. 2007. Disponível em <<http://josealcinoalano.vilabol.uol.com.br/manual.htm>> acesso em 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 8039 NB 792- Projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa**. Rio de Janeiro. 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 5626 - Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro. 2002.

BAINBRIDGE, D. A. **The Integral passive solar water heater book**. 1983.

BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2023 / Ministério de Minas e Energia**. Empresa de Pesquisa Energética. 2v.: il. Brasília: MME/EPE, 2014. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-47/topico85/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202023.pdf>> acesso em Fevereiro de 2018.

CLIMATE. Home Page. Disponível em <<https://pt.climate-data.org/location/43618/>> acesso em Janeiro de 2018.

COHAB/MG – COMPANHIA DE HABITAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. 2007. Disponível em <<http://www.cohab.mg.gov.br/>> acesso em Abril de 2018.

COHAB/SC – COMPANHIA DE HABITAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. 2010. Disponível em <<http://cohab.sc.gov.br>> acesso em Abril de 2018.

COMITE COORDENADOR DO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS. Home Page. 2010. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1289741/Portaria+323+de+30-08-2000+Publicado+no+DOU+31-08-2000/059d086a-5cb1-4fc9-aa5b-42f3568ec8f3;jsessionid=85C5120FCDBCDCE8640BFEE802CD4A8C.srv155>> acesso em 2018.

COURSES, B. E.; SCHOOLS, H. **Construção de um aquecedor solar de água sustentável na Amazônia: usando a metodologia pbl para interação entre cursos**

de engenharia e escola de ensino médio. Revista Produção e Desenvolvimento, v. 1, n. 3, p. 131–139. 2015.

COSTA, RAIMUNDO NONATO ALMEIDA. **Viabilidade Térmica, Econômica e de Materiais de um Sistema Solar de Aquecimento de água a Baixo Custo para Fins Residenciais.** Dissertação para obtenção de grau de mestre em engenharia mecânica. Natal - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2007.

GONÇALVES, JOEL NOGUEIRA; MENDES, JOSÉ UBIRAGI DE LIMA; SILVEIRA, FABIÓLA FERNANDES DA; CAVALCANTI, SYNARA LUCIEN DE LIMA. **Análise de um aquecedor solar de água tipo espiral para uso em piscinas residenciais.** IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM 2012. São Luis – Maranhão – Brasil. 2012.

ENERGY, F.; PROGRAM, M. **Solar Water Heating with Low-Cost Plastic Systems.** 2009.

FRIEDRICH FERRER, P. A. **Average economic performance of solar water heaters for low density dwellings across South Africa.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 76, n. March, p. 507–515. 2017.

GEVORKIAN, P. **Solar Power in Building Design** –The engineer’s complete design resource. New York: Mc Graw Hill. 2008.

GOY, LEONARDO. **Casa Civil corrige: PAC 2 prevê R\$ 1,088 tri em energia.** Isto é dinheiro. [S.l.] 29 mar 2010. Economia on line. Disponível em <http://www.istoedinheiro.com.br/noticias/18144_CASA+CIVIL+CORRIGE+PAC+2+P+REVE+R+1088+TRI+EM+ENERGIA> acesso em Janeiro de 2018.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; REIS, L.B. **Energia e Meio Ambiente.** 4. ed. São Paulo: Cengage Learning. 2011.

HUDON, K. et al. **Low-Cost Solar Water Heating Research and Development Roadmap.** Contract, v. 303, n. August, p. 275–3000. 2012.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. 2017. Disponível em <<http://www.iapar.br/>> acesso em 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Home Page. 2011. Disponível em <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>> acesso em 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Home Page. 2018. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/francisco-beltrao/pesquisa/23/27652?detalhes=true>> acesso em 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Home Page. 2017. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/francisco-beltrao/panorama>> acesso em 2018.

IDEC – INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR. Home Page. **Chuveiro, o vilão do banheiro.** 2013. Disponível em <<https://idec.org.br/em-acao/revista/falsos-magros/materia/chuveiro-o-vilo-do-banheiro>>, acesso em 02 de setembro de 2017> acesso em 02 de setembro de 2017.

IDEC – INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR. Home Page. **Saiba quais são os vilões de consumo de energia no inverno.** Disponível em <<https://idec.org.br/consultas/dicas-e-direitos/saiba-quais-so-os-viloes-de-consumo-de-energia-no-inverno>> acesso em setembro de 2017.

INSTITUTO FEDERAL SUL – RIO – GRANDENSE. Campus de Pelotas. **Livro de Resumos.** P. 1-58. 2009.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Caderno Estatístico município De Francisco Beltrão** <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=85600>> acesso em 2018.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: consumo e geração de energia.** [s.l: s.n.]. v. 2. 2010.

LENZ, A. M. et al. **Evaluation of three systems of solar thermal panel using low cost material, tested in Brazil.** Journal of Cleaner Production, v. 167, p. 201–207. 2017.

MACHADO, EVERTO FÁBIO DA SILVA. **Desenvolvimento de sistemas de geolocalização e rastreamento para a plataforma android – compass.** Monografia de Especialização (Especialista em Desenvolvimento de Sistemas de Internet e Dispositivos Móveis – Licenciatura em Informática) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão. 2015.

MAIA, J. F.; RAPHAEL, L.; GONÇALVES, M. **Avaliação da viabilidade energética de aquecedores solares de materiais descartáveis na região de Montes Claros - MG.** P. 41–55. 2013.

MENDON, B. V. D. E.; POLIT, E. **Estudo da problemática da aplicação de coletores solares para aquecimento de água, no segmento residencial de alto padrão, com base em escalas de projeto arquitetônico e dimensões de planejamento.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

NIEMEYER, R. C. **Construção de um coletor solar inflável.** Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Mecânica, UNB, Brasília, DF. 2006.

PESQUISA NACIONAL POR AMOSTRA DE DOMICÍLIOS (PNAD) 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> acesso em 2018.

PROCEL – PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Home Page. 2010. Disponível em <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BD3C90184-7BCF-454B-A22E-31B8F2E1EE3C%7D&Team=¶ms=itemID=%7B>>

C28C2387-3172-4D9F-B769-EB386F0961E5%7D;LumsAdmin=1;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D> acesso em 2018.

RADIATION, S. **Solar Radiation**. [s.l: s.n.]. 2013.

REDDY, SUDHAKARA B. **Electrical vs solar water heater: a case study**. Energy Convers Manag;36:1097–106. 1995.

ROBERTO, L. et al. **Avaliação do conforto térmico de aquecedores solares modelos de regressão polinomial**. v. 31, p. 273–281, 2016.

SANCHES, G. **Eliminação de vazamentos em redes externas no contexto de programas de uso racional da água** – Estudo de caso: Universidade de São Paulo. Ambiente Construído, v. 8, n. 2, p. 41–51, 2008.

SANTOS, A. D. P. et al. **Aquecedor solar em placa de PVC: montagem e funcionamento**. 2012.

SILVA, R. M. DA. **Energia solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. p. 46, 2015.

SILVA, WILLIAN DA SILVA; SÁ, JOCELITO SACCOL DE. **Viabilidade técnica do uso doméstico de coletores solar de baixo custo**. Livro de Resumos da 2ª Mostra de Trabalhos de Tecnologia Ambiental. 2009.

SINGH, RAMKISHORE; LAZARUS, IAN J.; SOULIOTIS, MANOLIS. **Recent developments in integrated collector storage (ICS) solar water heaters: A review**. Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016.

SOCIEDADE DO SOL. Home Page. **Manual de Manufatura e Instalação Experimental do ASBC** – Aquecedor Solar de Baixo Custo. 2009. Disponível em <www.sociedadedosol.org.br> acesso em Janeiro de 2018.

SPRENGER, R. L. **Aplicação do Sistema Fechado no Aquecimento Solar de Água de Baixo Custo para Reservatórios e Residenciais Isolados Termicamente: Concepção e Comissionamento de um Sistema Piloto de Testes**. Curitiba, 105p. Dissertação de Mestrado –Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. 2007.

STENSMANN, BERENICE HELENA WIENER. **Energia Emitida pelo Sol**. Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008_02/Berenice/aula4.html> acesso em Maio de 2018.

SUDOESTE ONLINE. Home Page. 2018. Disponível em < <http://www.sudoesteonline.com.br/franciscobeltrao/galerias.asp?cidade=&p=3>> acesso em 2018.

TOMAZ, P. **Previsão de Consumo**. Previsão de Consumo de Água, 1999.

VECCHIA, RODNEI. **O Meio Ambiente e as Energias Renováveis: Instrumentos de Liderança Visionária para a Sociedade Sustentável**. 1ª ed. 2010.

XUE, H. S. **Experimental investigation of a domestic solar water heater with solar collector coupled phase-change energy storage.** *Renewable Energy*, v. 86, p. 257–261, 2016.