

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

JOÃO VICTOR MARTINS PEROSSO

**MONTAGEM DE UM SISTEMA DE CIRCULAÇÃO FECHADO DE ÁGUA PARA
TESTES EXPERIMENTAIS EM COLETORES SOLARES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2020

– O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

JOÃO VICTOR MARTINS PEROSSO

**MONTAGEM DE UM SISTEMA DE CIRCULAÇÃO FECHADO DE ÁGUA PARA
TESTES EXPERIMENTAIS EM COLETORES SOLARES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica do Departamento
Acadêmico de Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Antonini Alves

Coorientador: Eng. Mec. Pedro Leineker
Ochoski Machado

PONTA GROSSA

2020



TERMO DE APROVAÇÃO

MONTAGEM DE UM SISTEMA DE CIRCULAÇÃO FECHADO DE ÁGUA PARA TESTES EXPERIMENTAIS EM COLETORES SOLARES

por

JOÃO VICTOR MARTINS PEROSSO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 4 de dezembro de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Thiago Antonini Alves
Orientador

Prof. Dr. Gilberto Zammar
Membro Titular

Prof. Dr. Luiz Eduardo Melo Lima
Membro Titular

Prof. Dr. Marcos Eduardo Soares
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de
Carvalho
Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais e familiares que sempre deram suporte para que eu atingisse meus objetivos.

Aos professores que tive o prazer de conhecer na graduação, principalmente o Prof. *Thiago Antonini*, por todo o conhecimento adquirido no andar do curso.

À minha namorada que esteve presente e aconselhou-me nos momentos de dúvidas.

Aos meus amigos pelo apoio em diversos momentos e, principalmente, ao meu colega de classe Pedro Leineker Ochoski Machado, pelos ensinamentos durante o desenvolvimento desse Trabalho de Conclusão de Curso.

Por fim, agradeço imensamente a todos que, de uma forma ou outra, colaboraram para conclusão desse trabalho.

RESUMO

PEROSSO, João Victor Martins. **Montagem de um Sistema de Circulação Fechado de Água para Testes Experimentais em Coletores Solares.** 2020, 78p. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa - Paraná, 2020.

Esse Trabalho de Conclusão de Curso baseia-se no desenvolvimento de um sistema de circulação para testes experimentais em coletores solares, continuação de um trabalho desenvolvido anteriormente, com a intenção de atualizar, aperfeiçoar e concluir por inteiro a proposta preunciada. A ideia principal consiste em um aparato experimental, o qual servirá como instrumento para futuros experimentos com coletores solares. O sistema é composto por um conjunto de componentes hidráulicos como: reservatório de água fria e quente, caixa d'água, bomba pressurizadora da seção de água fria, bomba de circulação para seção de água quente, encanamento de cobre, PVC e CPVC, válvula de expansão, válvulas de bloqueio, registros, medidores de vazão, pressão e temperatura e, finalmente, um computador com sistema de aquisição de dados. O aparato encontra-se instalado nas dependências interna e externa ao Bloco J1, especificamente no Laboratório de Energia Solar (LabSOLAR), vinculado ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) do Câmpus Ponta Grossa.

Palavras-chaves: Coletores solares. Termossifão. Energia solar. Coletor solar de tubo à vácuo.

ABSTRACT

PEROSSO, João Victor Martins. **Assembly of a Closed Water Circulation System for Experimental Tests on Solar Collectors**. 2020, 78p. Course Completion Work - Bachelor of Mechanical Engineering - Federal Technological University of Parana, Ponta Grossa - Parana, 2020.

This Course Completion Work is based on the development of a circulation system for experimental tests on solar collectors, a continuation of a work previously developed, with the intention of updating, perfecting and fully concluding the foreseen proposal. The main idea consists of an experimental apparatus, which will serve as an instrument for future experiments with solar collectors. The system consists of a set of hydraulic components such as: cold and hot water reservoir, water tank, pressurizing pump for the cold water section, circulation pump for the hot water section, copper plumbing, PVC and CPVC, expansion valve, blocking valves, registers, flow, pressure and temperature meters and, finally, a computer for data acquisition. The apparatus is installed in the internal and external dependencies to Block J1, specifically in the Solar Energy Laboratory (LabSOLAR), linked to the Academic Mechanics Department (DAMEC) of the Federal University of Technology - Parana (UTFPR) - Ponta Grossa.

Keywords: Solar collectors. Thermosyphon. Solar energy. Evacuated tube solar collector.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Oferta interna de energia 2017/2018.....	7
Figura 2 – Componentes da radiação solar.....	14
Figura 3 – Posicionamento da Terra em relação ao sol durante o ano.	15
Figura 4 – Modelo experimental de <i>Horace de Saussure</i>	16
Figura 5 – Estrutura de um coletor solar fechado plano.	17
Figura 6 – Estrutura de um tubo coletor à vácuo de baixa pressão.	18
Figura 7 – Sistema modular de tubos coletores à vácuo de baixa pressão.	19
Figura 8 – Estrutura de um tubo coletor à vácuo de alta pressão.	20
Figura 9 – Sistema modular de tubos coletores à vácuo de alta pressão.	21
Figura 10 – Esquema de funcionamento de um termossifão.	22
Figura 11 – Composição estrutural de um <i>boiler</i>	23
Figura 12 – Sistema de aquecimento de circulação natural.	24
Figura 13 – Sifão recomendado para circulação natural.	24
Figura 14 – Recomendações para escolha da circulação na instalação de aquecimento.....	25
Figura 15 – Sistema de aquecimento de circulação forçada.	26
Figura 16 – Isotubo bipartido de lã de rocha.	28
Figura 17 - <i>Design</i> de coletor de tubos evacuados.	29
Figura 18 – Esquema do sistema de circulação.....	30
Figura 19 – Vista superior das regiões interna e externas do Bloco J1.....	30
Figura 20 – Modelagem via CAD da região interna do sistema de aquecimento.	31
Figura 21 – Suporte para os coletores solares.....	32
Figura 22 - Procedimento de soldagem da tubulação de cobre.	34
Figura 23 – Montagem da região interna do sistema de aquecimento solar (SAS)...	35
Figura 24 – Caixa d'água.	36
Figura 25 – Vaso de expansão.....	37
Figura 26 - Pressostato.	38
Figura 27 – Bomba d'água.	39
Figura 28 – Painel elétrico de comandos.	40
Figura 29 – Leitor digital do medidor de vazão eletromagnético.	41
Figura 30 – Canais de acesso do reservatório térmico.	42
Figura 31 – Medidor de vazão eletromagnético.	43

Figura 32 – Instalação dos termopares.	44
Figura 33 – Controlador e termopar <i>Tholz™ TLZ</i>	44
Figura 34 – Termopar tipo K.	45
Figura 35 – Isotubos posicionados na tubulação.	46
Figura 36 – Resultado da instalação dos isolantes lã de rocha na região interna.	46
Figura 37 – Região externa do Bloco J1 (Pátio Solar).	47
Figura 38 – Coletor solar posicionado e conectado à rede.	47
Figura 39 – Adaptação dos termopares e transdutores.	48
Figura 40 – Entrada e saída do coletor solar.	49
Figura 41 – Isolamento na tubulação de cobre externa ao bloco.	50
Figura 42 – Instalação dos isotubos.	50
Figura 43 – Resultado final da instalação do isolamento externo.	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	8
1.2	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	9
1.3	OBJETIVOS	9
1.3.1	Objetivos Geral.....	9
1.3.2	Objetivos Específicos	9
1.4	DESCRIÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	10
2	REVISÃO DA LITERATURA	11
2.1	ENERGIA	11
2.1.1	Principais Fontes Renováveis de Energia	11
2.2	ENERGIA SOLAR	13
2.2.1	Irradiação e radiação.....	13
2.3	COLETORES SOLARES	15
2.3.1	Coletor solar plano	16
2.3.2	Coletor de baixa pressão.....	17
2.3.3	Coletor de alta pressão	19
2.4	RESERVATÓRIO DE ÁGUA AQUECIDA	22
2.5	CIRCULAÇÃO NATURAL	23
2.6	CIRCULAÇÃO FORÇADA	26
2.7	ISOLAMENTO.....	27
3	METODOLOGIA	29
3.1	PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE CIRCULAÇÃO	29
3.1.1	Componentes do Sistema de Circulação	31
3.1.2	Tubulações.....	33
3.1.3	Procedimento de soldagem.....	33
4.	DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO	35
4.1	REGIÃO INTERNA DO APARATO	35
4.1.1	Caixa d'Água	36
4.1.2	Vaso de Expansão	37
4.1.3	Pressostato	38
4.1.4	Bomba Hidráulica	39
4.1.5	Painel Elétrico	39
4.1.6	Leitor Digital do Medidor de Vazão	40

4.1.8 Reservatório Térmico	41
4.1.9 Medidor de Vazão Eletromagnético	42
4.1.10 Medidores de Temperaturas	43
4.1.11 Circulador de Água.....	45
4.2 REGIÃO EXTERNA DO APARATO	46
4.2.1 Medidores de pressão	48
4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
5 CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS.....	53
ANEXO A – DIMENSIONAMENTO DO MEZANINO.....	57
ANEXO B – FICHA DE ESPECIFICAÇÕES TECNICAS DA CAIXA D'ÁGUA	59
ANEXO C – FICHA DE DADOS DO VASO DE EXPANSÃO HIODA	61
ANEXO D –FICHA DE DADOS PRESSOSTATO HIODA.....	63
ANEXO E – FICHA DE DADOS PRESSURIZADOR	67
ANEXO F –FICHA DE DADOS MEDIDOR DE VAZÃO ELETROMAGNÉTICO.....	69
ANEXO G – FICHA DE DADOS RESERVATÓRIO TÉRMICO	71
ANEXO H – CIRCULADOR DE ÁGUA	73
ANEXO I – INFORMAÇÕES ADICIONAIS DO CONTROLADOR	75

1 INTRODUÇÃO

É relevante observar que a sociedade contemporânea vivencia um período preocupante em relação à preservação do meio ambiente. Um dos principais protagonistas dessa preocupação é, sem dúvida, a dependência das matrizes energéticas que são abastecidas por fontes não renováveis, principalmente pelos combustíveis fósseis.

O desenvolvimento tecnológico e o crescimento populacional colaboraram com o aumento da demanda energética, acarretando na produção cada vez maior de energia para suprir as necessidades da população global e, com isso, agravando ainda mais a situação do meio ambiente. Nesse sentido, a busca por fontes alternativas e renováveis tornou-se foco das pesquisas, com o intuito de diminuir a dependência das fontes não renováveis.

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) obra do MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019 (MME) houve, no Brasil, entre os anos de 2017 e 2018, um aumento de 3,4% na geração de energia por fontes renováveis e, conseqüentemente, um decréscimo de 5,5% na geração de energia por fontes não renováveis (Figura 1).

Figura 1 – Oferta interna de energia 2017/2018.

Fonte (Mtep)	2017	2018	Δ 18 / 17
RENOVÁVEIS	126,2	130,5	3,4%
Energia hidráulica ¹	35,0	36,5	4,1%
Biomassa da cana	49,8	50,1	0,7%
Lenha e carvão vegetal	24,0	24,1	0,6%
Eólica	3,6	4,2	14,4%
Solar	0,072	0,298	316,1%
Lixívia e outras renováveis	13,8	15,4	11,8%
NÃO RENOVÁVEIS	167,0	157,9	-5,5%
Petróleo e derivados	106,3	99,3	-6,5%
Gás natural	37,9	35,9	-5,4%
Carvão mineral	16,8	16,6	-0,9%
Urânio (U ₃ O ₈)	4,2	4,2	-0,5%
Outras não renováveis	1,8	1,8	-0,1%

¹ Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica

Fonte: MME (2019).

A energia está em toda parte e o acesso dos indivíduos a ela se deve, principalmente, pelo desenvolvimento de tecnologias que proporcionam novas maneiras de extraí-la do ambiente em que vivemos (WALISIEWICZ, 2007). A partir da análise da Figura 1, tem-se o aumento significativo da utilização da fonte solar que cresceu 316,1% de 2017 para 2018. Nesse sentido, é notório que a energia solar passou a ser valorizada e ganhou espaço no campo de pesquisa.

Considerando o sol como uma fonte de energia inesgotável para o planeta Terra, há muito ainda a se desenvolver para explorar de forma adequada essa fonte alternativa para que seja possível suprir todas as demandas energéticas. Sendo uma fonte nova, com grande potencial e pouco utilizada no cenário energético, a energia solar vem motivando a procura por inovações tecnológicas para melhor aproveitar essa fonte abundante e barata (KABIR et al., 2018).

1.1 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Os coletores solares, uma das formas de se aproveitar o potencial energético proveniente da radiação solar, são equipamentos responsáveis pela absorção da energia proveniente do sol em forma de radiação e pela sua transformação em energia térmica. A principal função dos coletores solares é aquecer um fluido por meio da energia térmica obtida pelo sol, e seu desempenho está relacionado com a incidência dos raios solares que o atingem. Apesar de haver um aumento significativo na participação da energia solar na matriz energética brasileira (vide Figura 1), percebe-se que essa forma de energia representa aproximadamente 0,06% e 0,23% do total da energia renovável gerada nos anos de 2017 e 2018, respectivamente, indicando que a exploração da energia solar ainda apresenta lacunas que podem ser exploradas visando elevar sua influência na produção de energia. Portanto, desenvolver um instrumento para testes experimentais desses equipamentos nos quais permite-se a variação de parâmetros para realização de estudos significativos é válido quando se deseja avaliar e investigar tal tecnologia, visando elevar sua eficiência e aproveitar ao máximo a energia fornecida pelo sol.

1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Para o cenário atual, a utilização dos coletores solares é um meio alternativo para aquecimento de água no uso doméstico, além de colaborar na economia de energia elétrica. No Brasil, os níveis médios de radiação solar são superiores quando comparados aos países europeus e apresentam pequena variação sazonal, devido a grande maioria do território nacional estar na zona tropical. Além disso, no Brasil, os números de incentivos e projetos destinados ao uso de energia solar para o aproveitamento térmico e geração fotovoltaica é baixo quando comparado aos países como Alemanha e Espanha (MARTINS, 2009).

Dessa forma, novos estudos acerca dessas tecnologias são bem-vindos, de modo a elevar sua eficiência, e, para isso, são necessários meios para a realização de tais estudos. Um sistema de circulação consiste em um desses meios, permitindo que dados experimentais sejam coletados, utilizando-se de diferentes parâmetros, e sejam identificados possíveis pontos de aprimoramento em tais dispositivos.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos gerais e específicos do presente TCC são apresentados.

1.3.1 Objetivos Geral

Esse Trabalho de Conclusão de Curso visa a montagem de um sistema de circulação para testes experimentais em coletores solares.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desse TCC são:

- Realizar investigação teórica acerca dos tipos de coletores solares e também termossifões;
- Realizar a montagem e instalação dos equipamentos necessários para o sistema de circulação;

- Realizar a instalação e isolamento das tubulações que compõem o sistema de circulação;
- Realizar a montagem de adaptações para a instalação de termopares e transdutores de pressão nas tubulações;
- Desenvolver suportes que facilitem o deslocamento e posicionamento de coletores solares.

1.4 DESCRIÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

No primeiro capítulo desse Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentada uma introdução referente ao cenário energético nacional, seguido pela delimitação do problema, justificativas e objetivos. No Capítulo 2 é apresentada a revisão da literatura, onde são comentados os conteúdos necessários para o andamento do projeto, como conceitos de energia, fontes de energia, radiação e irradiação, princípios físicos, químicos e geográficos, além dos tipos e funcionamento dos coletores solares. Enquanto que no Capítulo 3 são demonstrados os métodos e procedimentos utilizados para montagem experimental do sistema de circulação de água, em que são expostas as partes do aparato experimental. No Capítulo 4 são apresentados e comentados tecnicamente todos os equipamentos e dispositivos utilizados na montagem completa do aparato experimental. As conclusões e sugestões para futuros trabalhos são apresentadas no Capítulo 5. Finalmente, estão apresentadas as referências utilizadas e, na sequência, os anexos, em que estão expostas informações técnicas para auxiliar o entendimento desse Trabalho de Conclusão de Curso.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentado um desenvolvimento teórico geral sobre energia no Brasil, incluindo assuntos como fontes de energia renováveis, principalmente a solar, radiação, irradiação e tipos de coletores solares.

2.1 ENERGIA

De maneira geral, a energia é um tema recorrente em noticiários e outros meios de comunicação que tratam sobre termoelétricas, hidroelétricas, energia nuclear, preço dos barris de petróleo, avanço de fontes renováveis, entre outros tópicos. Dentre as principais fontes energéticas, pode-se citar a nuclear, a solar, a proveniente do movimento das águas e do ar, da queima de combustíveis fósseis, do calor geotérmico e outros que, na maioria das vezes, são convertidos através de dispositivos específicos em energia elétrica (BUCUSSI, 2006).

2.1.1 Principais Fontes Renováveis de Energia

Dentre as fontes de energia renovável destacam-se a biomassa, hidráulica, energia eólica, energia geotérmica, energia oceânica e energia solar. A exploração dessas fontes depende inteiramente de quesitos econômicos e geográficos de cada país para que sejam viáveis sua exploração e utilização. (ANEEL, 2008).

Biomassa é caracterizada como uma fonte renovável com grande crescimento na geração de energia. A partir da fotossíntese realizada pelas plantas, ocorre a geração de energia química na forma de hidratos de carbono que são altamente utilizadas na cogeração de energia elétrica e térmica em fornos ou caldeiras por meio da combustão direta da matéria orgânica (PACHECO, 2006). Resumidamente, a biomassa é a matéria renovável oriunda de matéria orgânica, seja animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia elétrica, sendo de maneira indireta uma energia proveniente da energia solar (EDUARDO & MOREIRA, 2010).

Em relação à energia hidráulica, seu uso se deu antigamente com o uso das famosas rodas d'água que substituíram o trabalho animal pelo trabalho mecânico das águas. Com o desenvolvimento tecnológico, foram aperfeiçoadas as maneiras de

aproveitar o trabalho hídrico a partir da criação de turbinas e motores, com o intuito, principalmente, de transformar esse trabalho em energia elétrica. A grande vantagem da energia hídrica é o fato de não colaborar com o aquecimento global e também por ser uma forma renovável, uma vez que o vapor d'água, ao se condensar na condição de nuvens, faz com que essa água retorne para a superfície terrestre após a precipitação (PACHECO, 2006).

Já o movimento das massas de ar, conhecido como vento, também possui energia que pode ser extraída e utilizada pelo homem, o que acontece a mais de 3000 anos. Tais deslocamentos de ar são provocados pelo aquecimento desigual da Terra. A ideia de utilizar o vento para geração de energia elétrica teve início no Século XIX em que se utilizava a fonte eólica para moer grãos, navegar em barcos a vela e bombear água, sendo hoje, utilizado para rotacionar eixos acoplados aos geradores elétricos, a partir de hélices de alta tecnologia (ANEEL, 2008).

A energia geotérmica é obtida a partir do calor presente no interior da terra e existe desde a criação do planeta. Os principais usos dessa fonte são os gêiseres (fontes de vapor em forma de erupções frequentes) e locais onde há água ou rochas a altas temperaturas, sendo posteriormente utilizada na produção de vapor para geração de energia em termoelétricas. Atualmente, existem três formas de aproveitamento da energia que o interior da terra oferece, são elas: as de utilização direta, as centrais geotérmicas e as bombas de calor. No Brasil, áreas para o aproveitamento dessa fonte são muito pequenas e praticamente não são utilizadas. Não há produção de energia geotérmica no Brasil e o país utiliza apenas essa fonte para aproveitar as águas termais em centros turísticos nas cidades de Poços de Caldas/MG e Caldas Novas/GO (ANEEL, 2008).

A energia originada de mares e oceanos contém alto potencial energético, porém há a necessidade de alta tecnologia para o seu aproveitamento. As principais maneiras de extrair essa energia são a partir do movimento das águas promovido pelas marés, da diferença de temperatura das profundezas e da superfície oceânica, da salinidade e das ondulações. No Brasil, essa fonte é pouco explorada pelo fato de não haver tecnologia de ponta, no entanto, estudos realizados pela Pós-Graduação de Engenharia (COOPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) estimam um potencial de geração de 40GW existente no país. Com isso, no estado do Ceará está sendo instalada a primeira usina da América Latina movida pelas ondas do mar

com capacidade para gerar 50kW de potência e com estimativa de funcionamento para 2020 (MARTINS, 2009).

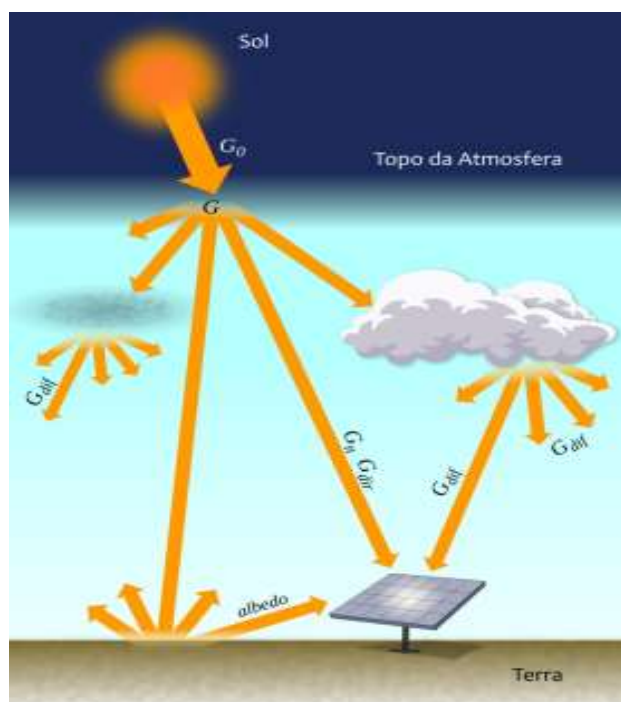
2.2 ENERGIA SOLAR

A fonte de energia solar é de suma importância para a vida em nosso planeta e, de acordo com a ANEEL (2005), “Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar”. A partir disso, fica evidente o potencial energético que o sol possui em nosso dia a dia.

Além de sua notoriedade, a energia solar pode ser aproveitada como fonte de energia térmica e elétrica, por meio do aquecimento de fluidos e da conversão a partir de painéis fotovoltaicos, respectivamente. Também pode-se utilizar a fonte solar para outras aplicações, como iluminação e aquecimento passivo, onde a radiação solar é aproveitada para suprir tais necessidades e obter uso mais eficiente a partir de técnicas envolvendo diversas áreas como Arquitetura, Engenharia Civil e Engenharia Mecânica (ANEEL, 2005).

2.2.1 Irradiação e radiação

A radiação solar é o transporte, em forma de ondas eletromagnéticas vindas do sol, de calor e de energia. Ao chegar à atmosfera, parte dessa radiação pode ser absorvida pelo ozônio, vapores d'água, oxigênio e outras partículas que compõem a atmosfera do planeta Terra. A partir disso, a radiação que chegar até a Terra pode ser dividida em três componentes: a direta, a difusa e a refletida, também conhecida como albedo. A parcela que atinge diretamente a Terra é chamada de radiação direta, a parcela oriunda do céu é chamada de difusa e a componente refletida ou albedo é a parte refletida de radiação ao atingir o solo, sendo pouco significativa (OLIVEIRA, 1997). A Figura 2 mostra as componentes da radiação solar. Ressalta-se que a radiação solar é a fonte mais importante de energia, tanto como calor como fonte de luz para o planeta (PEREIRA, 2014). Ao se falar em irradiação, essa trata-se do fluxo de energia que penetra uma determinada área da superfície medido em W/m^2 (GEORGI, 2015).

Figura 2 – Componentes da radiação solar.

Fonte: ANEEL (2017).

De acordo com ANEEL (2017), a energia irradiada pelo sol dita diversos fenômenos terrestres, como processos térmicos, dinâmicos e químicos, sejam eles naturais ou artificiais. Tais processos interagem de forma rotineira com a vida na Terra, como os fenômenos naturais de evaporação e precipitação (ciclo hidrológico), a produção de biomassa (fotossíntese) e a dinâmica da atmosfera (ventos e correntes oceânicas). Porém, sabe-se que esse efeito radiante muda de acordo com os meses, uma vez que a incidência de raios solares varia devido ao posicionamento da Terra em relação ao sol, o que faz com que a disponibilidade energética solar esteja relacionada a princípios astronômicos. Ao longo do ano, a Terra oscila sua distância do sol de $1,47 \cdot 10^8$ km a $1,52 \cdot 10^8$ km e, por consequência, a irradiância solar alterna entre 1.325 W/m^2 e 1.412 W/m^2 . A Figura 3 representa o posicionamento da Terra durante o ano e as respectivas estações.

Figura 3 – Posicionamento da Terra em relação ao sol durante o ano.



Fonte: ANEEL (2017).

2.3 COLETORES SOLARES

O interesse em desenvolver maneiras para o aquecimento da água fez com que o homem investisse em técnicas para o aproveitamento da energia solar com o intuito de realizar essa tarefa de forma sustentável e, com isso, disponibilizar água aquecida para diversas aplicações, como domésticas, industriais, entre outras.

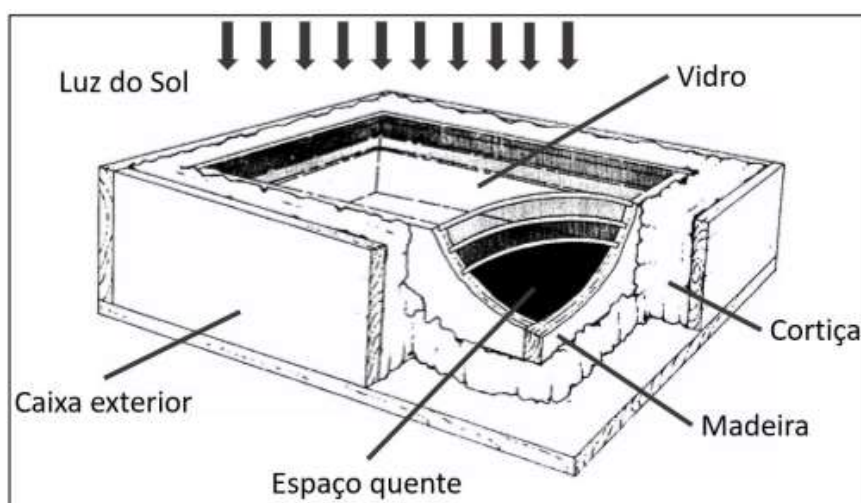
Os coletores solares têm os fundamentos básicos de um trocador de calor que transforma a energia provida do sol (radiante) em energia térmica (interna). A energia captada do sol é transferida, geralmente, para um fluido de trabalho em movimento pelo coletor solar. Para um bom funcionamento, os coletores solares necessitam estarem posicionados preferencialmente para o norte e com a inclinação da latitude, ou inclinação da latitude somada 10° , dependendo da região e da proximidade da linha do Equador. Dentre os tipos de coletores solares podem se destacar os não concentradores e os concentradores. Os não concentradores permanecem com a área absorvedora de radiação solar constante enquanto os concentradores contêm uma superfície côncava na qual focalizam os raios solares em uma área absorvedora aumentando o fluxo de radiação solar (irradiação solar) (SILVA, 2015).

Nas sessões subsequentes são detalhados os princípios de funcionamento de cada tipo de coletores solares não concentradores, maior interesse desse estudo pois são os mais comuns e presentes no laboratório para execução de testes experimentais.

2.3.1 Coletor solar plano

Os coletores solares planos são, na grande maioria, os mais utilizados em todo o mundo, principalmente devido ao seu baixo custo e por ser um dos primeiros modelos a ser construído. Seu pioneirismo se deu por volta de 1767 quando *Horace de Saussure* teve a ideia de aproveitar a energia solar criando uma caixa de madeira, baixa, revestida de cortiça, pintada de preto em seu interior e com tampa de vidro com três diferentes camadas separadas, como mostrado na Figura 4 (OLIVEIRA, 2014).

Figura 4 – Modelo experimental de *Horace de Saussure*.



Fonte: Adaptado de Solar Energy (2010).

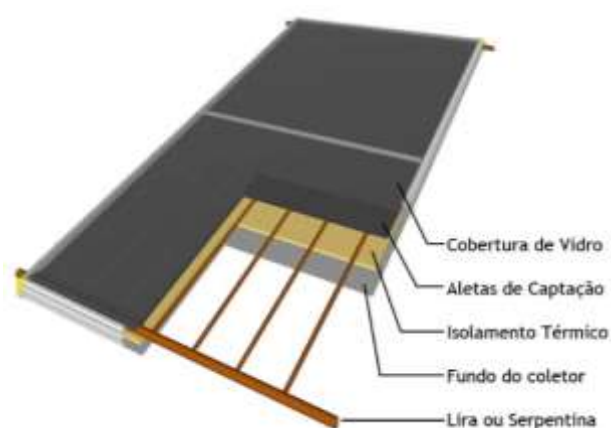
De acordo com Sprenger (2007), a invenção foi apelidada de “caixa quente” e, a partir daí, iniciou-se a idealização de usufruir da energia solar para o aquecimento de água.

O coletor solar plano, como dito anteriormente, foi um dos pioneiros no uso para aquecimento de água. O coletor solar é de simples fabricação e composto por um caixote para posicionar e proteger os componentes em seu interior, sendo esses a flauta ou serpentina de cobre por onde a água circula, uma camada absorvedora, uma cobertura transparente (normalmente vidro), isolamento e vedações. Ao passar pela camada transparente e atingir as superfícies absorvedoras, parte da radiação solar é refletida e a parcela absorvida será transferida para o fluido. A cobertura transparente e a tubulação de cobre são muito importantes quando se almeja uma ótima eficiência do equipamento, pois o vidro cria o efeito estufa e o cobre transfere

de maneira eficaz a energia para o fluido, em razão de suas propriedades físicas, principalmente, da sua condutividade térmica (OLIVEIRA, 2014).

De acordo com Rispoli (1999), quando a luz incide em uma região com fronteira onde o calor não consegue escapar, a perda por convecção é reduzida entre o ar contido entre placa e cobertura transparente, fazendo com que as perdas por radiação térmica sejam freadas devido ao calor irradiar em forma de ondas eletromagnéticas, as quais não ultrapassam a camada de vidro, criando o efeito estufa. A Figura 5 demonstra as partes de um coletor solar plano fechado.

Figura 5 – Estrutura de um coletor solar fechado plano.

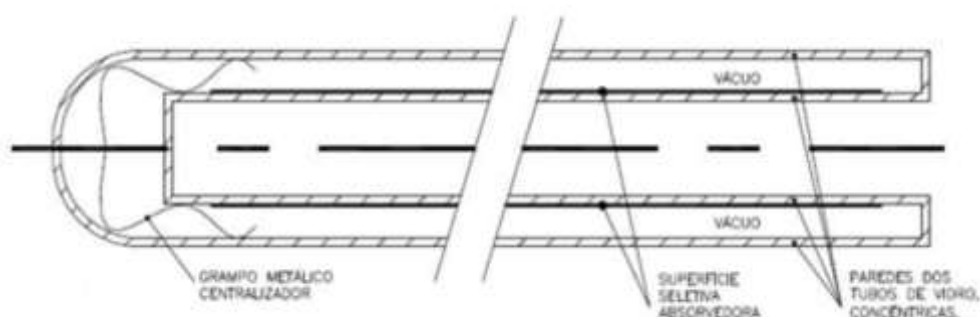


Fonte: Adaptado de ABRAVA (2008).

2.3.2 Coletor de baixa pressão

Os coletores solares de tubo à vácuo de baixa pressão consistem em estruturas compostas por tubos com parede dupla e concêntrica de vidro, onde a parede interna de vidro é pintada com uma tinta seletiva para melhor absorver a energia proveniente do sol. A região entre a parede interna e externa é evacuada, tendo a função de se comportar como isolante térmico e dificultar a troca de calor com outros meios a não ser a água (ROSA, 2012). A Figura 6 exemplifica a composição de um tubo coletor à vácuo de baixa pressão.

Figura 6 – Estrutura de um tubo coletor à vácuo de baixa pressão.

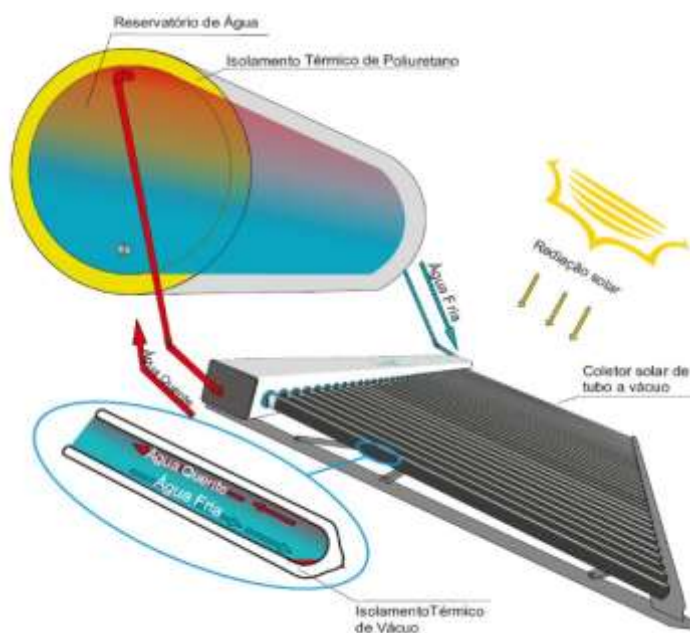


Fonte: Rosa (2012).

Também conhecido por aquecimento passivo, a circulação da água é realizada sem a necessidade de bombeamento. Após aquecido, o fluido tende a subir devido à diferença de massa específica entre o fluido quente e frio, consequência do gradiente de temperatura (MANEA, 2012).

No Brasil, esse sistema de coletor solar possui bom desempenho devido ao clima e, por ser um equipamento mais simples para instalação, é utilizado principalmente para uso doméstico. A desvantagem desse sistema é que o reservatório térmico para armazenamento, também conhecido como *boiler*, deve ficar acima do nível do coletor, enquanto seu ponto positivo é a independência de energia elétrica para seu funcionamento. Para sistemas ativos, quando não há a possibilidade de utilização do princípio de termossifões, a circulação do fluido entre o coletor solar e o reservatório térmico será forçada através de bombas hidráulicas para vencer a perda de carga. Tal perda é ocasionada pelos números de tubos ou instalações com reservatório abaixo do nível dos coletores solares, por exemplo o aquecimento de água para piscina. A Figura 7 ilustra a circulação do fluido entre o sistema de coletor solar de baixa pressão e o reservatório térmico (MANEA, 2012).

Figura 7 – Sistema modular de tubos coletores à vácuo de baixa pressão.

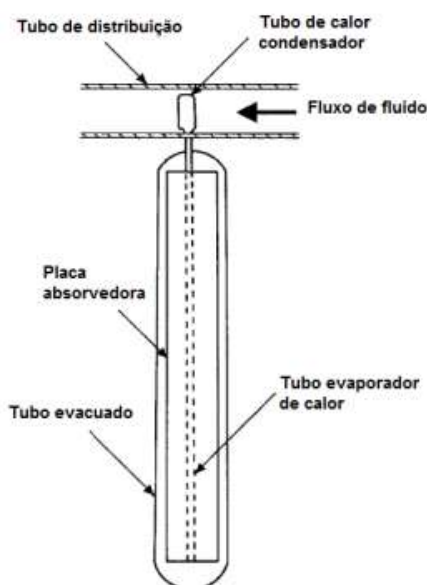


Fonte: BRASSOLAR (2017).

2.3.3 Coletor de alta pressão

Os coletores solares de tubos à vácuo de alta pressão operam com algumas diferenças quanto aos outros modelos encontrados no mercado. Sua estrutura consiste em um invólucro tubular evacuado onde dentro é instalado um tubo de calor assistido pela gravidade chamado de termossifão. Como no coletor solar de baixa pressão, tais coletores solares possuem uma pintura ou placa absorptiva para aproveitar ao máximo a exposição ao sol e seu invólucro evacuado tem a função de inibir a perda de calor para o ambiente externo pela convecção e condução. Esse modelo de coletor solar permite alcançar temperaturas mais altas de fluido do que os demais por apresentar melhor eficiência. Esse resultado é consequência do princípio de funcionamento de termossifões que operam alternando as fases do fluido de trabalho, motivo pelo qual intensifica a transferência de calor do equipamento através da utilização do calor latente de vaporização. A Figura 8 representa a estrutura de um tubo coletor à vácuo de alta pressão (ROSA, 2012).

Figura 8 – Estrutura de um tubo coletor à vácuo de alta pressão.

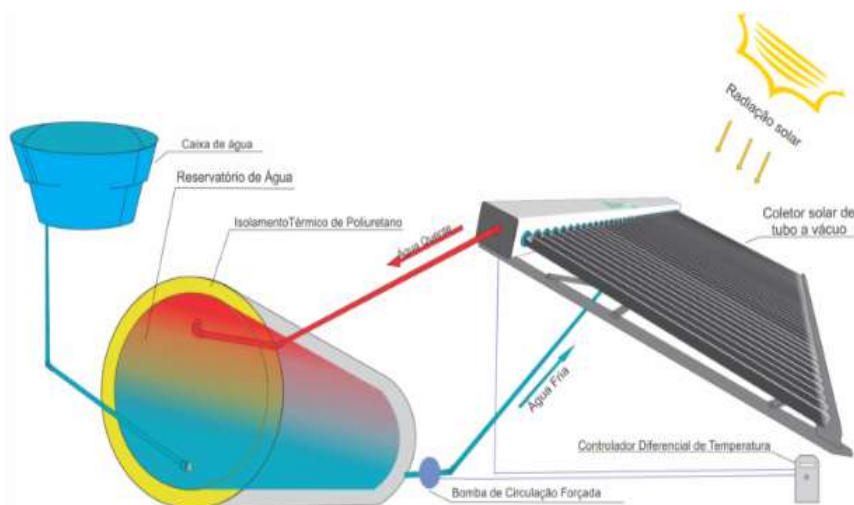


Fonte: Adaptado de Kalogirou (2004).

Com esse tipo de coletor solar, devido ao tubo de vidro não estar sujeito a danificar com a passagem d'água, é possível utilizar um sistema de circulação forçada de água por meio de uma bomba pressurizadora de forma que não comprometa a estrutura do equipamento. Diferente do coletor solar de baixa pressão, nos coletores solares à vácuo de alta pressão não há preenchimento de água na seção tubular, pois apenas será banhada por água a região do condensador do termossifão (região conhecida como *manifold*) na qual há troca de calor e, com isso, permite-se que o sistema de aquecimento seja pressurizado. A Figura 9 exemplifica o sistema de aquecimento com circulação forçada através de uma bomba em um coletor solar à vácuo de alta pressão.

A grande vantagem desse sistema é a alta eficiência comparado aos coletores solares planos e aos coletores solares à vácuo de baixa pressão, porém não é o mais utilizado por possuir um preço mais elevado.

Figura 9 – Sistema modular de tubos coletores à vácuo de alta pressão.



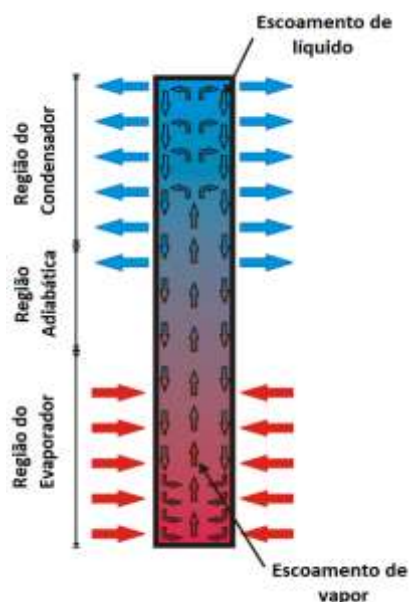
Fonte: BRASSOLAR (2017).

2.3.1 Termossifões

Um termossifão consiste basicamente em um tubo metálico oco, evacuado, onde certa quantidade de fluido de trabalho é inserida. A característica principal de um termossifão é a utilização de calor latente de vaporização para transmitir calor a altas taxas em distâncias consideráveis com pequena diminuição de temperatura. Suas vantagens são flexibilidade, construção simples e fácil controle sem potência de bombeamento externo (AKBASRZADEH & WADOWSKI, 1996; REAY et al., 2014).

Um termossifão possui três regiões com funções distintas em sua operação. Essas regiões são chamadas de evaporador, seção adiabática e condensador. O evaporador, a região inferior do termossifão, é aquecido por uma fonte quente e o fluido de trabalho é submetido a um processo de evaporação. O vapor gerado, devido à diferença de pressão, move-se para a região mais fria que se encontra na região superior do termossifão (condensador). No condensador, o vapor gerado no evaporador perde energia como calor e é condensado, ocasionando o retorno do fluido de trabalho no estado líquido que flui para o evaporador por gravidade, fechando o ciclo termodinâmico. A seção adiabática está localizada entre o evaporador e o condensador. Nessa seção, não há transferência de calor entre o termossifão e o ambiente. Em alguns casos, a seção adiabática está ausente (MANTELLI, 2013). Um diagrama esquemático do princípio de funcionamento do termossifão é mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Esquema de funcionamento de um termosifão.



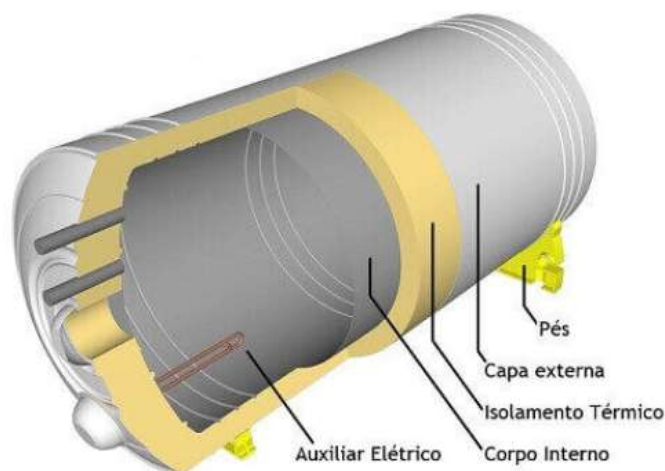
Fonte: Adaptado de Aguiar et al. (2018)

2.4 RESERVATÓRIO DE ÁGUA AQUECIDA

Após aquecida pelos coletores solares, a água é direcionada para um reservatório térmico, onde será armazenada. Em sistemas domésticos, esse equipamento é indispensável pois será o responsável por garantir água aquecida durante todo o dia para o consumo (MANEA, 2012).

De acordo com Quinteros (2001), os reservatórios térmicos têm a função de armazenar água quente para consumo e são fabricados com alumínio na parte exterior e cobre ou aço inoxidável na parte interior. Além de alumínio, cobre ou aço *inox*, os reservatórios térmicos também possuem um revestimento de poliuretano expandido para dificultar a troca de calor com o meio externo. Reservatórios do tipo *boiler* são reservatórios equipados com resistência elétrica que aquecem a água quando a demanda for maior que a planejada ou em dias de pouca incidência de raios solares. A Figura 11 demonstra a composição estrutural de um reservatório térmico do tipo *boiler*.

Figura 11 – Composição estrutural de um *boiler*.



Fonte: EFSOLAR (2020).

Após o encaminhamento da água aquecida para o reservatório térmico, que no caso desse estudo é do tipo *boiler*, a água quente se mistura com a água fria, na qual sempre a parte quente ficará posicionada na parte superior do reservatório térmico, devido ao gradiente de massa específica entre água quente e fria, também conhecida como convecção natural.

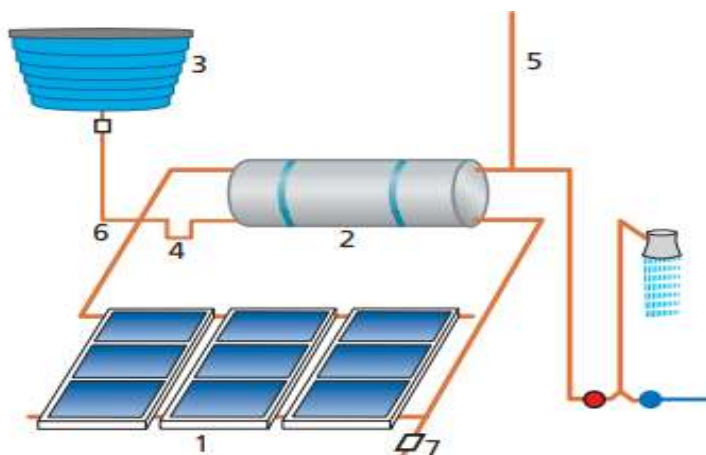
2.5 CIRCULAÇÃO NATURAL

Como o próprio nome diz, esse sistema de circulação funciona naturalmente regulado, a partir da incidência da radiação solar. Quanto maior os níveis de raios solares, mais rápido será o deslocamento da água do circuito. Isso se deve pelo fato da água aquecida se tornar menos densa, tendendo a ser empurrada pela água mais fria (mais densa) e, assim, faz com que a água circule por todo o sistema enquanto houver sol (COPPER & PROCOBRE, 2009).

De acordo com a Norma ABNT NBR 15569 (ABNT, 2020), é definido como circulação natural um “[...] sistema que utiliza somente a mudança de massa específica do fluido de trabalho para obter a circulação entre o coletor solar e o dispositivo de armazenamento”.

A Figura 12 mostra os componentes de um sistema de circulação natural.

Figura 12 – Sistema de aquecimento de circulação natural.

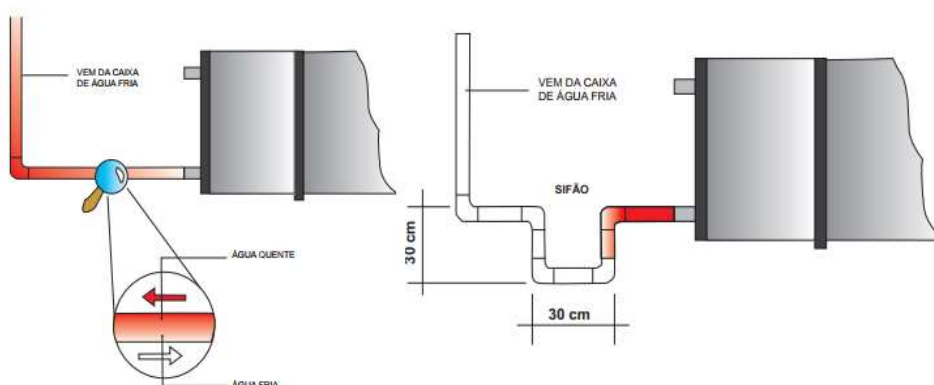


Fonte: COPPER & PROCOBRE (2009).

As numerações presentes na Figura 12 representam respectivamente: (1) coletores solares, (2) reservatório de água aquecida, (3) caixa d'água (água fria), (4) sifão – responsável por evitar o retorno da água quente do reservatório de água quente (*boiler*) para o reservatório de água fria (caixa d'água), (5) respiro, (6) tubulação de água fria com região de água quente próxima ao reservatório térmico e (7) dreno.

O sifão é muito importante quando instalado corretamente. O fundo do reservatório de água fria e de água quente devem estar interligados por um tubo e necessitam conter um sifão para evitar o retorno de água quente, denominado “sifão tubular”. Sua instalação deve seguir os parâmetros mostrados na Figura 13 para que não ocorra esse fenômeno que é ocasionado pela diferença de temperatura entre a água do *boiler* e da caixa d'água (COPPER; PROCOBRE, 2009).

Figura 13 – Sifão recomendado para circulação natural.

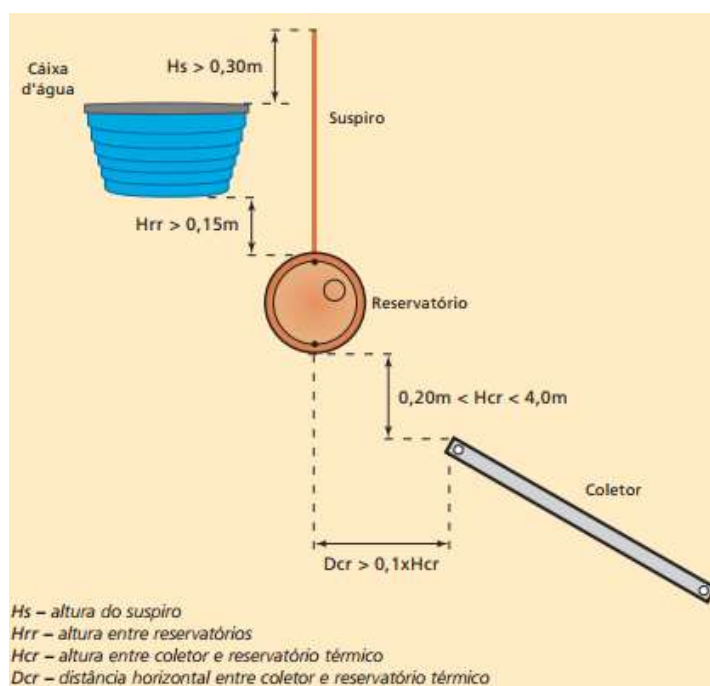


Fonte: COPPER & PROCOBRE (2009).

A utilização da circulação natural é a mais comum no setor doméstico devido às instalações serem de pequeno porte, com capacidade inferior a mil litros de armazenamento. As vantagens desse modelo são os fatos de não depender do auxílio de energia elétrica para que a água circule e do seu funcionamento depender exclusivamente da ação do sol nos coletores solares, que de acordo com o consumo diário, enquanto não ocorrer equilíbrio térmico, a água continuará aquecendo e podendo alcançar temperaturas na casa dos 80°C (COPPER & PROCOBRE, 2009).

Dessa forma, sempre que possível, o sistema por sifão é o mais indicado pelos aspectos funcionais e de manutenção, porém devem ser cumpridos alguns requisitos primordiais para um bom funcionamento do sistema, como mostrando na Figura 14.

Figura 14 – Recomendações para escolha da circulação na instalação de aquecimento.



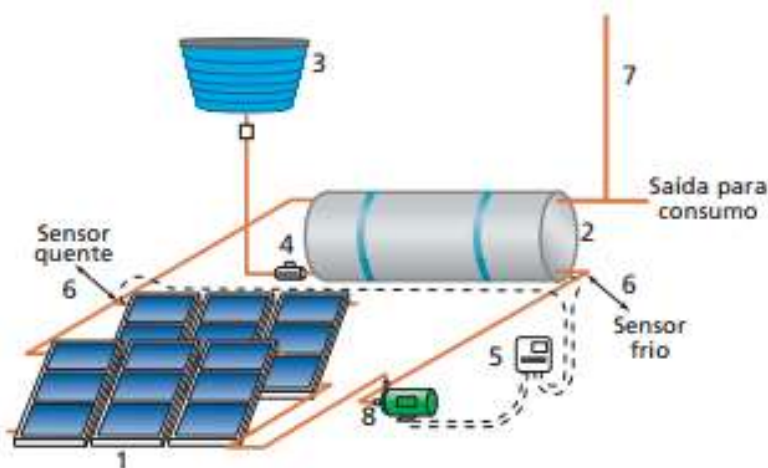
Fonte: COPPER & PROCOBRE (2009).

As recomendações ilustradas na Figura 14 garantem alto desempenho para o uso da circulação natural. O desnível H_{cr} é muito importante pois garante que a água não circule de maneira contrária durante o período noturno. O desnível H_{rr} tem como função definir a pressão dos sistemas devido à altura de coluna d'água e manter o *boiler* sempre abastecido. Finalmente, um bom projeto, quanto a quantidade de curvas, válvulas e tubulação, é importante, pois a perda de carga faz com que diminua a eficiência de operação do sistema (COPPER & PROCOBRE, 2009).

2.6 CIRCULAÇÃO FORÇADA

De acordo com o COPPER & PROCOBRE (2009), a circulação forçada faz com que a água percorra o sistema por meio de uma bomba hidráulica que é regulada por um controlador diferencial de temperatura (CDT). A circulação forçada (Figura 15) é indicada para instalações de grande porte, com volume de armazenamento superior a mil litros de água por dia, quando a área instalada for superior a 12 m² ou quando não existirem maneiras de vencer os desníveis mínimos entre coletor solar e reservatório térmico. Nesse tipo de circulação é incrementado alguns acessórios ao sistema, sendo eles a bomba, o controlador diferencial de temperatura e a válvula de retenção que substitui o sifão. As vantagens desse sistema são: controlar a temperatura da água que circula através do controlador CDT, que é acionado de acordo com as marcações dos sensores de temperatura, e conseguir vencer os desníveis entre reservatório e coletores.

Figura 15 – Sistema de aquecimento de circulação forçada.



Fonte: COPPER & PROCOBRE (2009).

Semelhante à circulação natural, a Figura 15 enumera os componentes do sistema por circulação forçada, representando respectivamente: (1) coletores solares, (2) reservatório de água aquecida, (3) caixa d'água (água fria), (4) válvula de retenção, (5) controlador diferencial de temperatura, (6) sensores de temperatura, (7) respiro ou válvula de alívio e, finalmente, (8) bomba hidráulica ou motobomba.

A bomba hidráulica utilizada geralmente é de baixo consumo de energia. A partir das medições dos termopares na saída do coletor (água aquecida) e na saída do *boiler* (água morna), ao identificar um diferencial de temperatura, é enviado um sinal para o acionamento da bomba, para circular o fluido no sistema em que apenas cesse o funcionamento quando o gradiente de temperatura atingir o valor estipulado no controlador.

A respeito da motobomba, de acordo com a Norma ABNT NBR 15569 tem-se que:

“A motobomba deve ser capaz de suportar os fluidos na máxima temperatura encontrada no sistema de aquecimento solar (SAS) e ser instalada para trabalhar afogado e de maneira a prover o acesso a serviços ou substituição. Uniões de serviços e registro tipo gaveta ou esfera devem ser posicionados nas tubulações adjacentes à motobomba, para permitir a remoção da unidade, sem correr em desperdício de água. Algumas recomendações são impostar pela norma a fim de evitar futuros problemas na instalação da bomba e do sistema em si. Por esse fim deve ser instalada uma válvula de retenção após a saída da bomba e a mesma deve estar bem instalada em uma base que suporte sua massa e vibração quando em funcionamento para que não abale a estrutura do sistema.” (ABNT, 2008, p.23).

2.7 ISOLAMENTO

O isolamento das tubulações tem sua importância nos resultados finais, pois impõem resistências térmicas na perda de energia para a vizinhança. De acordo com a Associação Brasileira dos Fabricantes de Lãs Isolantes Minerais (ABRALISO, 2013), o comportamento estrutural das fibras minerais nas lãs faz com que a movimentação do ar em seu interior seja dificultada, apresentando assim excelentes propriedades térmicas e acústicas se comparados a outros isolantes. Além disso, é considerado um material incombustível, ou seja, não pega fogo. A aceitação desse material alcança diversos mercados consumidores como automotivos, indústria e construção civil, devido às suas características.

Na aplicação da lã de rocha necessitam-se de alguns cuidados para garantir a segurança do instalador. Caso haja produção de poeira em excesso é recomendado um sistema de exaustão e devem ser utilizados EPI's como máscaras, luvas, jalecos, calças e óculos de proteção (ROCKFIBRAS, 2015).

O formato pode variar de acordo com sua aplicação e, no caso desse Trabalho de Conclusão de Curso, foi optado pelo modelo cilíndrico bipartido, como apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Isotubo bipartido de lâ de rocha.



Fonte: Aatoria própria.

3 METODOLOGIA

A montagem experimental desse Trabalho de Conclusão de Curso foi executada no Laboratório de Energia Solar (LabSOLAR), vinculado ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)/Câmpus Ponta Grossa.

Os objetos de estudos que serão acoplados ao sistema de circulação fechado são os coletores solares planos e os coletores solares de tubos à vácuo de alta e baixa pressão. A Figura 17 representa um modelo de um coletor solar de tubos à vácuo contendo dez tubos. É válido lembrar que coletores solares de tubos à vácuo de baixa e de alta pressão diferem quanto a seus funcionamentos e princípios físicos, porém suas estruturas são semelhantes quanto a estrutura, podendo chamá-los de coletores de tubos evacuados.

Figura 17 - Design de coletor de tubos evacuados.



Fonte: Autoria própria.

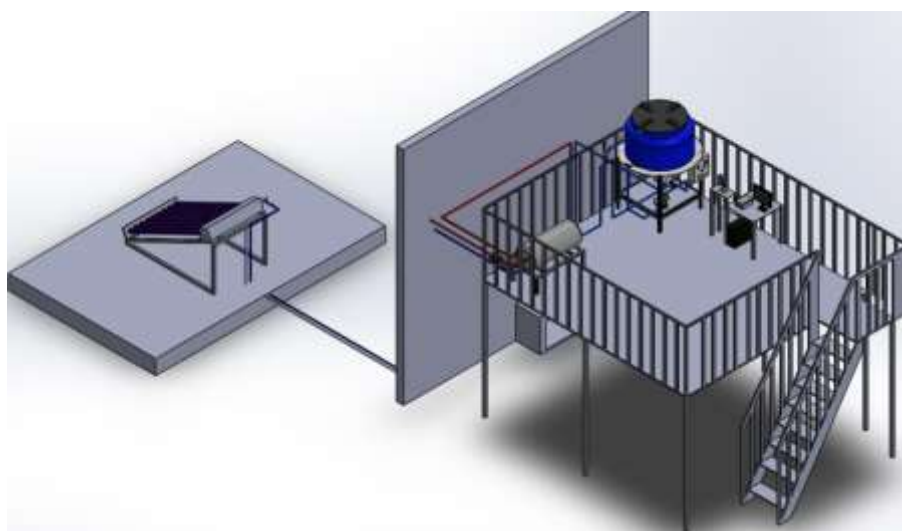
3.1 PLANEJAMENTO DO SISTEMA DE CIRCULAÇÃO

Para a execução de testes experimentais envolvendo coletores solares foi necessário o desenvolvimento de um circuito de circulação fechado de água, que faz com que a água circule, aqueça e, por fim, fique armazenada em um reservatório térmico (*boiler*).

O sistema de circulação fechado foi instalado nas dependências do Bloco J1, integrando o (LabSOLAR) com o pátio solar. No interior do bloco estão instalados

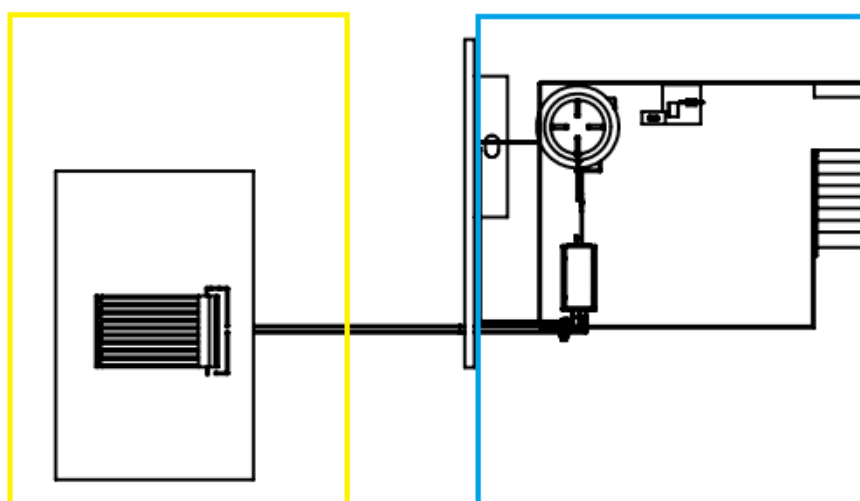
todos os equipamentos de controle e aquisição de dados e os equipamentos responsáveis pela circulação, ao passo que, na região externa ao bloco estão presentes os dutos de entrada e retorno de água, assim como os coletores solares. As Figuras 18 e 19 apresentam diagramas esquemáticos da configuração do sistema de circulação para aquecimento solar. Na Figura 19, o interior do bloco está contornado em azul, enquanto a instalação externa está contornada em amarelo.

Figura 18 – Esquema do sistema de circulação.



Fonte: Autoria própria.

Figura 19 – Vista superior das regiões interna e externas do Bloco J1.

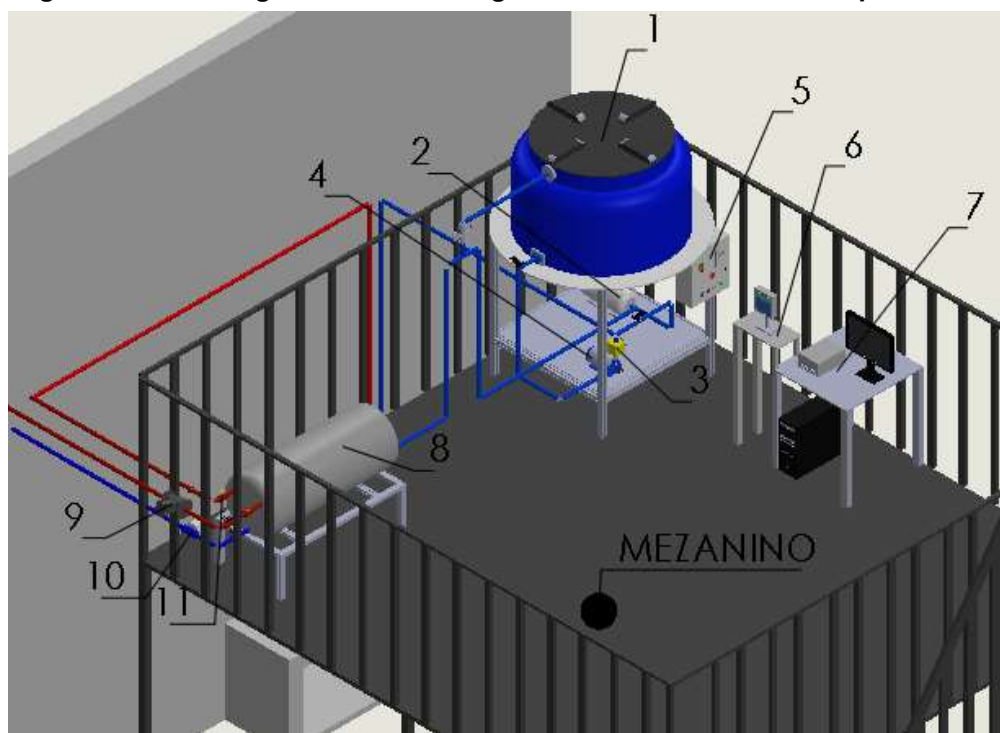


Fonte: Autoria própria.

3.1.1 Componentes do Sistema de Circulação

No interior do Bloco J1 do (DAMEC), mais especificamente em um mezanino metálico do Laboratório de Energia Solar foram posicionados a maioria dos componentes eletroeletrônicos. Toda a estrutura de armazenamento de água também se encontra nesse ambiente, como a caixa d'água e o reservatório térmico (*boiler*) – Figura 20. Esse mezanino metálico foi projetado e construído durante o desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso de Fontana (2019). No anexo A apresentam-se as dimensões dessa estrutura metálica interna que é essencial para o funcionamento do aparato experimental.

Figura 20 – Modelagem via CAD da região interna do sistema de aquecimento.

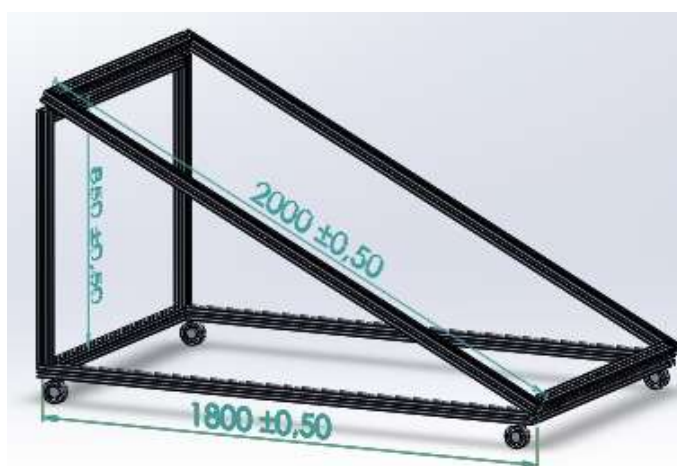


Fonte: Autoria própria.

Sobre o mezanino metálico existente no LabSOLAR/DAMEC/UTFPR/Ponta Grossa estão posicionados: (1) caixa d'água, (2) vaso de expansão, (3) pressostato, (4) bomba d'água, (5) painel elétrico, (6) leitor digital do medidor de vazão, (7) sistema de aquisição de dados, (8) reservatório térmico (*boiler*), (9) medidor de vazão eletromagnético, (10) circulator de água e (11) sensores de temperatura do tipo K. No próximo capítulo, cada item será descrito detalhadamente.

Também é importante ressaltar a inclinação entre o coletor solar e o solo, uma vez que a angulação entre ambos deve ser correspondente a latitude referente à região de estudo, como mencionado anteriormente. Isso se deve pelo fato de que, ao inclinar o coletor solar com ângulo correspondente a latitude, os raios solares irão incidir perpendicularmente aos tubos coletores à vácuo e, com isso, tendem a absorver o máximo de irradiação solar. A partir dessa condição, a construção do suporte foi projetada para fornecer uma inclinação de 25° referente à latitude da cidade de Ponta Grossa/PR/Brasil: 25°05'42" Sul, com as dimensões de acordo com cada tipo de coletor solar disponível para testes no LabSOLAR/DAMEC. A Figura 21 exemplifica o modelo padrão escolhido para confecção, a partir de perfis de alumínio estruturais de 40mm por 40mm.

Figura 21 – Suporte para os coletores solares.



Fonte: Autoria própria.

Para a conexão do coletor solar ao sistema de circulação fechado de água, foi necessária a utilização de mangueiras da marca HPB Fuel & Oil WP de 20 bar (300 psi) com diâmetro de 22mm (7/8") onde nas mesmas, foram adaptados termopares e transdutores para medição da temperatura e da pressão, respectivamente, tanto na entrada quanto na saída dos coletores solares e em pontos estratégicos para obtenção de dados.

Na aquisição de dados para análise do comportamento térmico do coletor solar, são utilizados termopares Omega Engineering™ tipo K para mensurar as temperaturas na entrada e na saída do coletor solar.

Finalmente, foi utilizado um reservatório térmico em aço inoxidável 304 do tipo *boiler* com capacidade de 100 L, resistente às altas pressões internas e resistência elétrica com potência de 3000W do fabricante Ribersol, responsável por armazenar a água aquecida.

3.1.2 Tubulações

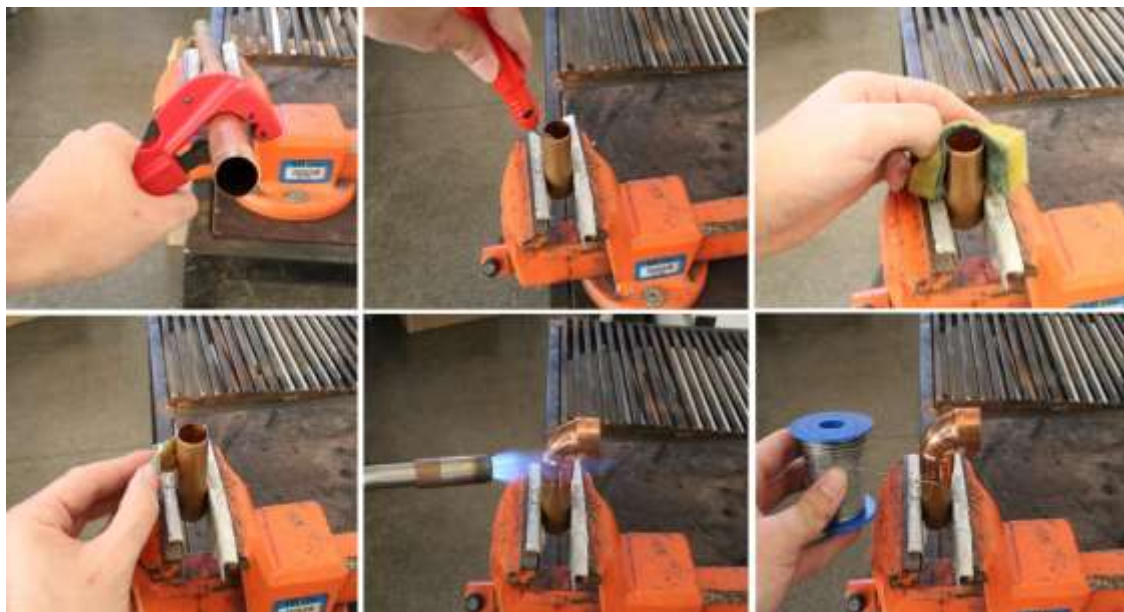
Para interligar os componentes dos sistemas foram utilizadas tubulações de cobre, CPVC e PVC soldável. A maioria da tubulação usada foi de cobre com diâmetro externo do 22mm (7/8") para conectar a região interna (mezanino metálico) com a externa (pátio solar). A tubulação CPVC de 25mm ficou destinada ao consumo e a tubulação de PVC de 25mm ficou responsável em conectar a região com menor temperatura de trabalho que é a região onde está a caixa d'água, a bomba hidráulica, o vaso de expansão e o pressostato, mais precisamente a região que fica anterior ao reservatório térmico (*boiler*). Para unir os mesmos com válvulas, curvas, T's e outras conexões, exceto para o tubo de cobre, foram utilizadas cola adesivo CPVC que resiste até 80°C para os tubos CPVC e cola adesivo para PVC. Além das colas, também foi necessária a utilização de fita veda rosca e silicone para a interrupção de vazamentos na linha do sistema de circulação fechado. Para a união dos tubos de cobre foi utilizado um procedimento diferente dos demais que será mencionado na próxima subseção.

3.1.3 Procedimento de soldagem

A soldagem de tubos e conexões de cobre foi realizado por um processo conhecido como brasagem ou solda fraca, onde o metal de adição tem temperatura de fusão inferior ao metal base e menor que 450°C (INFOSOLDA, 2020).

O procedimento consiste em aplicar uma pasta de solda nas superfícies a serem unidas e adicionar o metal para preencher todo o vão e, com isso, unir as duas partes. A Figura 22 mostra o passo a passo, incluindo, da esquerda para direita, o processo de corte, retirada de rebarbas, limpeza, aplicação de pasta de solda, aquecimento com maçarico portátil e aplicação do material de adição.

Figura 22 - Procedimento de soldagem da tubulação de cobre.



Fonte: Autoria própria.

Para a execução desse procedimento foi necessário o uso de cortador de tubo na qual dispõe um corte preciso e limpo, um removedor de rebarbas, esponja ou lixa para limpeza de impurezas interna e externa, um maçarico portátil, pasta de soldagem e metal de adição (estanho). Além dessas ferramentas, é importante salientar que a infraestrutura do (LabSOLAR/DAMEC) conta com bancadas, serras, morsas entre outros, que colaboraram para a concretização do processo.

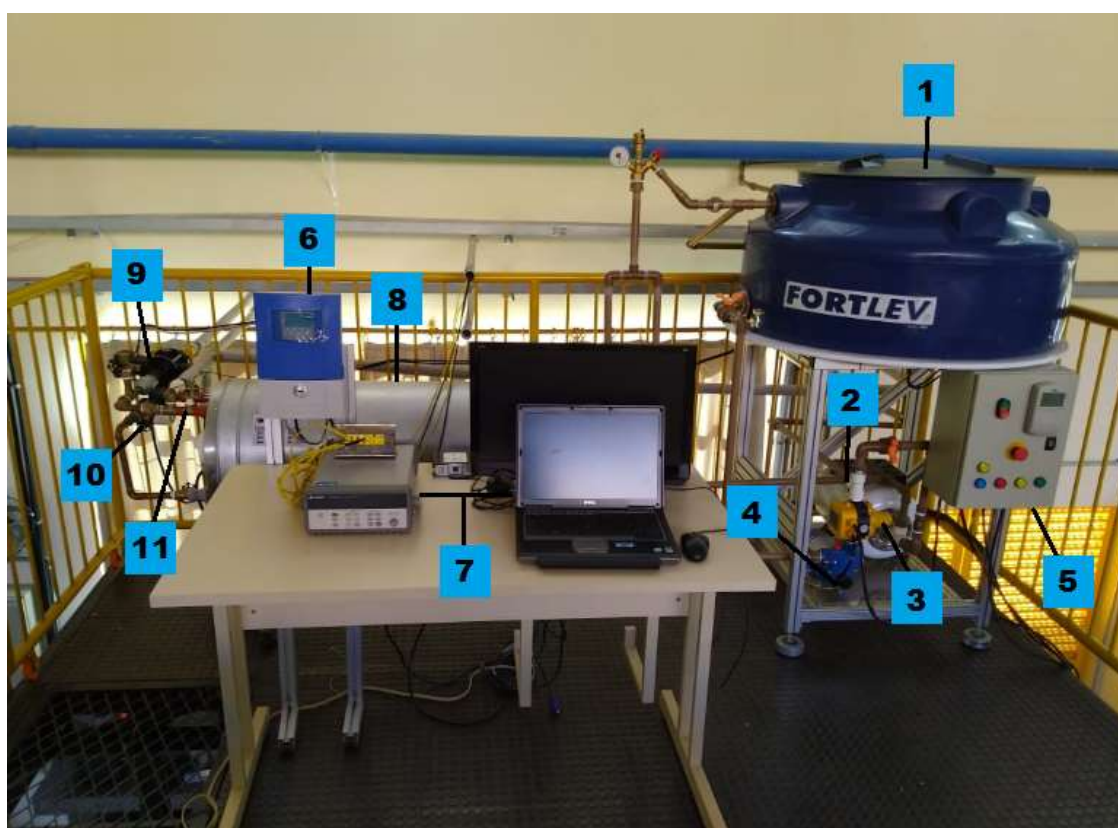
4. DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

Nesse capítulo, é dada ênfase à montagem e conclusão do aparato experimental. A ideia da construção desse aparato surgiu com a intenção de proporcionar diversas possibilidades de estudos experimentais para coletores solares. Sua adaptação e atualização em relação aos seus acessórios é de suma importância para a aquisição de dados com qualidade. Para melhor descrever as partes do aparato experimental por completo, esse capítulo é dividido em subitens, para melhor entendimento tanto da parte interna (mezanino metálico) como da parte externa (pátio solar) do aparato experimental.

4.1 REGIÃO INTERNA DO APARATO

A Figura 23 mostra uma fotografia da montagem e do posicionamento dos equipamentos e acessórios do aparato experimental no mezanino do LabSOLAR.

Figura 23 – Montagem da região interna do sistema de aquecimento solar (SAS).



Fonte: Autoria própria.

Nas seções seguintes são descritos, respectivamente, a caixa d'água (1), o vaso de expansão (2), pressostato (3), bomba d'água (4), painel elétrico (5), leitor digital do medidor de vazão (6), sistema de aquisição de dados (7), reservatório térmico (*boiler*) (8), medidor de vazão eletromagnético (9), circulador de água (10), os sensores de temperatura (11) e os isolamentos (12) enumerados na Figura 20 e na Figura 23, para melhor detalhar cada componente do sistema de circulação fechado e comentar suas funções.

4.1.1 Caixa d'Água

Representado pelo item 1, o reservatório de água fria é uma caixa d'água alimentada pela rede hidráulica do Bloco J1 do DAMEC/UTFPR/Ponta Grossa. A capacidade de armazenamento da caixa Fortlev é de 310L, com tampa rosqueável, contendo uma saída de emergência (ladrão) mesmo tendo uma boia para parar o abastecimento da rede. A saída de água para bomba hidráulica está localizada na parte inferior do reservatório e contém um registro. Para sua sustentação, foi desenvolvido um suporte com perfil de alumínio e um tampo circular de acrílico para sustentação da base da caixa d'água (Figura 24). As especificações técnicas da caixa d'água, disponibilizadas pelo catálogo da marca Fortlev, estão presentes no Anexo B.

Figura 24 – Caixa d'água.



Fonte: Autoria própria.

Nas figuras referentes a cada equipamento (Figuras 24, 25, 26, 27, 29, 30 e 33) adicionou-se um Código QR que, ao ser lido por um dispositivo com um leitor QR, direciona o leitor para a página do manual de especificações técnicas do equipamento.

4.1.2 Vaso de Expansão

Um vaso de expansão foi instalado para a segurança do sistema, devido à pressão gerada pelo conjunto bomba/pressostato ou até mesmo para compensar a dilatação térmica. O vaso de expansão é instalado logo após o pressurizador, para oferecer segurança e proteção ao sistema hidráulico, tendo como objetivo estabilizar as variações de pressões dentro do sistema. Representado pelo item 2, seu funcionamento consiste em uma membrana que se move de acordo com a variação da pressão interna. Conforme a pressão interna aumenta o vaso de expansão se enche de água e, ao cair a pressão o vaso de expansão esvazia, equilibrando a pressão do sistema. Para o dimensionamento do componente em um sistema de aquecimento solar deve ser considerado de 5% a 10% do volume do reservatório térmico. Assim, foi escolhido o vaso de expansão da marca Hioda com capacidade de 24L e pressão máxima de trabalho 10 bar conforme a Figura 25 e as características apresentadas no Anexo C.

Figura 25 – Vaso de expansão.



Fonte: Autoria própria.

4.1.3 Pressostato

Correspondente ao item 3, entre o pressurizador e o vaso de expansão foi instalado um componente responsável por disponibilizar leituras instantâneas de pressões geradas pela bomba hidráulica, conhecido como pressostato. É um equipamento de suma importância para o sistema, pois além de regular a pressão de acordo com a necessidade, também possui a ação de medir o fluxo de água que circula no sistema e assim atua como um pressostato e também como um fluxostato. A função de fluxostato dita o funcionamento da bomba hidráulica que só é acionada quando for necessário e, com isso, impede que a bomba trabalhe a seco, evitando problemas com a mesma. O modelo escolhido para o sistema é o LS-8 da marca Hioda. A Figura 26 mostra a instalação do componente e suas especificações técnicas estão apresentadas no Anexo D.

Figura 26 - Pressostato.



Fonte: Autoria própria.

4.1.4 Bomba Hidráulica

Partindo do reservatório de água fria, o primeiro acessório é a bomba d'água, que tem como função deslocar o volume de água pelo circuito. Representada pelo item 4, a bomba centrífuga escolhida é o modelo HP500 de 1/2CV de potência, com elevação de pressão de até 6 bar, da marca Hioda. Ela é acionada a partir de um controlador e é orientada pelo pressostato. A função desse componente é pressurizar todo o sistema até o reservatório térmico (*boiler*) e também o consumo direto de água fria a partir de uma torneira localizada embaixo do mezanino metálico. A Figura 27 representa o equipamento e suas características estão presentes no Anexo E.

Figura 27 – Bomba d'água.



Fonte: Autoria própria.

4.1.5 Painel Elétrico

Para segurança e perfeito funcionamento do sistema de aquecimento solar, foi reservado um espaço para a instalação de um painel elétrico de comandos, onde estão os controladores de temperatura, disjuntores, contadores e comandos de acionamento. Representado pelo item 5, estão expostos os botões sinalizadores LED de acionamento da bomba d'água, indicado pela cor azul, do pressostato, representado pela cor amarela, do circulador, representando pela cor verde, da resistência elétrica do *boiler*, indicada pela cor vermelha, e pela cor laranja, o futuro

aquecimento auxiliar a gás GLP. Junto ao quadro de comando, também foi acoplado o painel de comando elétrico com controlador Tholz modelo TLZ.

O controlador tem como objetivo maximizar o aproveitamento da energia solar e minimizar a utilização dos sistemas secundários de aquecimento, no caso do aparato experimental, será a resistência elétrica do reservatório térmico (*boiler*) e o futuro aquecimento a gás GLP. O controlador também fornece as medições dos sensores e pressuriza o sistema quando necessário. A Figura 28 demonstra o painel elétrico de comandos.

Figura 28 – Painel elétrico de comandos.



Fonte: Autoria própria.

4.1.6 Leitor Digital do Medidor de Vazão

Representado pelo item 6, foi instalado, próximo ao sistema de aquisição de dados, um painel digital que fornecerá leituras de vazão no retorno da água aquecida, para melhor analisar o comportamento durante os experimentos. O instrumento escolhido foi um medidor de vazão eletromagnético da marca Krohne, de acordo com a Figura 29. As especificações técnicas do medidor de vazão eletromagnético estão dispostas no Anexo F.

Figura 29 – Leitor digital do medidor de vazão eletromagnético.



Fonte: Catálogo *Krohne*, acesso 2020.

4.1.7 Aquisição de Dados

O conjunto de aquisição de dados, representado pelo item 7, é composto por um sistema de aquisição Agilent 34970A com multiplexador de 20 canais Agilent 34901A e um *notebook Dell* para armazenar os dados de temperatura e de pressão, tanto na entrada como na saída do reservatório térmico (*boiler*) e do coletor solar e, se necessário, em outros pontos do aparato experimental.

4.1.8 Reservatório Térmico

O reservatório térmico, conhecido também como *boiler*, item 8, representa o dispositivo responsável pelo armazenamento da água aquecida. O reservatório escolhido é o da marca Ribersol em aço inoxidável 304 com revestimento de poliuretano para altas pressões, com capacidade de armazenamento de 100L. O *boiler* é abastecido com água fria, proveniente da caixa d'água pela parte inferior. A partir do fenômeno da convecção natural, o fluido mais quente tende a permanecer na região superior do tanque. Com isso, o retorno da água aquecida pelos coletores solares da região externa ao Bloco J1 (pátio solar) ocorre pela parte superior, do lado oposto ao reservatório de água fria. A Figura 30 retrata as entradas e saídas de água.

Figura 30 – Canais de acesso do reservatório térmico.



Fonte: Autoria própria.

A partir da Figura 30 é possível observar as entradas e saídas presentes no reservatório térmico (*boiler*). (1) representa a entrada de água fria proveniente da caixa d'água, (2) representa a abertura tanto para esgotamento do tanque, conhecido como ladrão, como para fornecimento de água para futuro aquecimento a gás, (3) mostra a saída de água quente para consumo, (4) identifica o retorno de água aquecida pelos coletores solares e, finalmente, (5) representa a saída de água fria para aquecimento na região externa (pátio solar).

O catálogo com as especificações técnicas do fabricante do reservatório térmico (*boiler*) está disponível para consulta no Anexo G.

4.1.9 Medidor de Vazão Eletromagnético

Como mencionado anteriormente, o painel digital de leitura fornecerá dados colhidos a partir do medidor de vazão eletromagnético da marca Krohne (item 9 da Figura 23), instalado à rede de circulação. A Figura 31 demonstra o equipamento inserido na linha, representado pelo item 1. O componente 2 na Figura 31 corresponde a um circulador de água. Demarcado pelo número 3, o registro acoplado à linha de retorno foi uma forma de inserir um suspiro à linha, que tem a função de aliviar a pressão no sistema e, quando for necessário esvaziar o reservatório térmico, incrementará pressão atmosférica ao circuito, acelerando o processo.

Figura 31 – Medidor de vazão eletromagnético.



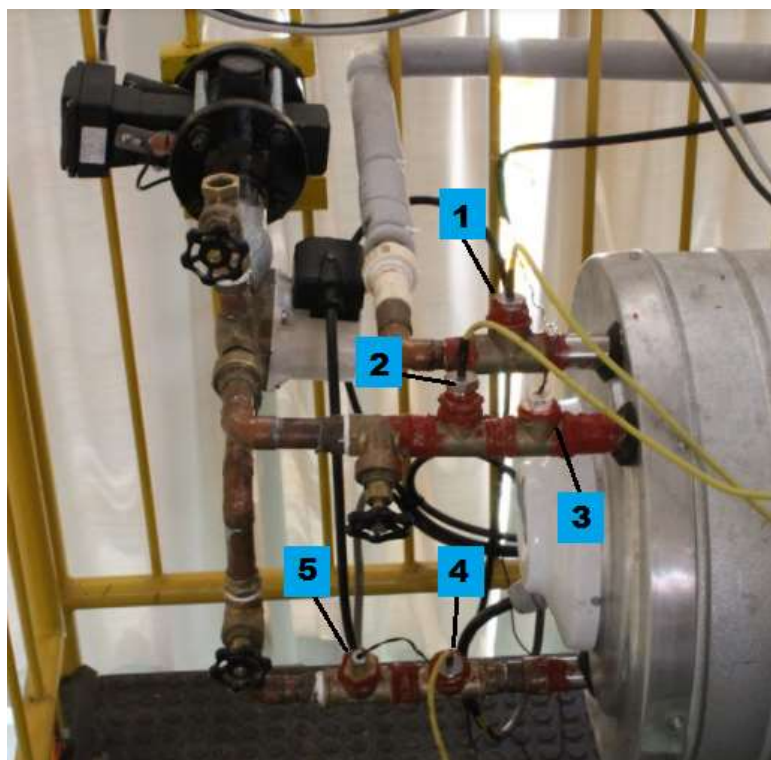
Fonte: Autoria própria.

4.1.10 Medidores de Temperaturas

Indicado pelo item 10, foram utilizados termopares da marca Tholz TLZ para a medição das temperaturas, tanto no retorno da água aquecida quanto na saída para consumo. Para a instalação do componente, foi necessária a fabricação de uma peça para adaptar o sensor à linha de circulação de água. Além dos termopares do controlador, foram instalados mais sensores de temperatura à linha de circulação, para melhor compreender o comportamento do experimento. Os termopares complementares são do tipo K e seus dados são registrados e salvos pelo sistema de aquisição Agilent 34970A com multiplexador de 20 canais Agilent 34901A. A Figura 32 mostra as localizações desses sensores de temperatura no sistema, onde estão enumerados de 1 a 5.

Os sensores de temperaturas (termopares) representados pelos itens 1, 2 e 4 são sensores de temperatura do tipo K e estão instalados, respectivamente, na saída de água aquecida para consumo, no retorno da água aquecida pelo coletor solar e na saída de água para o aquecimento. Os sensores 3 e 5 fazem parte do sistema de aquisição do controlador e estão dispostos, respectivamente, no interior do reservatório térmico (*boiler*) e na saída de água para o coletor solar. Na região externa há mais termopares que são tratados na seção 4.3.

Figura 32 – Instalação dos termopares.



Fonte: Autoria própria.

Os dados adquiridos são encaminhados até o controlador, localizado no painel elétrico de comando, por meio de cabos elétricos, e para o sistema de aquisição Agilent 34970A com multiplexador de 20 canais Agilent 34901A. As Figuras 33 e 34 fornecem os modelos de termopares do controlador e do tipo K. As informações complementares estão contidas no Anexo I.

Figura 33 – Controlador e termopar *Tholz™ TLZ*.



Fonte: Tholz (2020).

Figura 34 – Termopar tipo K.



Fonte: Autoria própria.

4.1.11 Circulador de Água

Representado pelo item 11, um circulador foi instalado para que, quando acionado, simule um sistema de circulação forçada. O modelo escolhido foi o da marca Hioda, HBS/100, de potência máxima de 93W. O circulador apresenta variação de velocidade que permite diferentes parâmetros para testes experimentais, com vazão máxima de 50L/min e suporta altas temperatura da água (até 100°C). As especificações técnicas estão presentes na ficha de dados contidas no Anexo H.

4.1.12 Isolamento Interno

Para o isolamento dos tubos de cobre na parte interna ao Bloco J1, foi utilizada a lã de rocha do tipo cilíndrico bipartido, envolvida por uma camada de alumínio corrugado. O procedimento se iniciou com o posicionamento dos isotubos de maneira a envolver toda a tubulação como mostrado na Figura 35.

Após o posicionamento da lã de rocha, foram cortados pedaços de alumínio corrugado, para contornar toda a área exposta dos isotubos, e amarrados com fitas e presilhas de alumínio. O resultado final da instalação está exposto na Figura 36.

Figura 35 – Isotubos posicionados na tubulação.



Fonte: Autoria própria.

Figura 36 – Resultado da instalação dos isolantes lã de rocha na região interna.



Fonte: Autoria própria.

4.2 REGIÃO EXTERNA DO APARATO

Na porção exterior ao Bloco J1, Pátio Solar, estão localizados os seguintes componentes: coletores solares, instrumentos de medição, compostos por termopares e medidores de pressão tanto na entrada e saída do coletor solar, e tubulações que conectam a parte externa com a parte interna. As Figuras 37 a 43 apresentam todos os componentes pertencentes à região externa do LabSOLAR.

Figura 37 – Região externa do Bloco J1 (Pátio Solar).



Fonte: Autoria própria.

A Figura 37 demonstra uma visão geral do posicionamento do coletor solar. O equipamento está localizado em um pátio concretado, onde também se encontra um mezanino metálico que servirá de apoio a futuros trabalhos envolvendo painéis fotovoltaicos. O coletor solar é posicionado a noroeste com uma inclinação de 25° em relação ao solo, resultante do suporte construído com perfis de alumínio. A Figura 38 mostra sua posição (já conectado à rede de circulação).

Figura 38 – Coletor solar posicionado e conectado à rede.



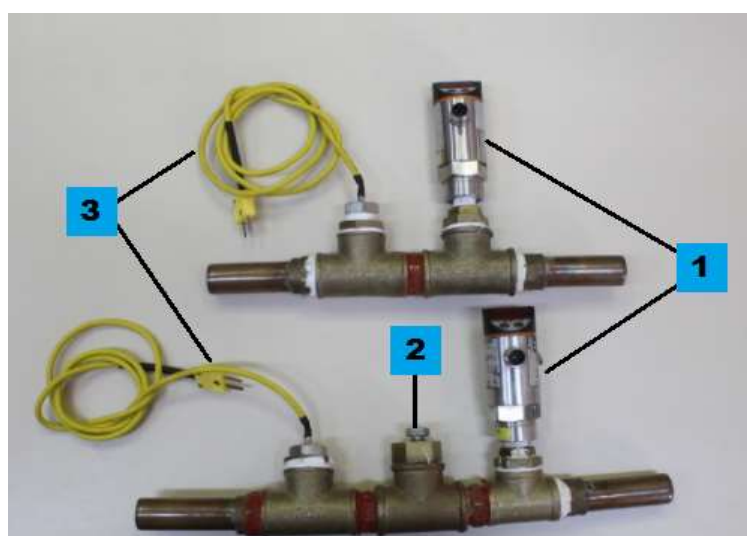
Fonte: Autoria própria.

4.2.1 Medidores de pressão

Os transdutores ou medidores de pressão são instrumentos que fazem a leitura de pressão no local instalado. De acordo com Cassiolato (2005), o funcionamento desse instrumento, diferente dos convencionais manômetros ou coluna de mercúrio, quando exposto a uma fonte de pressão e conectado a uma fonte elétrica faz com que produza um sinal de saída elétrica proporcional a pressão. O sinal de saída depende do tipo de transdutor e pode ser em [mV], [V], [mA] e [kHz].

A Figura 39 mostra os transdutores e termopares conectados à linha. A conexão foi realizada com auxílio de tubos e uniões de cobre de 22mm de diâmetro e de mangueiras da marca *HPB Fuel & Oil WP* de 20 bar (300 psi) com diâmetro de 22mm (7/8"). A adaptação dos termopares à linha foi realizada a partir da confecção de uma espécie de bujão com um furo roscado, em que o sensor passava até chegar na posição onde iria estar em contato com o fluido. A confecção da peça foi efetuada no Laboratório de Usinagem, com material de latão. Na Figura 39, os termopares indicados por 2 e 3 são, respectivamente, do controlador e do tipo K. É possível observar que os sensores de temperatura do tipo K estão presentes tanto na entrada e saída do coletor, devido ao interesse em obter mais resultados para análise experimental. O sensor do controlador está presente apenas na saída do coletor, devido às recomendações do fabricante na instalação do mesmo, de acordo com o Anexo G.

Figura 39 – Adaptação dos termopares e transdutores.



Fonte: Autoria própria.

Os transdutores de pressão (*IFM PN2024*) foram instalados de forma mais simples, uma vez que por conter rosca a gás, apenas necessitou-se de uma união “T” para conectá-los à linha. Os sensores de pressão, que são os transdutores, estão representados pelo item 1 e analisam as pressões na entrada e na saída do coletor. Seus dados são coletados e armazenados na região interna, a partir de cabos apropriados. A Figura 40 mostra a localização desses componentes.

Figura 40 – Entrada e saída do coletor solar.



Fonte: Autoria própria.

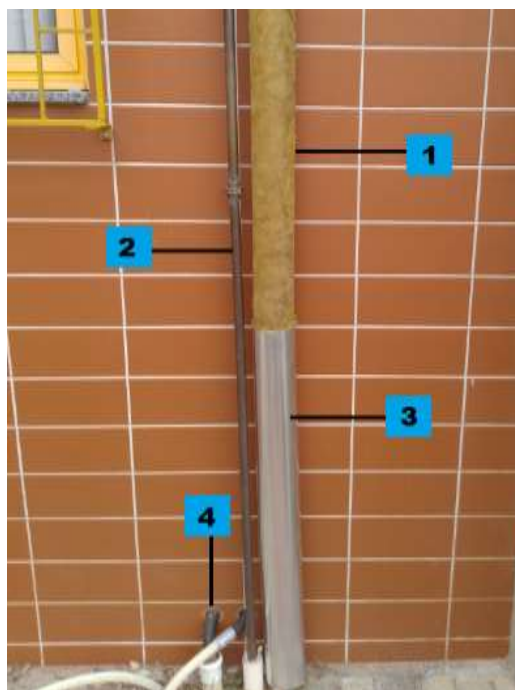
4.2.2 Isolamento externo

Como dito anteriormente, toda a tubulação do sistema, exceto na tubulação da caixa d'água e do consumo final, foi desenvolvida com tubos de cobre e, para diminuir a perda de energia para o meio externo, tais tubos foram isolados com isotubos de lã de rocha e envolvidos por uma fina camada de alumínio refletivo.

Na Figura 41 são enumerados o isotubo de lã de rocha representado pelo item 1, a tubulação de cobre indicada pelo item 2, a lâmina de alumínio refletivo representada pelo item 3 e, pelo item 4, o duto de cabos elétricos que atravessaram a parede de alvenaria do LabSOLAR e foram enterrados, assim como uma parte da tubulação de água.

Para a instalação, primeiramente foram posicionadas as lãs de rocha, envolvendo por completo a tubulação e, em seguida, enrolada a lâmina de alumínio e fixada com rebites de repuxo. As Figuras 42 e 43 trazem os passos e o resultado da instalação, respectivamente.

Figura 41 – Isolamento na tubulação de cobre externa ao bloco.



Fonte: Autoria própria.

Figura 42 – Instalação dos isotubos.



Fonte: Autoria própria.

Figura 43 – Resultado final da instalação do isolamento externo.



Fonte: Autoria própria.

4.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após toda a montagem e revisão do aparato experimental, foi possível executar testes preliminares do sistema de aquecimento solar (SAS), em condições operacionais reais. De início, ocorreram alguns imprevistos, como alguns vazamentos em soldas e conexões. Esses foram reparados para que o sistema experimental operasse de maneira satisfatória. Atualmente, esse sistema está funcionando em perfeitas condições, porém, devido à pandemia do novo coronavírus, SARS-CoV-2, causador da doença COVID-19, não foi possível realizar a coletas de dados suficientes para a elaboração de um estudo prévio.

Como forma de continuar esse Trabalho de Conclusão de Curso, propõe-se a inclusão de um sistema de aquecimento auxiliar a gás GLP ao sistema de circulação fechado de água, tendo assim, além do aquecimento auxiliar elétrico do reservatório térmico (*boiler*), também o aquecimento a gás.

5 CONCLUSÕES

Como vantagens de se viver em uma região tropical têm-se a possibilidade da utilização de aquecedores solares nas residências, nos comércios e nos setores industriais. Isso instiga os estudos experimentais desses equipamentos, como forma de se obter informações para o uso mais eficientes dos mesmos.

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) descreveu as etapas realizadas para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de um sistema de circulação para testes experimentais em coletores solares, alcançando resultados positivos, considerando seus objetivos.

No decorrer desse TCC, algumas etapas da montagem das tubulações apresentaram problemas de vazamentos na qual foram sanados e revisados para o perfeito funcionamento do aparato experimental. Em um momento, percebeu que o sifão entre o reservatório térmico (*boiler*) e a caixa d'água não estava dimensionado corretamente pois o sifão não permitia que a água abastecesse o *boiler* quando o sistema não estava pressurizado.

O dimensionamento do aparato experimental considerou as especificações técnicas e as recomendações da ABNT NBR 15569 (ABNT, 2020) e os conhecimentos e as experiências adquiridas no decorrer da graduação, que possibilitaram todo o desenvolvimento desse Trabalho de Conclusão de Curso. Uma etapa importante foi lidar com os custos da montagem desse projeto. Sua conclusão só foi possível através da ajuda de custo de R\$1.000,00 disponibilizada pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, EDITAL 1/2020 - PROREC/PROGRAD.

Para futuros trabalhos, a sugestão é de investir no aperfeiçoamento e atualização do aparato experimental para que forneça os melhores resultados de estudos possíveis. Além disso, para futuros trabalhos recomenda-se a utilização de diferentes parâmetros de conexão dos coletores solares como por exemplo, ligação em série e em paralelo para obter dados comparativos e diferentes vazões de água. Finalmente, uma sugestão analisada é a instalação do sistema de aquecimento a gás GLP em que agregará mais um parâmetro de análise experimental.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15569: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e instalação**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15569: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e instalação**. Rio de Janeiro, 2020.

ABRALISO. Associação Brasileira dos Fabricantes de Lãs Isolantes Minerais, Disponível em: <https://www.abraliso.org.br/>, acesso em outubro de 2020.

AGUIAR, V. M. et al. Thermal analysis of a finned thermosyphon for heat exchanger applications. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 5, n. 1, 2018;

AKBARZADEH, A.; WADOWSKI, T. Heat pipe-based cooling systems for photovoltaic cells under concentrated solar radiation. **Applied Thermal Engineering**, [s.l.], v. 16, n. 1, p. 81-87, jan. 1996. Elsevier BV;

ANEEL, Atlas de energia elétrica do Brasil 2ed. **Brasília**, 2005.

ANEEL, ANDEE. Atlas de energia elétrica do Brasil. **Brasília**, 2008.

ANEEL, Atlas brasileiro de energia solar. **São José dos Campos**, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECEIMENTO – ABRAVA - **Manual de capacitação em projetos de sistemas de aquecimento solar**, 2008. disponível em www.dasolabrava.org.br. acessado 20/05/2020.

BRASSOLAR. Disponível em: < www.brassolar.com.br/ > Acesso em novembro de 2019.

BUCUSSI. Alessandro A. **Introdução ao conceito de energia**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2007. 32p: il (Texto de apoio ao professor de física / Marco Antonio Moreira, Eliane Angela Veit, ISSN 1807-2763; v.17, n. 3)

CASSIOLATO, César; Intech Edição 74, **Transmissores de Pressão: sensores, tendências, mercado e aplicações**, 2005.

COPPER; PROCOPRE. **Qualidade em instalações de aquecimento solar: Boas práticas**. São Paulo, 2009. Disponível em: < https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Qualidade_em_Instalacoes_de_Aquecimento_Solar.pdf>. Acesso em nov. de 2020.

EDUARDO, C.; MOREIRA, S. Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente. Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense, v. 1, p. 397-402, 2010.

EFSOLAR, **Aquecimento Solar Para Residências**, Disponível em: < <https://efsolar.com.br/aquecimento-solar-para-residencias/>> , Acesso em Julho de 2020.

FONTANA, E, S, B. **Concepção de um Sistema de Circulação Fechado para Estudo Experimental de Coletores Solares**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

GEORGI, A.L.V. **Aquecimento Solar de Água-Desempenho e Racionalização de Materiais e Energia Alternativa Fundamental Para o Desenvolvimento Sustentável**. Dissertação de Doutorado (Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

INFOSOLDA. Disponível em: < <https://infosolda.com.br> >. Acesso em setembro de 2020.

KABIR, Ehsanul et al. Solar energy: Potential and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 894-900, 2018.

KALOGIROU, S. A. **Prediction of flat-plate collector performance parameters using artificial neural networks**. Solar Energy 80. Elsevier Science, 2006. Disponível em: Solar Energy Acesso em: 20 jun. 2020.

MANEA, T. F.; ROSA, F. N.; KRENZINGER, A. **Determinação dos Parâmetros de Desempenho de um Coletor Solar de Tubos de Vidro a Vácuo**. Revista Brasileira de Energia Solar, v. III, p. 39-46, 2012.

MANTELLI, M.B.H. **Thermosyphon Technology for Industrial Applications**. Chapter 11, In: Vasiliev L.L. and Kakaç S. (Eds.), Heat pipes and solid sorption transformations: fundamentals and practical applications. CRC Press, Boca Raton, USA, 54 p., 2013;

MARTINS, Mauro Daniel Simões São Bento. **Sistemas de aproveitamento da energia do mar**. 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Aveiro.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço energético nacional - BEN**. Brasília: MME, 2017.

OLIVEIRA, S. H. F. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltáicos Autônomos: Ênfase na Eletricidade de Residências de Baixo Consumo**. Dissertação de Mestrado aprovada pelo programa de Interunidades (EP/FEA/IEE/IF) da USP. São Paulo 1997.

OLIVEIRA, Á. D. De. **Análise de custos entre coletores solares quanto a aspectos construtivos**. 37 p. - Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

PACHECO, Fabiana. Energias Renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e planejamento e Planejamento**, v. 149, p. 4-11, 2006.

PEREIRA, Elizabeth Marques Duarte. et al. **Sistemas de aquecimento solar de água**: Manual do Professor. Belo Horizonte: Eletrobras/Procel, 2014.

QUINTEROS, A. R. **Aquecimento de Água por Energia Solar**. Revista Sinergia, São Paulo, SP, 2001.

REAY, David A.; KEW, Peter A.; McGLEN, Ryan J. **Heat Pipes: Theory, Design and Applications**. 6 ed. Waltham, MA, USA: Elsevier, 2014. 251p;

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

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

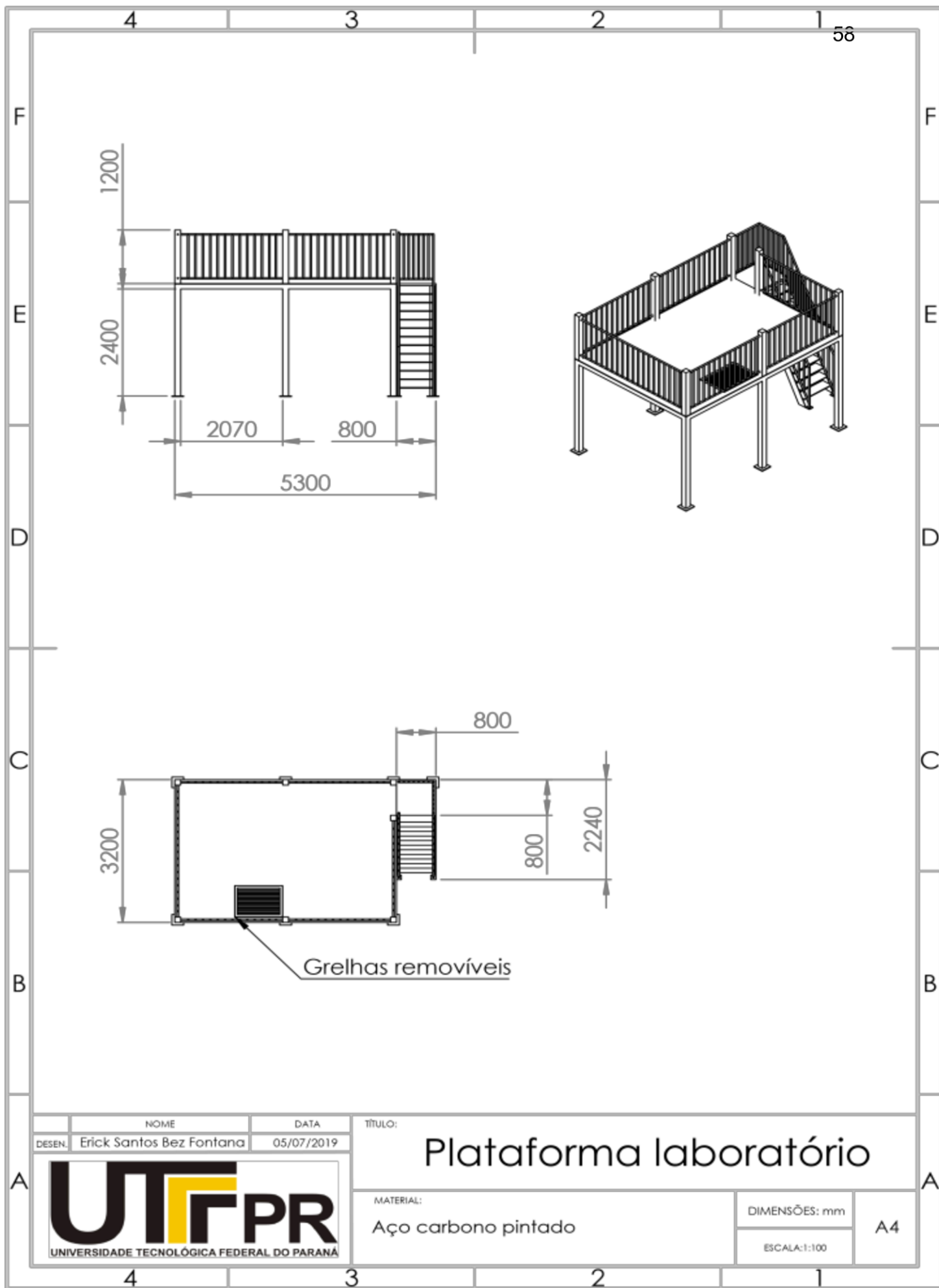
SILVA, L. P. **Desenvolvimento de um coletor solar cilíndrico parabólico para baixas e médias temperaturas**, 2015, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Campina Grande; Campina Grande, 2015).

SOLAR ENERGY. **Active Solar Energy Dryers | Everything about solar energy**. 2010. Disponível em: <<http://energyprofessionalsymposium.com/>>. Acesso em: 21/março/2020).

SPRENGER, L. R. Aplicação do sistema fechado no aquecedor solar de água de baixo custo para reservatórios residenciais isolados. Curitiba: UFPR, 2007.

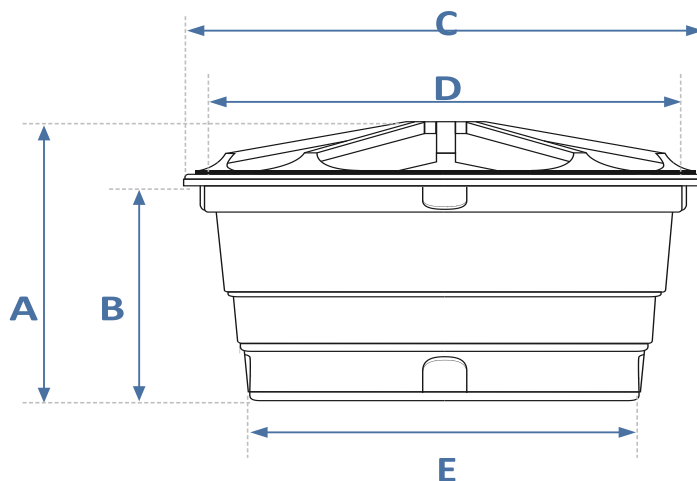
WALISIEWICZ, M. **Energia alternativa: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis** / Marek Walisiewicz ; [tradução Elvira Serapicos]. – São Paulo: Publifolha, 2008. – (Série mais ciência / organizador John Gribbin).

ANEXO A – DIMENSIONAMENTO DO MEZANINO



ANEXO B – FICHA DE ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA CAIXA D'ÁGUA

DIMENSÕES:



Capacidade em litros	Dimensões em metros				
	A	B	C	D	E
100	0,51	0,41	0,75	0,73	0,54
150	0,55	0,43	0,88	0,87	0,61
250	0,68	0,53	1,00	0,98	0,74
310	0,69	0,54	1,05	1,04	0,75
500	0,72	0,58	1,24	1,22	0,95
750	0,86	0,73	1,37	1,35	1,00
1.000	0,97	0,76	1,52	1,51	1,16
1.500	1,05	0,83	1,77	1,75	1,43
2.000	1,10	0,90	1,89	1,88	1,55
3.000	1,49	1,21	2,28	2,22	1,72
5.000*	2,00	1,63	2,45	2,37	1,85
7.500*	2,12	1,81	2,79	2,70	2,24
10.000*	2,57	2,03	2,95	2,92	2,41
15.000*	3,13	2,62	3,17	3,15	2,67

ANEXO C – FICHA DE DADOS DO VASO DE EXPANSÃO HIODA

Vaso de Expansão HNL

HIODA



Características técnicas

Temperatura máxima de trabalho: 99°C

Pressão máxima de trabalho: 8bar (26 e 36 litros) e 10bar (60 litros).

Membrana: Butilo

Capacidade: 24 litros - 36 litros e 60 litros

Bitola: 1"

Flange em Inox.



Aplicações

Estes modelos podem ser utilizadas para água quente ou fria.

Pode ser utilizado em circuitos fechados de água quente para compensar a dilatação térmica da água.

Quando montado com pressurizador, o vaso de expansão aumenta o intervalo de acionamento do mesmo, acarretando economia de energia elétrica.



ANEXO D –FICHA DE DADOS PRESSOSTATO HIODA.

PRESOSTATO HPW**HIODA - Comercial Ltda**

PRESOSTATO HPW

O PRESSOSTATO HPW é um equipamento que trabalha com um pressostato interligado a um fluxostato. Mantém a rede sempre pressurizada, ligando a bomba quando abrimos qualquer registro (queda de pressão na rede) e desligando a mesma quando fechamos o registro (falta de fluxo).

Vantagens:

- Mantém a pressão da rede constante durante o período de utilização.
- Protege a bomba contra o funcionamento a seco.
- Não necessita de nenhum tipo de regulagem ou manutenção.
- Os pontos de consumo podem ficar acima da caixa d'água.

Característica Técnicas:

- Tensão de alimentação: 110V ou 220V BIVOLT
- Frequência: 60Hz
- Corrente máxima: IOA
- Temperatura ambiente (local da instalação): 0 °C a 40°C
- Pressão máxima na sucção: 100mca
- Temperatura da água: 5 °C a 40 °C
- Conexões: 1" BSPM
- Peso: 1,43kg

ANEXO E – FICHA DE DADOS PRESSURIZADOR

Pressurizador HP500ASH

HIODA**ISO9001 CERTIFICADO**

Operação Condição

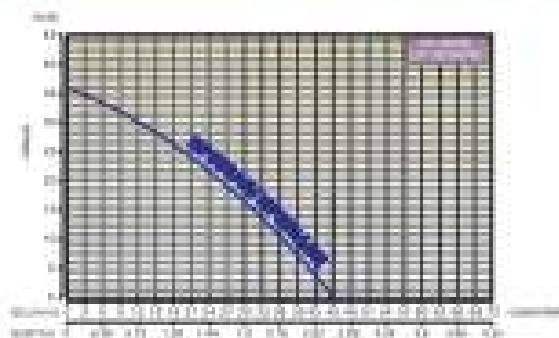
1. Temperatura ambiente: 0 - 40C.°
2. Temperatura do líquido: 0 - 40C.°
3. A água limpa ou outros líquidos não-corrosivo limpas sem abrasivos.
4. Pressão de trabalho: Max. 8 bar.
5. sucção Elevador: Max 5M.

BIVOLT**127V**

e

220V

CURVAS DE DESEMPENHO



CÓDIGO DE MODELO

HP500ASH

- protetor de sobrecarga térmica
- caixa da bomba de aço inoxidável
- cartaga fuser a motor em liga de Alumínio
- número do modelo
- série do modelo

ESPECIFICAÇÃO

modelo	poter		C.C.C	entrada	saida	P.H.	Voltagem	sucção	Classificação		- máximo		para líquido
	HP	W							Hz	M	L/min	M	
HP500ASH	1/2	379	60	3/4" x 1"	3/4" x 1"	1	110/220	5	20	26	36	45	9,2

ANEXO F –FICHA DE DADOS MEDIDOR DE VAZÃO ELETROMAGNÉTICO.

Os medidores de vazão electromagnéticos são unicamente indicados para a medição de taxas de fluxo e da condutividade material líquido electricamente condutivo.

O seu aparelho de medição é fornecido pronto para ser usado. As definições de fábrica dos dados operacionais foram feitas em conformidade com as especificações da sua encomenda.

Estão disponíveis as seguintes versões:

- Versão compacta (o conversor de sinal é montado directamente sobre o sensor de medição)
- Versão remota (ligação eléctrica ao sensor de medição através de um cabo de corrente de campo e de sinal)

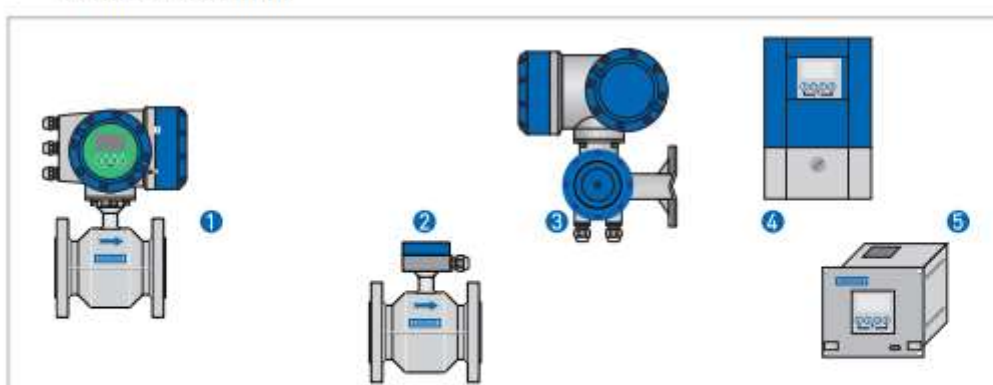


Figure 2: Versões do dispositivo

- 1 Versão compacta
- 2 Sensor de medição com caixa de saída
- 3 Alojamento de campo
- 4 Alojamento de montagem mural
- 5 Suporte de alojamento de 19"

KROHNE		II 2 GD EEx da [Ia] I C T6 , T3 KEMA 04 ATEX 2077 X T85...150°C*	1
Altimeter, Dordrecht NL- 3313 LC XXXXXX yy00 C-EEx CG30011100 S/N A05R5613 0344 Manufactured: 200X			
8	www.krohne.com Docu CD, 730952xx00		2
	After de-energizing delay before opening the converter housing: T6 > 35 min, T5 > 10 min		
7	f field = f line / 6 GK=3.7183 GK=7.3528 DN 40 mm/ 1 1/2 inch		3
	Non-IS circuits A,B,C,D: Vn < 32 V; In < 100 mA Vm = 253 V		
6	100-230 VAC -15 % + 10 % 48-63 Hz 22 VA Wetted materials PFA Ta IP66 / 67 Nema type 4x6 enclosure		4
	PED (97/23/EC): PS1=40 bar @ TS1<= 40 °C PS2=32 bar @ TS2 = 180 °C PT =60 bar @ TT = 20 °C		
5	FT-2004		

Figure 5: Exemplo de uma placa de identificação para versão compacta

- 1 Informação relativa a certificados: Certificado Ex, certificado de teste "CE de tipo", certificados relativos a higiene, etc.
- 2 Certificados relativos a limiares
- 3 Certificados relativos aos dados de ligação de entradas/saídas; V_m = potência máx.
- 4 Dados relativos a certificados (p. ex. classe de precisão, gama de medição, limiar de temperatura, limiar de pressão e limiar de viscosidade)
- 5 Certificados relativos a limiares de pressão e temperatura
- 6 Alimentação; categoria de protecção; materiais das peças em contacto com o elemento
- 7 Valores GK/GKL (constantes do sensor de medição); tamanho (mm /polegadas); frequência de campo
- 8 Designação do produto, número de série e data de fabrico

ANEXO G – FICHA DE DADOS RESERVATÓRIO TÉRMICO

Reservatório Térmico

O Sistema de aquecimento **RIBERSOL** é projetado com tecnologia de ponta. Depois de aquecida no conjunto de coletores a água quente segue para o tanque (boiler), onde fica acumulada até o uso. O equipamento possui sistema elétrico auxiliar acionado automaticamente se a demanda por água quente for maior que a capacidade.



Durabilidade - Corpo interno em aço AISI 304 e revestimento em galvalume, materiais de alta durabilidade;

Eficiência - Isolamento térmico em poliuretano expandido;

Dinamismo - Termostato com acionamento automático

Tanque (diâmetro 1,00mt):

Volume Nominal (Litros)	Diâmetro (cm)	Comprim. (cm)	Potência Resistência (220V 60Hz)
1500	1,00	1,80	3000W
2000	1,00	2,10	3000W
2500	1,00	2,50	3000W
3000	1,00	3,10	3000W

Reservatório Térmico (Boiler):

Tanque (diâmetro 0,54cm):

Volume Nominal (Litros)	Diâmetro (cm)	Comprim. (cm)	Potência Resistência (220V 60Hz)
100	0,54	0,54	3000W
200	0,54	1,30	3000W
300	0,54	1,50	3000W
400	0,54	2,10	3000W
500	0,54	2,50	3000W
600	0,54	3,00	3000W

Tanque (diâmetro 0,68cm):

Volume Nominal (Litros)	Diâmetro (cm)	Comprim. (cm)	Potência Resistência (220V 60Hz)
100	0,68	0,50	3000W
200	0,68	0,71	3000W
300	0,68	1,00	3000W
400	0,68	1,30	3000W
500	0,68	1,50	3000W
600	0,68	1,80	3000W
700	0,68	2,10	3000W
800	0,68	2,40	3000W
900	0,68	2,70	3000W
1000	0,68	3,00	3000W

ANEXO H – CIRCULADOR DE ÁGUA



Circuladora de água HBS 100

HIODA

Aplicações:

- Aquecimento solar
- Calefação
- Recirculação de sistemas fechados

Característica Técnicas:

- Corpo: Bronze
- Potência: 93/67/46 W
- Tensão: 110V ou 220V monofásico
- Frequência: 60Hz
- Temperatura da água: 5 °C a 40 °C
- Pressão máx. na sucção: 10 bar
- Vazão máx.: 50 l/min
- Vazão mínima para acionar: 1,2 l/min
- Rosca Bomba: 1"
- Conexões: 3/4 BSPM.

Vantagens:

- Silencioso
- Menor tempo para instalação
- Leve e compacto
- Não possui selo mecânico (isento de vazamentos)
- Não possui rolamentos

ANEXO I – INFORMAÇÕES ADICIONAIS DO CONTROLADOR

2. ESPECIFICAÇÕES

GERAIS	
Peso Aproximado	380 g
Dimensões	152 x 91 x 35 mm (Maior detalhe vide item 15)
Tensão de Alimentação	127 Vca ou 220 Vca (conforme especificado no pedido)
Resolução	Decimal 0,1°C
Grau de proteção IP	IP53

SAÍDAS DE CONTROLE	
Saída Bomba Aquecimento Solar	Saída a relé: - 1/8 CV em 127 Vca - 1/4 CV em 220 Vca
Saída Apoio 1	Saída a relé: - 1/2 CV ou 1500 W em 127 Vca - 1 CV ou 3000 W em 220 Vca
Saída Apoio 2	Saída a relé: - 1/2 CV ou 1500 W em 127 Vca - 1 CV ou 3000 W em 220 Vca

Obs.: Para sistemas com apoio elétrico, é permitido ligar diretamente em apenas uma das saídas de apoio, uma resistência com potência de até 3000W em 220V ou 1500W em 127V.

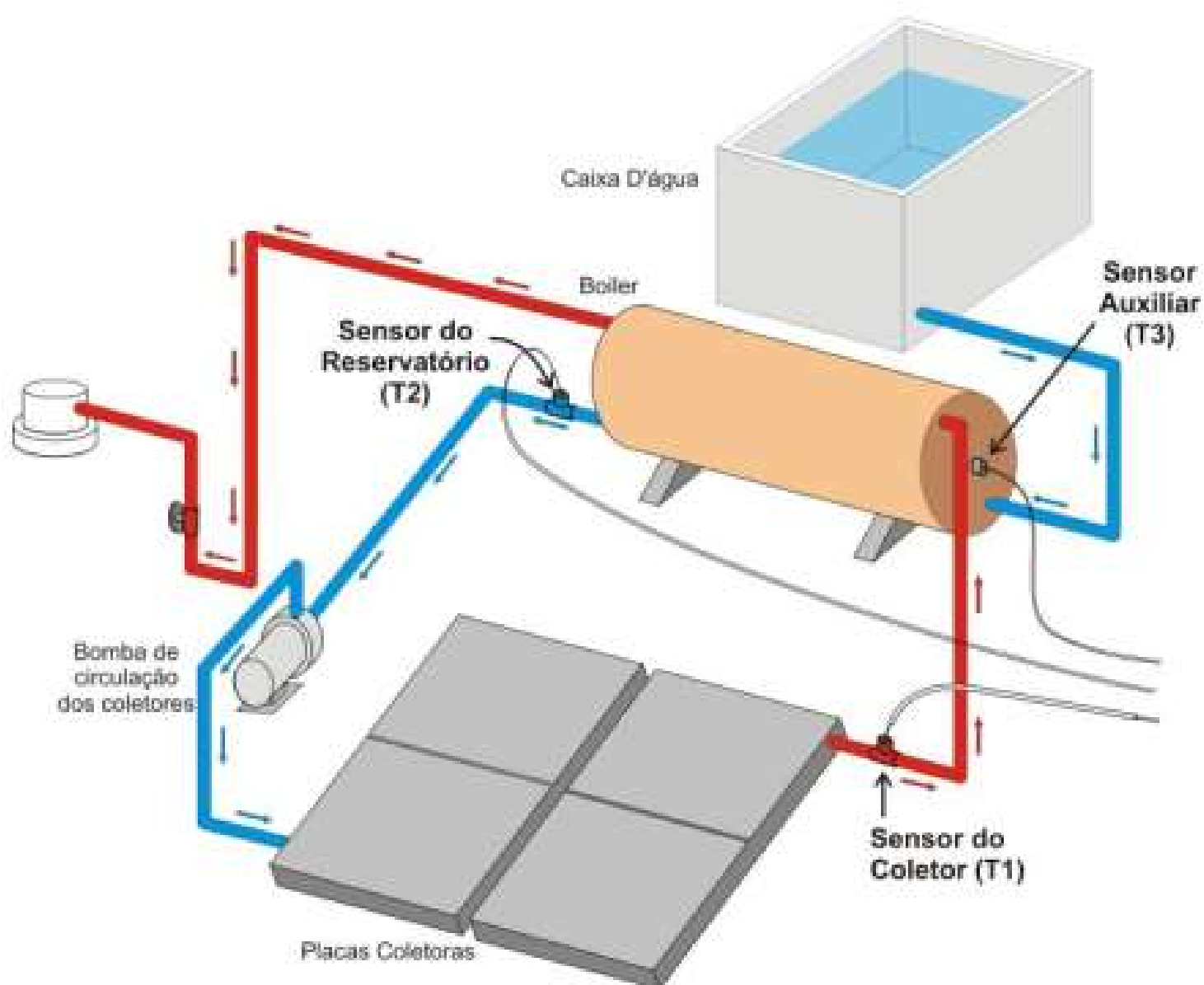
SENSORES DE TEMPERATURA	
Sensor T1 (sensor branco) – Coletor	-19,9 a 150°C
Sensor T2 (sensor preto) – Reservatório / Piscina	-19,9 a 99,9°C
Sensor T3 (sensor preto) – Auxiliar	-19,9 a 99,9°C
Tipo Sensor	NTC 10K, 1%, B: 3435/25°C

Os sensores de temperatura acompanham o controlador, sendo estes de cabo 2x26 AWG de 2 metros. O cabo dos sensores pode ser estendido para até 200 metros.



- 1 – Tecla de incremento.
- 2 – Tecla de programação.
- 3 – Tecla de decremento.
- 4 – Tecla de acionamentos manuais.
- 5 – Tecla de acesso rápido aos parâmetros dos apoios
- 6 – Tecla de programação horária.
- 7 – Indicação do modo de operação dos apoios.
- 8 – Indicação do modo de operação da bomba de circulação do aquecimento solar.
- 9 – Display principal.
- 10 – Display auxiliar.
- 11 – Indicação do estado da bomba de circulação do aquecimento solar.
- 12 – Indicação do estado dos apoios.
- 13 – Sinalizações do controlador.

13. POSIÇÃO DOS SENSORES E DISPOSITIVOS



THOLZ