



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PRÓ- REITORIA DE GRADUÇÃO
DEPARTAMENTO CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

PAULA RAFAELLA SIMÃO ARAÚJO

**CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE
ÁGUA COM AUXÍLIO DE UM CONCENTRADOR PARABÓLICO**

CARAÚBAS – RN

2016

PAULA RAFAELLA SIMÃO ARAÚJO

**CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE
ÁGUA COM AUXÍLIO DE UM CONCENTRADOR PARABÓLICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semiárido –
UFERSA, Campus Caraúbas para a obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador:

Prof. M.Sc. Rudson de Souza Lima – UFERSA

CARAÚBAS – RN

2016

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1998 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

u658c Araújo, Paula Rafaelia Simão.
Construção e Análise de um Sistema de Aquecimento Solar de Água com Auxílio de um Concentrador Parabólico / Paula Rafaelia Simão Araújo. = 2016.
33 f. : il.

Orientador: Rudson de Souza Lima.
Monografia (graduação) = Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2016.

1. Aquecimento. 2. Concentrador Solar. 3. Sustentabilidade. I. Lima, Rudson de Souza, orient.
II. Título.

CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA COM AUXÍLIO DE UM CONCENTRADOR SOLAR

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semiárido –
UFERSA, Campus Caraúbas para a obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADO EM: 30/05/2016

BANCA EXAMINADORA



Prof. MSc. Rudson de Souza Lima - UFERSA
Presidente



Prof. Dr. Dorgival Albertino da Silva Junior - UFERSA
Primeiro Membro



Prof. MSc. Rafael Luiz Espindola - UFERSA
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela minha saúde e por me dá força para alcançar os objetivos almejados.

Agradeço a minha mãe (Fátima) por todo amor, incentivo e dedicação, a minha irmã (Thaís) pelo apoio.

Ao professor orientador Rudson de Souza Lima pela disponibilidade, paciência e imensa colaboração na execução deste trabalho.

Ao técnico de laboratório Samir pela notória contribuição na construção e na aplicação do experimento.

Aos amigos acadêmicos Vinícius e Kairo pela ajuda e contribuição.

Aos meus amigos Cymara, David e Lêdson, por todo apoio expresso, principalmente nos difíceis momentos.

E a todos que ajudaram direta ou indiretamente, obrigada!

RESUMO

No decorrer da evolução humana, as fontes de energia se mostraram indispensáveis para a sociedade, estas sofreram modificações no decorrer dos séculos. Passou-se da era do carvão para a era do petróleo e agora para as energias renováveis, devido à escassez e/ou redução das anteriores. As energias renováveis podem ser obtidas de diferentes formas, uma que está em destaque nos últimos tempos é a energia solar. Sendo assim, nesse trabalho é analisada a implementação de um mini concentrador solar parabólico para o aquecimento de água. Para isto, usa-se uma antena metálica para fixação de espelhos a fim de ter-se uma concentração dos raios solares em um ponto onde será feito o aquecimento do fluido. O projeto consiste na verificação das temperaturas do sistema durante todo o período de incidência de raios solares sobre a superfície. Com isso é feita a análise da variação das temperaturas da água contida no reservatório, bem como os pontos extremantes dessa variação, registrando o horário para cada. O objetivo consiste na fundamentação teórico-prática deste sistema para comprovar sua eficiência e utilização no aquecimento de água em residências, nas regiões tropicais, nas quais possuem uma grande incidência de raios solares. Com os dados obtidos de temperatura e tempo dispõe-se de uma tabela na qual nos fornece informações capazes de comprovar a eficiência bem como sua viabilidade do sistema.

Palavras-chave: Aquecimento. Concentrador solar. Sustentabilidade.

ABSTRACT

In the course of human evolution, the sources of energy have proven indispensable to society, these have been modified over the centuries. He went from the coal era to the era of oil and now for renewables, due to the shortage and / or reduction of the above. Renewable energy can be obtained in different ways, one that is highlighted in recent times is solar energy. Thus, this work analyzes the implementation of a mini solar parabolic concentrator for heating water. For this, it uses a metallic antenna for mounting mirrors so as to have a concentration of solar rays at a point where the heating of the fluid will be done. The project consists of verification of system temperatures throughout the incident period of sunlight on the surface. It is made the analysis of changes in water temperatures in the tank and the extremantes points of this variation, the recording time for each. The objective is the theoretical and practical foundation of this system to prove its efficiency and use in water heating in homes, in tropical regions, which have a high incidence of sunlight. With the data obtained from temperature and time have is a table that provides us with information that can prove the efficiency as well as your system's viability.

Keywords: Heating. Solar Concentrator. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Radiação solar diária.....	11
Figura 2 - Movimentos da Terra.....	13
Figura 3 - Modelos de coletor de calhas parabólicas.....	14
Figura 4 - Refletor linear de Fresnel.....	14
Figura 5 - Prato parabólico	15
Figura 6 - Exemplo de aquecimento solar através do modelo de Torre central	16
Figura 7 - Concentrador solar parabólico elaborado	18
Figura 8 - Protótipo do reservatório elaborado.....	20
Figura 9 - Esquema do sistema solar construído	22
Figura 10 - Vista da montagem localizada no foco do concentrador	23
Figura 11 - Protótipo final do concentrador solar com o reservatório.....	23
Figura 12 -Temperaturas no foco do concentrador solar.....	24
Figura 13 - Temperaturas no foco e na saída da serpentina (saída 1)	25
Figura 14 - Temperaturas de saída da serpentina (saída) e de entrada do reservatório (saída 2)	26
Figura 15 - Temperaturas de entrada da serpentina (T Entrada) e no recipiente em diferentes níveis (T recipiente B, T recipiente M e recipiente T)	27
Figura 16 - Temperaturas de entrada e saída da serpentina.....	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos.....	9
1.1.1	Objetivo geral	9
1.1.2	Objetivos específicos.....	9
1.2	Justificativa	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Energia solar no Brasil e no mundo e fatores relevantes para a sua utilização .	11
2.1.1	Radiação solar	12
2.1.2	Movimentos da Terra	12
2.2	Os modelos de concentradores solar.....	13
2.2.1	Coletor de Calha Parabólica	13
2.2.2	Refletor Linear de Fresnel	14
2.2.3	Prato Parabólico	15
2.2.4	Torre Central	15
2.3	Funcionamento de um aquecedor solar parabólico	16
3	METODOLOGIA	17
3.1	Procedimento de montagem do concentrador	17
3.2	Procedimento de montagem do reservatório	19
3.3	Ensaios	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1	Temperaturas no foco	24
4.2	Temperaturas no foco e de saída 1.....	25
4.3	Temperaturas de saída da serpentina e entrada do reservatório	26
4.4	Temperaturas de entrada da serpentina e no recipiente em diferentes níveis ...	27
4.5	Temperaturas de entrada e saída da serpentina	28
5	CONCLUSÕES	30
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

No decorrer da evolução humana, as fontes de energia se mostraram indispensáveis para a sociedade, estas sofreram modificações no decorrer dos séculos. Passou-se da era do carvão para a era do petróleo e agora para as energias renováveis, devido à escassez e/ou redução das anteriores.

Com preocupação na degradação do meio ambiente e devido à crise do petróleo na década de 70, houve a necessidade de estudar e desenvolver outros meios de obter energia de modo sustentável. Além do Brasil possuir uma grande diversidade natural, também tem uma boa localização para se implantar energias renováveis. Principalmente a energia solar, por esta situado na zona tropical.

As renováveis podem ser obtidas de diferentes formas, uma que está em destaque nos últimos tempos é a energia solar. Sendo assim, nesse trabalho é analisada a implementação de um mini concentrador solar parabólico para o aquecimento de água.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Fazer um mini concentrador solar para aquecer água, de baixo custo e sustentável visando mostrar sua eficiência e aplicabilidade.

1.1.2 Objetivos específicos

- Fazer um estudo bibliográfico acerca do assunto;
- Adquirir material necessário e fazer reciclagem;
- Construir um mini concentrador e reservatório térmico;
- Fazer medições das temperaturas em diversos pontos do concentrador e reservatório;
- Fazer gráficos de dispersão com as temperaturas medidas e analisá-los;

1.2 Justificativa

O interesse por energias renováveis vem crescendo nos últimos anos, pois não poluem e nem produzem resíduos, se compararmos com outras fontes de energias, sendo chamadas, por isso, de energias limpas. O Brasil por ser um país tropical e ter durante quase todo ano uma elevada incidência de raios solares, é favorável a implementação de técnicas para transformar energia oriunda do sol em energia térmica.

Além de não gerar resíduos, a energia térmica pode ser ainda uma solução para o aproveitamento de materiais antes inutilizáveis. Para a construção do concentrador solar, por exemplo, pode-se reciclar materiais e assim diminuir o desperdício de produtos com potencial de utilização e o custo na sua fabricação.

O sistema de aquecimento de água com a aplicação de um concentrador solar apresenta uma simples montagem do aparelho, e pode ser muito vantajoso para os consumidores por diminuir o gasto na mensalidade da energia, que pode ser notado em médio e longo prazo.

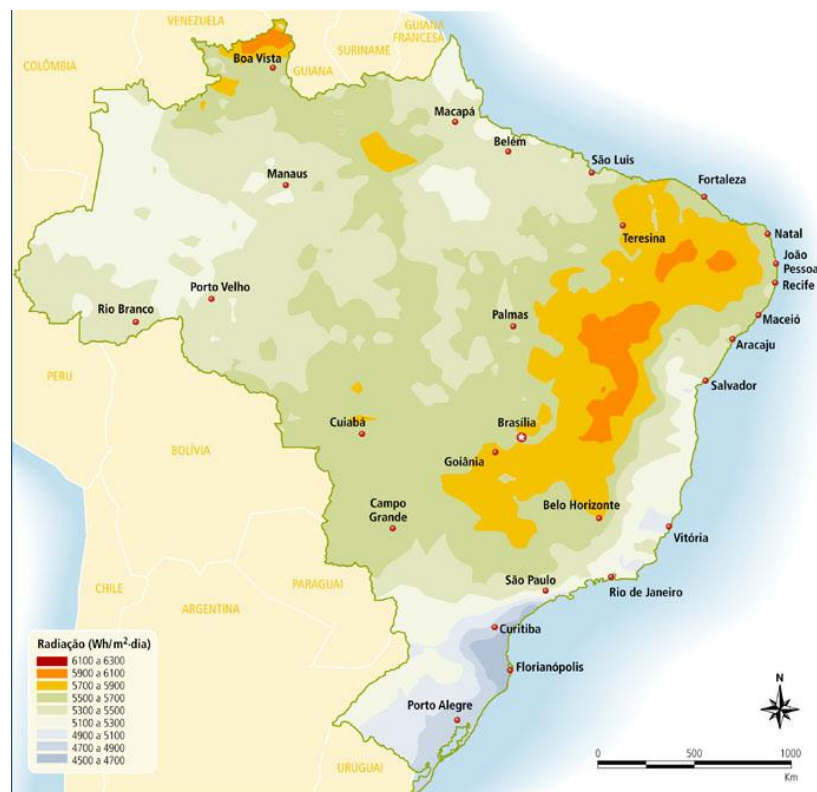
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia solar no Brasil e no mundo e fatores relevantes para a sua utilização

Segundo Bezerra (2001), vários países possuem projetos em desenvolvimento e já utilizam a energia solar em muito maior escala que o Brasil. A Califórnia, EUA, tem atualmente uma instalação capaz de gerar energia elétrica a partir da energia solar. Em Freiburg, Alemanha, se constroem casas com telhados cobertos com painéis fotovoltaicos, que produzem mais energia do que consomem.

O Brasil recebe incidência de raios na maior parte do ano, e a maior delas é na região nordeste. Tratando-se do Rio Grande do Norte, considera-se uma Radiação Solar Global média entre 0,5 a 0,7 KW/m², com nível de insolação média da ordem de 8 horas por dia (SOUZA FILHO, 2008). A Terra recebe continuamente energia do Sol, cerca de 1337 W/m² em medições realizadas em superfícies normais aos raios do Sol, mas desse total, aproximadamente, 19% é absorvido pela atmosfera e 35% é refletido pelas nuvens, ou seja, apenas cerca de 52,65% dos 1337 W/m² pode ser aproveitado na superfície da Terra (DIAS; PEREIRA; COELHO, 2015). Mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Radiação solar diária



Fonte: Atlas de Irradiação Solar no Brasil (1998)

A energia solar vem sendo muito utilizada para aquecimento de fluidos e na geração de energia elétrica, para entender como ocorre o processo dessa utilização, é necessário analisar a radiação solar e os movimentos da Terra.

2.1.1 Radiação solar

O Sol emite uma grande quantidade de energia por meio dos raios solares que pode ser aproveitada de diversas formas, no entanto, nem todos os raios emitidos pelo Sol chegam a superfície terrestre. Os raios solares podem ser barrados por nuvens causando a sua reflexão ou absorção. Os raios que conseguem chegar ao solo podem ser classificados por radiação direta e difusa (CRESESB, 2004 *apud* VIEIRA, 2014).

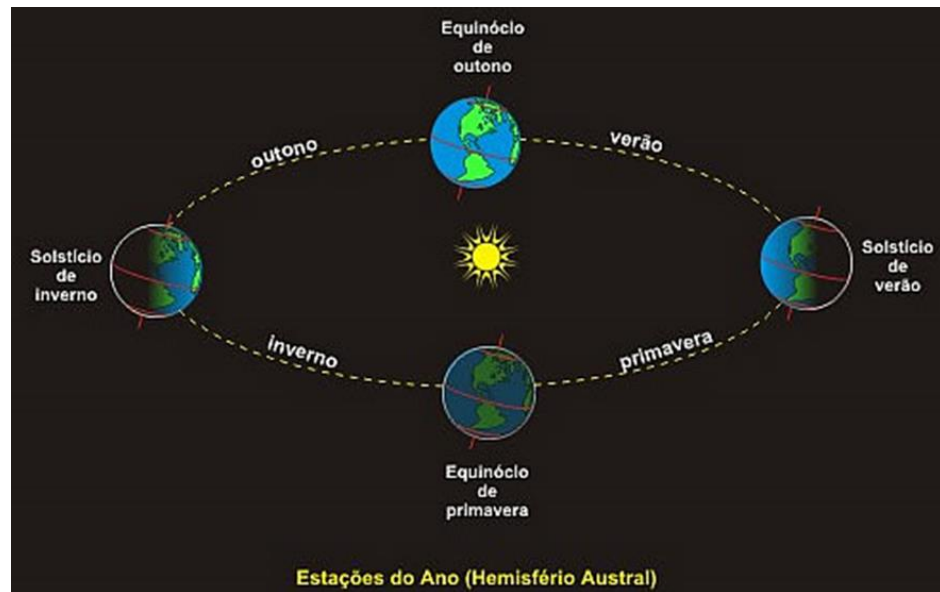
A radiação solar direta é a que tem menos perda de energia, pois não sofre desvios na sua trajetória, logo é mais eficiente. Já a radiação difusa ocorre da ação de espalhamento na atmosfera, esses desvios decorrem por causa da umidade do ar, nebulosidade e poluição (VIEIRA, 2014).

2.1.2 Movimentos da Terra

Os raios oriundos do Sol incidem no solo com diferentes ângulos durante o dia, isto acontece, pois, a Terra se movimenta em torno do Sol com dois tipos de movimentos, o de translação e o de rotação. No movimento de rotação, a Terra gira em torno do seu próprio eixo, já no movimento de translação, a Terra gira ao redor do Sol fazendo uma trajetória elíptica.

No movimento de translação, o ponto em que a Terra e o Sol se encontram mais próximos é chamado de periélio, e quando eles se encontram mais afastados possível é chamado de afélio (Figura 2).

Figura 2 - Movimentos da Terra



Fonte: Fundação planetário da cidade do Rio de Janeiro (2015)

Esses movimentos interferem na duração dos dias e noites e na intensidade dos raios solares que chegam a Terra durante o dia. Percebe-se que a intensidade da radiação solar apresenta maior intensidade é às onze horas e vinte e seis minutos, segundo Stellarium, pois a posição do sol está mais alta.

2.2 Os modelos de concentradores solar

2.2.1 Coletor de Calha Parabólica

As calhas parabólicas espelhadas (Figura 3) são usadas para concentrar energia solar em um ponto para captação desta, normalmente em forma de tubo, que são produzidas para seguirem a trajetória do sol. No tubo circula um fluido que é aquecido podendo atingir a temperatura de aproximadamente 400°C, onde o fluido poderá passar do estado líquido para gasoso, assim pode-se gerar energia elétrica através do movimento das turbinas.

Figura 3 - Modelos de coletor de calhas parabólicas



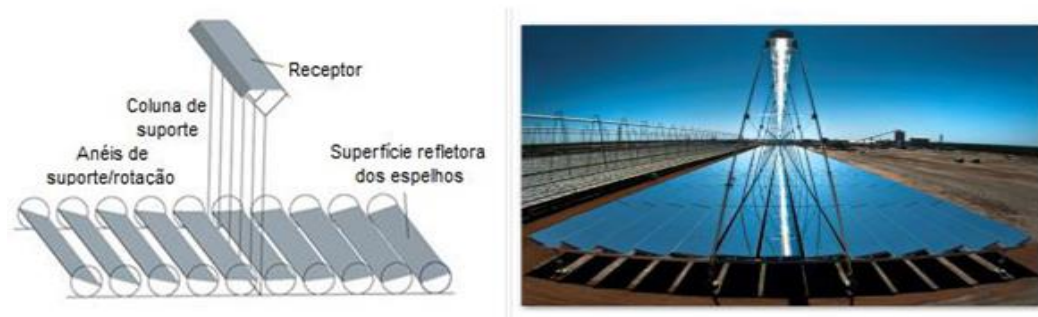
Fonte: Sunlution (2016).

As vantagens de utilizar a calha parabólica são: ter eficiência ao coletar calor elevado; tem a possibilidade de fazer a troca de calor com diferentes tipos de fluidos; aplicação em qualquer dimensão; baixo custo na sua obtenção; sistema automático; capacidade de fazer armazenamento térmico. É usado para aquecer fluido no gerador de vapor que por sua vez produz eletricidade.

2.2.2 Refletor Linear de Fresnel (LFR)

O refletor linear de Fresnel (Figura 4) é estimado a nova tecnologia e com redução de custos na fabricação, apesar de ser menos eficiente por ter um formato plano, assim tendo dissipação dos raios. O funcionamento deste é formado por diversas filas de espelhos planos que direcionam os raios ao foco, onde fica o receptor tubular que não é móvel. A temperatura neste sistema pode chegar até 450°C.

Figura 4 - Refletor linear de Fresnel



Fonte: Focusolar (2016).

A principal vantagem do Fresnel é possuir uma fácil implantação e ser de baixo custo, apesar de ter um menor rendimento comparado com o coletor solar parabólico. Normalmente são aplicados na indústria pela procura de calor de processo elevado, apesar de poder ser usada para gerar eletricidade e vapor extra.

2.2.3 Prato Parabólico

O prato parabólico (Figura 5) é formado por um disco parabólico revestido de espelho, onde o seu receptor é localizado na frente do concentrador. Os raios solares incidem no espelho e refletem até o receptor por onde o fluido passa, aquecendo-o. Este sistema pode alcançar temperaturas de até 750°C. Quanto maior o poder de concentrar no foco, isto é, mais precisa é a mancha focal gerada pelo concentrador, mais cara será a construção do prato parabólico.

Figura 5 - Prato parabólico



Fonte: Focusolar (2016).

Tem sido aplicado para aquecimento de água e em fogões solares, onde a temperatura depende da concentração de raios que incidem no foco. Assim, cedendo energia suficiente para o cozimento dos alimentos. Alguns dos países que usam esta técnica são a China, a Índia e o Peru.

O prato parabólico é utilizado para geração de eletricidade, através de um sistema contendo um motor stirling no foco, onde o calor fornecido pelo prato espelhado passa a aquecer o fluido dentro do motor, fazendo com que a energia mecânica seja usada para a execução de um gerador. Os pratos se tornam atrativos pela rapidez em que são instalados.

2.2.4 Torre Central

A torre central (Figura 6) é um sistema formado por uma torre no centro e heliostatos, que são vários espelhos lineares. Os heliostatos concentram os raios de luz em um determinado ponto no alto da torre, onde aquece o fluido e que depois do seu aquecimento, o fluido é transportado para a geração de vapor, localizado na parte térrea do sistema. As temperaturas alcançadas pela torre podem chegar a 2000°C. Com elevada temperatura este sistema é empregado em geração de energia e também pode ser associado a turbina de vapor.

Figura 6 - Exemplo de aquecimento solar através do modelo de Torre central



Fonte: G1(2016).

Esta tecnologia é eficaz em armazenamento de energia térmica, por consequência em produção elétrica também. Necessitam de uma grande área para a sua construção.

2.3 Funcionamento de um aquecedor solar parabólico

O funcionamento de um aquecedor solar parabólico é fundamentado na capacidade de absorver energia do sol, para isto é necessário que o concentrador esteja voltado para a localização do sol durante sua utilização. A energia solar é emitida por radiação, onde o concentrador capta os raios, que por sua vez reflete no espelho que está na parábola, concentrando-se todos os raios incididos em um ponto, chamado de foco. No foco acontece a transferência de calor para o fluido, a água, aquecendo-a de modo cíclico, ou seja, a água fria sai do reservatório após ser aquecida e retorna ao reservatório, isto por causa da diferença de massa específica entre elas.

3 METODOLOGIA

A pesquisa realizada é classificada como pesquisa quantitativa, quando classificada quanto sua natureza, visto que esta utiliza de recursos para analisar as informações, que no caso são as temperaturas do sistema do concentrador solar.

3.1 Procedimento de montagem do concentrador

Para o desenvolvimento de um mini concentrador solar residencial adquiriu-se os materiais básicos para a fabricação e testes e em seguida foi prosseguido com a confecção e ensaio.

Para a fabricação do dispositivo foram utilizados os seguintes materiais:

- 0,4 m² de espelho de 2 mm;
- Gesso para alguns isolamentos térmicos;
- Uma antena parabólica;
- Silicone;
- 1 metro de serpentina de cobre de 5 mm;
- 2 metros de isolamento de tubulação de poliuretano para impedir as perdas energéticas durante o escoamento do fluido;
- Cerca de 5 metros de mangueira de 5 mm de espessura para o escoamento do fluido;
- Tubos de alumínio de 5 mm de espessura para unir as mangueiras e fazer as medidas de temperatura;
- Uma placa de metal para conter os raios de radiação que tenderiam a passar por entre as frestas do “caracol” feito com o tubo de cobre.

Primeiramente foi cortado o espelho de 2 mm de espessura em quadrado de aproximadamente 2x2 centímetros com o auxílio de um cortador de espelhos de ponta diamantada. Depois colou-se os espelhos cortados na parabólica com silicone, de tal forma a montar um grande quebra cabeça de espelhos com formato côncavo, em que o foco deste espelho seria o próprio ponto de concentração da antiga antena de TV. Esse conjunto pode ser visto na figura 7(a).

Figura 7 - Concentrador solar parabólico elaborado

(a) Vista 1 do concentrador solar parabólico, (b) Vista 2 do concentrador solar parabólico



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria (2016).

A serpentina de cobre foi dobrada de tal forma que formasse um caracol por onde passaria a água enquanto era aquecida no concentrador. Essa serpentina foi posteriormente posicionada no foco do conjunto de espelhos côncavos.

Para garantir um melhor aproveitamento da energia concentrada no foco da parábola, foi fixado junto ao “caracol” produzido com o tubo de cobre, uma chapa de metal, o qual impediria que parte dos raios passassem por entre as frestas da tubulação. A chapa foi disposta no lado oposto ao concentrador, retendo os raios solares que tenderiam a passar. Posterior a essa chapa de aço foi posta uma placa de gesso para isolar termicamente a chapa e impedir perdas térmicas para o ambiente.

Com os passos anteriores concluídos, foi realizada a montagem do aparato como um todo. Tudo foi montado com o auxílio de parafusos e porcas (os mesmos que já existiam na antiga antena de TV). Também foram utilizados parafusos para fixar todo o conjunto em uma base de madeira para dar sustentação ao equipamento.

A ligação do fluido entre o concentrador e o reservatório foi feito pelas mangueiras de 5 mm de diâmetro, pelas quais circularam a água fria (antes do concentrador) e quente (posterior ao concentrados). Mostrado na Figura 7(a).

Para a realização das medidas de temperaturas, foram fixados termopares tipo K nos pontos de interesse (Na entrada de água no foco, na saída de água do foco, na saída próximo ao reservatório e outro no foco).

Estes termopares verificam as temperaturas da água antes de passar pelo foco e após a sua passagem pelo mesmo, bem como temperatura instantânea do foco (Figura 7(b)).

3.2 Procedimento de montagem do reservatório

Para cumprir o papel do aquecimento de água, fez-se necessária a produção de um reservatório térmico para armazenar a água aquecida para seu posterior uso.

Para a produção deste reservatório foi necessário o seguinte material:

- Um garrafão de água mineral de 20L;
- Três folhas de isopor (EPS) de 5 mm;
- Uma folha de isopor (EPS) de 15 mm;
- Fita adesiva;
- Silicone.

Inicialmente foram feitos os furos no garrafão de água mineral (um na parte superior e outro na região inferior) pelos quais seriam acopladas as tubulações por onde ocorreria a circulação da água para o concentrador solar. Nessas cavidades foram fixadas as mangueiras de 5 mm de espessura que vinham do concentrador (mangueiras de circulação de água). A fixação e isolamento dessas mangueiras foram realizados com cola de silicone e gesso para garantir a rigidez, a fim de que não houvesse fragilização e uma consequente ruptura do encontro do reservatório e a mangueira, ocasionando possíveis vazamentos.

Após realizadas as ligações hidráulicas, cobriu-se o garrafão de água mineral de 20 litros com três folhas de isopor com 5 milímetro de espessura cada e a folha de quinze milímetro foi cortada em círculo para fazer a tampa do recipiente. Utilizou-se silicone para fechar as folhas e as tampas. Isto foi feito com a finalidade de isolar água do recipiente com o meio externo, para minimizar as trocas de calor e consequentemente manter a água aquecida por mais tempo, visto que as maiores necessidades de água quente em uma residência se dá no período da noite e de manhã, quando não há a presença de sol e, portanto, a energia absorvida durante o dia deveria ser mantida no recipiente para a utilização horas após ser encerrado o fornecimento de calor para o sistema.

O reservatório construído foi colocado acima de um cavalete (Figura 8), a uma altura de aproximadamente 1,5 metros, isso foi necessário para que a água circulasse por todo sistema montado. A circulação da água, inicia-se na entrada da serpentina onde é aquecida, depois de sair da serpentina com a temperatura elevada, sobe para o reservatório. Dentro do reservatório, a água ao se resfriar vai para a base do reservatório e por fim desce para a entrada da serpentina. O ciclo é contínuo durante todo o experimento.

Figura 8 - Protótipo do reservatório elaborado



Fonte: Aatoria própria (2016).

3.3 Ensaios

Primeiro foi escolhido o local para montar o sistema de aquecimento, a localização foi definida escolhendo-se um local onde não tivesse sombras, para que isso não afetasse na incidência de raios sobre o coletor.

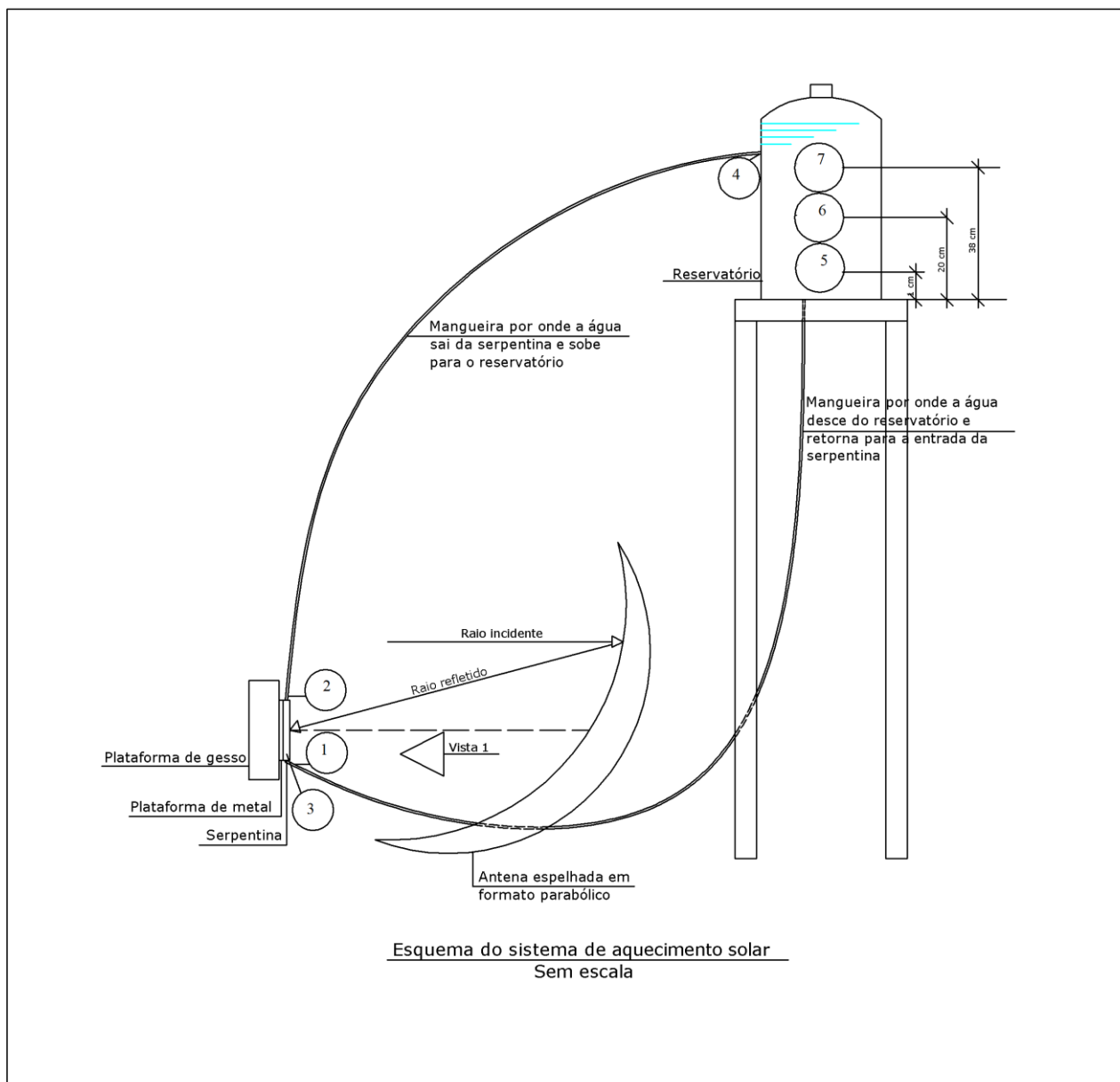
Os ensaios foram feitos na UFERSA campus Caraúbas, durante cinco dias, começando às oito horas e trinta minutos da manhã até às quatorze horas e trinta minutos da tarde. Durante as medições, a superfície espelhada era movimentada para que esta fosse ajustada a incidência dos raios, que apresentava ângulos de incidência diferentes pela mudança na posição do sol.

As medições no sistema foram realizadas a cada 30 minutos, onde era feita uma medição em 7 locais identificados na figura a seguir pelas circunferências. São eles:

- Temperatura da água na entrada da serpentina - Representação na figura 9: 1;
- Temperatura da água na saída da serpentina - Representação na figura 9: 2;
- Temperatura do cobre da serpentina (foco) - Representação na figura 9: 3;
- Temperatura da água na entrada do reservatório - Representação na figura 9: 4;
- Temperatura da água na base do garrafão (1 cm da base) - Representação na figura 9: 5;
- Temperatura da água no meio do garrafão (20 cm da base) - Representação na figura 9: 6;
- Temperatura da água no topo do garrafão (38 cm da base) - Representação na figura 9: 7.

As medições em locais diferentes no interior do reservatório são necessárias porque, a água quente é menos densa e tende a ficar na parte superior, já a água fria é mais densa, e por isso tende a ficar na parte inferior do recipiente.

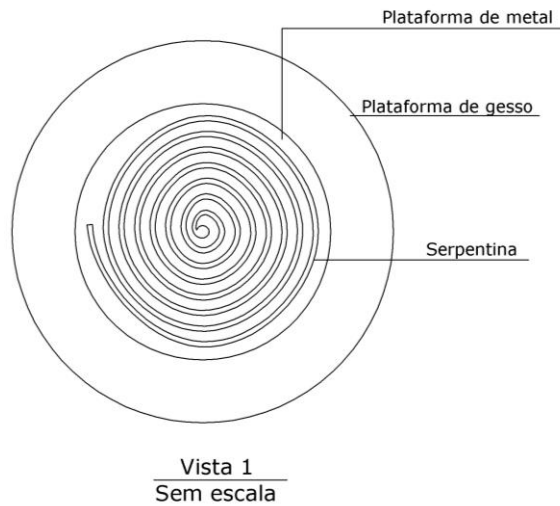
Figura 9 - Esquema do sistema solar construído



Fonte: Autoria própria (2016).

A figura a seguir é a vista frontal da montagem da serpentina localizada no foco do concentrador solar, esta é uma complementação da figura 9. A figura 10 está representada na figura 9 como Vista 1.

Figura 10 - Vista da montagem localizada no foco do concentrador



Fonte: Autoria própria (2016)

A figura 11 mostra o protótipo montado:

Figura 11 - Protótipo final do concentrador solar com o reservatório



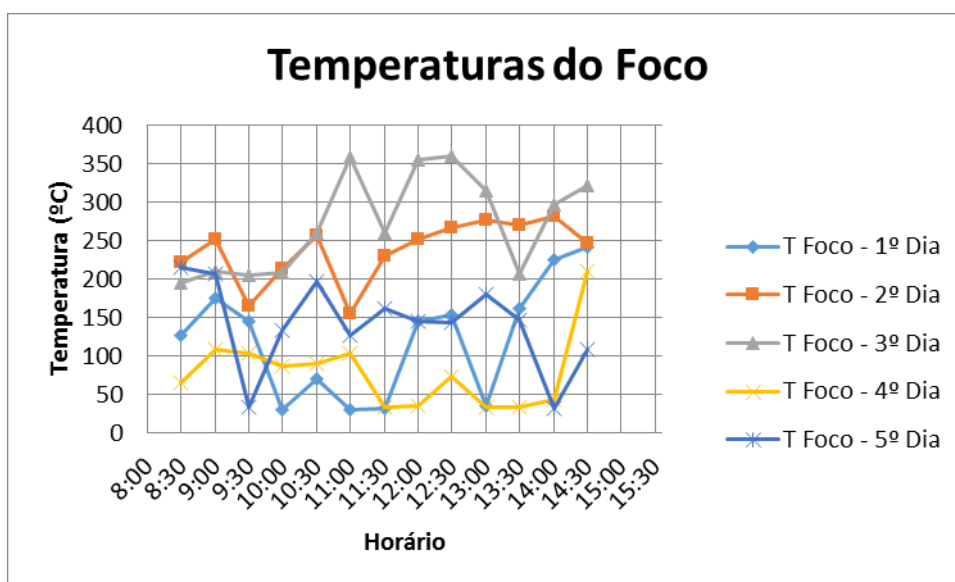
Fonte: Autoria própria (2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No período de cinco dias foram feitos ensaios para coletar dados das temperaturas no sistema de aquecimento de água, para analisar-se a eficiência do mesmo durante os procedimentos de funcionamento. Nos gráficos a seguir, os valores do eixo vertical são referentes as temperaturas medidas e os valores do eixo horizontal são referentes ao horário.

4.1 Temperaturas no foco

Figura 12 -Temperaturas no foco do concentrador solar



Fonte: Autoria própria (2016).

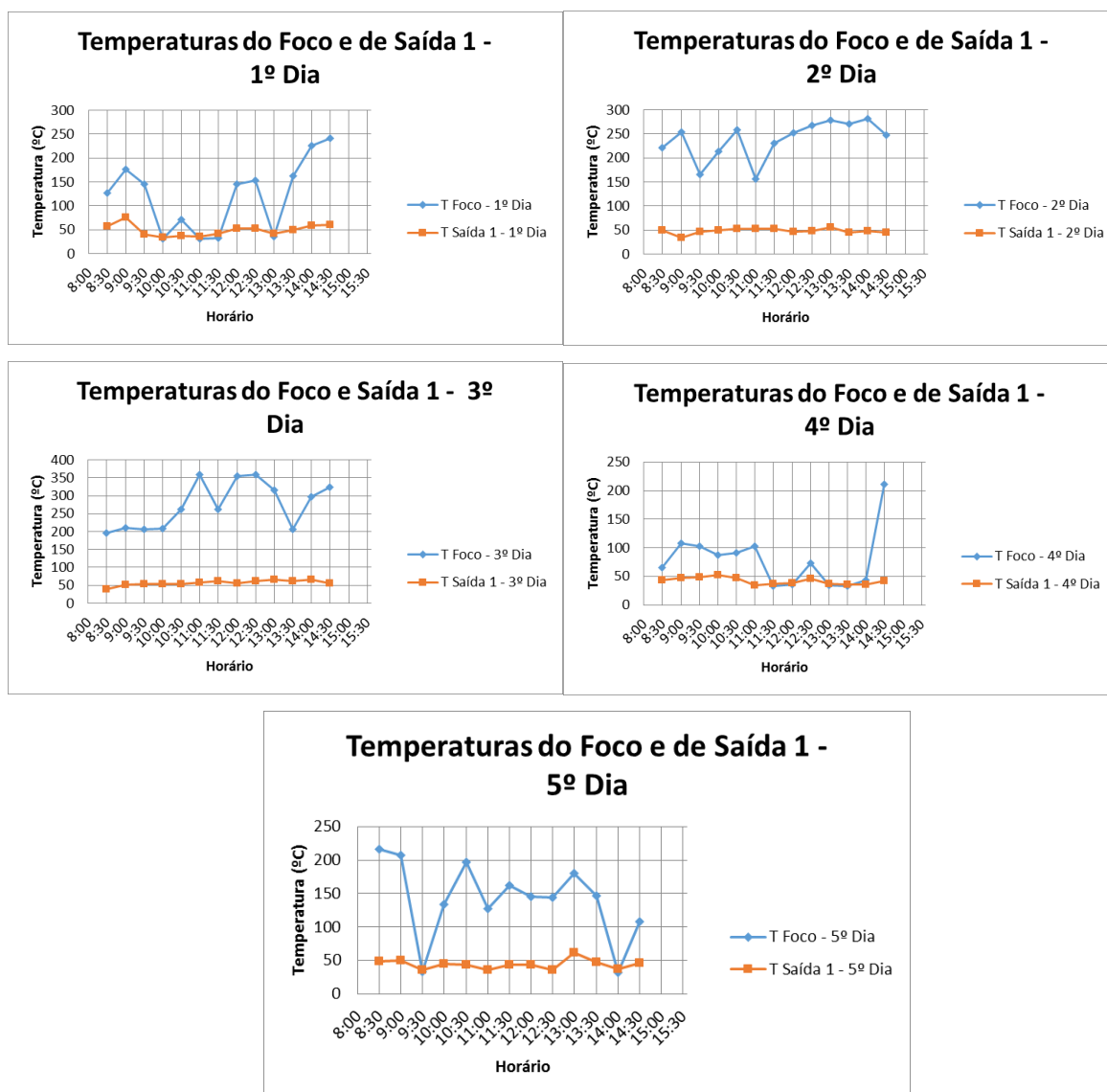
De acordo com a Figura 12, verificou-se que não há regularidade nas temperaturas medidas no foco do concentrador solar, isso pode ter ocorrido principalmente pela variação no ângulo de incidência dos raios solares. Como o Sol está constantemente mudando de posição, os raios solares incidem em ângulos diferentes durante toda a medição, sabendo que somente os raios que chegam paralelos ao eixo principal atingem o foco do concentrador, tem-se como consequência uma dispersão nos valores avaliados. Outros fatores também podem interferir na temperatura do foco, a presença de nuvens, por exemplo, pode causar a reflexão dos raios nela mesma, fazendo com que os raios solares não incidam no concentrador. Em alguns casos, somente parte dos raios solares atravessam as nuvens, ocorrendo a radiação difusa.

Ainda de acordo com a Figura 12, podemos perceber que a maior temperatura registrada no foco aconteceu no terceiro dia de medições, atingindo uma temperatura

aproximada de 350°C. De modo geral, o terceiro dia apresentou as maiores temperaturas no foco.

4.2 Temperaturas no foco e de saída 1

Figura 13 - Temperaturas no foco e na saída da serpentina (saída 1)



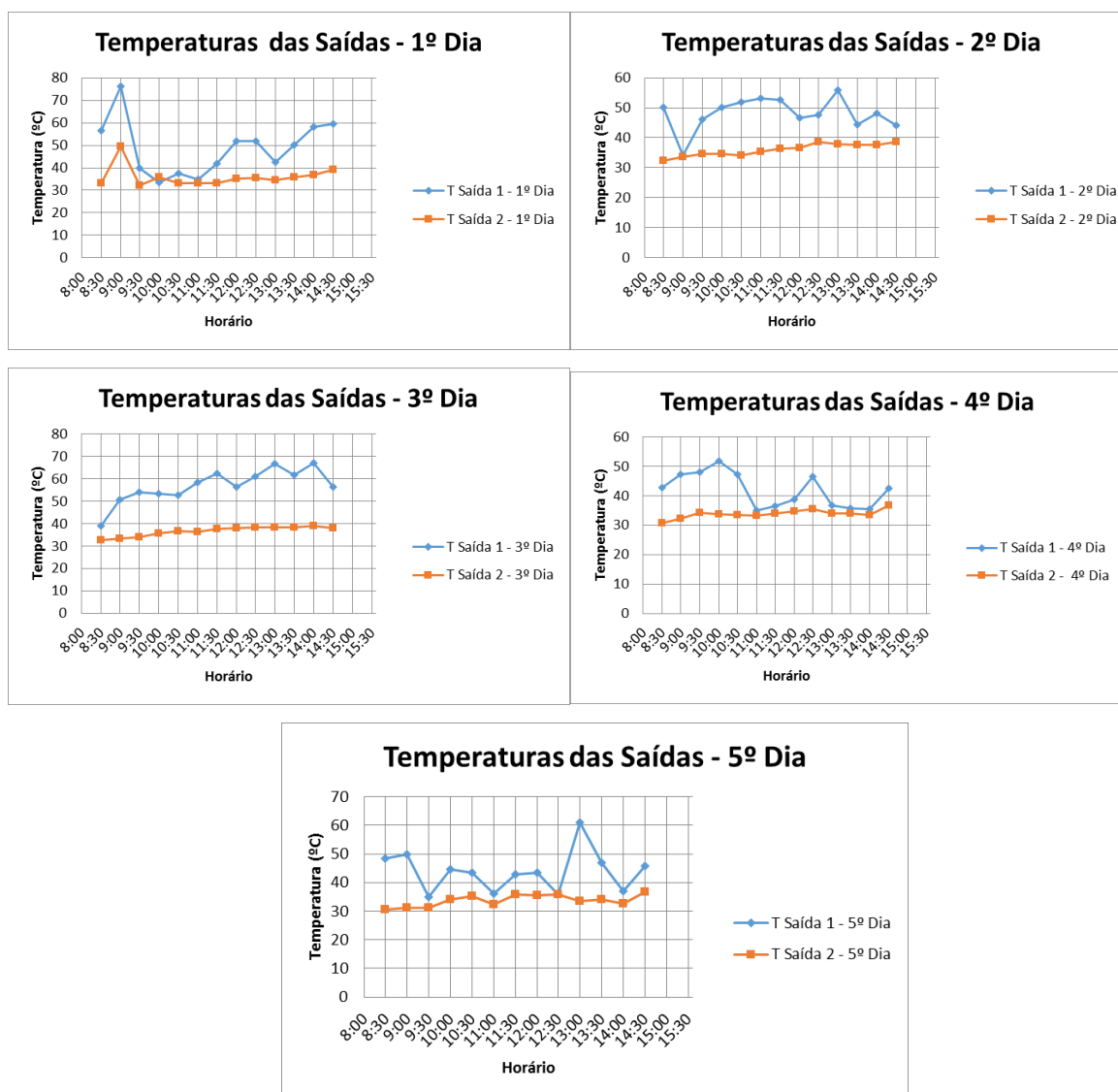
Fonte: Autoria Própria (2016).

Os gráficos apresentados na figura 13, mostram duas temperaturas: as temperaturas no foco e as temperaturas na saída da serpentina. As temperaturas de saída da serpentina, representada nos gráficos como Saída 1, apresentaram medidas razoavelmente constantes quando comparadas as temperaturas no foco. As temperaturas do foco se apresentam muito maiores que da saída da serpentina, porque a temperatura do foco é medida no cobre da

serpentina. Esse metal está em constante incidência de raios, logo terá uma temperatura maior que a temperatura da água na saída da serpentina, visto que a água está em constante movimento e não permanece na serpentina. A análise conjunta dessas duas medidas, avaliou-se que as temperaturas vistas na saída da serpentina giram em torno de 50°C, tendo uma variação de aproximadamente 20°C para mais ou para menos. A explicação das temperaturas medidas na saída da serpentina se deve ao fato que ao atingir uma determinada temperatura, que pelo gráfico pode-se dizer que é de aproximadamente 50°C, a água sobe para o reservatório, para então ser armazenada.

4.3 Temperaturas de saída da serpentina e entrada do reservatório

Figura 14 - Temperaturas de saída da serpentina (saída) e de entrada do reservatório (saída 2)

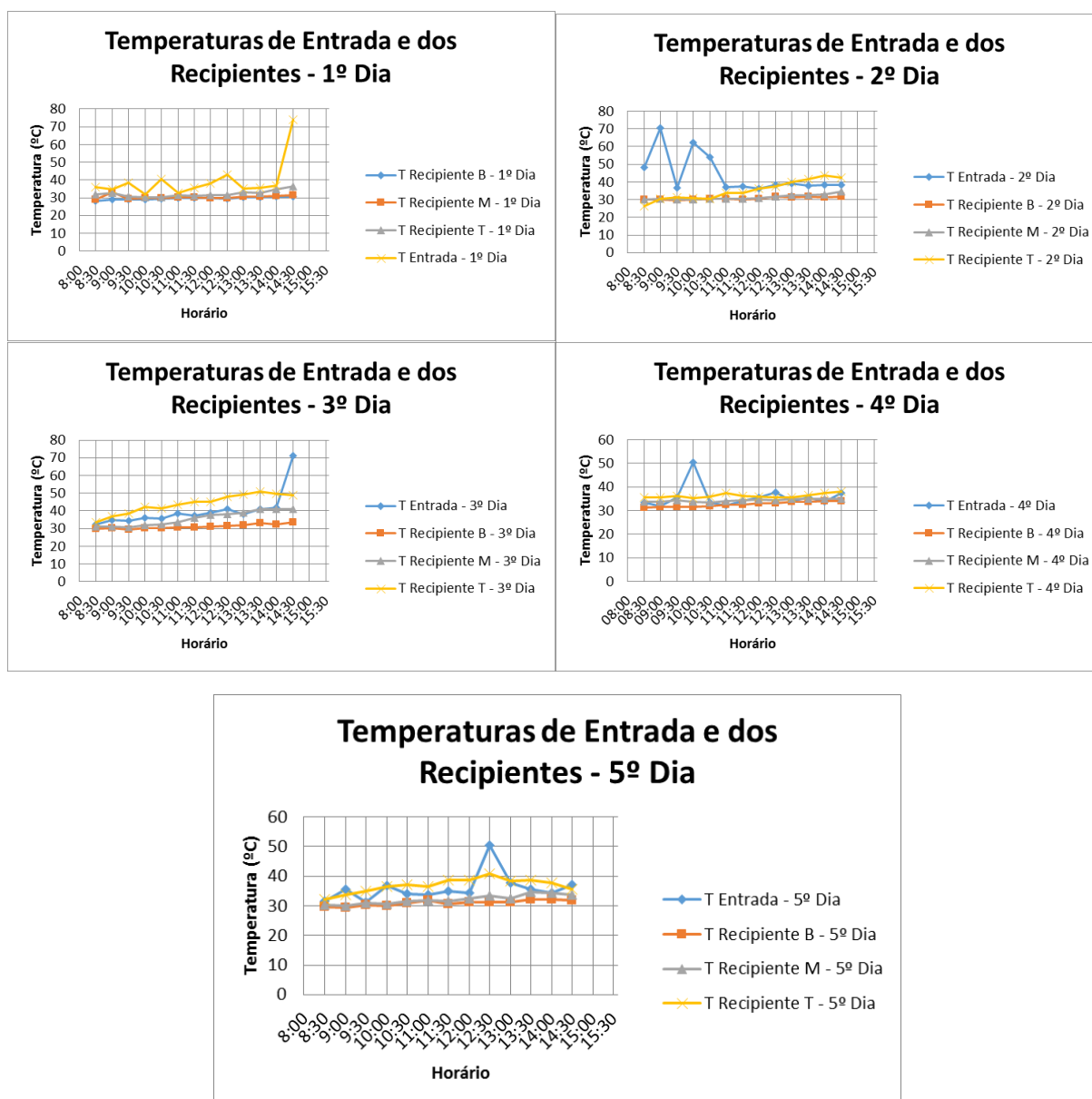


Fonte: Autoria Própria (2016).

Os gráficos da figura 14 apresentam os valores das temperaturas medidas na saída serpentina, representadas nos gráficos como Saída 1, e na entrada do recipiente, representadas nos gráficos como Saída 2. Fazendo uma análise dos gráficos, tem-se que a temperatura de saída da serpentina é maior que a de entrada do recipiente, isso ocorreu pela dispersão de calor da água no decorrer do percurso saída da serpentina- entrada do reservatório, a perda de calor é explicada pelo isolamento insuficiente do percurso citado.

4.4 Temperaturas de entrada da serpentina e no recipiente em diferentes níveis

Figura 15 - Temperaturas de entrada da serpentina (T Entrada) e no recipiente em diferentes níveis (T recipiente B, T recipiente M e recipiente T)



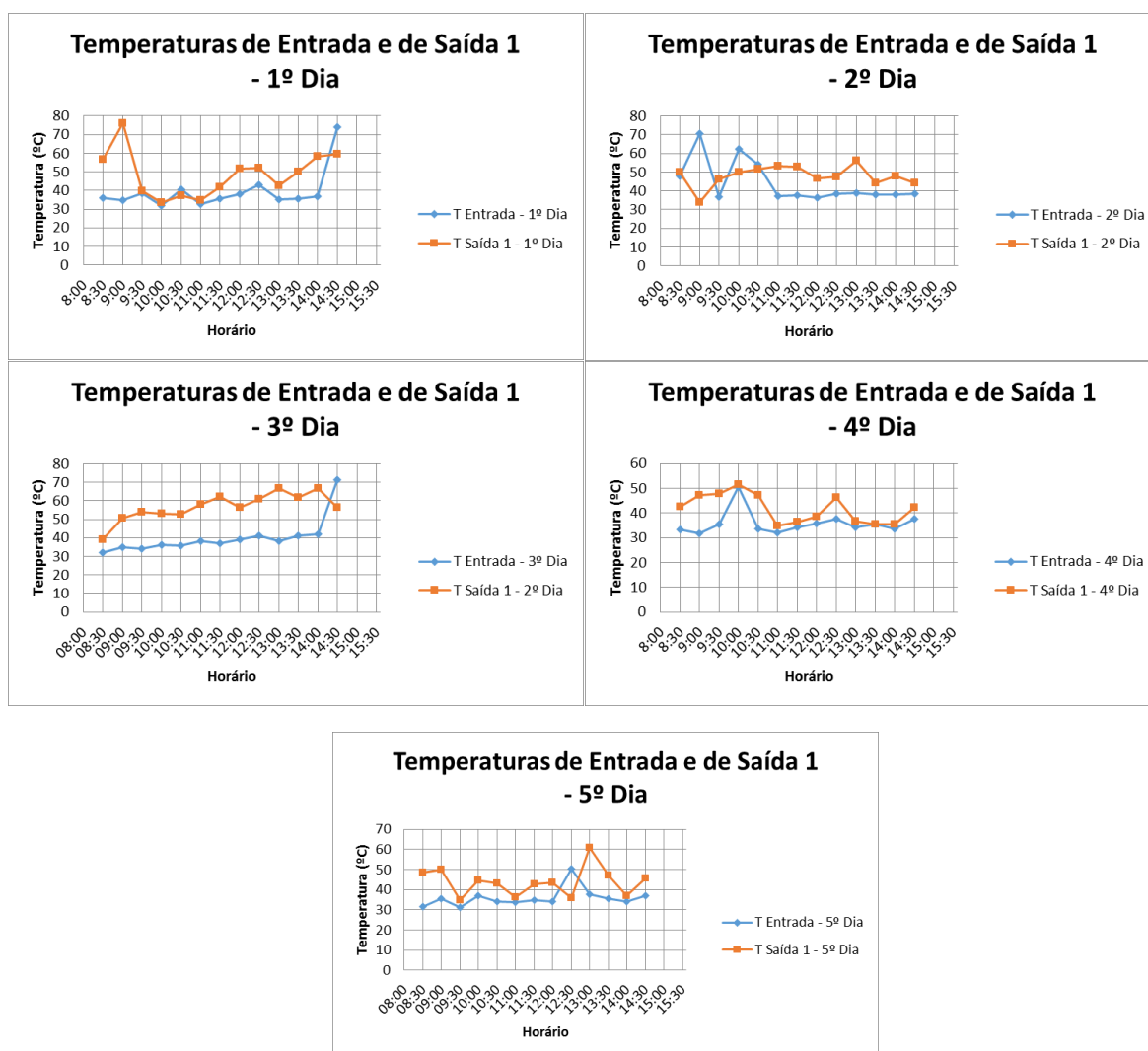
Fonte: Autoria Própria (2016).

Nos gráficos da figura 15, a temperatura de entrada da serpentina está representada por "T Entrada" e as temperaturas no recipiente está representada por: "T Recipiente B" para as temperaturas medidas na base do recipiente, "T Recipiente M" para as temperaturas medidas no meio do recipiente e "T Recipiente T" para as temperaturas medidas no topo do recipiente.

Na análise dos gráficos do 3º, 4º e 5º dia percebe-se que as temperaturas de medidas no topo do recipiente, foram em sua maioria, maiores que a temperatura de entrada na serpentina, como era esperado. Porém, em algumas medidas, principalmente no 1º e 2º dia, aconteceu o inverso, as temperaturas de entrada da serpentina foram maiores que a do topo do recipiente. Isso pode ter ocorrido por erro humano durante a construção do protótipo desenvolvido, visto que para fixar o termopar na entrada da serpentina foi utilizado um metal que estava em contato com a água, esse material por ser bom condutor de calor pode se aquecer rapidamente quando exposto aos raios solares, que por meio do fenômeno da condução terá aquecido a água presente na entrada da serpentina.

4.5 Temperaturas de entrada e saída da serpentina

Figura 16 - Temperaturas de entrada e saída da serpentina



Fonte: Autoria Própria (2016).

Os gráficos da figura 16, apresentam as temperaturas de entrada e saída da serpentina, representa por "T Entrada" e "T Saída", respectivamente. Com exceção de algumas medidas, de modo geral, as temperaturas na saída da serpentina foram maiores que as da entrada da serpentina, como esperado, já que ao passar pela serpentina que estava localizada no foco do concentrador a água aqueceu. Em determinados pontos do gráfico, ocorreu a inversão das temperaturas, pode ter acontecido por erro no projeto, pois o termopar de entrada era fixado em um metal, que pode ter sido aquecido pelos raios. Isso mostra que o concentrador solar funcionou adequadamente.

5 CONCLUSÕES

As medidas e análises das temperaturas mostram que o concentrador solar elaborado é eficiente visto que as temperaturas atingidas pela água depois de passar pela serpentina foram mais elevadas que as medidas antes de entrar na serpentina.

Os dados também mostram que há muita perda de calor no decorrer da saída da serpentina até chegar na entrada do reservatório, como também no interior do recipiente.

Também é relevante ressaltar que em todo experimento podem ocorrer erros humanos ou do equipamento. Durante toda a construção e experimentação do protótipo, foram tomados uma série de cuidados para reduzir ao máximo possíveis erros, ainda assim, ocorreu erros humanos durante as medições de temperaturas, durante a montagem dos espelhos na antena parabólica e no corte do tamanho do espelho.

Em síntese, é visto que para que um concentrador solar tenha uso real, seria necessário estudar maneiras de como fazer um isolamento melhor, pois, houveram muitas perdas nos dutos, no reservatório e o sistema de serpentina dificultou a circulação da água. Para que a diminuição da temperatura da água armazenada fosse evitada ao máximo.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Diminuir o espaço entre os espelhos fichados na parabólica, para não haver desvio de raio para o foco, assim se consegue maior eficiência do concentrador solar;
- Colocar sensores para que o concentrador se mova de acordo com o movimento que o sol, para coletar maior quantidade de raios no foco;
- Pintar a serpentina de preto da maior absorção de calor no foco, melhorando os resultados;
- Escolher um local que possa aumentar o intervalo de tempo de ensaios;
- Melhorar o isolamento na saída, após o aquecimento do fluido, diminuindo a troca de calor com o meio externo.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Chamada Nº 019/2015 Projeto Estratégico: Desenvolvimento de Tecnologia Nacional de Geração Heliotérmica de Energia Elétrica**. Brasília, Df. Setembro, 2015.

BEZERRA, A. M.. **Aplicações Térmicas da Energia Solar**, Editora Universitária, João Pessoa, Pb, 2001.

BIANCHINI, Henrique Magalhães. **Avaliação Comparativa de Sistemas de Energia Solar Térmica**. Monografia. Rio de Janeiro, Abril de 2013.

DIAS, Artur M.; PERREIRA, Hevans V.; COELHO, Roberto. **Utilização de Energia Solar Térmica Através de Concentrador Solar Parabólico**. Projeto em Energia III. Porto Alegre, 2015.

FILHO, José R. B. Projeto. **Construção e levantamento de Desempenho de um Concentrador Solar Cilíndrico Parabólico com Mecanismo de Automático de Rastreamento Solar**. Dissertação. Natal, Abril de 2008.

FOCUSOLAR. **Solar**. [S. l.]: Focusolar, 2015. Disponível em:
<<http://focusolar.com.br/concentracao-de-energia-solar-para-geracao-de-potencia-eletrica/>>.
Acesso em: 20 mai. 2016.

G1. **Notícias**. São Paulo: Globo, 2009. Disponível em:
<<http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL1385898-5603,00-EXPANSAO+DA+ENERGIA+SOLAR+NO+BRASIL+DEPENDE+DE+LEI+EM+DEBATE+NO+SENADO.html>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

HO, Denny A.; ITO, Eric A.. **Projeto e Construção de Aquecedor Solar com Concentrador**.

JUNIOR, Etevaldo Francisco Carreira. **Aquecimento Solar de Água em Processos Industriais**. Dissertação. São Paulo, 2015.

LIMA, Vinícius Geraldo. **Construção de um Aquecedor Solar de Água Sustentável**. Monografia. Caraúbas, 2015.

MAZZON, Luís Augusto Ferrari; MESQUITA, Lúcio César de Souza; MESQUITA, Marcelo. **Energia Solar Térmica**. São Paulo. Agosto, 2014.

ROCHA, Cassiana Batista; OLIVEIRA, Dayani; MARIANO, André Bellin; BALMANT, Wellington; VARGAS, José Viriato coelho. **Desenvolvimento de um Concentrador Solar para Aquecimento de Água.**

SUNLUTION. **Espelhos parabólicos.** [S. l.]: Sunlution, 2016. Disponível em: <<http://sunlution.com.br/produtos-e-servicos/espelhos-parabolicos/>>. Acesso em: 21 mai. 2016.

TRÍPOLE, Édison C. S.. **Potencial de Utilização de Fibras Ópticas no Desenvolvimento de Concentradores Solares.** Tese. Viçosa, Fevereiro de 2004.

VIEIRA, Romênia Gurgel. **Análise Comparativa do Desempenho entre um Painel Solar e com Rastreamento no Município de Mossoró-RN.** Dissertação. Mossoró, 2014. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFER_258c11a64172c7cac114b8d035d8d355/Details>. Acesso em: 22 mai. 2016.