



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CÁSSIO ALENCAR BARRETO

**CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE
ÁGUA DE BAIXO CUSTO COM SERPENTINA DE ALUMÍNIO E UM
COLETOR COM COBERTURA DE POLICLORETO DE VINILA.**

CARAÚBAS-RN

2023

CÁSSIO ALENCAR BARRETO

**CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE
ÁGUA DE BAIXO CUSTO COM SERPENTINA DE ALUMÍNIO E UM
COLETOR COM COBERTURA DE POLICLORETO DE VINILA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Mecânica da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Rudson de Souza Lima.

CARAÚBAS-RN

2023

©Todos os direitos estão reservados à 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 9.279/1996, 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, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

B273c Barreto, Cássio Alencar.

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR
DE ÁGUA DE BAIXO CUSTO COM SERPENTINA DE ALUMÍNIO
E UM COLETOR COM COBERTURA DE POLICLORETO DE
VINILA. / Cássio Alencar Barreto. - 2023.
59 f. : il.

Orientador: Rudson de Souza Lima.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2023.

1. Aquecedores. 2. Baixo custo. 3. Energia. 4.
Coletores. 5. Energia solar. I. Lima, Rudson de
Souza, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

Setor de Informação e Referência

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

CÁSSIO ALENCAR BARRETO

**CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE
ÁGUA DE BAIXO CUSTO COM SERPENTINA DE ALUMÍNIO E UM
COLETOR COM COBERTURA DE POLICLORETO DE VINILA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Mecânica da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Engenheiro Mecânico.

Defendida em: 18 / 05 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

**Rudson de Souza
Lima**

Assinado de forma digital por
Rudson de Souza Lima
Dados: 2023.05.25 20:14:23 -03'00'

Prof. Dr. Rudson de Souza Lima (UFERSA)
Presidente

RAFAEL LUZ
ESPINDOLA: [REDACTED]

Assinado de forma digital por RAFAEL
LUZ ESPINDOLA: [REDACTED]
Dados: 2023.05.26 15:20:35 -03'00'

Prof. Dr. Rafael Luz Espindola (UFERSA)
Membro Examinador



Assinado de forma digital por
ITALLA MEDEIROS
BEZERRA: [REDACTED]
Dados: 2023.05.25 23:13:13 -03'00'

Prof. Dra. Italla Medeiros Bezerra (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por poder chegar até onde cheguei.

Aos meus pais, Maria Erisvoluzia e Francisco de Assis, por todo apoio, dedicação, amor e incentivo aos meus estudos.

Ao Prof. Dr. Rudson de Souza Lima por toda a dedicação, apoio, amizade e por aceitar ser meu orientador.

Agradeço a Banca Examinadora por toda a disponibilidade e por poder contribuir para o meu crescimento pessoal.

Agradeço ao CarabajaSAE por me propiciar muito aprendizado e momentos únicos.

Agradeço a Samir Adson, técnico dos laboratórios de engenharia mecânica da UFERSA campus Caraúbas, que me ajudou dando apoio a todo o instante enquanto desenvolvia o protótipo. Aos agentes de limpeza Cleberson Wilton e Romilda Fernandes pelo apoio.

Agradeço aos meus irmãos, Mabely Alencar e Kaio Alencar por estarem sempre ao meu lado me apoiando e me ajudando de todas as formas possíveis.

Aos meus amigos Kaio Alencar, Ivan Gustavo, Heithor Syro, Danilo Lima, Girlandio Moura, Gustavo de Brito por sempre me incentivarem a buscar meu máximo sempre.

Agradeço a minha namorada Fernanda Horranne que sempre me serviu de suporte e me ajudou a passar por cada momento em toda a graduação.

“Por mais difícil que a vida possa parecer,
existe sempre algo que você pode fazer e
alcançar.”

Stephen Hawking

RESUMO

Se tratando de energias renováveis, principalmente a solar, o Brasil é um país privilegiado, pois o mesmo apresenta grande irradiação solar durante todo o ano. No Brasil se tratando de energia elétrica, cerca de 24% da energia elétrica residencial é utilizada para o aquecimento de água, porém o custo da energia elétrica é elevado. Tendo em vista que a grande maioria da população brasileira sobrevive com menos de um salário mínimo, para diminuição dos custos da energia elétrica, pode-se implementar um sistema de aquecimento solar de água. O presente trabalho aqui exposto teve como objetivo desenvolver um sistema de aquecimento solar de baixo custo. Para a construção do coletor os materiais utilizados foram madeiras para a base, tubos de alumínio para as serpentinas, canos e conexões PVC e película plástica de PVC para a cobertura do coletor. Quanto ao reservatório, utilizou-se um balde de 60 litros, no qual o isolamento foi feito com uma mistura de 1:1 de Gesso e EPS (isopor). O protótipo obteve um custo consideravelmente baixo quando comparado a um comercial. Ao se analisar as temperaturas do sistema durante os testes foi possível notar que o mesmo atingiu temperaturas elevadas e apresentou poucas perdas de calor em sua tubulação entre coletor e reservatório. Por fim foi possível observar que o protótipo construído apresenta um baixo custo e consegue propiciar temperaturas consideráveis.

Palavras-chave: Aquecedores. Baixo custo. Energia. Energia solar. Coletores. Calor.

ABSTRACT

When it comes to renewable energies, mainly solar, Brazil is a privileged country, as it has great solar irradiation throughout the year. In Brazil, when it comes to electricity, about 24% of residential electricity is used to heat water, but the cost of electricity is high. Considering that the vast majority of the Brazilian population survives on less than one minimum wage, in order to reduce electricity costs, a solar water heating system can be implemented. The present work exposed here aimed to develop a low cost solar heating system. For the construction of the collector, the materials used were wood for the base, aluminum tubes for the coils, PVC pipes and connections, and PVC plastic film for the collector cover. As for the reservoir, a 60-liter bucket was used, where the insulation was made with a 1:1 mixture of Gypsum and EPS (Styrofoam). The prototype had a considerably low cost when compared to a commercial one. When analyzing the system temperatures during the tests, it was possible to notice that it reached high temperatures and presented little heat loss in its piping between the collector and the reservoir. Finally, it was possible to observe that the built prototype has a low cost and manages to provide considerable temperatures.

Keywords: Heaters. Low cost. Energy. Solar energy. Collectors. Heat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Irradiação global horizontal média anual.	18
Figura 2: Tipos de convecção: (a) convecção forçada e (b) convecção natural.....	19
Figura 3: Tipos de sistema de aquecimento de água a gás: (a) por passagem, (b) por acumulação.	21
Figura 4: Coletor concentrador.	22
Figura 5: Representação esquemática de um sistema de aquecimento solar.	22
Figura 6: Ilustração de um sistema de aquecimento dólár de água convencional.....	23
Figura 7: Fluxograma das etapas para o desenvolvimento do protótipo.....	26
Figura 8: Modelagem 3d do protótipo.	27
Figura 9: Materiais utilizados para a fabricação do coletor, em a) tubos de alumínio, b) mangueira cristal, c) tubos e redução de pvc, d) madeira.....	28
Figura 10: Reservatório de água.....	28
Figura 11: Serpentina do coletor solar.	29
Figura 12: Etapa construtiva da caixa: (a) marcações para o corte, (b) tabuas cortadas para a montagem, (c) caixa montada.	30
Figura 13: Caixa completamente vedada e pintada de preto.....	30
Figura 14: Montagem do coletor solar.	31
Figura 15: Etapa de colocação das aletas nas serpentinas: (a) início do aletamento (b) meio do aletamento (c) serpentina totalmente aletada, (d) coletor aletado e pintado de preto.	31
Figura 16: Coletor finalizado.	32
Figura 17: Etapa de isolamento do reservatório: (a) confecção do molde, (b) início do isolamento térmico, (c) final do isolamento, (d) reservatório totalmente isolado..	33
Figura 18: Sistema de aquecimento solar de água finalizado.	33
Figura 19: Pontos de fixação dos termopares.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades físico-mecânicas do alumínio.	24
Tabela 2: Principais propriedades do pvc.....	24
Tabela 3: Custos para desenvolver sistema de aquecimento solar de água.....	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gradiente de temperatura do reservatório dia 06/05/2023.....	37
Gráfico 2: Gradiente de temperatura do reservatório dia 07/05/2023.....	38
Gráfico 3: Gradiente de temperatura do reservatório dia 08/05/2023.....	38
Gráfico 4: Curva de temperatura final do reservatório dia 06/05/2023.....	39
Gráfico 5: Curva de temperatura final do reservatório dia 07/05/2023.....	40
Gráfico 6: Curva de temperatura final do reservatório dia 08/05/2023.....	40
Gráfico 7: Temperatura na saída do coletor e entrada do reservatório dia 06/05/2023.	42
Gráfico 8: Temperatura na saída do coletor e entrada do reservatório dia 07/05/2023.	42
Gráfico 9: Temperatura na saída do coletor e entrada do reservatório dia 08/05/2023.	43
Gráfico 10: Temperatura na entrada do coletor e saída do reservatório dia 06/05/2023.	44
Gráfico 11: Temperatura na entrada do coletor e saída do reservatório dia 07/05/2023.	44
Gráfico 12: Temperatura na entrada do coletor e saída do reservatório dia 08/05/2023.	45
Gráfico 13: Temperatura do coletor em relação ao ambiente dia 06/05/2023.	45
Gráfico 14: Temperatura do coletor em relação ao ambiente dia 07/05/2023.	46
Gráfico 15: Temperatura do coletor em relação ao ambiente dia 08/05/2023.	46
Gráfico 16: Temperaturas da tubulação do coletor dia 06/05/2023.	47
Gráfico 17: Temperaturas da tubulação do coletor dia 07/05/2023.	48
Gráfico 18: Temperaturas da tubulação do coletor dia 08/05/2023.	48

LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS

k	Condutividade térmica do fluido
ΔT	Variação de temperatura
L	Distância entre as placas
h	Coefficiente médio de transferência de calor
T_s	Temperatura da superfície
T_∞	Temperatura do fluido em escoamento
ε	Emissividade
Q_{abs}	Calor absorvido
Q_E	Calor entrando
PVC	Policloreto de vinila
EPS	Poliestireno Expandido

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Energia solar	17
3.1.1 RADIAÇÃO SOLAR.....	17
3.2 Transferência de calor em sistemas de aquecimento solar	18
3.2.1 CONDUÇÃO	18
3.2.2 CONVECÇÃO	19
3.2.3 RADIAÇÃO	19
3.3 Tipos de sistemas de aquecimento de água	20
3.3.1 SISTEMA DE AQUECIMENTO ELÉTRICO	20
3.3.2 SISTEMA DE AQUECIMENTO A GÁS	20
3.3.3 SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR	21
3.3.3.1 Coletores concentradores.....	21
3.3.3.2 Coletores planos	22
3.4 Alumínio	23
3.5 Policloreto de vinila (PVC)	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1 Modelagem 3D	26
4.2 Materiais utilizados	27
4.3 Processo construtivo do protótipo	29
4.4 Processo de teste do protótipo	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1 Viabilidade econômica do sistema de aquecimento de água solar	36

5.2 Tratamento dos dados averiguado nos testes	37
5.2.1 GRADIENTE DE TEMPERATURA DO RESERVATÓRIO	37
5.2.2 EFICIÊNCIA DO RESERVATÓRIO	39
5.2.3 TEMPERATURAS NAS TUBULAÇÕES	41
5.2.3.1 Temperatura na saída do coletor e entrada do reservatório.	41
5.2.3.2 Temperaturas na entrada do coletor e saída do reservatório	43
5.2.4 TEMPERATURA NO COLETOR	45
5.2.4.1 Temperaturas das tubulações dentro do coletor	47
6. CONCLUSÃO	49
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

No mundo, atualmente muito se fala sobre fontes de energias renováveis e como utiliza-las para melhorar a qualidade da vida humana de forma sustentável. Dentre essas fontes, a energia solar é a que vem ganhando maior destaque nas últimas décadas, pois a mesma é uma energia que provem da luz e do calor do sol a qual está sendo amplamente utilizada para gerar energia, tanto térmica quanto elétrica. De acordo com Brasil (2021), o Brasil teve uma geração de energia de aproximadamente 8 TWh em 2020 apenas utilizando fontes de energias renováveis.

De acordo com Thomaz (2014), no Brasil aproximadamente 24% da energia utilizada em residências é destinada ao aquecimento de água. Para minimizar o gasto energético em uma residência nessa questão, pode-se buscar meios alternativos e sustentáveis utilizando a energia solar, para esse caso, optando-se por adquirir um sistema de aquecimento solar.

O Brasil é um país privilegiado quando se trata de energia solar, pois segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), o Brasil apresenta uma grande irradiação solar durante o ano inteiro, sendo proveitoso as instalações de sistemas de captação solar.

Segundo a empresa de pesquisa energética (EPE), no Brasil no ano de 2022 consumiu-se um valor enérgico residencial de 139.265.556 Mwh.

Observando esses dados, e sabendo que muito se utiliza da corrente elétrica para o aquecimento de água, pode-se buscar meios alternativos e sustentáveis para o mesmo feito dessa forma, utilizando a energia solar.

De acordo com Neri (2022), no ano de 2021 cerca de 62,9 milhões de brasileiros apresentavam uma renda per capita de até R\$ 497 mensais, representando 29,6% da população do país.

Portanto tendo em vista que muitas famílias brasileiras sobrevivem com menos de um salário mínimo, e que não se tem condições financeiras para se ter aparelhos para o aquecimento de água devido ao alto custo da energia elétrica, pode-se implementar um sistema de aquecimento solar de água de baixo custo que seja capaz de suprir as necessidades básicas das famílias brasileiras. Destarte, este trabalho tem como finalidade desenvolver um sistema de aquecimento solar de água de baixo custo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de aquecimento solar de água de baixo custo.

2.2 Objetivos específicos

- Projetar um sistema de aquecimento solar de água;
- Selecionar os materiais de baixo custo para a fabricação o protótipo;
- Construir o coletor solar;
- Ensaiar o sistema de aquecimento solar; e
- Verificar a eficiência do sistema.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Energia solar

A energia solar é uma fonte de energia alternativa, em que a radiação solar em uma escala terrestre é uma inesgotável fonte de energia. Quando se trata em fontes de energias, a solar é a que tem o maior potencial a ser explorado, tanto quanto energia elétrica ou térmica, a qual essa energia vem da radiação eletromagnética proveniente do sol (BRASIL, 2014).

3.1.1 RADIAÇÃO SOLAR

A radiação solar é uma das principais fontes energéticas no mundo, ou seja, é uma nomenclatura para se referir a energia radiante liberada pelo sol, sendo transmitida através de ondas eletromagnéticas.

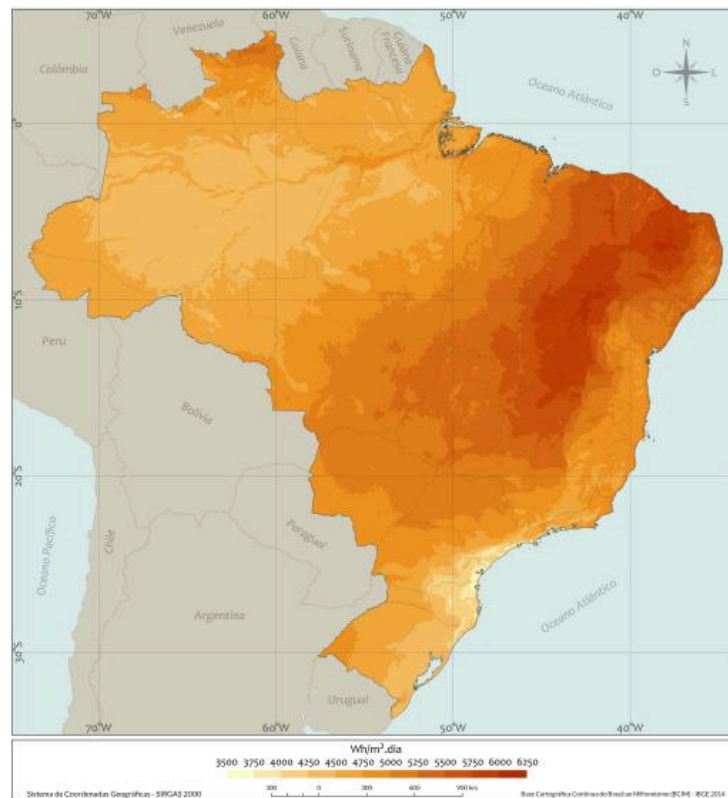
Segundo Pacheco (2022), existem duas formas de radiação, sendo: A radiação direta, que atinge diretamente a superfície terrestre sem mudança de direção e a radiação difusa, a qual oriunda de reflexões que acontecem na atmosfera. Em que a soma das radiações equivale a radiação global.

De acordo com a CETESB (2020), a radiação solar apresenta uma distribuição espectral com comprimentos de ondas em três regiões, essas sendo o espectro visível, infravermelho e o ultravioleta.

São emitidas cerca de 64,16 MW de energia eletromagnética por metro quadrado da superfície solar, onde cerca de 1kW/m^2 de radiação incide na superfície terrestre (LION FILHO, 2007 apud PACHECO, 2022).

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), a média anual de irradiação no Brasil é cerca de $4750\text{ Wh/m}^2\cdot\text{dia}$, sendo os maiores números registrados nas regiões do nordeste e centro-oeste. A Figura 1 mostra a irradiação média anual no Brasil.

Figura 1: Irradiação global horizontal média anual.



Fonte: Atlas Brasileiro de energia solar (2017).

3.2 Transferência de calor em sistemas de aquecimento solar

Em sistemas de aquecimento solar, as transferências de calor ocorrem pelos três mecanismos, esses sendo por condução, convecção e radiação.

3.2.1 CONDUÇÃO

Segundo Çengel (2013), a condução é a energia transferida por meio de partículas mais energéticas de um elemento para as partículas menos energéticas.

Para se quantificar a energia transferida por meio da condução, utiliza-se a lei de Fourier, onde se tem o fluxo térmico (q''_x), dado em watts por metro quadrado, sendo a taxa de transferência de calor em uma dada direção (x) por área unitária (INCROPERA et al., 2014), conforme a Equação (1).

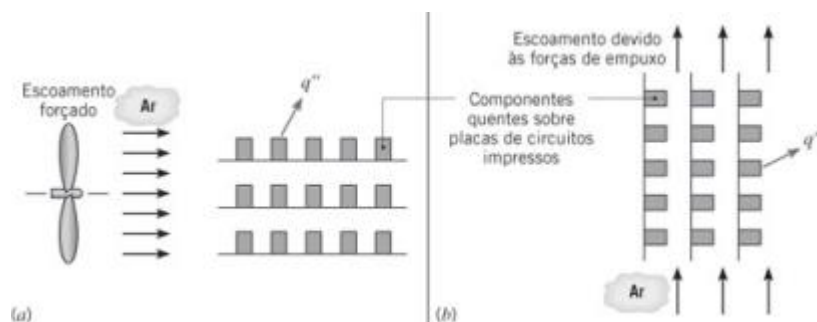
$$q''_x = k \frac{\Delta T}{L} \quad (1)$$

3.2.2 CONVECÇÃO

De acordo com o Çengel (2013), a convecção é a energia transferida entre uma superfície sólida e através de um fluido em movimento.

A convecção pode ser dada de dois tipos, sendo natural ou forçada, onde a natural consiste em o fluido escoar sobre a superfície devido as forças de empuxo, já a forçada consiste em o fluido ser forçado a escoar sobre a superfície. A Figura 2 ilustra dois tipos de convecção (INCROPERA et al., 2014).

Figura 2: Tipos de convecção: (a) convecção forçada e (b) convecção natural.



Fonte: Incropera et al. (2014).

Ainda de acordo com o Incropera et al. (2014), independente do tipo de convecção, a taxa de transferência de energia é dada pela Equação (2).

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

3.2.3 RADIAÇÃO

Segundo Çengel (2013), a energia é transferida através da emissão de ondas eletromagnéticas ou fótons.

A emissividade (ε) é a propriedade que define a radiação que pode ser emitida pela superfície de um material e a taxa a qual a energia é liberada por unidade de área, dada em watts por metro quadrado, onde o fluxo térmico emitido por um corpo negro é dada pela Equação 3 (INCROPERA et al., 2014).

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (3)$$

Ainda segundo Incropera et al. (2014), tratando-se de radiação que incide sobre uma superfície a partir da vizinhança, é proveniente de uma fonte energética especial, podendo ser o sol ou qualquer outra fonte que esteja próxima da superfície. Independente da fonte, a taxa de radiação incidente em uma área unitária da superfície por irradiação é dada pela Equação 4.

$$G_{\text{abs}} = \alpha G \quad (4)$$

3.3 Tipos de sistemas de aquecimento de água

Existem diversos tipos de sistemas de aquecimento de água, em que cada tipo de sistema tem o seu próprio aspecto. Os mais comuns são os elétricos que apresentam um baixo custo de instalação, os aquecedores a gás por passagem e por acumulação e os de aquecimento solar (MEDEIROS, et al, 2022).

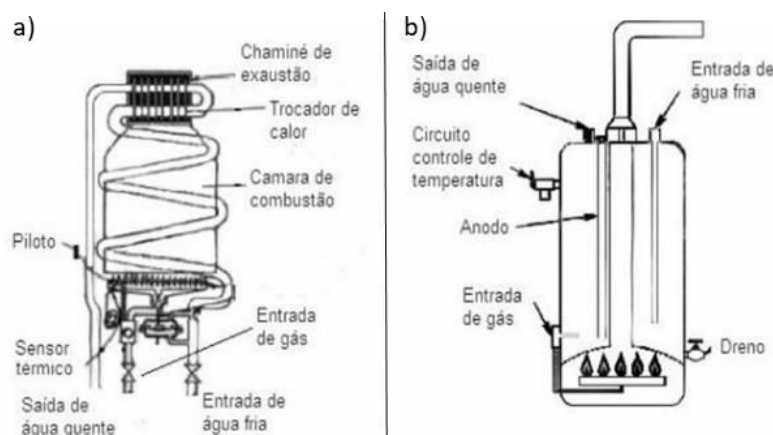
3.3.1 SISTEMA DE AQUECIMENTO ELÉTRICO

Existem dois tipos de sistema de aquecimento elétrico no mercado, sendo o de passagem e o de acumulação. O aquecedor de passagem é o mais comum, onde a água é aquecida já no ponto de consumo. Já os aquecedores de acumulação são reservatórios de água quente termicamente isolados (FORTE; MARCONDES 2011 apud THOMAZ, 2014).

3.3.2 SISTEMA DE AQUECIMENTO A GÁS

O sistema de aquecimento a gás de passagem consiste em a água passar por uma serpentina que fica em torno de câmara de combustão, a qual ocorre a combustão de um gás, sendo esse gás liquefeito de petróleo ou gás natural (THOMAZ, 2014). Já o sistema de acumulação, consiste em acumular e aquecer água dentro do seu reservatório. A Figura 3 ilustra esses processos.

Figura 3: Tipos de sistema de aquecimento de água a gás: (a) por passagem, (b) por acumulação.



Fonte: RAIMO (2007), adaptado pelo autor.

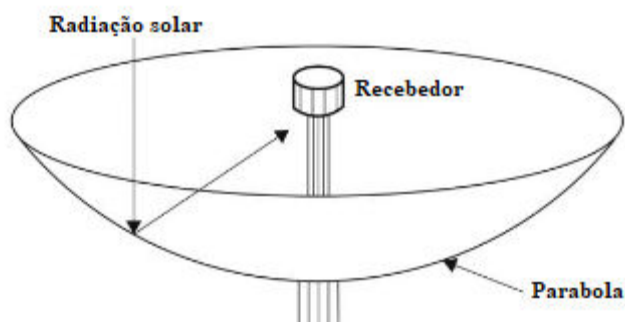
3.3.3 SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

Segundo Brasil (2014), os coletores solares são os equipamentos mais difundidos para a captação da energia solar térmica, esses são classificados em dois tipos, sendo coletores concentradores e coletores planos.

3.3.3.1 Coletores concentradores

De acordo com Pigozzo Filho et al. (2018), os coletores concentradores consistem em utilizar espelhos para fazer com que a radiação solar se concentre em um único ponto, assim atingindo altas temperaturas aquecendo o fluido.

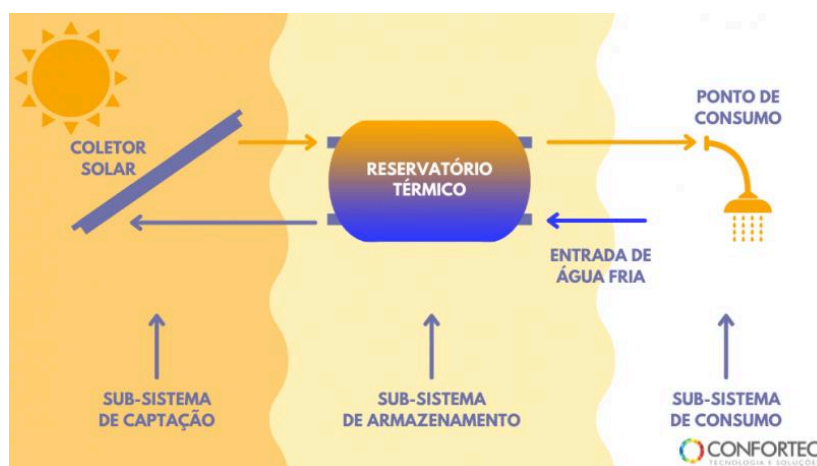
Tratando-se de um concentrador linear, o mesmo possui um único eixo o qual concentra a radiação incidente sobre a superfície parabólica a qual é coberta por espelhos, direcionando a radiação para o eixo principal a qual está localizado o fluido e com isso aumentando a eficiência devido a concentrar toda a radiação incidente num ponto (DUFFIE; BECKMAN, 2013). A Figura 4 mostra um coletor concentrador.

Figura 4: Coletor concentrador.

Fonte: KALOGIROU (2009), adaptado pelo autor.

3.3.3.2 Coletores planos

De acordo com Lenz (2016), um sistema de aquecimento solar se divide em três subsistemas, o primeiro sendo subsistema de captação da energia que é composto por coletores solares posicionados de forma que aproveite o máximo possível os raios solares. O segundo sendo subsistema de armazenamento, que tem um reservatório isolado termicamente abastecido com a água da rede, no qual o abastecimento ocorre na parte inferior do reservatório fazendo com que a água circule no coletor. E o terceiro subsistema de consumo. A Figura 5 mostra como funciona esquematicamente o sistema.

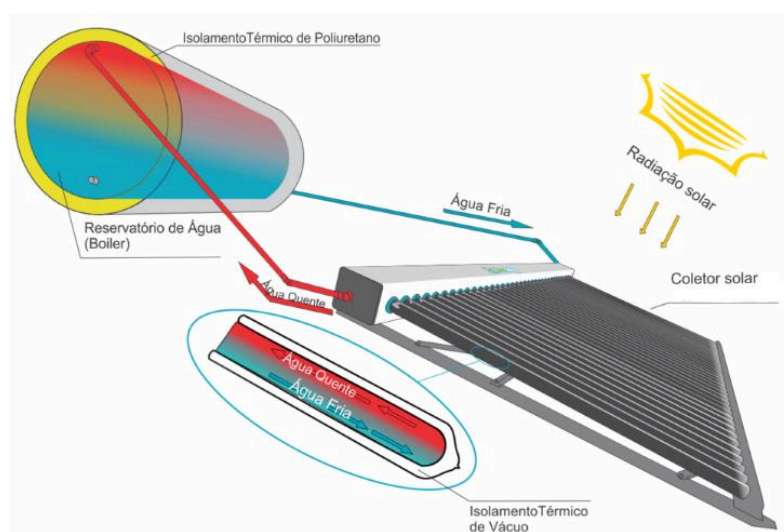
Figura 5: Representação esquemática de um sistema de aquecimento solar.

Fonte: Confortec (2023).

Os principais elementos de um sistema de aquecimento solar, segundo Gomes 2010, apud Silva, 2016, são: os coletores, tubulações, placa de absorção e o reservatório térmico.

Já para Lopo (2010), um sistema de aquecimento solar de água, pode ser classificado em dois tipos, sendo o direto e o indireto, onde o direto é quando o fluido é aquecido diretamente pelo coletor. A Figura 6 ilustra o sistema direto, o qual o fluxo ocorre através de termossifão ou convecção natural.

Figura 6: Ilustração de um sistema de aquecimento solar de água convencional.



Fonte: Brassolar, 2020.

3.4 Alumínio

Segundo a Associação Brasileira do Alumínio – ABAL (2023), no ano de 2022 o Brasil produziu 810,9 toneladas de alumínio.

O alumínio, segundo o Callister (2016), é caracterizado por ter uma baixa densidade, alta condutividade elétrica, térmica e por apresentar uma boa resistência a corrosão. Ainda de acordo com o autor, o alumínio tem uma densidade aproximadamente três vezes menor que a do aço, sendo de densidade de $2,7\text{g/cm}^3$ e o aço de $7,9\text{g/cm}^3$, e também apresenta uma condutividade térmica três vezes maior que a do aço e se tratando de condutividade elétrica ele se assemelha com o cobre, sendo também um ótimo condutor elétrico.

A Tabela 1 apresenta as propriedades físico-mecânicas do alumínio, de acordo com o Callister (2016).

Tabela 1: Propriedades fisco-mecânicas do alumínio.

Densidade	2,7 g/cm ³
Condutividade Elétrica	3,8 x 10 ⁷ /Ω-m
Módulo de Elasticidade	69 GPa
Módulo de Cisalhamento	25 GPa
Coefficiente de Poisson	0,33
Ponto de Fusão	660 C°
Limite de Resistência a Tração	90 Mpa
Ductilidade	40 AL% (em 50 mm ²)

Fonte: CALLISTER (2016).

3.5 Policloreto de vinila (PVC)

Segundo o Instituto Brasileiro do PVC (2023), o PVC é um plástico que apresenta características únicas, em peso, 57% do mesmo é composto por cloro e 47 % é composto por eteno. Ainda de acordo com o instituto, algumas das principais características do PVC são:

- Bom isolamento térmico e elétrico;
- Resistente a choques;
- Impermeável a gases e líquidos;
- Resistente às intempéries; e
- 100% Reciclável.

A Tabela 2 mostra as principais propriedades do PVC segundo Silva (2016).

Tabela 2: Principais propriedades do PVC.

Propriedades	Valor
Peso molecular (PM)	50.000-100.000
Peso específico (ρ)	1,4 g/cm ³
Resistência à Tração (R_T)	40,7 – 51,7 MPa
Módulo de Elasticidade (E)	2,4 – 4,1 GPa
Tensão de Escoamento (TE)	40,7 – 44,8 MPa
Resistência à Compressão (R_C)	57,5 MPa
Resistência à Flexão (R_F)	120 MPa
Coefficiente de Dilatação Térmica (C^{-1})	(60 a 80)x 10 ⁶

Coeficiente de Expansão Térmica	$0,9 - 1,8 \times 10^{-4} (\text{°C})^{-1}$
Linear	
Temperatura de Distorção ao Calor	75 °C
Índice de Refração (I_R)	1,57
Absorção de água em 24h (%)	0,04 – 0,40

Fonte: Silva (2016).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho se dá por meio de pesquisas bibliográficas com intuito de coletar material para a fundamentação teórica por meio de teses, artigos, dissertações, livros e TCC. E também realizar ensaios laboratoriais para desenvolvimento de um protótipo de um sistema de aquecimento solar de água com coletor solar plano de baixo custo. O experimento trata de utilizar-se dos raios solares para fazer o aquecimento de água de forma eficaz. O protótipo foi desenvolvido seguindo as seguintes etapas:

Figura 7: Fluxograma das etapas para o desenvolvimento do protótipo.



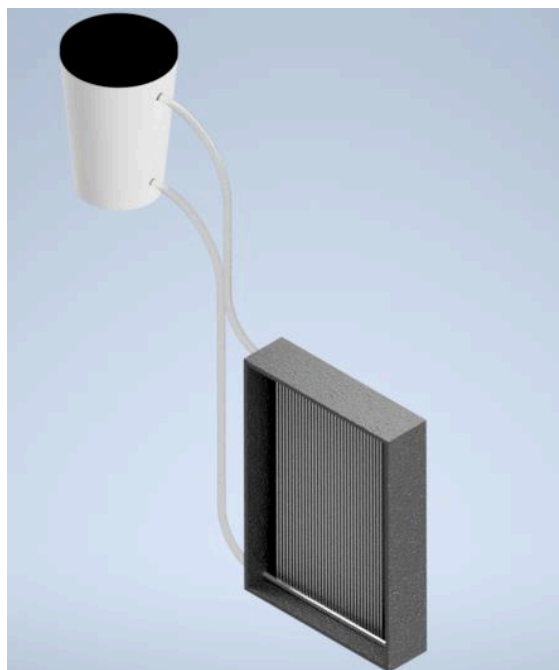
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Modelagem 3D

Para uma melhor otimização e desenvolvimento do protótipo, iniciou-se criando uma modelagem 3D feita através do software inventor. A modelagem nada mais é que o protótipo virtual ao qual foi utilizado com a finalidade de analisar as dimensões do protótipo.

A partir da modelagem do protótipo, é possível verificar as melhores formas para a etapa construtiva, assim maximizando o projeto. A Figura 8 mostra a modelagem 3D feita do protótipo.

Figura 8: Modelagem 3D do protótipo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Materiais utilizados

Para a construção do coletor, foi utilizado tubos de alumínio retirados de radiadores de automóveis, mangueira cristal de 1''x25mm, tubo PVC de 25mm juntamente com duas reduções de 25mm para 20mm para fazer as conexões, e madeira para fazer o caixote do coletor. A Figura 9 exhibe os materiais utilizado para a construção do coletor.

Figura 9: Materiais utilizados para a fabricação do coletor, em a) Tubos de alumínio, b) mangueira cristal, c) tubos e redução de PVC, d) madeira.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto a questão do reservatório de água, utilizou-se um tambor de 60 litros, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10: Reservatório de água.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Processo construtivo do protótipo

Antes de se iniciar o processo de construção do protótipo real, primeiro foi feito a sua criação virtual, ou seja, a modelagem 3D. A partir da modelagem, foram escolhidos os materiais os quais seria utilizado, onde de início começou-se por construir o coletor solar, que consiste no equipamento que por meio da captação de radiação solar, aquece a água. Para a construção do coletor começou pela montagem das serpentinas, feitas com tubos de alumínio conectados a mangueiras, conforme mostrado na Figura 11.

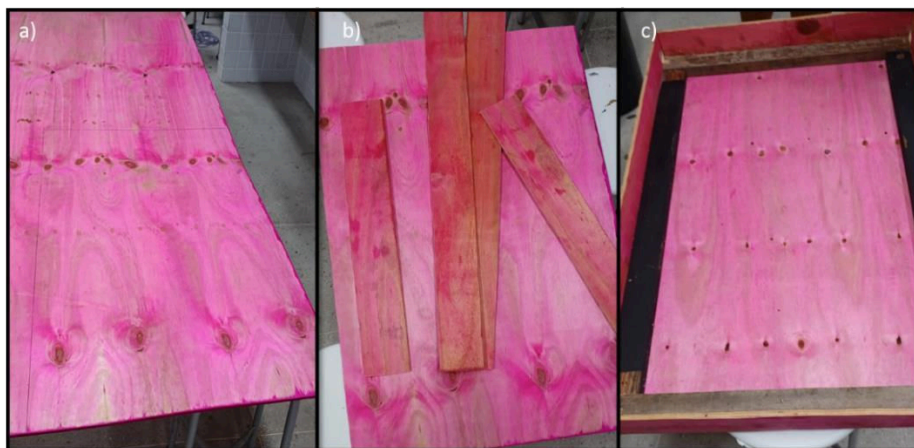
Figura 11: Serpentina do coletor solar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida partiu-se para a construção da caixa do coletor, feita de madeira. A Figura 12 mostra a montagem da caixa desde o corte da madeira a sua montagem.

Figura 12: Etapa construtiva da caixa: (a) marcações para o corte, (b) tabuas cortadas para a montagem, (c) caixa montada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a montagem da caixa, é necessário isolá-la totalmente para que dentro dela o calor seja mantido da melhor forma possível. O isolamento foi feito com silicone e em seguida a caixa foi pintada de preto para ser um corpo negro que absorva de melhor forma possível a irradiação solar, conforme mostrado na Figura 13.

Figura 13: Caixa completamente vedada e pintada de preto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Logo após a construção, isolamento e pintura da caixa, foi feita a montagem do coletor, juntando a serpentina com a caixa, conforme mostrado na Figura 14.

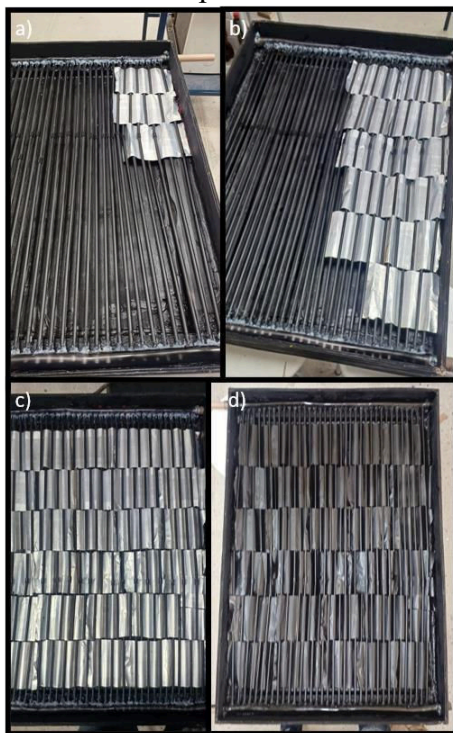
Figura 14: Montagem do coletor solar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida foi feita a pintura dos tubos e colocou-se aletas com o intuito de aumentar a eficiência do coletor gerando uma maior área de incidência solar, e por condução aquecendo os tubos, o qual foi feito com latinhas de alumínio, como mostrado na Figura 15.

Figura 15: Etapa de colocação das aletas nas serpentinas: (a) início do aletamento (b) meio do aletamento (c) serpentina totalmente aletada, (d) coletor aletado e pintado de preto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim para finalizar o coletor, foi colocado a película plástica de PVC transparente, com a finalidade de causar o efeito estufa dentro do coletor para que a temperatura fique sempre elevada e o mais constante possível dentro dele. A Figura 16 mostra o coletor finalizado com a película.

Figura 16: Coletor finalizado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o coletor estar pronto, partiu-se para o isolamento térmico do reservatório, em que o isolamento foi feito a partir de uma mistura de gesso e EPS levando em conta a proporção de 1:1. É importante que o reservatório fosse isolado para que possamos manter a temperatura dentro do reservatório e com isso seja possível atingir melhores eficiências sem que ocorra perdas de energia para o meio. A Figura 17 mostra a etapa de isolamento do reservatório.

Figura 17: Etapa de isolamento do reservatório: (a) confecção do molde, (b) início do isolamento térmico, (c) final do isolamento, (d) reservatório totalmente isolado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Então após todas as etapas construtivas concluídas, foi-se conectado o coletor solar com o reservatório, utilizando mangueiras e com isso concluindo a construção do sistema de aquecimento solar de água. A Figura 18 mostra o sistema montado e pronto para efetuar os testes.

Figura 18: Sistema de aquecimento solar de água finalizado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Processo de teste do protótipo

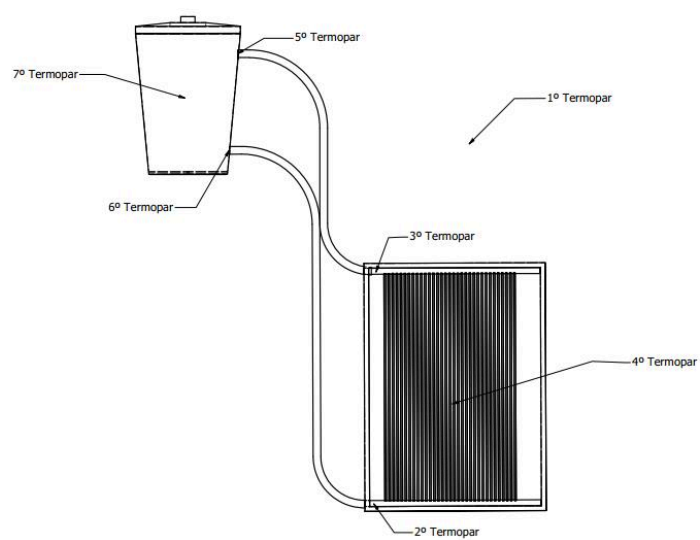
O protótipo foi testado na UFERSA campus Caraúbas, sendo feitos 05 dias de coletas de dados. A testagem se iniciou as 08:00 h (oito horas da manhã), onde cada coleta de dados ocorreu em um intervalo de 30 minutos, e finalizando a última coleta as 16:00h (quatro horas da tarde).

Para a averiguação da temperatura foi-se utilizado um termômetro digital modelo TH-1300 da marca instrutherm com suas especificações exposta no Anexo A, o qual era acoplado a 7 termopares do tipo k, dispostos da seguinte forma:

- 1° Termopar: Acoplado para coletar a temperatura ambiente;
- 2° Termopar: Acoplado para coletar a temperatura na entrada do coletor;
- 3° Termopar: Acoplado para coletar a temperatura na saída do coletor;
- 4° Termopar: Acoplado para coletar a temperatura do coletor;
- 5° Termopar: Acoplado para coletar a temperatura na entrada do reservatório;
- 6° Termopar: Acoplado para coletar a temperatura na saída do reservatório; e
- 7° Termopar: Acoplado para coletar a temperatura da água no reservatório em três pontos distintos.

A Figura 19 ilustra o sistema e a localização de cada termopar utilizado na coleta de dados.

Figura 19: Pontos de fixação dos termopares.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico trata-se da análise dos dados obtidos, tanto na questão da viabilidade econômica, quanto na questão do aquecimento da água pelo sistema proposto.

5.1 Viabilidade econômica do sistema de aquecimento de água solar

Para analisar a viabilidade econômica, foi levado em consideração o custo de cada material utilizado. A Tabela 3 mostra o custo de cada material utilizado os materiais obtidos por doações, e por fim o gasto total para a construção do sistema de aquecimento solar de água.

Tabela 3: Custos para desenvolver sistema de aquecimento solar de água.

Componentes do Protótipo	Doado	Comprado	Preço (R\$)
Madeira	-	X	R\$ 70, 00
Tubos de alumínio	X	-	R\$ 80, 00
Mangueira	-	X	R\$ 40, 00
Tubos PVC	-	X	R\$ 10, 00
Película plástica de PVC	X	-	R\$ 18, 00
Balde plástico com tampa	-	X	R\$ 55, 00
Adaptador com flange PVC	-	X	R\$ 18, 00
Luva PVC com rosca	-	X	R\$ 8, 80
Adaptador para mangueira	-	X	R\$ 7, 20
Silicone acético incolor	-	X	R\$ 40, 00
Tinta spray preto fosco	-	X	R\$ 60, 00
Isopor	X	X	R\$ 35, 00
Gesso	-	X	R\$ 40, 00
Agave	-	X	R\$ 5, 00
Total geral			R\$487,00
Total doado			R\$ 112,00
Total Comprado			R\$ 375,00

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando o gasto total dos materiais, incluindo o preço dos doados, é possível ver que aproximadamente 77% do protótipo foi o gasto real, no qual 23% foi doado. Verificando o preço comercial de um sistema de aquecimento solar de água da loja virtual Solar & Sol Aquecedores, custa cerca de R\$ 2261,69 (dois mil duzentos e sessenta e um reais e sessenta e nove centavos), aproximadamente 5 vezes o custo do construído neste trabalho, de valor de R\$ 487,00 (quatrocentos e oitenta e sete reais).

5.2 Tratamento dos dados averiguado nos testes

Para a obtenção dos dados, foram feitos cinco dias de testes, onde para tratamento dos dados optou-se por excluir 2 dias de testes, sendo esses o que atingiu temperaturas mais elevadas e o outro sendo o que atingiu menores temperaturas, com a finalidade de fazer com o que os resultados apresentados não tenha discrepâncias de valores.

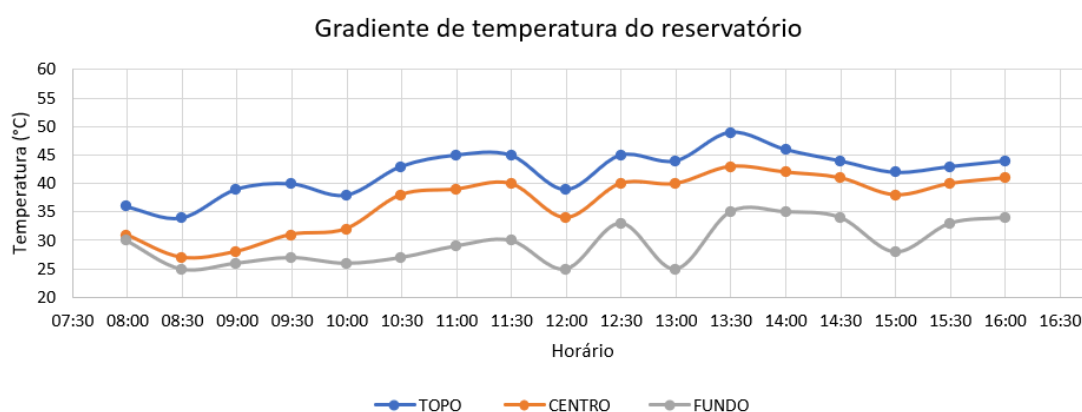
Os dias de testes selecionados para as análises foram os dias 06/05/2023, 07/05/2023 e o dia 08/05/2023.

5.2.1 GRADIENTE DE TEMPERATURA DO RESERVATÓRIO

Ao se analisar os Gráficos 1, 2 e 3, nota-se que o topo do reservatório sempre esteve a uma temperatura bastante elevada, isso se dá devido a tampa do reservatório ter causado um efeito estufa na parte superior, mas no final do dia em decorrência da diminuição da incidência solar, as temperaturas do topo e centro tendem a se alinhar.

No Gráfico 1, pode-se notar que houve uma inconstância das temperaturas quando comparado com o Gráfico 2 e o Gráfico 3, isso em decorrência de intempéries naturais, sendo em decorrência de nebulosidade. Mas é possível notar que as temperaturas do topo e centro tendem a se alinhar ao decorrer do dia, atingindo temperaturas semelhantes.

Gráfico 1:Gradiente de temperatura do reservatório dia 06/05/2023.

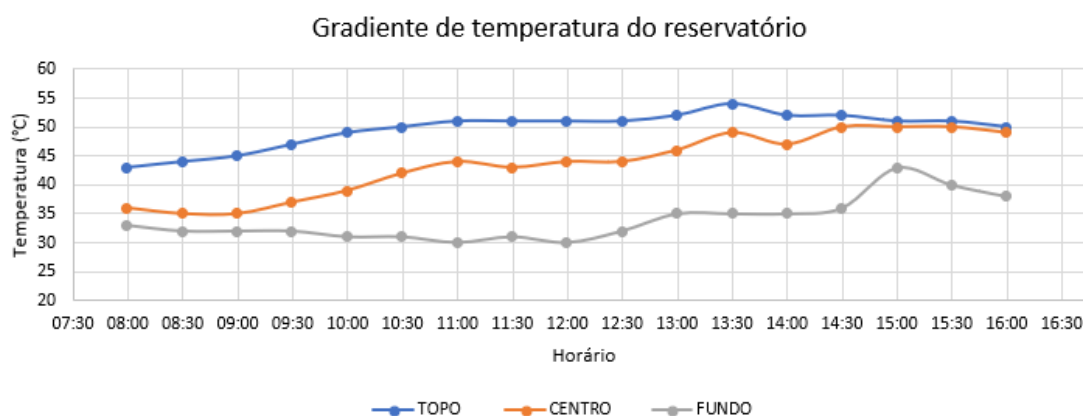


Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar o Gráfico 2 é possível notar que o mesmo apresenta uma curva de temperatura no topo, bem próxima ao do centro, neste dia o mesmo apresentou uma condição climática mais constante, com uma maior incidência solar. Devido a essas

condições é possível notar que o centro apresenta uma curva de temperatura constante e se aproximando cada vez mais da temperatura do topo, e com isso a temperatura do fundo do reservatório também apresentou uma curva crescente que decaiu ao final do dia, por causa da diminuição da incidência solar no coletor.

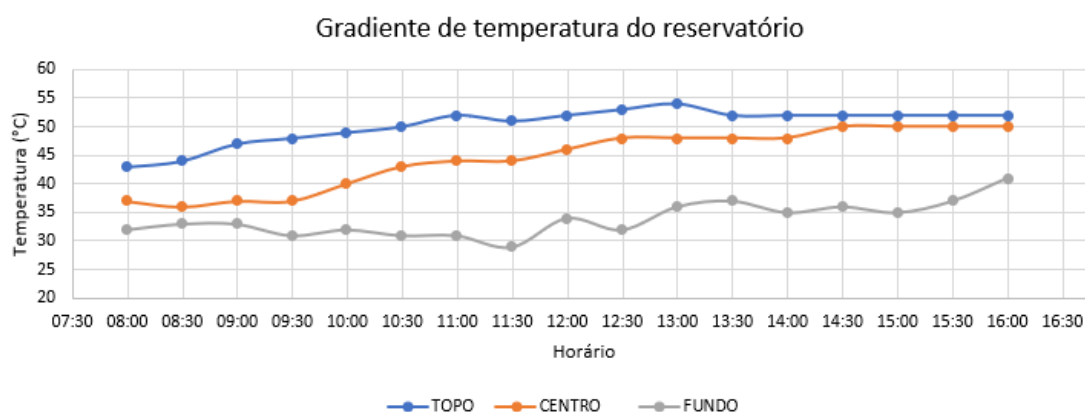
Gráfico 2: Gradiente de temperatura do reservatório dia 07/05/2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 3 apresenta semelhanças com o Gráfico 2, isso em decorrência da condição climática que foi bem similar com a do dia 07/05/2023, porém apresentando uma maior incidência solar e consequentemente elevou um pouco mais a temperatura, conforme é possível ver no Gráfico 3.

Gráfico 3: Gradiente de temperatura do reservatório dia 08/05/2023.

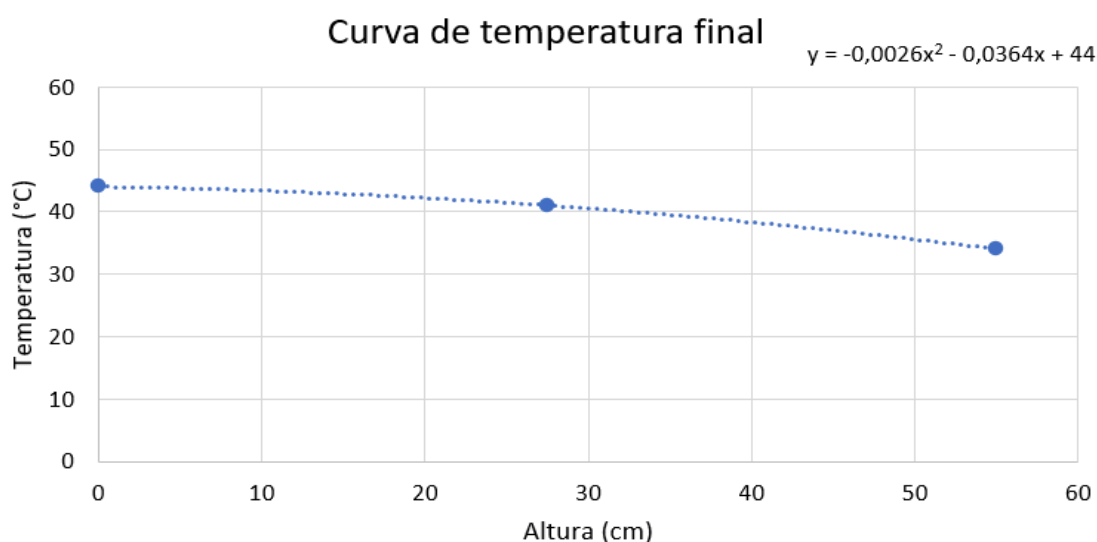


Fonte: Elaborado pelo autor.

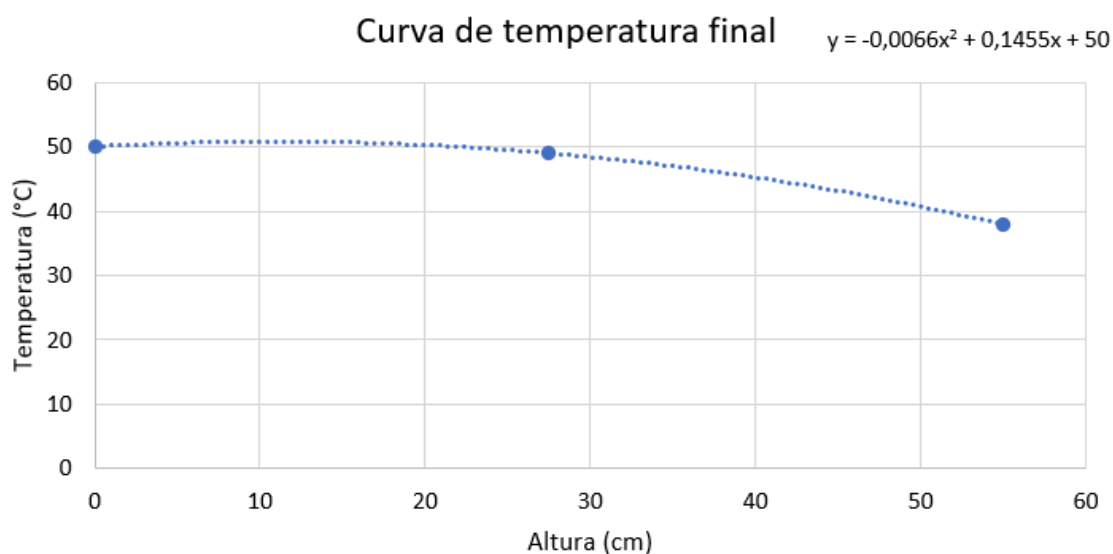
5.2.2 EFICIÊNCIA DO RESERVATÓRIO

Para efetuar os cálculos de eficiência do reservatório, se fez o uso do *software Excel* para que fosse possível calcular a quantidade de calor absorvido, a tabela mostrada no Apêndice A, demonstra como se deu o cálculo para o dia 06/05/2023, no Apêndice B mostra a tabela do dia 07/05/2023 e no Apêndice C mostra a tabela do dia 08/05/2023. O reservatório foi dividido em cinquenta e cinco partições para que fosse possível calcular em cada parte, visto que o reservatório não era uniforme, ou seja, o diâmetro do reservatório não era constante. Com o auxílio do *Excel*, para a plotagem da curva de temperatura final e equação da curva (Gráfico 4, Gráfico 5 e Gráfico 6), foi possível identificar a temperatura ao longo de todo o reservatório.

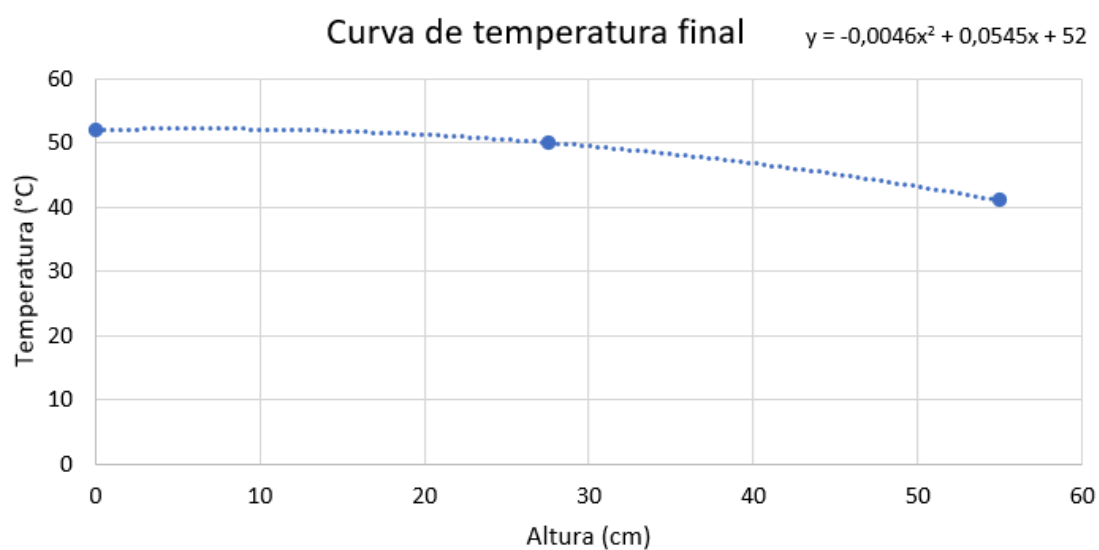
Gráfico 4: Curva de temperatura final do reservatório dia 06/05/2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 5: Curva de temperatura final do reservatório dia 07/05/2023.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 6: Curva de temperatura final do reservatório dia 08/05/2023.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Partindo disso, foi coletado os dados de emissão de radiação através da central de meteorologia do campus Caraúbas, com a finalidade de determinar a quantidade de calor incidente.

E assim temos que a eficiência do reservatório é dada por:

$$n = \frac{Q_{abs}}{Q_E} \quad (5)$$

Sendo assim, temos que para o dia 06/05/2023 a radiação média emitida ao longo do horário do experimento foi de 619,6804 W/m², logo a eficiência foi de 13%. Para o dia 07/05/2023 a radiação média emitida ao longo do horário do experimento foi de 679,9588 W/m², logo a eficiência foi de 14%. Já no dia 08/05/2023 a radiação média emitida ao longo do horário do experimento foi de 642,8763 W/m² e a eficiência do foi de 15%.

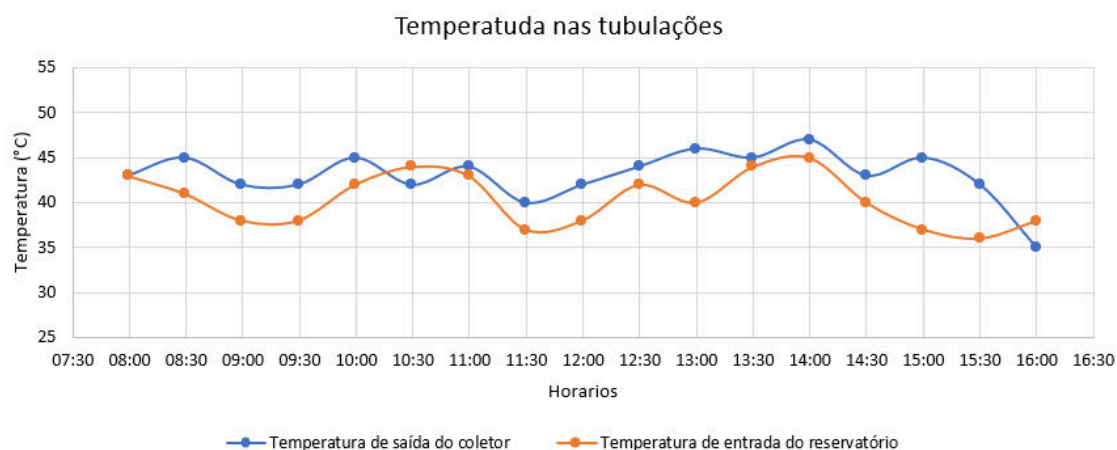
É possível notar que as eficiências dos três dias foram bem semelhantes, mesmo com as radiações sendo diferentes, a eficiência dentre os dias de testes apresentou constância.

5.2.3 TEMPERATURAS NAS TUBULAÇÕES

5.2.3.1 Temperatura na saída do coletor e entrada do reservatório.

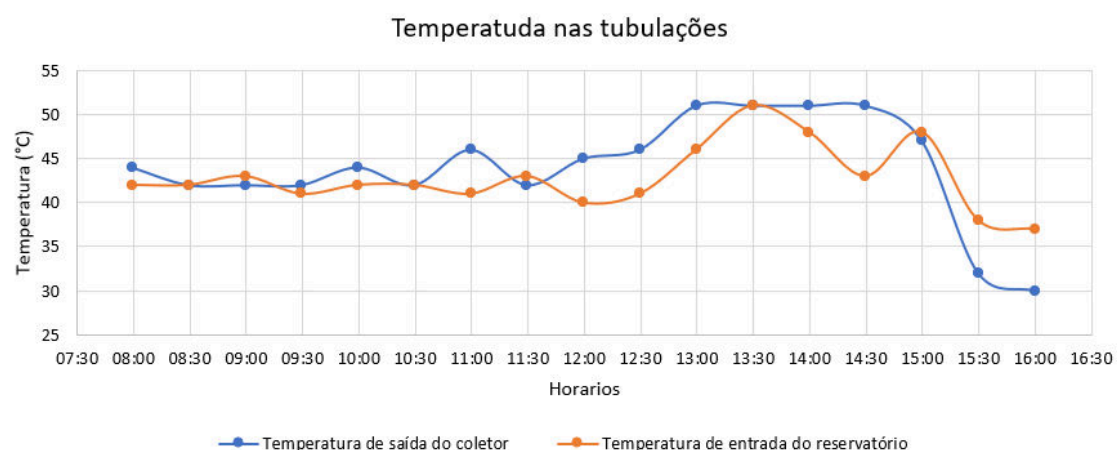
Ao analisar os Gráficos 7, 8 e 9, notamos que a perda de calor na tubulação é consideravelmente baixa em todos os dias, sendo de aproximadamente 8 °C. Também é possível notar que no final do dia, nas últimas averiguações, o fluxo do fluido tende a ocorrer em sentido contrário devido ao reservatório está a uma temperatura mais elevada que a tubulação de saída do coletor, em decorrência da massa específica do fluido está diretamente ligada à sua temperatura, visto que o fluxo ocorre devido a diferença de densidade. Ocorrendo esse fenômeno devido ao horário apresentar pouca incidência solar.

Ao observar os dados nota-se que no Gráfico 7, houve bastante oscilação na temperatura de saída do coletor tendo pouca constância, por volta das 11:30 h (onze horas e trinta minutos) ocorreu uma certa queda da temperatura em decorrência das nuvens durante as medições nesses horários. Em análise a perda de calor, é possível notar que não houve perdas significativas entre a saída do coletor e a entrada do reservatório, tendo a maior perda de calor de 7 °C, por volta das 15:00h (quinze horas) onde a incidência solar já estava baixa. No fim do dia na última medição as 16:00h (dezesseis horas) nota-se que o fluxo ocorria de forma contrária, devido à baixa incidência solar.

Gráfico 7: Temperatura na saída do coletor e entrada do reservatório dia 06/05/2023.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 8, nota-se que no dia 07/05/2023 no início das medições, as tubulações tiveram comportamento parecido até as 11:00h (onze horas), onde houve um aumento na temperatura de saída do coletor e em seguida uma queda em decorrência de intempéries. É possível perceber que após 11:30h (onze horas e trinta minutos) as temperaturas se comportaram de forma crescente ao longo de toda a tarde e por volta das 15:00h (quinze horas) até as 16:00h (dezesseis horas) o fluxo começou a se comportar de forma contrária.

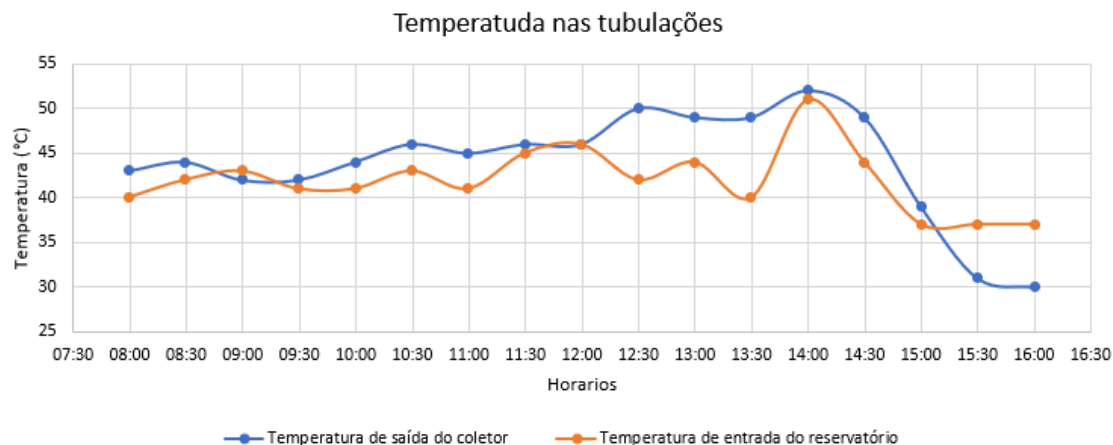
Gráfico 8: Temperatura na saída do coletor e entrada do reservatório dia 07/05/2023.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O dia 08/05/2023 apresentou a maior constância, no Gráfico 9 é possível notar que a temperatura da saída do coletor e entrada do reservatório, foram próximas ao longo de toda a manhã, apresentando uma perda de calor entre as tubulações por volta das

12:30h (doze horas trinta minutos) sendo de 8 °C, porém tendendo a se aproximar novamente. No fim das medições nota-se o que o fluxo tende a ocorrer de forma contrária.

Gráfico 9: Temperatura na saída do coletor e entrada do reservatório dia 08/05/2023.

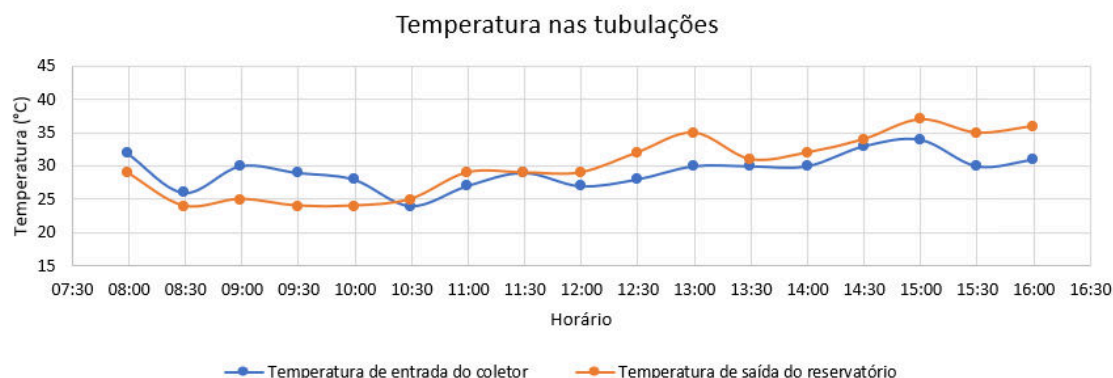


Fonte: Elaborado pelo autor.

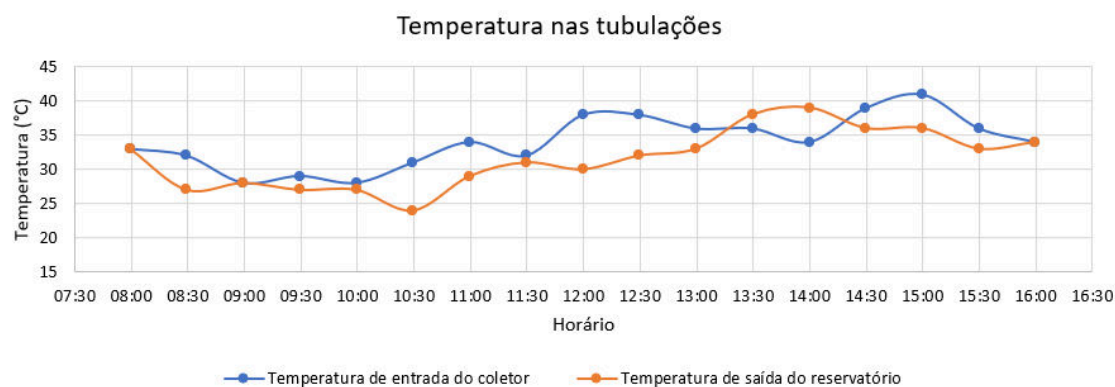
5.2.3.2 Temperaturas na entrada do coletor e saída do reservatório

Ao analisar os Gráficos 10, 11 e 12, verifica-se que o dia 06/05/2023 apresenta um comportamento diferente dos dias 07 e 08/05/2023, isso em decorrência das intempéries que veio a ocorrer no dia 06. Mas ao decorrer do dia, nota-se um comportamento semelhante, onde as curvas de temperaturas tendem a se aproximar ao longo do dia e se distancia no final, devido ao fluxo inverso.

Fazendo as análises dos dados do dia 06/05/2023, é possível notar pelo Gráfico 10 que a temperatura na entrada do coletor, no começo do dia estava mais elevada do que a da saída do reservatório, mas ao decorrer do dia é possível notar essa inversão que acontece após o reservatório já estar com uma temperatura mais elevada no fundo.

Gráfico 10: Temperatura na entrada do coletor e saída do reservatório dia 06/05/2023.

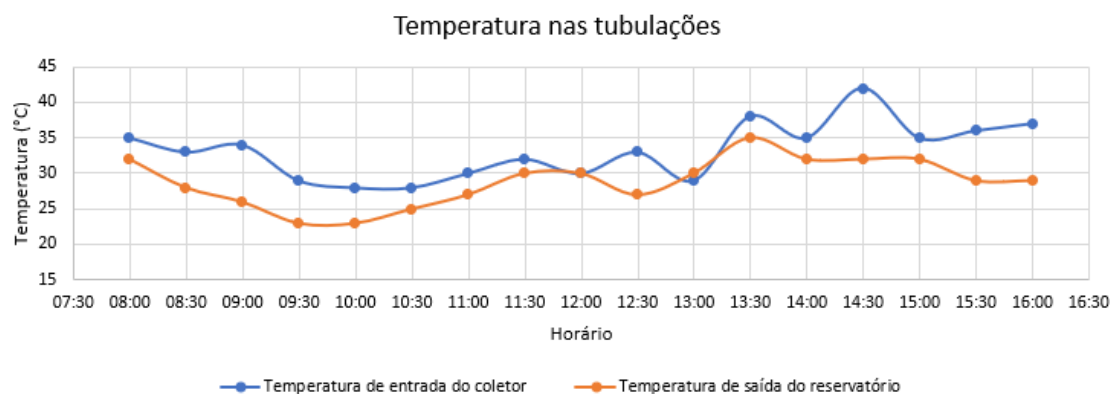
Verificando os dados do dia 07/05/2023, pelo Gráfico 11 observa-se que ao longo do dia, as temperaturas estiveram sempre equivalentes, tendo uma dispersão considerável as 12:00h (doze horas) sendo a temperatura de entrada do coletor mais elevada que a do reservatório em 8 °C. Entretanto no final do dia obtiveram a mesma temperatura, em decorrência do fluxo se inverter.

Gráfico 11: Temperatura na entrada do coletor e saída do reservatório dia 07/05/2023.

No dia 08/05/2023, observando o Gráfico 12, nota-se que até as 11:30h (onze horas e trinta minutos) a temperatura da entrada do coletor foi mais elevada que a da saída, porém sempre estando em temperaturas próximas. A partir das 12:00h (doze horas) é possível observar que ambas as temperaturas são iguais, isso devido as trocas de calor que houveram durante toda a manhã, como é possível de observar as curvas de

temperatura, onde elas tendem a se aproximar. No fim das aferições observa-se que as temperaturas tendem a se distanciar devido ao fluxo se inverter.

Gráfico 12: Temperatura na entrada do coletor e saída do reservatório dia 08/05/2023.



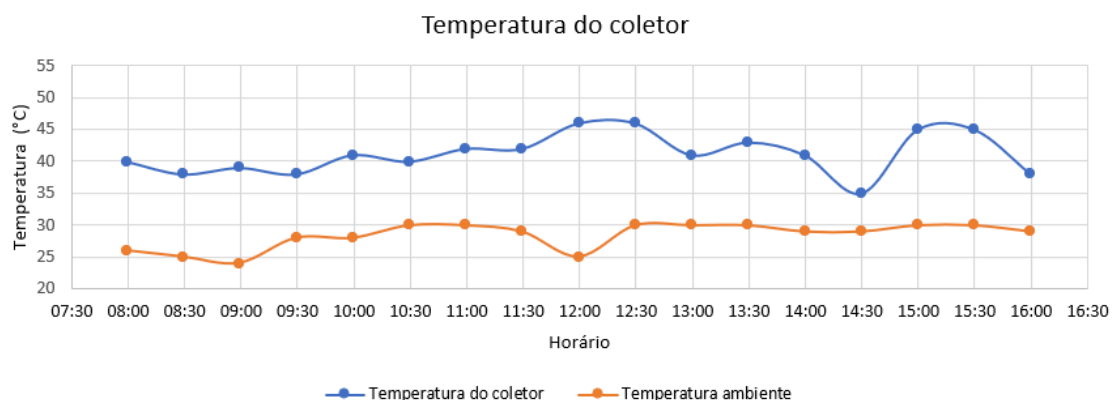
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.4 TEMPERATURA NO COLETOR

Ao verificar os Gráficos 13, 14 e 15, observa-se que o coletor conseguiu manter a sua proposta de estufa, mas devido a sua cobertura plástica de PVC, estava suscetível as intempéries e qualquer tipo de alteração climática, o afetou diretamente.

No dia 06/05/2023, pelo Gráfico 13 é possível ver que o coletor conseguiu absorver bem a incidência solar e sempre se manteve a uma temperatura considerável em relação a temperatura ambiente, apresentando algumas quedas de temperaturas em pontos específicos, isso devido a nuvens no horário da medição, mas sempre se manteve acima da temperatura ambiente.

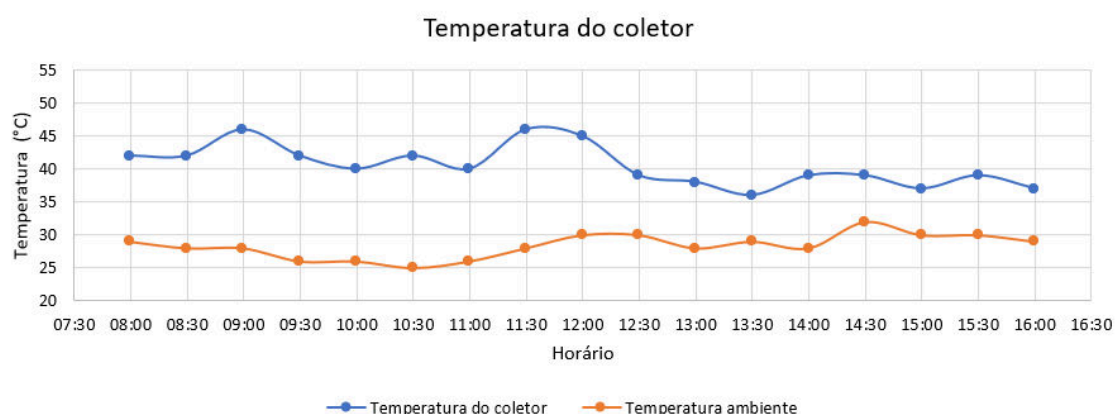
Gráfico 13: Temperatura do coletor em relação ao ambiente dia 06/05/2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Já no dia 07/05/2023, é possível notar pelo Gráfico 14 que pela manhã o coletor atingiu temperaturas elevadas, mas pela tarde o mesmo esteve próximo a do ambiente por volta das 12:30h (doze hora e trinta minutos) até as 13:30h (treze horas e trinta minutos), voltando a ganhar temperatura as 14:00h (quatorze horas) e decaindo ao longo do dia, devido a diminuição da incidência solar.

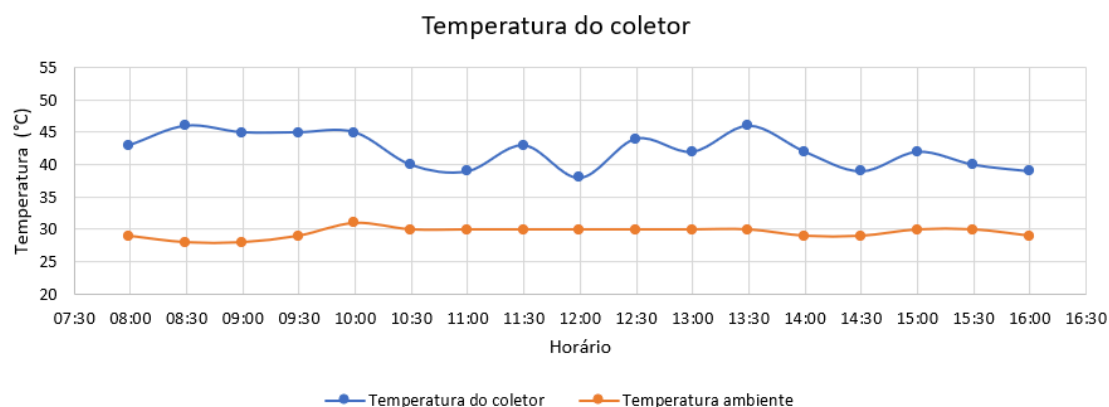
Gráfico 14: Temperatura do coletor em relação ao ambiente dia 07/05/2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No dia 08/05/2023, verificando o Gráfico 15, pode-se notar que houve bastante oscilações ao longo do dia, em decorrência de fortes ventos no horário entre 10:30h (dez hora e trinta minutos) e 11:00h (onze horas). Em relação a temperatura ambiente, o coletor se manteve acima apesar das intempéries e sempre decaindo ao fim do dia.

Gráfico 15: Temperatura do coletor em relação ao ambiente dia 08/05/2023.



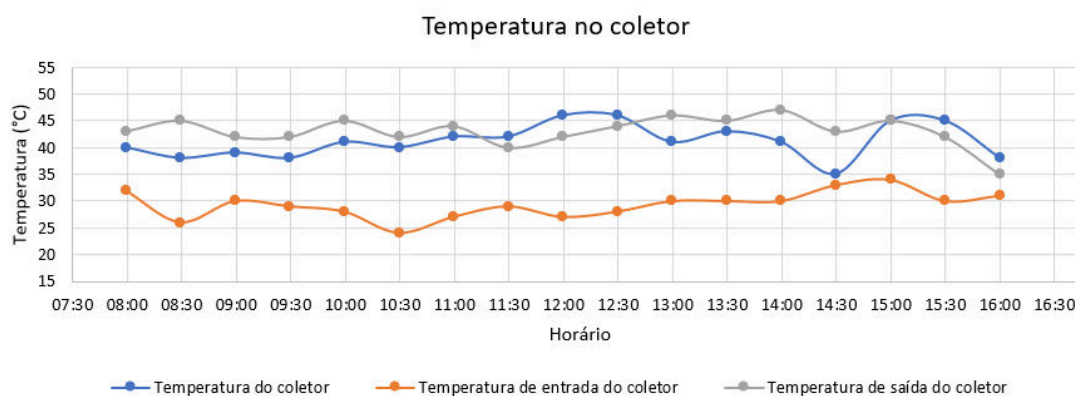
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.4.1 Temperaturas das tubulações dentro do coletor

Ao verificar os Gráficos 16, 17 e 18, observa-se que o gráfico referente ao dia 06/05/2023 destoou dos demais no final do dia, onde nos dias 07 e 08/05/2023 nota-se o fluxo se invertendo no final o que não ocorreu no dia 06, isso devido as condições climáticas do dia 06, pois fez com que o reservatório não atingisse a mesma temperatura dos dias 07 e 08. Porém ambos os dias apresentam um comportamento de curva de temperatura semelhantes, com a saída tendo a temperatura mais elevada que a entrada e o coletor, isso em decorrência da incidência solar direta nas tubulações da serpentina, a aquecendo e fazendo o fluxo ir em direção a saída do coletor. É possível notar que em alguns momentos de medições a temperatura do coletor estava mais elevada que a de saída, no qual isso foi causado por nuvens durante as averiguações, pois com isso diminuía a incidência solar direta nas serpentinas, porém ao longo do dia a curva de temperatura de saída sempre esteve mais elevada que a do coletor e de entrada.

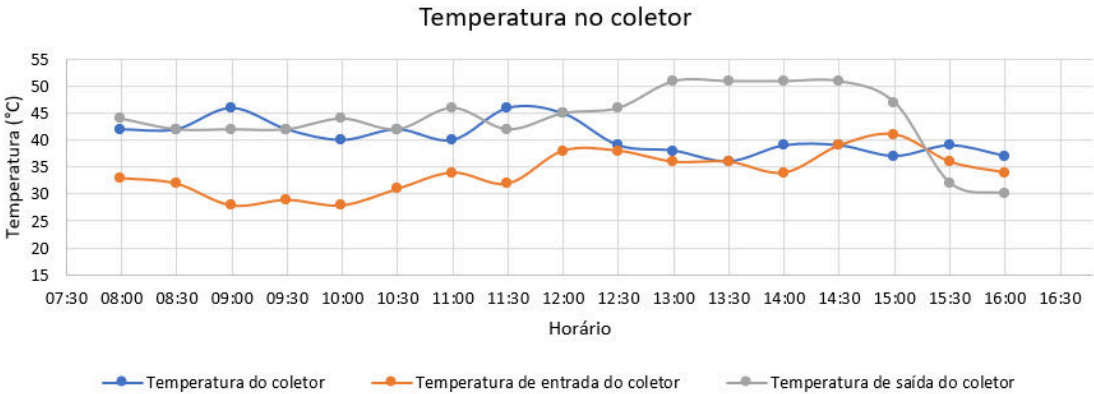
Ao analisar o que ocorreu no final dos dias por volta da 15:00h (quinze horas) até as 16:00h (dezesseis horas), observa-se um comportamento contrário do que vinha sendo obtido ao longo do dia, pois o coletor apresentou uma temperatura mais elevada que a saída, devido a inversão do fluxo.

Gráfico 16: Temperaturas da tubulação do coletor dia 06/05/2023.



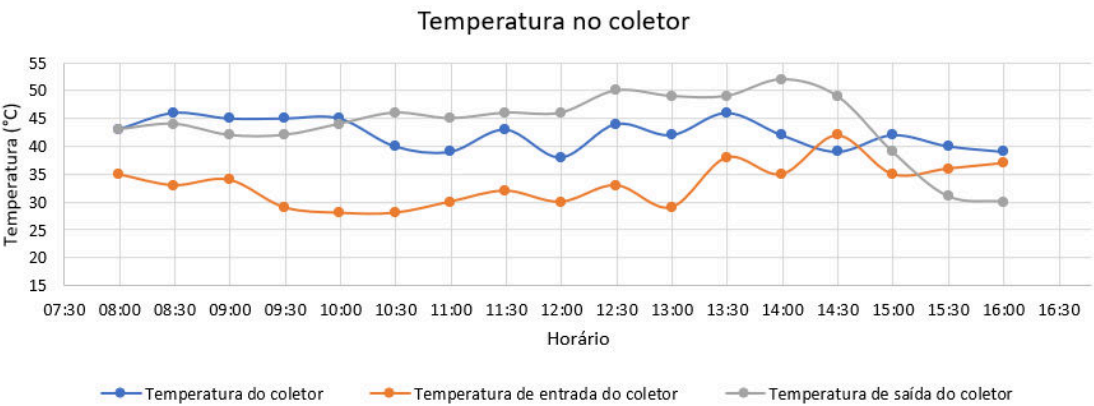
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 17: Temperaturas da tubulação do coletor dia 07/05/2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 18: Temperaturas da tubulação do coletor dia 08/05/2023.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6. CONCLUSÃO

Os objetivos propostos neste trabalho foram alcançados com êxito, visto que o sistema de aquecimento solar de água construído possui baixo custo quando comparado ao comercial, onde o construído neste trabalho custa aproximadamente 78,46% a menos que o comercial em comparação, atendendo as limitações financeiras da população de baixa renda. Dessa forma é verificada a viabilidade econômica do protótipo frente ao produto comercial.

Quanto ao sistema em si, podemos concluir que em relação a proposta de aquecimento de água, ele atende as expectativas, onde o sistema conseguiu atingir temperaturas elevadas.

Em relação ao isolamento das tubulações, se apresentou de forma satisfatória, visto que apresentou pequenas perdas de calor no percurso do coletor ao reservatório.

Ao se tratar do reservatório, observa-se que o mesmo apresenta uma boa eficiência, mantendo a temperatura durante todo o dia, porém causando um efeito estufa em seu topo devido a incidência solar em sua tampa.

Tratando-se do coletor, pode-se concluir que a película de PVC é alternativa válida, pois o coletor atingiu temperaturas consideráveis, mas também houveram perdas devido a película ser fina e não conseguir manter um efeito estufa tão significativo.

Enfim, conclui-se que este trabalho apresenta a viabilidade do protótipo tanto na questão da viabilidade econômica quanto na questão do aquecimento de água.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL (São Paulo). Associação Brasileira do Alumínio – Abal. **ESTATÍSTICAS: NACIONAIS: ALUMÍNIO PRIMÁRIO**. Disponível em: <<https://abal.org.br/estatisticas/nacionais/aluminio-primario/producao-mensal/>>. Acesso em: 9 abril. 2023.

BLOG BRASSOLAR. **5 dicas de instalação de aquecedor solar com o abastecimento de água**. 2020. Disponível em: <https://blog.brassolar.com.br/5-dicas-de-instalacao-de-aquecedor-solar/>. Acesso em: 23 jan. 2023.

BRASIL. João Tavares Pinho. Ministério de Minas e Energia (org.). **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel, 2014. 530 p.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 9. Ed. Rio de Janeiro: Ltc- Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2016. 910 p.

ÇENGEL Y. A. e Boles M. A. (2013). **Termodinâmica**, Editora McGraw Hill: 7ª edição.

CONFORTEC. **Aquecimento Solar de Água em Farroupilha RS**. 2023. Disponível em: <https://confortec.com.br/aquecimento-solar-farroupilha/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. 2ª edição. Madison: John Wiley e Sons, Inc. 2013

Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2022**. 2022 Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 20 jan. 2023.

FORTE, Fernando; Ferraz Rodrigo Marcondes. **Quais são os tipos de aquecedores de água existentes? Qual deles é o melhor?** Disponível em <<http://casaeimoveis.uol.com.br/tire-suas-duvidas/arquitetura/quais-sao-os-tipos-de-aquecedores-de-agua-existentis-qual-deles-e-o-melhor.jhtm>>.

GOMES, Marcio Rodrigues. **Projeto, construção e análise de eficiência térmica de um sistema de aquecimento solar de água de baixo custo**. 2010. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

INCROPERA, Frank P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. Tradução e revisão técnica Eduardo Mach Queiroz, Fernando Luiz Pellegrini Pessoa. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2014.

Instituto Brasileiro do PVC. **O que é PVC**. Disponível em: <https://pvc.org.br/o-que-e-pvc/>. Acesso em: 23 jan. 2023.

LENZ, Anderson Miguel. **Uso da energia solar para aquecimento de água e microgeração de eletricidade visando a sustentabilidade energética de uma residência unifamiliar rural.** Cascavel, 2016.

LION FILHO, Carlos Alberto Pereira de Queiroz. **Construção e análise de desempenho de um fogão solar à concentração utilizando dois focos para cozimento direto.** 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

LOPO, A. B. **Análise do Desempenho Térmico de um Sistema de Aquecimento Solar de Baixo Custo.** Dissertação de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

KALOGIROU, S. **Solar energy engineering: process and systems.** 1st ed. United States of America: Elsevier Inc, 2009.

MEDEIROS, Marinaldo José de; SILVA JÚNIOR, Olinto Evaristo da; SILVA, Márcio Gomes da; LIMA, João Alves de; MEDEIROS, Jesus Marinaldo de. Estudo teórico experimental de sistemas de aquecimento de água usando coletores solares para uso residencial / Theoretical and experimental study of water heating systems using solar collectors for residential use. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 16088-16109, 5 mar. 2022. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n3-039>.

NERI, Marcelo. **Mapa da Nova Pobreza.** 2022. Disponível em: <https://cps.fgv.br/MapaNovaPobreza>. Acesso em: 24 jan. 2023.

PACHECO, Anderson Valdivino. **Otimização de um forno solar de baixo custo para assamento de alimentos.** 2022. 58 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LIMA, Francisco J. Lopes de; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel Luna de; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson G. de. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** 2. Ed. São José dos Campos: Inpe, 2017. 88 p.

PIGOZZO FILHO, Victor César et al. **PROJETO, CONSTRUÇÃO E TESTES DE UM PROTÓTIPO CONCENTRADOR SOLAR FRESNEL LINEAR PARA GERAÇÃO DIRETA DE VAPOR PARA PROCESSOS INDUSTRIAIS.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. Anais [...]. Gramado: Cbens, 2018. P. 1-10.

RAIMO, Abdala Patrícia. **Aquecimento de água no setor residencial.** Dissertação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007

SÃO PAULO. CETESB. **Informações de Radiação.** 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/prozonesp/materiais-de-apoio/informacoes-de-radiacao/>. Acesso em: 21 jan. 2023.

SILVA, Edinesio Jales da. **FABRICAÇÃO E ESTUDO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO COLETOR SOLAR DE GRADE ABSORVEDORA FORMADA COM TUBOS PVC NA CONFIGURAÇÃO SÉRIE-PARALELO**. 2016. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

THOMAZ, Natalia. **SISTEMAS ALTERNATIVOS DE AQUECIMENTO SOLAR PARA ÁGUA DO BANHO NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**. 2014. 34 f. Monografia (Especialização) – Curso de Eficiência Energética Aplicada Aos Processos Produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Quaraí, 2014.

APENDICE A - Tabela de Cálculo para Determinar a Quantidade de Calor Referente ao Dia 06/05/2023.

Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (cm²)	Volume (cm³)	Massa (g)	Q (cal)	Temperatura (C°)
0	40	1256,64	1253,22	1253,22	15464,70	44
1	39,89	1249,80	1246,39	1246,39	15331,81	43,96
2	39,78	1242,98	1239,58	1239,58	15193,24	43,92
3	39,67	1236,18	1232,78	1232,78	15049,08	43,87
4	39,56	1229,39	1226,01	1226,01	14899,45	43,81
5	39,46	1222,63	1219,25	1219,25	14744,44	43,75
6	39,35	1215,88	1212,52	1212,52	14584,16	43,69
7	39,24	1209,15	1205,80	1205,80	14418,71	43,62
8	39,13	1202,44	1199,10	1199,10	14248,18	43,54
9	39,02	1195,75	1192,42	1192,42	14072,69	43,46
10	38,91	1189,08	1185,76	1185,76	13892,33	43,38
11	38,80	1182,43	1179,11	1179,11	13707,20	43,29
12	38,69	1175,80	1172,49	1172,49	13517,39	43,19
13	38,58	1169,18	1165,88	1165,88	13323,01	43,09
14	38,47	1162,58	1159,30	1159,30	13124,15	42,98
15	38,37	1156,01	1152,73	1152,73	12920,92	42,87
16	38,26	1149,45	1146,18	1146,18	12713,39	42,75
17	38,15	1142,91	1139,65	1139,65	12501,68	42,63
18	38,04	1136,38	1133,13	1133,13	12285,88	42,50
19	37,93	1129,88	1126,64	1126,64	12066,07	42,37
20	37,82	1123,40	1120,16	1120,16	11842,36	42,23
21	37,71	1116,93	1113,71	1113,71	11614,84	42,09
22	37,60	1110,48	1107,27	1107,27	11383,60	41,94
23	37,49	1104,05	1100,85	1100,85	11148,74	41,79
24	37,38	1097,64	1094,45	1094,45	10910,33	41,63
25	37,28	1091,25	1088,07	1088,07	10668,49	41,47
26	37,17	1084,88	1081,70	1081,70	10423,29	41,30
27	37,06	1078,53	1075,36	1075,36	10174,82	41,12
28	36,95	1072,19	1069,03	1069,03	9923,18	40,94
29	36,84	1065,87	1062,72	1062,72	9668,45	40,76
30	36,73	1059,58	1056,44	1056,44	9410,73	40,57
31	36,62	1053,30	1050,17	1050,17	9150,09	40,37
32	36,51	1047,03	1043,91	1043,91	8886,63	40,17
33	36,40	1040,79	1037,68	1037,68	8620,43	39,97
34	36,29	1034,57	1031,47	1031,47	8351,58	39,76
35	36,18	1028,36	1025,27	1025,27	8080,16	39,54
36	36,08	1022,18	1019,09	1019,09	7806,26	39,32
37	35,97	1016,01	1012,94	1012,94	7529,97	39,09
38	35,86	1009,86	1006,80	1006,80	7251,35	38,86
39	35,75	1003,73	1000,68	1000,68	6970,51	38,63
40	35,64	997,62	994,57	994,57	6687,51	38,38

41	35,53	991,53	988,49	988,49	6402,45	38,14
42	35,42	985,45	982,43	982,43	6115,40	37,88
43	35,31	979,40	976,38	976,38	5826,45	37,63
44	35,20	973,36	970,35	970,35	5535,66	37,36
45	35,09	967,34	964,34	964,34	5243,13	37,10
46	34,99	961,34	958,35	958,35	4948,93	36,82
47	34,88	955,36	952,38	952,38	4653,14	36,55
48	34,77	949,40	946,43	946,43	4355,84	36,26
49	34,66	943,46	940,49	940,49	4057,10	35,97
50	34,55	937,53	934,58	934,58	3757,01	35,68
51	34,44	931,63	928,68	928,68	3455,62	35,38
52	34,33	925,74	922,80	922,80	3153,04	35,08
53	34,22	919,87	916,94	916,94	2849,31	34,77
54	34,11	914,02	911,10	911,10	2544,53	34,45
55	34,00	908,19	454,09	454,09	1122,97	34,13
					Qtotal = 538582,41 Cal	

Fonte: Elaborado pelo autor.

APENDICE B - Tabela de Cálculo para Determinar a Quantidade de Calor Referente ao Dia 07/05/2023.

Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (cm²)	Volume (cm³)	Massa (g)	Q (cal)	Temperatura (C°)
0	40	1256,64	1253,22	1253,22	16742,98	50,00
1	39,89	1249,80	1246,39	1246,39	16824,86	50,14
2	39,78	1242,98	1239,58	1239,58	16888,73	50,26
3	39,67	1236,18	1232,78	1232,78	16934,87	50,38
4	39,56	1229,39	1226,01	1226,01	16963,56	50,48
5	39,46	1222,63	1219,25	1219,25	16975,06	50,56
6	39,35	1215,88	1212,52	1212,52	16969,66	50,64
7	39,24	1209,15	1205,80	1205,80	16947,63	50,70
8	39,13	1202,44	1199,10	1199,10	16909,23	50,74
9	39,02	1195,75	1192,42	1192,42	16854,73	50,77
10	38,91	1189,08	1185,76	1185,76	16784,39	50,80
11	38,80	1182,43	1179,11	1179,11	16698,49	50,80
12	38,69	1175,80	1172,49	1172,49	16597,29	50,80
13	38,58	1169,18	1165,88	1165,88	16481,04	50,78
14	38,47	1162,58	1159,30	1159,30	16350,01	50,74
15	38,37	1156,01	1152,73	1152,73	16204,46	50,70
16	38,26	1149,45	1146,18	1146,18	16044,64	50,64
17	38,15	1142,91	1139,65	1139,65	15870,82	50,57
18	38,04	1136,38	1133,13	1133,13	15683,24	50,48
19	37,93	1129,88	1126,64	1126,64	15482,15	50,38
20	37,82	1123,40	1120,16	1120,16	15267,82	50,27
21	37,71	1116,93	1113,71	1113,71	15040,49	50,14
22	37,60	1110,48	1107,27	1107,27	14800,41	50,01
23	37,49	1104,05	1100,85	1100,85	14547,83	49,86
24	37,38	1097,64	1094,45	1094,45	14282,98	49,69
25	37,28	1091,25	1088,07	1088,07	14006,13	49,51
26	37,17	1084,88	1081,70	1081,70	13717,50	49,32
27	37,06	1078,53	1075,36	1075,36	13417,35	49,12
28	36,95	1072,19	1069,03	1069,03	13105,90	48,90
29	36,84	1065,87	1062,72	1062,72	12783,40	48,67
30	36,73	1059,58	1056,44	1056,44	12450,09	48,43
31	36,62	1053,30	1050,17	1050,17	12106,20	48,17
32	36,51	1047,03	1043,91	1043,91	11751,96	47,90
33	36,40	1040,79	1037,68	1037,68	11387,61	47,61
34	36,29	1034,57	1031,47	1031,47	11013,38	47,32
35	36,18	1028,36	1025,27	1025,27	10629,50	47,01
36	36,08	1022,18	1019,09	1019,09	10236,19	46,68
37	35,97	1016,01	1012,94	1012,94	9833,69	46,35
38	35,86	1009,86	1006,80	1006,80	9422,21	46,00
39	35,75	1003,73	1000,68	1000,68	9001,98	45,64
40	35,64	997,62	994,57	994,57	8573,23	45,26

41	35,53	991,53	988,49	988,49	8136,17	44,87
42	35,42	985,45	982,43	982,43	7691,02	44,47
43	35,31	979,40	976,38	976,38	7238,00	44,05
44	35,20	973,36	970,35	970,35	6777,33	43,62
45	35,09	967,34	964,34	964,34	6309,21	43,18
46	34,99	961,34	958,35	958,35	5833,88	42,73
47	34,88	955,36	952,38	952,38	5351,53	42,26
48	34,77	949,40	946,43	946,43	4862,37	41,78
49	34,66	943,46	940,49	940,49	4366,62	41,28
50	34,55	937,53	934,58	934,58	3864,48	40,78
51	34,44	931,63	928,68	928,68	3356,16	40,25
52	34,33	925,74	922,80	922,80	2841,87	39,72
53	34,22	919,87	916,94	916,94	2321,79	39,17
54	34,11	914,02	911,10	911,10	1796,15	38,61
55	34,00	908,19	454,09	454,09	634,60	38,04
Qtotal = 659964,85 Cal						

Fonte: Elaborado pelo autor.

APENDICE C - Tabela de Cálculo para Determinar a Quantidade de Calor Referente ao Dia 08/05/2023.

Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (cm²)	Volume (cm³)	Massa (g)	Q (cal)	Temperatura (C°)
0	40	1256,64	1253,22	1253,22	18535,09	52
1	39,89	1249,80	1246,39	1246,39	18496,26	52,05
2	39,78	1242,98	1239,58	1239,58	18445,64	52,09
3	39,67	1236,18	1232,78	1232,78	18383,39	52,12
4	39,56	1229,39	1226,01	1226,01	18309,71	52,14
5	39,46	1222,63	1219,25	1219,25	18224,80	52,16
6	39,35	1215,88	1212,52	1212,52	18128,83	52,16
7	39,24	1209,15	1205,80	1205,80	18022,00	52,16
8	39,13	1202,44	1199,10	1199,10	17904,48	52,14
9	39,02	1195,75	1192,42	1192,42	17776,47	52,12
10	38,91	1189,08	1185,76	1185,76	17638,14	52,09
11	38,80	1182,43	1179,11	1179,11	17489,68	52,04
12	38,69	1175,80	1172,49	1172,49	17331,26	51,99
13	38,58	1169,18	1165,88	1165,88	17163,08	51,93
14	38,47	1162,58	1159,30	1159,30	16985,30	51,86
15	38,37	1156,01	1152,73	1152,73	16798,11	51,78
16	38,26	1149,45	1146,18	1146,18	16601,68	51,69
17	38,15	1142,91	1139,65	1139,65	16396,19	51,60
18	38,04	1136,38	1133,13	1133,13	16181,81	51,49
19	37,93	1129,88	1126,64	1126,64	15958,72	51,37
20	37,82	1123,40	1120,16	1120,16	15727,09	51,25
21	37,71	1116,93	1113,71	1113,71	15487,09	51,12
22	37,60	1110,48	1107,27	1107,27	15238,89	50,97
23	37,49	1104,05	1100,85	1100,85	14982,66	50,82
24	37,38	1097,64	1094,45	1094,45	14718,58	50,66
25	37,28	1091,25	1088,07	1088,07	14446,80	50,49
26	37,17	1084,88	1081,70	1081,70	14167,49	50,31
27	37,06	1078,53	1075,36	1075,36	13880,83	50,12
28	36,95	1072,19	1069,03	1069,03	13586,96	49,92
29	36,84	1065,87	1062,72	1062,72	13286,07	49,71
30	36,73	1059,58	1056,44	1056,44	12978,31	49,50
31	36,62	1053,30	1050,17	1050,17	12663,84	49,27
32	36,51	1047,03	1043,91	1043,91	12342,82	49,03
33	36,40	1040,79	1037,68	1037,68	12015,41	48,79
34	36,29	1034,57	1031,47	1031,47	11681,77	48,54
35	36,18	1028,36	1025,27	1025,27	11342,06	48,27
36	36,08	1022,18	1019,09	1019,09	10996,44	48,00
37	35,97	1016,01	1012,94	1012,94	10645,05	47,72
38	35,86	1009,86	1006,80	1006,80	10288,05	47,43
39	35,75	1003,73	1000,68	1000,68	9925,61	47,13
40	35,64	997,62	994,57	994,57	9557,85	46,82

41	35,53	991,53	988,49	988,49	9184,95	46,50
42	35,42	985,45	982,43	982,43	8807,05	46,17
43	35,31	979,40	976,38	976,38	8424,30	45,84
44	35,20	973,36	970,35	970,35	8036,84	45,49
45	35,09	967,34	964,34	964,34	7644,83	45,14
46	34,99	961,34	958,35	958,35	7248,41	44,77
47	34,88	955,36	952,38	952,38	6847,72	44,40
48	34,77	949,40	946,43	946,43	6442,91	44,02
49	34,66	943,46	940,49	940,49	6034,12	43,63
50	34,55	937,53	934,58	934,58	5621,49	43,23
51	34,44	931,63	928,68	928,68	5205,17	42,81
52	34,33	925,74	922,80	922,80	4785,29	42,40
53	34,22	919,87	916,94	916,94	4361,99	41,97
54	34,11	914,02	911,10	911,10	3935,42	41,53
55	34,00	908,19	454,09	454,09	1758,48	41,08

Qtotal = 715069,27 Cal

Fonte: Elaborado pelo autor.

ANEXO A – MANUAL DE INSTRUÇÕES TERMOMETRO DIGITAL TH-1300.



4. Descrição do Display

-1.8.8.8	Exibição de temperatura
°C	Escala termométrica em °C
°F	Escala termométrica em °F
H	Indicador de congelamento de dados
Bateria	Indicador de bateria fraca

5. Operação

1. Medição de temperatura: Ligue o instrumento e aguarde por 3 minutos. Conecte o sensor no aparelho, escolha a escala adequada de acordo com a utilização. Encoste o sensor no objeto, até que o valor seja exibido no display, e se torne estável. Leia o valor no display, e a medição está completa. Para congelar a leitura no display, pressione o botão HOLD.

Introdução

Este equipamento foi fabricado em conformidade com a norma IEC-458. O instrumento é um termômetro digital portátil com display de 3 1/2 dígitos. Capaz de efetuar medições em graus Celsius (°C) ou Fahrenheit (°F). Possui função de compensação de temperatura e congelamento de dados. Este instrumento é compacto, preciso e possui baixo consumo de energia.

1. Especificações Gerais

- Display de 3 1/2 dígitos com exibição máxima de 1999
- Sensor de temperatura (Fornecido)
 - Conector tipo K
 - Haste: 78mm x 3mm
 - Temperatura (-10 a 250°C)
- Taxa de amostragem: cerca de 2,5x por segundo
- Temperatura de armazenagem: 0 – 40°C < 80%RH
- Indicação de situação de sobrecarga: "1" ou "-1" é exibido no display
- Alimentação: Bateria alcalina de 9V ou bateria de carbono / zinco
- Vida útil da bateria: Aprox. 200h (alcalina) 100h (carbono / zinco)
- Dimensões / Peso: 147 x 71 x 34mm / 200g

2. Especificações Técnicas

- Precisão: $\pm (a\% \times \text{leitura} + \text{número})$ em 23°C $\pm 5^\circ\text{C}$
- Escala de medição do aparelho: -50 – 1300°C / -40 – 1999°F

Coefficiente de temperatura ambiente: Quando abaixo de 18°C ou acima de 28°C, o coeficiente é 0,1 x precisão 1°C.

Escala de Medição	Precisão	Resolução
-50°C – 199,9°C	$\pm 0,5\% + 2^\circ\text{C}$	0,1°C
Acima de 200°C	$\pm 1,5\% + 2^\circ\text{C}$	1°C
-40°F – 199,9°F	$\pm 0,5\% + 2^\circ\text{F}$	0,1°F
Acima de 200°F	$\pm 1,5\% + 2^\circ\text{F}$	1°F

1. Display de cristal líquido
2. Botão Liga / Desliga
3. Botão HOLD, o indicador "H" é exibido no display
4. Botão de seleção °C
5. Botão de seleção °F
6. Tecla de seleção de escala: -50°C – 199,9°C: 0,1°C - -50°C – 1300°C: 1°C
-40°F – 199,9°F: 0,1°F - -40°F – 2000°F: 1°F
7. Interface do sensor tipo K: Entrada de tensão (máx): CC 60V/CA 24V
8. Compensação de temperatura

6. Considerações

1. "1" é exibido no display se o sensor não foi conectado, se não há contato ou há situação de sobre-escala.
2. Quando o símbolo da bateria é exibido no display significa que a bateria está fraca e que precisa ser substituída.
3. Para garantir a precisão, aguarde por 3 minutos após ligar o instrumento.

7. Lista de Acessórios

Acessórios fornecidos	Acessórios opcionais (vendidos separadamente)
• Bateria de 9V	• Certificado de calibração
• Sensor tipo K	• Sensor tipo modelo: S-01K; S-03K; S-04K;
• Manual de instruções	S-05K; S-06K; S-07K
• Estojo para transporte	• Maleta para transporte mod. MA-800 e MA-810

Termos de Garantia

O instrumento assim como todos os acessórios que o acompanham, foram cuidadosamente ajustados e inspecionados individualmente pelo nosso controle de qualidade, para maior segurança e garantia do seu perfeito funcionamento. Este aparelho é garantido contra possíveis defeitos de fabricação ou danos, que se verificar por uso correto do equipamento, no período de 6 meses a partir da data da compra.

A garantia não abrange fusíveis, pilhas, baterias e acessórios como pontas de prova, bolsa de transporte, sensores, etc.

Excluem-se de garantia os seguintes casos:

- a) Uso incorreto, contrariando as instruções;
- b) Violação do aparelho por técnicos não autorizados;
- c) Queda e exposição a ambientes inadequados.

Observações:

- Ao enviar o equipamento para assistência técnica e o mesmo possuir certificado de calibração, deve ser encaminhado uma carta junto com o equipamento, autorizando a abertura do mesmo pela assistência técnica da Instrutherm.
- Caso a empresa possua Inscrição Estadual, esta deve encaminhar uma nota fiscal de simples remessa do equipamento para fins de trânsito.
- No caso de pessoa física ou jurídica possuindo isenção de Inscrição Estadual, esta deve encaminhar uma carta discriminando sua isenção e informando que os equipamentos foram encaminhados a fins exclusivos de manutenção ou emissão de certificado de calibração.
- Ao solicitar qualquer informação técnica sobre este equipamento, tenha sempre em mãos o n.º da nota fiscal de venda da Instrutherm, código de barras e n.º de série do equipamento.
- **Todas as despesas de frete (dentro ou fora do período de garantia) e riscos correm por conta do comprador.**

VENDAS, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E SUPORTE TÉCNICO
Instrutherm Instrumento de Medição Ltda.
Rua Jorge de Freitas, 264 - Freguesia do Ó
São Paulo - SP - CEP: 02911-030
Vendas: (11) 2144-2800 Suporte Técnico: (11) 2144-2802 - Fax: (11) 2144-2801
E-mail: instrutherm@instrutherm.com.br
Site: www.instrutherm.com.br
SAC: sac@instrutherm.com.br