



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



VINÍCIUS RIBEIRO BARBOSA

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM CONCENTRADOR
SOLAR DE CALHA PARABÓLICA**

**OURO PRETO – MG
2021**

VINÍCIUS RIBEIRO BARBOSA
vinicius.barbosa@aluno.ufop.edu.br

**CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE UM CONCENTRADOR
SOLAR DE CALHA PARABÓLICA**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc. Edson Alves Figueira Júnior

OURO PRETO – MG
2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B238c Barbosa, Vinicius Ribeiro .
Construção de um protótipo de um concentrador solar de calha parabólica. [manuscrito] / Vinicius Ribeiro Barbosa. - 2021.
48 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Edson Figueira Júnior.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Energia solar - Concentrador solar. 2. Engenharia de protótipos. 3. Energia solar. 4. Geração de energia fotovoltaica. I. Figueira Júnior, Edson. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Vinicius Ribeiro Barbosa

Construção de um protótipo de um concentrador solar de calha parabólica

Monografia apresentada ao Curso de engenharia mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro mecânico

Aprovada em 09 de dezembro de 2021

Membros da banca

DSc - Edson Alves Figueira Júnior - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
DSc - Cláudio Márcio Santana - Universidade Federal de Ouro Preto
DSc - José Francisco Vilela Rosa - Universidade Federal de Ouro Preto

Edson Alves Figueira Júnior, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 14/12/2021.



Documento assinado eletronicamente por **Claudio Marcio Santana, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/12/2021, às 09:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edson Alves Figueira Junior, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/01/2022, às 21:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Francisco Vilela Rosa, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/01/2022, às 12:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0257341** e o código CRC **B2C58748**.

Aos meus pais, Alessanda Ribeiro
Ferreira Barbosa e Rogério Avelar
Barbosa, por todo apoio, incentivo e
confiança.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Alessandra Ribeiro Ferreira Barbosa e Rogério Avelar Barbosa, por nunca medirem esforços para me proporcionar um ensino de qualidade, além de todo apoio, incentivo e confiança durante o período acadêmico.

Às minhas irmãs Iara e Marcella, pelo companheirismo e cumplicidade durante todos os momentos da minha vida.

Aos meus avós, Célius e Beatriz, por serem meu porto seguro em todos os momentos mais delicados.

A todos os mestres que fizeram parte desta trajetória, pelas correções e ensinamentos que me permitiram um crescimento pessoal e profissional ao longo do curso.

Ao meu orientador Edson Alves Figueira Júnior pela sua dedicação e paciência durante o projeto.

A todos os meus amigos do curso de Engenharia Mecânica, que estavam do meu lado em todas as noites mal dormidas e disciplinas concluídas.

Aos amigos que tive o prazer de conhecer durante minha estadia em Ouro Preto, que puderam proporcionar os anos mais incríveis da minha vida.

À minha família da República Maizona pela irmandade e companheirismo, além de todas as vivências ao longo dos anos em Ouro Preto.

“O futuro pertence a quem acredita na beleza de seus sonhos.”

Eleanor Roosevelt

BARBOSA, V. R. Construção de um protótipo de um concentrador solar de calha parabólica. 2021. Monografia. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

RESUMO

O trabalho trata-se do estudo, dimensionamento e construção de um protótipo de um concentrador solar cilíndrico-parabólico para aquecimento de uma determinada massa de água, demonstrando como ocorre o fenômeno de concentração de raios solares e a utilização da energia térmica proveniente dos mesmos. Diante dos problemas ambientais causados pelo consumo de combustíveis fósseis como fonte de energia para as mais diversas necessidades, a busca pelas fontes de energia alternativa se tornam cada vez maiores, e uma dessas soluções é a utilização do sol como fonte de energia térmica. Desse modo, foi construído um protótipo de um concentrador solar de calha parabólica, utilizando 5 lâmpadas incandescentes com potência de 105W cada com o objetivo de simular o sol. Com isso, os raios luminosos foram concentrados em um foco por uma placa de aço inox de alto brilho, de medida 1000x700x0,4mm em formato de semi-círculo, funcionando como um espelho esférico. No foco, passa uma tubulação de cobre contendo água, que está conectada à um reservatório devidamente isolado, totalizando 600ml de água que serão aquecidos. A água foi circulada dentro do sistema com o auxílio de uma bomba universal de limpador de parabrisas, acionada por uma bateria de 9v, com uma vazão de 20ml por segundo, com o objetivo de realizar a troca térmica entre os diferentes pontos do sistema. O experimento foi realizado durante um período de 5 horas e 30 minutos, sendo realizadas medições das temperaturas envolvidas a cada 30 minutos através de um termômetro digital composto por quatro termopares tipo K. A partir disso, foi possível construir um gráfico que mostra a variação das temperaturas envolvidas, evidenciando o aumento de temperatura da água do reservatório de 20,2°C para 40,5°C, durante todo o experimento. Por fim, foram realizados cálculos de eficiência térmica do protótipo, mostrando adequadamente o fenômeno da concentração de raios luminosos para a obtenção de energia térmica, que poderá ser utilizada para os mais diversos fins.

Palavras-chave: Concentrador solar. Protótipo. Energia solar. Energia renovável. Energia térmica. Eficiência.

BARBOSA, V.R. Construction of a prototype of a parabolic trough solar concentrator. 2021. Monograph. (Degree in Mechanical Engineering). Federal University of Ouro Preto.

ABSTRACT

The work in question is the study, dimensioning and construction of a prototype of a cylindrical-parabolic solar concentrator for heating a given mass of water, demonstrating how the phenomenon of concentration of solar rays occurs and the use of thermal energy from the same. Faced with the environmental problems caused by the consumption of fossil fuels as an energy source for the most diverse needs, the search for alternative energy sources has become ever greater, and one of these solutions is the use of the sun as a source of thermal energy. Thus, a prototype of a parabolic trough solar concentrator will be built, using 5 incandescent lamps with a power of 105W each, with the objective of simulating the sun. With this, the light rays will be concentrated in a focus by a stainless-steel plate of high gloss, measuring 1000x700x0.4mm in a semi-circle format, working as a spherical mirror. At the focus, there is a copper pipe containing water, which is connected to a properly insulated reservoir, totalling 600ml of water that will be heated. The water will be circulated within the system with the aid of a universal windshield wiper pump, powered by a 9v battery, with a flow rate of 20ml per second, with the objective of performing the thermal exchange between the different points of the system. The experiment will be carried out over a period of 5 hours and 30 minutes, with measurements of the temperatures involved being carried out every 30 minutes through a digital thermometer composed of four type K thermocouples. From this, it will be possible to build a graph that shows the variation of the temperatures involved, evidencing the increase in the temperature of the water in the reservoir from 20.2°C to 40.5°C, throughout the experiment. Finally, thermal efficiency calculations will be performed for the prototype, adequately showing the phenomenon of the concentration of light rays to obtain thermal energy, which can be used for various purposes.

Keywords: Solar concentrator. Prototype. Solar energy. Renewable energy. Thermal energy. Efficiency.

LISTA DE SÍMBOLOS

f	Distância focal [m]
r	Raio de curvatura [m]
p	Distância entre o objeto e o espelho [m]
i	Distância entre a imagem e o espelho [m]
C	Corda de uma circunferência [m]
R	Raio de um arco de círculo [m]
α	Semi ângulo [°]
F	Flecha de um arco de círculo [m]
A	Arco de uma circunferência [m]
Q_{in}	Energia térmica incidente [W]
A_a	Área de abertura [m ²]
G	Radiação incidente [W/m ²]
Q_{abs}	Energia Absorvida [W]
\dot{m}	Vazão mássica [kg/s]
C_p	Calor específico [Kj/kg.K]
T_s	Temperatura de saída [°C]
T_e	Temperatura de entrada [°C]
η	Eficiência térmica
G_{gh}	Irradiação global horizontal [W/m ²]
G_{dif}	Irradiância difusa horizontal [W/m ²]
G_{dir}	Irradiância direta horizontal [W/m ²]
G_0	Irradiância extraterrestre [W/m ²]

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz energética brasileira e mundial	16
Figura 2 – Hidrelétrica de Itaipú	21
Figura 3 – Parque eólico Osório/RS	22
Figura 4 – Parque solar Lapa. Bom Jesus da Lapa/BA	23
Figura 5 – Usina solar heliotérmica. Nevada/EUA	24
Figura 6 – Comparação entre sistemas estacionários e rastreadores	24
Figura 7 – Concentrador solar Fresnel	25
Figura 8 – Torre Solar	25
Figura 9 – Concentrador solar de disco parabólico	26
Figura 10 – Concentrador solar de calha parabólica	27
Figura 11 – Espelho côncavo com raios paralelos incidentes	28
Figura 12 – Espelho côncavo com objeto próximo ao centro de curvatura	29
Figura 13 – Objeto posicionado atrás do centro de curvatura	30
Figura 14 – Objeto posicionado entre o centro de curvatura e o foco	30
Figura 15 – Raio, corda, flecha e ângulo de um arco de círculo	31
Figura 16 – Aproveitamento energético	32
Figura 17 – Atlas solarimétrico de Minas Gerais	34
Figura 18 – Componentes da irradiância solar	36
Figura 19 – Total diário da irradiação global horizontal, média anual	37
Figura 20 – Total diário da irradiação global horizontal, média mensal	38
Figura 21 – Fluxograma da metodologia do trabalho	42
Figura 22 – Esboço da geometria do protótipo	46
Figura 23 – Simulação GeoGebra	47
Figura 24 – Representação gráfica do protótipo	48
Figura 25 – Construção do molde (base)	50
Figura 26 – Fixação da placa de aço inox	50
Figura 27 – Fixação das lâmpadas e dos tubos	51
Figura 28 – Dispositivo em funcionamento	52
Figura 29 – Termômetro digital	53
Figura 30 – Gráfico da variação de temperatura	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos coletores solares por graus de rastreamento	27
Tabela 2 – Características de diferentes concentradores solares	28
Tabela 3 – Variáveis de indicadores	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Formulação do problema	14
1.2 Justificativa	16
1.3 Objetivos.....	17
1.3.1 Objetivo geral.....	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 Estrutura do trabalho.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Fontes renováveis	19
2.2 Concentradores solares	23
2.2.1 Concentrador Solar Fresnel.....	24
2.2.2 Torre de Receptor Central	25
2.2.3 Concentrador Solar de Disco Parabólico	26
2.2.4 Concentradores Solares Cilíndricos Parabólicos.....	26
2.3. Comparações Entre os Tipos de Concentradores Solares.....	27
2.4 Concentrador Solar Cilíndrico Parabólico.....	28
2.4.1 Cálculo da posição do tubo absorvedor.....	28
2.4.2 Dimensionamento da superfície reflexiva.....	31
2.4.3 Ganho energético.....	32
2.4.4 Eficiência térmica.....	33
2.4.5 Perdas energéticas	33
2.5 Potencial energético	34
2.5.1 Irradiância solar.....	35
3. METODOLOGIA.....	39
3.1 Tipo de pesquisa	39
3.2 Materiais e Métodos.....	41
3.3 Variáveis e Indicadores.....	42
3.4 Instrumentos de coleta de dados	43
3.5 Tabulação dos dados	43
3.6 Realização do experimento	44
3.7 Considerações finais	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 Modelamento do protótipo.....	45

4.2 Materiais utilizados	48
4.3 Construção do protótipo.....	49
4.4 Resultados e discussões	52
4.4.1 Coleta e análise de dados	52
4.5 Análise energética.....	55
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	56
5.1 Conclusão.....	56
5.2 Recomendações	57

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentado brevemente a história e o uso das fontes de energia em nosso planeta, desde os combustíveis fósseis até as mais diversas fontes renováveis, bem como sua importância e aplicação.

1.1 Formulação do problema

Segundo Carvalho (2008), com a primeira revolução industrial e o surgimento das máquinas a vapor, a exploração do petróleo tornou-se cada vez maior. Tal combustível fóssil era responsável por alimentar os mais variados equipamentos e permitiram que a industrialização e os avanços tecnológicos fossem possíveis.

De acordo com Pedrini (2019), o chamado “ouro negro” era muito abundante e barato, e sua obtenção só dependia de escavações, uma vez que sua origem é derivada da decomposição de matéria orgânica de milhões de anos. Sua eficiência energética era suficiente para atender às demandas da época, proporcionando assim o surgimento das primeiras indústrias automobilísticas, facilitando o transporte, o comércio e melhorando assim, a economia mundial.

Conforme Fogaça (2021), a queima do petróleo é considerada incompleta, isso significa que uma grande quantidade de produtos prejudiciais ao meio ambiente -tais como monóxido e dióxido de carbono- são liberados na atmosfera, provocando sérias consequências como o aquecimento global e o efeito estufa.

Segundo a Agência Nacional de Petróleo - ANP (2018), no ano de 2017 o consumo anual de petróleo totalizou 98,2 milhões de barris/dia, o que resulta numa grande quantidade de poluentes emitidos. Além disso, o mundo começa a entrar numa era de escassez desse combustível, fazendo com que os preços se tornem cada vez mais altos.

Atualmente, as temperaturas médias globais de superfície são as maiores dos últimos cinco séculos, pelo menos. Foi registrado um aumento de cerca de 0,74 °C nos últimos cem anos (ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2020). Caso não se atue neste aquecimento de forma significativa, espera-se observar, ainda neste século, um clima bastante incomum, podendo apresentar, por exemplo, um acréscimo médio da temperatura global de 1 °C até 2024, em relação aos níveis pré-industriais, segundo a Organização Meteorológica Mundial (2020, [s.p]).

O aumento de um grau na temperatura mundial pode não parecer significativo, mas, segundo o Painel intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, se uma atitude não for tomada imediatamente, o mundo sofrerá consequências catastróficas – aumento do nível do mar, da temperatura e acidez dos oceanos, comprometimento da capacidade de cultivar alimentos como arroz, milho e trigo (BBC, 2020).

Levando em consideração os fatores ambientais e econômicos, a busca por fontes renováveis, consideradas limpas e inesgotáveis, cresceu bastante nas últimas décadas (PORTAL SOLAR, 2015).

Tendo em vista a preocupação com o meio ambiente, resultado da exploração e queima do petróleo, a procura por fontes alternativas de energia começou a ganhar força. Tais fontes consideradas renováveis que, ao contrário do petróleo, não demoram milhões de anos para se formarem, são proporcionadas diretamente pela força da natureza. Existem vários tipos de fonte de energia renováveis, entre elas: hídrica, eólica, biomassa, oceânica, geotérmica, hidrogênio, solar, entre outras (PORTAL SOLAR, 2015).

A figura 1 mostra a comparação entre a matriz energética brasileira e a mundial. Pode-se perceber que consumimos mais energia proveniente de fontes renováveis que outros países.

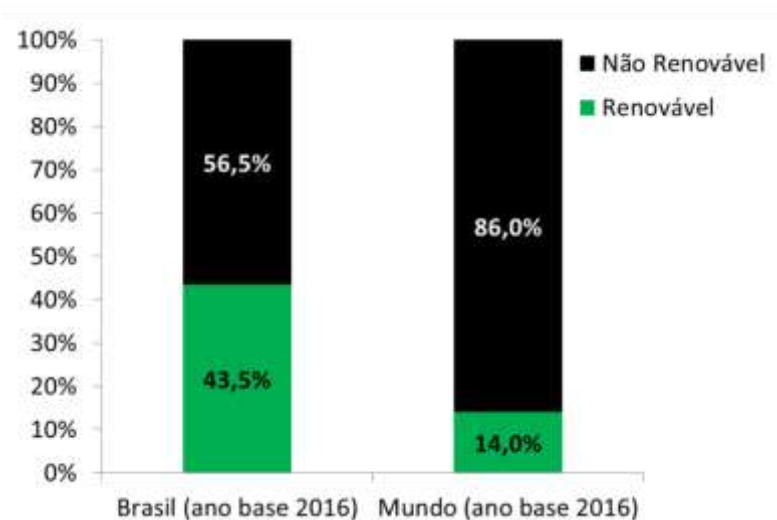


Figura 1: Matriz energética brasileira e mundial
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2016)

É importante ressaltar que dos 43,5% da energia renovável consumida, 12% é proveniente dos recursos hídricos, 17% de derivados da cana de açúcar, 8% de lenha e carvão vegetal e aproximadamente 6,5% de outras fontes renováveis, como solar, eólica, nuclear etc. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019).

O foco do projeto é baseado no aproveitamento das fontes de energias renováveis, uma vez que essas fontes estão ganhando cada vez mais destaque no cenário mundial. Tais tecnologias possuem inúmeras aplicações que podem ser adaptadas às mais diversas necessidades, além disso, não são prejudiciais ao ecossistema e fazem parte de uma solução promissora para os desafios resultantes da escassez iminente dos combustíveis fósseis.

Mais especificamente, serão explorados os benefícios da energia solar, que pode ser aproveitada de várias formas, mas se dividem em dois grupos principais: a energia fotovoltaica e a heliotérmica. As usinas heliotérmicas funcionam com diferentes tipos de concentradores solares, que serão mencionados mais adiante, porém o princípio básico é o mesmo: concentração dos raios solares em um foco obtendo energia térmica.

Neste estudo é utilizado um concentrador solar do tipo calha parabólica, que tem como finalidade o aquecimento de um determinado volume de água e que não produza impactos negativos ao meio ambiente, aliado a um baixo custo de fabricação e uma eficiência térmica razoável. Tal protótipo terá o objetivo de comprovar a eficácia dos concentradores solares em suas mais variadas aplicações, mesmo que em escala reduzida.

Com isso, formula-se o seguinte questionamento:

Como construir um protótipo em escala reduzida com capacidade para aquecer uma determinada massa de água e possibilitar um estudo prático deste dispositivo?

1.2 Justificativa

O intuito do protótipo é demonstrar como as energias renováveis podem ser aproveitadas, e principalmente qual o impacto delas na redução da emissão de gases estufa, que tem se tornado cada vez mais um problema para a sociedade atual, levando em consideração algumas consequências derivadas das emissões desses gases, como o aquecimento global, doenças respiratórias, entre outros.

O concentrador solar em questão, além de reduzir os efeitos negativos dos gases poluentes, possui aplicações com grandes potenciais, como por exemplo, promover água quente para civilizações mais necessitadas, em ambientes hostis, onde não há eletricidade. Isso acontece devido à facilidade de instalação do sistema, aliado ao baixo custo e à um aproveitamento energético considerável.

Com isso, implementando esse projeto em larga escala, seria possível promover uma melhoria na qualidade de vida das pessoas, proporcionando mais conforto aos necessitados sem prejudicar o meio ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Construir um protótipo de um aquecedor solar de calha parabólica para aquecimento de água, analisando parâmetros como eficiência e custo-benefício, e a partir dos resultados obtidos, realizar um estudo prático do dispositivo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar um estudo teórico sobre concentradores solares:
 - Fontes renováveis;
 - Tipos de concentradores solares e a comparação entre eles;
 - Concentrador solar cilíndrico parabólico;
 - Potencial energético.
- Elaborar um procedimento metodológico para coleta de dados necessários para a construção do protótipo;
- Realizar um levantamento dos materiais necessários para a montagem do protótipo;
- Dimensionar o protótipo;
- Construir o protótipo;
- Verificar a eficiência do protótipo.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos, onde no primeiro capítulo são apresentados os problemas derivados do consumo de combustíveis fósseis e a utilização das diversas fontes de energias renováveis como solução. Com isso, é feito um estudo que comprove a eficiência de um sistema de concentração solar a fim de reduzir os impactos ambientais e proporcionar melhorias à sociedade.

O segundo capítulo mostra brevemente alguns tipos de energias renováveis, assim como a fundamentação teórica dos conceitos a respeito do concentrador solar. Também são relatados os diferentes tipos de concentradores solares, analisando as vantagens e desvantagens existentes em cada um.

O terceiro capítulo mostra a metodologia utilizada no presente trabalho, tais como os tipos de pesquisa utilizadas; os materiais e métodos envolvidos durante o experimento; quais foram as variáveis e indicadores; os instrumentos de coleta de dados para estudo dos mesmos e a realização prática do experimento a fim de se obter as devidas conclusões.

No quarto capítulo, estão apresentados os resultados do experimento e algumas discussões acerca do que foi trabalhado, além disso, é relatado como foi realizado o modelamento do protótipo; quais foram os materiais utilizados; como foi feita a construção do sistema e a análise energética do seu funcionamento.

Por fim, no capítulo 5, são demonstradas as conclusões e algumas recomendações, baseadas no estudo envolvido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fontes renováveis

As fontes de energia renováveis recebem este nome pois seu poder energético é naturalmente reabastecido, ou seja, são ilimitadas (BLUE SOL, 2021). Consideradas energias limpas, uma vez que não emitem gases poluentes na atmosfera, como os combustíveis fósseis. Apesar disso, essas fontes também causam alguns impactos ambientais, mesmo que de forma indireta. Em geral, são utilizadas como formas complementares de energia, como alternativas para eventuais problemas energéticos (BLUE SOL, 2021).

A seguir, serão citados os principais tipos de fontes de energia renováveis utilizados atualmente.

Hídrica: segundo Ventura Filho (2013), a energia hídrica, proveniente das hidrelétricas, provém da energia potencial do fluxo de água nos rios. Este fluxo é utilizado no acionamento de turbinas, gerando energia mecânica que futuramente será transformada em eletricidade nas usinas, e assim, distribuídas através das linhas de transmissão até o consumidor. Após esse processo, essas águas são devolvidas novamente ao ambiente sem sofrerem nenhum tipo de alteração.

As hidrelétricas são responsáveis por produzirem cerca de 70% da energia elétrica disponível para consumo no Brasil, ou seja, é a principal geradora de eletricidade no país, sendo que 40,5% do potencial hidrelétrico do país está localizado na Bacia Hidrográfica do Amazonas, porém é na Bacia do Rio Paraná em que há a maior produção de energia hidráulica, pela Itaipu Binacional. Essa bacia possui rios que passam por grandes cidades como São Paulo, poluindo a água que chega até a Usina (SHIMAKO; ROSSI, 2018, [s.p.]).

A figura 2 mostra a hidrelétrica de Itaipú, localizada no rio Paraná, entre o Brasil e o Paraguai.



Figura 2: Hidrelétrica de Itaipu.
Fonte: G1 (2020)

Eólica: de acordo com o Greenpeace (2013), energia eólica é proveniente da força dos ventos, que através de aerogeradores, transformam essa energia mecânica em energia elétrica por meio de um transformador. Este tipo de energia é amplamente utilizado, desde as mais antigas civilizações, que utilizavam moinhos para realizar trabalho, como moer grãos e drenar água.

Em fevereiro de 2017, o Brasil atingiu 10,8 GW de energia eólica em operação, representando 7,1% da matriz elétrica brasileira, atingindo o 9º lugar na geração eólica no mundo.

Com os parques atualmente em construção, estima-se que até 2020 o país terá aproximadamente 600 parques eólicos em operação, dos quais cerca de 30% foram desenvolvidos pela Casa dos Ventos. Esses parques terão capacidade instalada de 17,9 GW, e representarão em torno de 10% de toda a energia produzida no Brasil (CASA DOS VENTOS, 2017, [s.p.]).

A figura 3 mostra um parque eólico em Osório, no Rio Grande do Sul.



Figura 3: Parque eólico Osório/RS
Fonte: Banco de Imagens do RS (2018)

O parque eólico de Osório tem a capacidade de produzir 375,4 MW, a partir de 148 aerogeradores do Complexo Eólico de Osório juntamente com os 25 aerogeradores do Complexo Eólico de Palmares (COMPLEXO EÓLICO DE OSÓRIO, 2021).

Solar: a energia solar, oriunda da radiação do sol, a qual pode ser transformada em energia elétrica ou térmica e aplicada nas mais diversas ocasiões. Geralmente são utilizadas para aquecimento de água e geração de energia elétrica (BJORK *et al.*, 2011). Ainda segundo o mesmo autor, existem três tipos de sistemas que utilizam o sol para produção de energia: o fotovoltaico, em que a irradiação solar é convertida diretamente em energia elétrica nas células fotovoltaicas; a solar térmica e a solar concentrada.

O Brasil possui um grande potencial de geração de energia a partir da energia solar, uma vez que possui uma grande extensão territorial e uma localização geográfica favorável, com índices satisfatórios de incidência solar (PORTAL SOLAR, 2017).

A capacidade instalada de geração solar no Brasil é da ordem de 1,3 GWp, dos quais aproximadamente 307 MWp correspondem à geração distribuída. O Plano Decenal de Expansão de Energia da EPE projeta uma capacidade de 12,9 GWp para 2026, dos quais 3,3 GWp relativos a sistemas distribuídos. Com essa projeção, a participação aproximada da energia elétrica oriunda da fonte solar passará dos atuais 0,8% para 6% da capacidade total do país (BNDES, 2018, [s.p.]).

Energia solar fotovoltaica: As células fotovoltaicas, produzidas a partir de materiais semicondutores (sendo o silício o mais utilizado), absorvem os fótons presentes na luz solar. Os elétrons livres são transportados pelo semicondutor até serem puxados por um campo elétrico. Este campo elétrico é formado na área de junção dos materiais, por uma diferença de potencial elétrico existente entre esses materiais semicondutores. Os elétrons livres são levados para fora das células de energia solar e ficam disponíveis para serem usados na forma de energia elétrica (ECYCLE, 2020).

A eficiência da conversão é medida pela proporção de radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Normalmente, as células mais eficientes proporcionam 25% de eficiência (ECYCLE, 2020).

A figura 4 mostra um parque solar fotovoltaico em Bom Jesus da Lapa, Bahia.



Figura 4: Parque solar Lapa. Bom Jesus da Lapa/BA
Fonte: Portal Solar (2017)

O empreendimento com mais de 500 mil painéis solares possui a capacidade de produção de 158 MW, sendo o maior parque solar fotovoltaico da América Latina (NHS SOLAR, 2018).

Energia solar heliotérmica: A energia solar heliotérmica é a energia elétrica proveniente da luz solar de forma indireta. Isso acontece uma vez que essa transformação ocorre em algumas etapas: captação da luz solar, armazenamento térmico, conversão em energia mecânica e, finalmente, transformação em energia elétrica (PORTAL SOLAR, 2017).

Essa forma de obtenção de energia é feita através de painéis solares, feitos de material altamente refletivo, que acompanham a posição do sol e refletem a luz incidente, concentrando-a num único ponto. Neste ponto, é posicionado um receptor onde será passado um fluido térmico. Este calor acumulado é utilizado para vaporizar o fluido, fazendo que este movimente turbinas, gerando energia mecânica que será convertida em energia elétrica num transformador. Processo semelhante às usinas termoelétricas (PORTAL SOLAR, 2017).

A figura 5 mostra uma usina solar heliotérmica, em Nevada, nos Estados Unidos.



Figura 5: Usina solar heliotérmica. Nevada/EUA
Fonte: Smart City Laguna (2019)

Constituída por uma torre de 195 metros de altura e mais de 10 mil espelhos, a usina heliotérmica Crescent Dunes possui capacidade de produção de 500 mil MW por ano (ENERCONS, 2017).

O trabalho em questão é baseado na obtenção de energia térmica a partir da energia solar heliotérmica, utilizando um concentrador solar de calha parabólica que será detalhado posteriormente. Contudo, o foco será apenas o aquecimento de água, portanto não serão utilizados os processos de conversão em energia elétrica.

2.2 Concentradores solares

Entre 1854 e 1873, C. Gunter realizou experiências utilizando a energia solar para produção de vapor. Em seu experimento, ele montou um sistema de espelhos de forma parabólica cujo foco se encontrava em uma caldeira rudimentar, formada por um tubo com água. O conjunto possuía um sistema de deslocamento manual com o objetivo de acompanhar o movimento do sol, sem que o foco se altere (ENERGIA SOLAR, 2012).

No final do século XIX e início do século XX, diversos equipamentos foram construídos para funcionar com sistemas de concentração solar. Entretanto essa utilização foi interrompida devido à descoberta do petróleo e seus grandes benefícios. Somente após os anos 70, com o início da crise do petróleo em 1973 que o uso da energia solar foi retomado (ENERGIA SOLAR, 2012).

De acordo com Kalogirou (2009), os concentradores solares podem ser estacionários ou rastreadores. Os estacionários não possuem sistema de rastreamento solar, logo a absorção de energia é consideravelmente menor que a dos rastreadores. Estes

últimos, podem ainda ser divididos em um eixo e dois eixos, sendo o de dois eixos ainda mais eficiente no ganho energético.

A figura 6 mostra uma simples comparação entre a energia gerada por um mesmo concentrador solar. Uma primeira análise é feita com o sistema estacionário, em seguida é realizado um outro experimento com rastreador.



Figura 6: Comparação entre sistemas estacionários e rastreadores
Fonte: VALLDOREIX GREENPOWER (2012)

A partir da figura 6, é possível perceber a grande diferença de produção energética entre um sistema com rastreador solar e um sistema estacionário.

Existem diversos tipos de concentradores solares, mas que possuem o mesmo princípio básico de funcionamento. A principal diferença entre eles é a faixa de temperatura alcançada, e por consequência, sua aplicação (KALOGIROU 2009).

2.2.1 Concentrador Solar Fresnel

Consiste em linhas de espelhos paralelas que refletem a radiação solar para o absorvedor, que por sua vez é fixado acima do campo de espelhos. Este tipo de concentrador solar se assemelha ao concentrador de calha parabólica, com a diferença da faixa de temperatura alcançada (BIANCHINI, 2013).

A figura 7 mostra um exemplo de um concentrador solar do tipo Fresnel.



Figura 7: concentrador solar Fresnel.
Fonte: UNISINOS (2017)

O concentrador solar Fresnel é constituído por espelhos retilíneos que, de acordo com o posicionamento do sol, conseguem refletir os raios solares no foco (BIANCHINI, 2013).

2.2.2 Torre de Receptor Central

Uma grande torre é posicionada no centro do campo de espelhos, e tem como objetivo ser o receptor dos raios solares refletidos dos espelhos (geralmente planos). É basicamente um concentrador solar de disco parabólico em grande escala, na qual a torre (receptor) se posiciona no foco (BIANCHINI, 2013).

A figura 8 mostra uma usina solar de torre central.



Figura 8: torre solar.
Fonte: Solar Volt (2015)

As torres solares são utilizadas para aquecer uma mistura de nitrato de sódio, com o objetivo de produzir vapor e girar as turbinas que geram eletricidade (BIANCHINI, 2013).

2.2.3 Concentrador Solar de Disco Parabólico

A captação solar é feita através de um receptor no formato de disco parabólico, concentrando os raios num receptor posicionado no foco. O calor captado pelo receptor é utilizado para a vaporização do fluido térmico ou aquecimento direto de água (BIANCHINI, 2013).

A figura 9 mostra um exemplo de um concentrador solar de disco parabólico.



Figura 9: disco parabólico
Fonte: GLOBAL NEVADACORP (2011)

A tecnologia do concentrador solar de disco parabólico é bastante utilizada na construção de fornos solares, com o objetivo de possibilitar o cozimento de alimentos utilizando apenas a energia solar, em regiões mais necessitadas.

2.2.4 Concentradores Solares Cilíndricos Parabólicos

Compostos por refletores no formato de cilindros parabólicos (ou calhas) que possuem tubos receptores ao longo de toda sua linha focal. Um fluido térmico circula no interior dessa linha, recebendo o calor refletido e produzindo vapor, que posteriormente será utilizado para a movimentação das turbinas. Neste trabalho, construiremos um protótipo de um concentrador solar cilíndrico parabólico estacionário, utilizando uma fonte de energia fixa, para podermos analisar a eficiência deste tipo de sistema (BIANCHINI, 2013).

Os concentradores parabólicos são a mais madura tecnologia solar de geração de calor e permitem o aquecimento de fluidos a temperaturas de até 400 °C (KALOGIROU 2009).

A figura 10 mostra um exemplo de um concentrador solar do tipo calha parabólica.



Figura 10: concentrador solar de calha parabólica.
Fonte: CCBA (2015)

Como dito anteriormente, no presente trabalho é demonstrada a construção de um concentrador solar cilíndrico parabólico, realizando um estudo teórico sobre seu funcionamento e a avaliação prática de seu balanço energético.

2.3. Comparações Entre os Tipos de Concentradores Solares

As tabelas 1 e 2 mostram algumas comparações entre os tipos de coletores solares existentes, levando em consideração as geometrias, taxas de concentração, faixa de temperatura alcançada, eficiência e área ocupada.

Tabela 1: Classificação dos coletores solares por graus de rastreamento.

Motora	Coletor	Receptor	Taxa de concentração	Faixa de temperatura [°C]
Estacionário	Solar plano	Plano	1	30 a 80
	Tubular a vácuo	Plano	1	50 a 200
Rastreamento em 1 eixo	Parabólico composto	Tubular	1 - 5	60 a 240
			5 - 15	60 a 300
	Refletor linear Fresnel	Tubular	10 - 40	60 a 250
Rastreamento em 2 eixos	Cilíndrico parabólico	Tubular	10 - 85	60 a 400
	Disco parabólico	Pontual	600 - 2000	100 a 1500
	Heliostato (torre central)	Pontual	300 - 1500	150 a 2000

Fonte: Kalogirou (2009)

Tabela 2: Características de diferentes concentradores solares.

Tecnologia	Faixa de capacidade indicada [MW]	Eficiência Solar-Elétrica [%]	Área requerida [m²/kW]*
Parabólico	10 - 200	70 - 80	18
Fresnel	10 - 200	25 - 100	-
Torre	10 - 150	300 - 1000	21
Disco	0,01 - 0,4	1000 - 3000	20

Fonte: adaptado de KALOGIROU (2009), *BEERBAUM e WEINREBE (2000)

Com isso, é possível perceber a diferença entre os diferentes tipos de concentradores solares, em relação à sua taxa de concentração, faixa de temperatura, área e eficiência. Além disso, é possível observar o aumento da temperatura e eficiência nos concentradores solares com o dispositivo de rastreamento, mostrando um maior aproveitamento energético.

2.4 Concentrador Solar Cilíndrico Parabólico

Neste tópico são demonstrados os parâmetros utilizados para o dimensionamento do concentrador solar cilíndrico parabólico, detalhando suas dimensões de projeto e o balanço energético.

2.4.1 Cálculo da posição do tubo absorvedor

Como relatado anteriormente, o concentrador solar cilíndrico parabólico possui o formato de uma parábola, e por possuir superfície reflexiva, é possível tratá-lo como um espelho côncavo.

De acordo com Halliday (2010), ao considerar um objeto que emite luz, à uma grande distância do espelho, pode-se dizer que os raios que representam suas ondas luminosas são paralelos ao eixo central do espelho.

Ainda segundo Halliday (2010), quando estes raios paralelos são refletidos por um espelho côncavo, os mesmos se convergem para um ponto em comum, chamado ponto focal, localizado a uma distância específica do espelho, chamada distância focal (fig. 11).

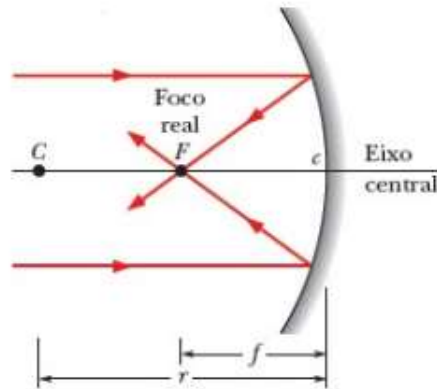


Figura 11: Espelho côncavo com raios paralelos incidentes
 Fonte: Halliday (2010)

Com isso, pode-se dizer que o objeto em questão seria o sol, e o foco seria a localização ideal do tubo absorvedor, para o qual os raios solares seriam convergidos.

A equação 1 pode ser usada para determinar a distância focal f do espelho, baseada no raio de curvatura r do espelho (HALLIDAY, 2010).

$$f = \frac{1}{2}r \quad (1)$$

Entretanto, quando o objeto está localizado no eixo central do espelho, a uma distância maior do espelho do que seu centro de curvatura, um raio proveniente do objeto O , faz um ângulo α com o eixo central, sendo refletido pelo espelho no ponto a e cortando o eixo central no ponto I . Um raio que deixa o objeto na direção do eixo central, também é refletido pelo espelho e intercepta o ponto I , formando uma imagem real e pontual do objeto, como é mostrado na figura 12 (HALLIDAY, 2010).

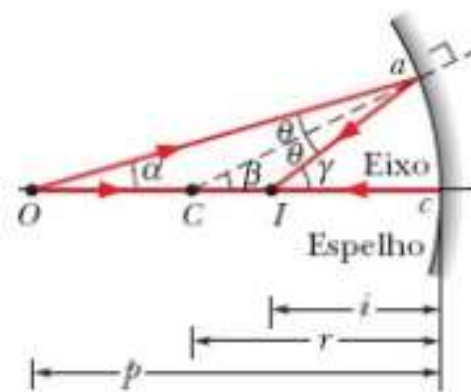


Figura 12: Espelho côncavo com objeto próximo ao centro de curvatura
 Fonte: Halliday (2010)

No presente trabalho, o sol será simulado por lâmpadas, situadas no ponto O , fazendo com que sua imagem seja convergida no ponto I , onde estará localizado o tubo absorvedor.

Segundo Halliday (2010), o ponto I pode ser determinado através de uma relação trigonométrica, aplicada aos triângulos OaC e OaI , que resulta na equação dos espelhos dada pela equação 2:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

De modo análogo, se o objeto for posicionado entre o centro de curvatura e o foco do espelho, a imagem do objeto será formada atrás do centro de curvatura, seguindo a mesma equação 4, possibilitando duas configurações para a montagem do protótipo. A primeira qual o objeto se situa atrás do centro de curvatura e sua imagem é formada entre o centro de curvatura e o foco (fig. 13) e a segunda em que o objeto é posicionado entre o centro de curvatura e o foco, e sua imagem é formada atrás do centro de curvatura (fig.14).

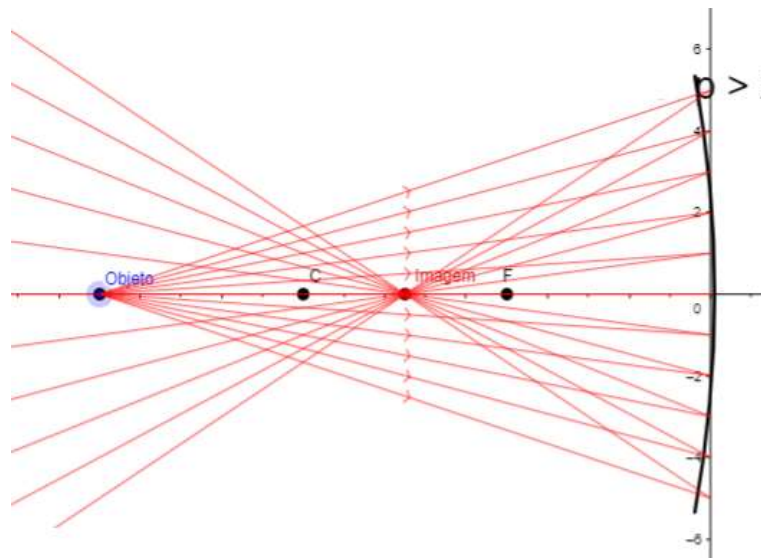


Figura 13: Objeto posicionado atrás do centro de curvatura
Fonte: Pesquisa direta (2021)

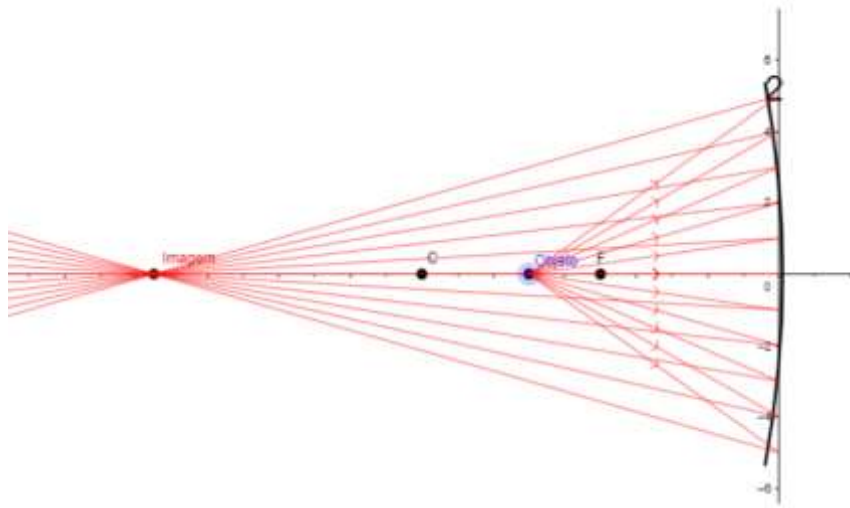


Figura 14: Objeto posicionado entre o centro de curvatura e o foco
 Fonte: Pesquisa direta (2021)

Diante dessas configurações, a mais adequada para o projeto será a segunda, uma vez que os ângulos de incidência são maiores, possibilitando uma maior captação da energia emitida pela luz.

2.4.2 Dimensionamento da superfície reflexiva

De acordo com Caldnazza (2016), a geometria da superfície reflexiva pode ser demonstrada de acordo com as relações geométricas de um arco de círculo, dispostas na figura 15, uma vez que se trata de um espelho esférico.

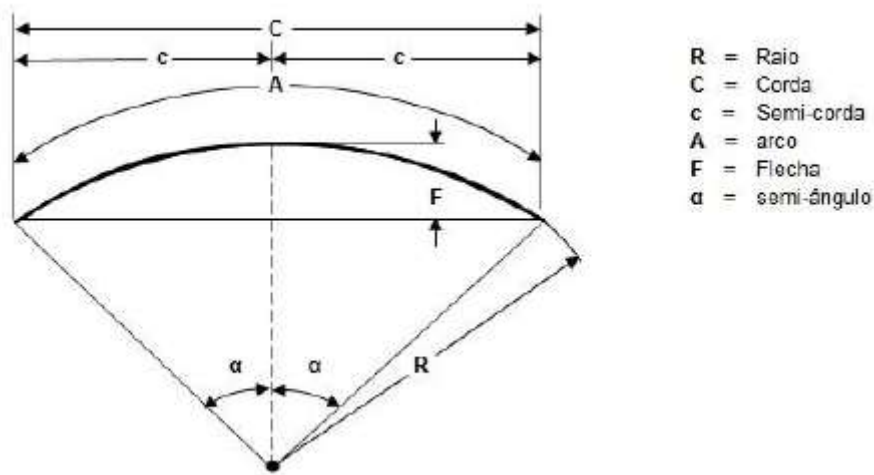


Figura 15: Raio, corda, flecha e ângulo de um arco de círculo.
 Fonte: Caldnazza (2016)

Segundo Caldnazza (2016), a partir do raio e do semiângulo, é possível calcular a corda, a flecha e o arco da circunferência, através das equações 4, 5 e 6, respectivamente.

$$C = 2 \cdot R \cdot \text{sen}\alpha \quad (3)$$

$$F = R - (R \cdot \text{cos}\alpha) \quad (4)$$

$$A = \frac{2 \cdot \alpha \cdot \pi \cdot R}{180} \quad (5)$$

Sendo,

C = corda da circunferência

R = raio da circunferência

A = semi – ângulo

F = flecha

A partir das equações apresentadas, é possível realizar o dimensionamento da calha parabólica a ser utilizada no projeto em questão. Entretanto, é necessário escolher bem a posição do objeto, para que se tenha um ângulo de incidência considerável que possibilite uma boa absorção de energia e que resulte em uma imagem não muito distante do espelho, a fim de se possibilitar a construção do protótipo.

2.4.3 Ganho energético

É importante ressaltar que o ângulo de incidência que os raios de luz fazem com a parábola é de 120° , ou seja, apenas um terço dessa energia será aproveitada no experimento, uma vez que as lâmpadas emitem luz em todas as dimensões (360°). A figura 16 ilustra brevemente como será o aproveitamento energético.



Figura 16: Aproveitamento energético
Fonte: Pesquisa direta (2021)

De acordo com a figura 16, é possível perceber que apenas um terço da energia fornecida pelas lâmpadas será realmente aproveitada para o aquecimento da água.

2.4.4 Eficiência térmica

Conforme Netzel (2019, p. 46), a energia térmica incidente nos tubos coletores, pode ser obtida multiplicando-se o fluxo da radiação incidente pela área do concentrador, de acordo com a equação 7.

$$Q_{in} = A_a \cdot G \quad (6)$$

Onde:

Q_{in} = Energia térmica incidente (W)

A_a = Área de abertura (m^2)

G = Radiação incidente ($\frac{W}{m^2}$)

Ainda segundo Netzel (2019, p. 47), a energia absorvida pelos tubos pode ser determinada por meio da variação de temperatura do fluido e de sua vazão mássica, conforme a equação 8.

$$Q_{abs} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_s - T_e) \quad (7)$$

Onde:

Q_{abs} = Energia absorvida (W)

\dot{m} = Vazão mássica (kg/s)

C_p = Calor específico (kJ/kg.K)

T_s = Temperatura de saída ($^{\circ}C$)

T_e = Temperatura de entrada ($^{\circ}C$)

Diante disso, a eficiência de primeira lei da termodinâmica pode ser obtida pela equação 9.

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_{in}} \quad (8)$$

2.4.5 Perdas energéticas

Durante o experimento, algumas perdas energéticas serão observadas. Existem perdas devido à refletividade das placas, perdas na tubulação, perdas óticas e perdas

térmicas. Entretanto, no trabalho em questão, não serão detalhados os tipos de perdas, apenas os dados de eficiência teórica e real e a comparação entre as mesmas.

2.5 Potencial energético

Minas Gerais possui grande potencial para geração de energia solar, sendo o norte do estado a região mais promissora. Devido à localização da cidade de Ouro Preto, a irradiação solar não é muito alta, se comparada às diversas regiões brasileiras, principalmente o Nordeste.

Ainda assim, o potencial de geração de energia solar em Minas Gerais é quase o dobro do potencial da Alemanha, considerada país destaque no aproveitamento energético solar. De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar (2018), “a radiação média das regiões mineiras varia entre 5,5 e 6,5 kWh/m² (Kilowatts/hora por metro quadrado) enquanto a radiação solar na Alemanha é de 3 kWh/m².”

Em 2019, a Alemanha produziu cerca de 46% de sua energia através de fontes renováveis, alcançando um novo recorde mundial. Além disso, fez com que o consumo de carvão para a produção de energia caísse 20%, diminuindo a emissão de gases estufa. (DW BRASIL, 2019)

Da parcela de energia renovável produzida pelo país, aproximadamente 9% é proveniente da radiação solar, mesmo com baixa incidência. Isso acontece devido aos incentivos do governo em relação à produção energética. Projetos como a Energiewende, fornecem auxílio para os habitantes que geram sua própria energia e, além disso, ainda vendem o excedente para vizinhos ou para a companhia energética. Atualmente o País detém 13,4% das placas fotovoltaicas em operação no mundo totalizando 41.2GWp (PORTAL SOLAR, 2017).

Em contrapartida, a energia solar brasileira corresponde a cerca de 1,5% da matriz energética do país. O Brasil possui uma extensão territorial 24 vezes maior que a alemã e o dobro de incidência solar, ou seja, existe um grande potencial energético a ser explorado.

■ Radiação Solar Direta Normal Diária Média Anual

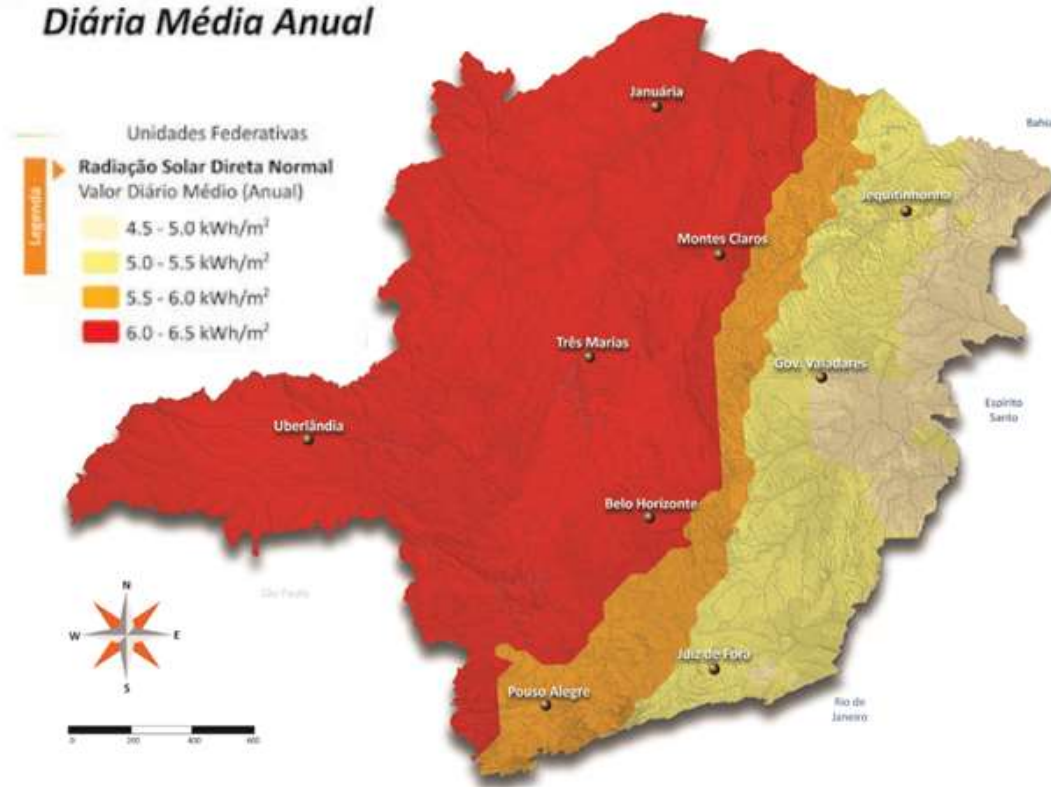


Figura 17: Atlas solarimétrico de Minas Gerais (2015).
Fonte: Companhia energética de Minas Gerais (2015).

2.5.1 Irradiância solar

A irradiância solar (W/m²) que incide em uma superfície é composta por suas componentes direta e difusa. A irradiância solar direta apresenta direção de incidência na linha imaginária entre a superfície e o Sol e representa a parcela que não sofreu os processos radiativos de absorção e espalhamento que ocorrem na atmosfera. A componente difusa engloba a radiação proveniente de todas as demais direções que são decorrentes dos processos de espalhamento pelos gases e particulados presentes na atmosfera (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2014, p. 19).

No projeto de concentradores solares, deve ser levado em consideração a irradiação global horizontal (G_{gh}), que é definida pela taxa de energia total por unidade de área incidente numa superfície horizontal. Este índice é representado pela equação 9:

$$G_{gh} = G_{dif} + G_{dir} \quad (9)$$

Onde:

G_{dif} é a irradiância difusa horizontal: taxa de energia incidente sobre uma superfície horizontal por unidade de área, decorrente do espalhamento do feixe solar direto pelos constituintes atmosféricos (moléculas, material particulado, nuvens, etc.).

G_{dir} é a irradiância direta horizontal: taxa de energia por unidade de área do feixe solar direto numa superfície horizontal.

A figura 12 mostra detalhadamente os tipos de incidência.

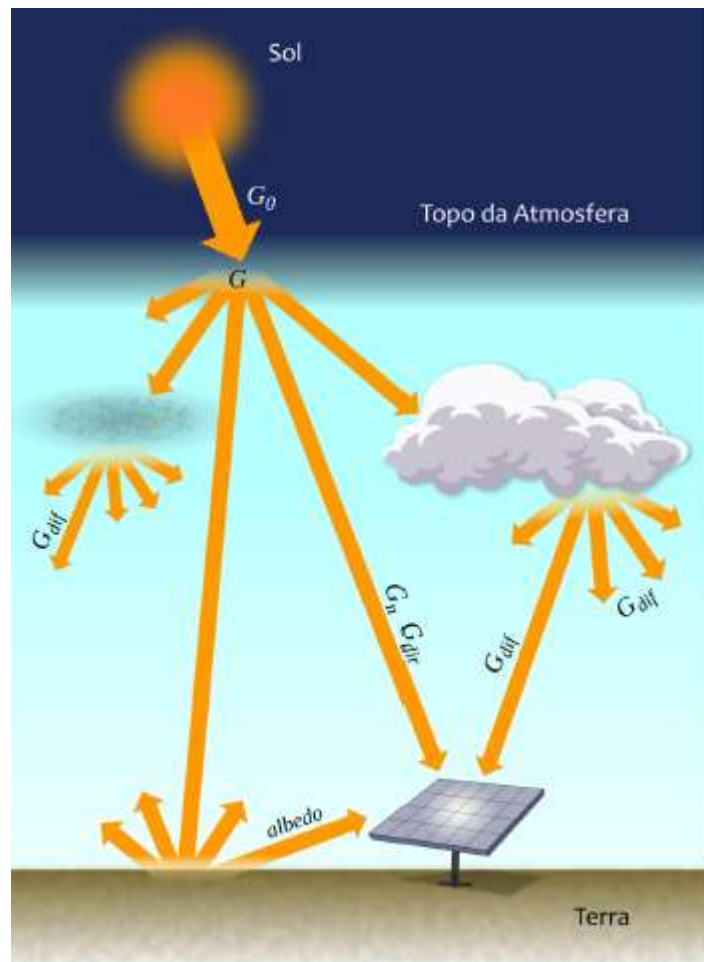


Figura 18: Componentes da irradiância solar
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017)

Diante disso, para uma aplicação real, é possível trabalhar com dados mais concretos de incidência solar no Brasil, de acordo com os mapas de irradiância global horizontal abaixo. Nas figuras a seguir estão dispostas as irradiâncias médias anuais e mensais, mostrando o grande potencial energético solar que o território brasileiro possui.

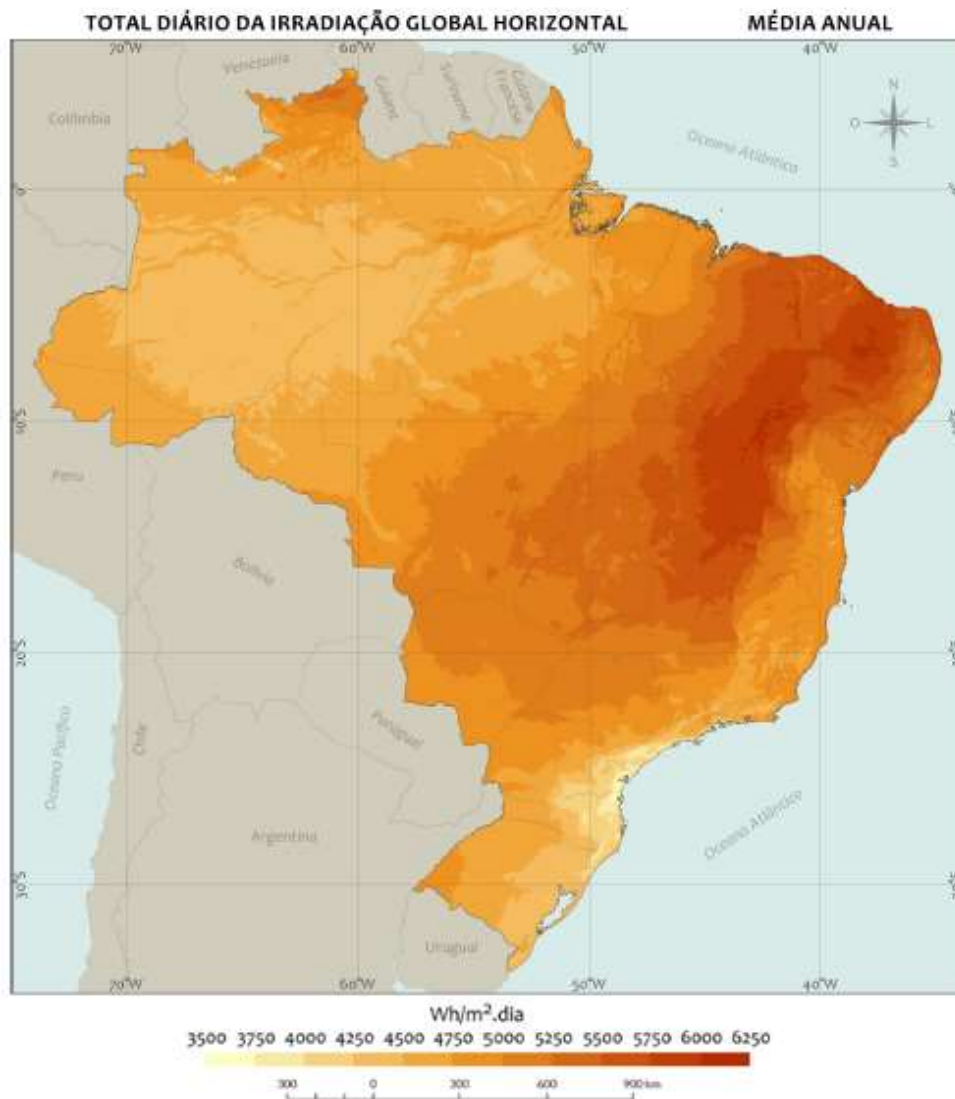


Figura 19: Total diário da irradiação global horizontal, média anual
 Fonte: IBGE (2014)

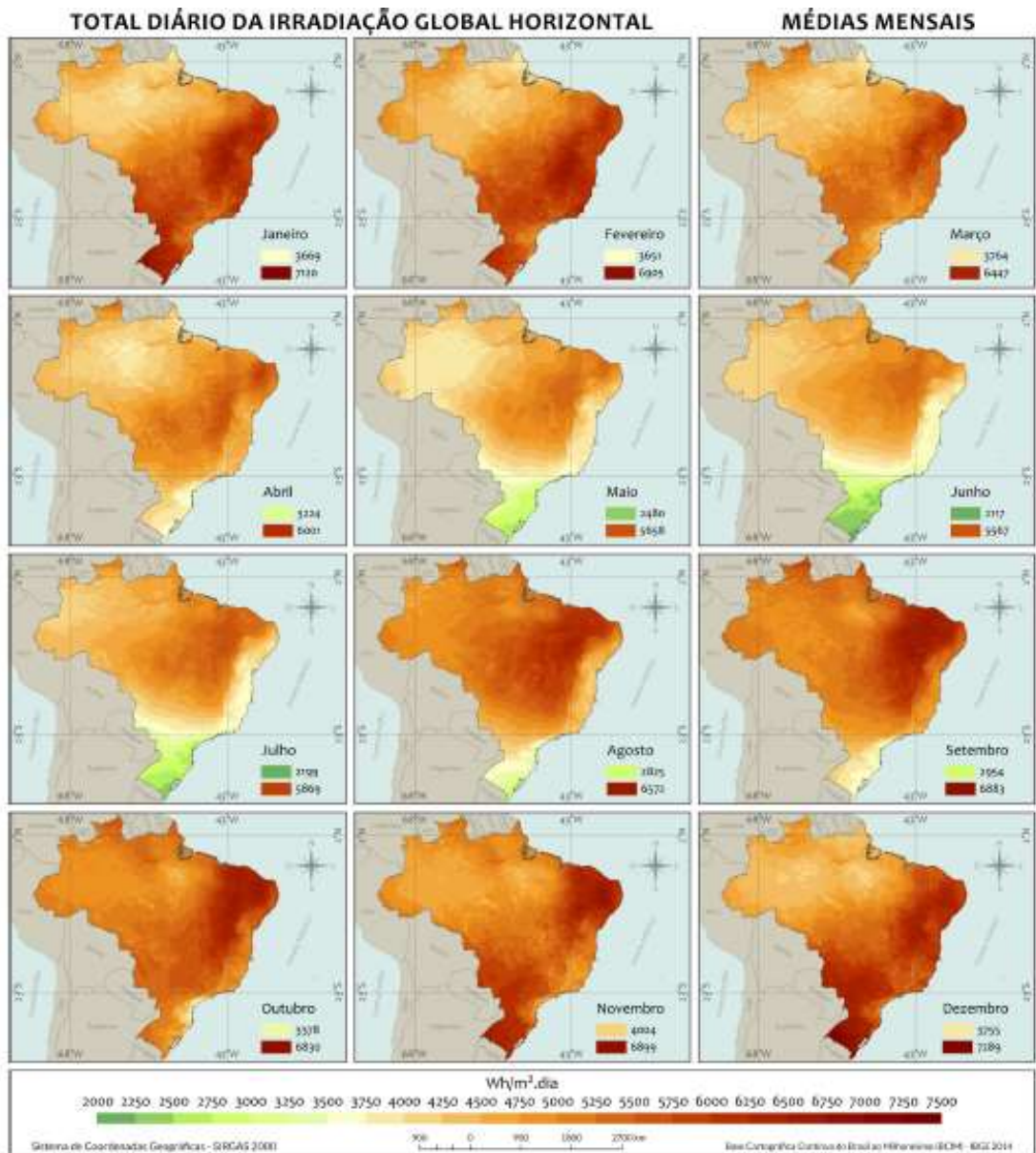


Figura 20: Total diário da irradiação global horizontal, média mensal
 Fonte: IBGE (2014)

Para o projeto em questão, serão considerados apenas os dados da irradiância extraterrestre (G_0), que é a taxa de energia incidente por unidade de área em um plano horizontal imaginário situado no topo da atmosfera.

Como será construído um protótipo, o sol será simulado por cinco lâmpadas de 105 W, que incidem diretamente sob a superfície refletora, portanto a irradiância emitida pelo sol será a mesma refletida (concentrada), ou seja, serão desconsiderados todos os processos de difusão existentes devido à atmosfera.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo é demonstrado o processo de construção de um protótipo de um concentrador solar de calha parabólica, bem como seu equacionamento, dimensionamento, projeto, construção e balanço energético.

3.1 Tipo de pesquisa

De acordo com Gil (2007), a pesquisa pode ser descrita como o método de promover respostas à problemas propostos, de forma racional e objetiva. Segundo o autor, a pesquisa torna-se necessária quando não existem informações suficientes para concretizar um argumento, ou quando o fluxo de informações se torna desalinhado.

Para Gil (2007), é possível classificar as pesquisas em três grupos, e conforme Fonseca (2002) e Goldenberg (1997), em duas formas diferentes de abordagem: a pesquisa exploratória e a descritiva.

A pesquisa exploratória tem como objetivo criar uma maior proximidade com o problema, visando torná-lo mais explícito ou construir hipóteses. A pesquisa exploratória envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas com experiências práticas sobre o problema e análise de exemplos que facilitam e estimulam a compreensão. Podem ser classificadas como pesquisa exploratória os estudo de caso e a pesquisa bibliográfica (GIL, 2007).

Já a pesquisa descritiva requer do pesquisador uma séria de conhecimentos prévios sobre o que se deseja pesquisar. Tem como objetivo descrever os fatos e fenômenos que envolvem alguma situação problema. Em contrapartida, a pesquisa descritiva pode ser bastante criticada pelo fato de que suas constatações não possam ser comprovadas por observação, podendo ter resultados equivocados, por possuir técnicas de coletas de dados subjetivas. São exemplos de pesquisa descritiva os estudos de caso, análise documental e pesquisa ex-post-facto (TRIVIÑOS, 1987).

A pesquisa explicativa tem como objetivo identificar os fatores que sustentam a problemática, ou seja, busca explicar os acontecimentos a partir dos fatos ocorridos. Geralmente, as pesquisas explicativas são a continuação de uma pesquisa descritiva (GIL, 2007). No trabalho em questão, será feito o uso da pesquisa explicativa, observando o fato e coletando dados para se explicar o acontecimento.

Quanto as formas de abordagem, as pesquisas podem ser quantitativas e qualitativas.

A pesquisa quantitativa: esta forma de abordagem se centra na objetividade, procura enfatizar o raciocínio dedutivo, o pensamento lógico, e os atributos mensuráveis

da experiência humana. Isso faz com que seus resultados possam ser quantificados a partir da linguagem matemática, descrevendo suas causas e fenômenos com as relações entre suas variáveis (FONSECA, 2002).

Já a pesquisa qualitativa tem seu foco apenas no aprofundamento da compreensão de um grupo social, não abordando representatividade numérica. Isso acontece pelo fato de que os pesquisadores qualitativos não aderem um modelo único de pesquisa, uma vez que as ciências sociais possuem suas especialidades, portanto, não podem fazer julgamentos nem permitir que seus pensamentos pessoais influenciem a pesquisa. Contudo, a pesquisa qualitativa preocupa-se com aspectos que não podem ser quantificados, procurando compreender e explicar a dinâmica das relações sociais (GOLDENBERG, 1997).

No presente projeto, é realizada uma pesquisa quantitativa, com o objetivo de avaliar os dados obtidos através de experimentos e chegar à uma conclusão que seja numericamente representada.

De acordo com as características da pesquisa, podem ser adotados diferentes procedimentos técnicos, aliando-os à sua forma de abordagem. Fonseca (2002), diz que pesquisa bibliográfica pode ser determinada como aquela que é feita a partir de referências e artigos já publicados, tais como livros e artigos científicos. Além disso, podem ser utilizados dados de tabelas estatísticas, relatórios, jornais, revistas, documentos oficiais, entre outros. Ainda segundo Fonseca (2002) a pesquisa documental se assemelha à pesquisa bibliográfica, com a diferença que a segunda utiliza apenas de artigos científicos e livros já publicados. Para Gil (2007), a pesquisa experimental tem como objetivo determinar um objeto de estudo, avaliando as variáveis que podem influenciar o fato, observando os efeitos que as mesmas são capazes de produzir no objeto de estudo.

Diante dos conceitos apresentados, é adotado neste trabalho uma pesquisa descritiva, buscando esclarecer, a partir da construção do protótipo, como funciona um concentrador solar de calha parabólica, observando as variáveis que influenciam o ganho energético. Quanto à forma de abordagem, será utilizada a pesquisa quantitativa, uma vez que o será realizado um experimento que exige coleta e análise de dados para a verificação do fato em questão. Em relação aos procedimentos, este trabalho será feito com base em pesquisa experimental uma vez que consiste na construção e análise do funcionamento de um protótipo.

3.2 Materiais e Métodos

Neste capítulo estão descritos os materiais e métodos utilizados na elaboração do projeto.

A partir da revisão bibliográfica, é dado início ao processo de aquisição de dados de funcionamento do sistema, bem como o entendimento de suas variáveis. Estes dados são implementados no *software Excel*, a fim de se realizar o devido equacionamento e plotagem do gráfico.

Em seguida é dado início ao processo de dimensionamento do sistema para sua construção. Neste ponto, suas dimensões físicas e seu desenho são realizados a partir de equacionamentos e modelamento no *software SolidWorks*. Além disso, é realizado um cálculo do potencial energético teórico do sistema.

Com isso, a etapa de construção do protótipo é iniciada, a partir da aquisição dos materiais necessários e com a devida mão de obra.

Por fim, com o protótipo pronto, é feita uma análise dos resultados, a partir do balanço energético experimental em comparação com o teórico, bem como a análise de custos e viabilidade.

A figura 20 mostra mais detalhadamente um fluxograma da metodologia utilizada no trabalho.

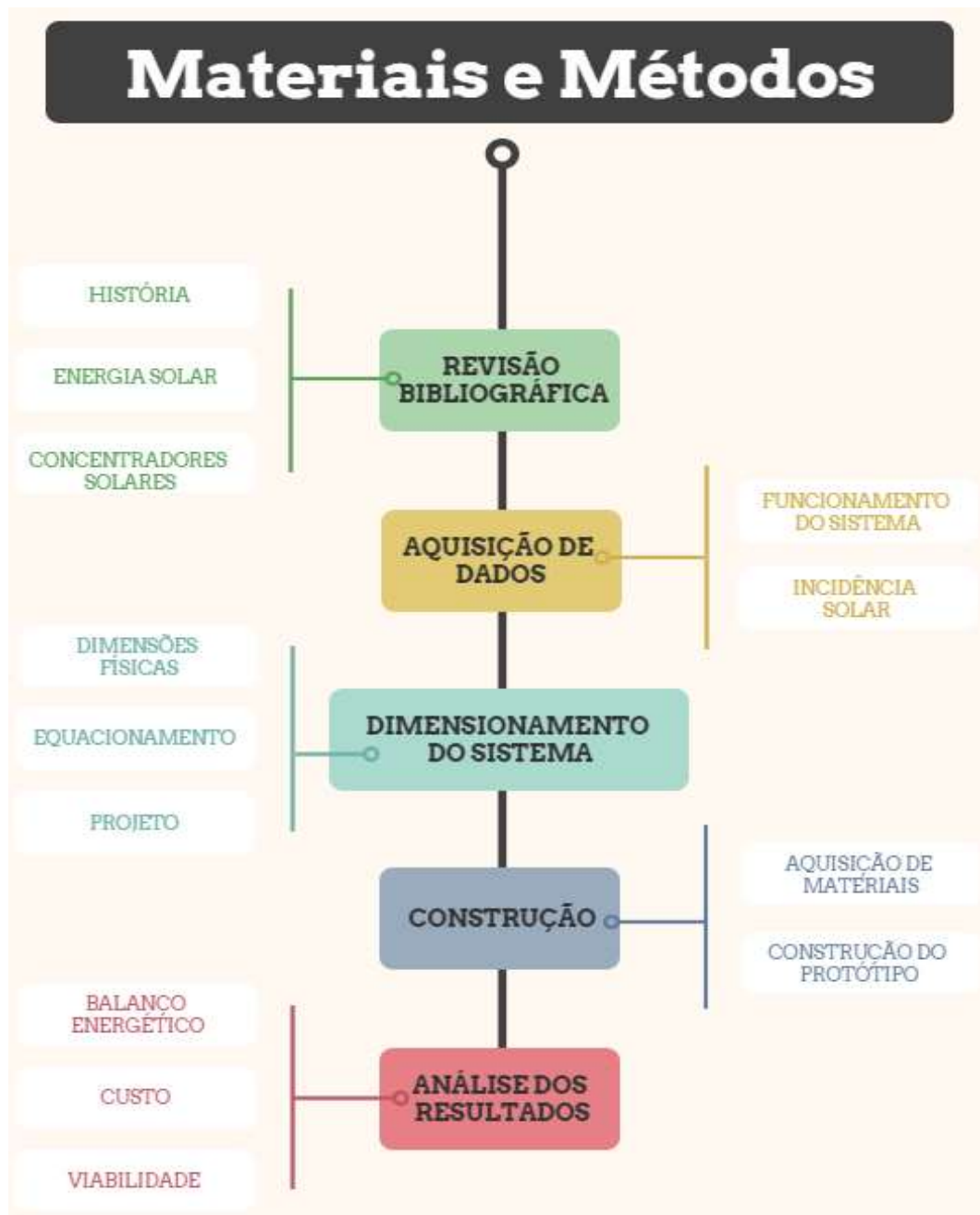


Figura 20: Fluxograma da metodologia do trabalho.
 Fonte: Pesquisa direta (2021)

Os materiais e métodos utilizados, serão divididos basicamente em 5 partes e suas subdivisões, sendo elas: a revisão bibliográfica; a aquisição de dados; o dimensionamento do sistema; a construção do protótipo e a análise de resultados.

3.3 Variáveis e Indicadores

Segundo Lakatos e Marconi (2003), uma variável pode ser considerada como uma classificação ou como uma medida, sendo uma quantidade instável, podendo assim

assumir diversos valores, tais como um conceito operacional ou um fator ou propriedade, que venha a ser objeto de estudo.

Já os indicadores, de acordo com Tadachi e Flores (1997), podem ser classificados como formas de representar as características de produtos ou processos de maneira quantificável, proporcionando assim uma melhor controle e qualidade da pesquisa.

Diante disso, a tabela 3 mostra as variáveis que serão analisadas neste projeto, assim como seus respectivos indicadores.

Tabela 3: Variáveis e indicadores

Variáveis	Indicadores
Coletor solar	Radiação incidente
	Quantidade de água aquecida
	Área do concentrador solar
	Temperatura final da água
	Eficiência do concentrador solar
Parâmetros de projeto	Dimensões do protótipo
	Vazão da água
	Temperatura inicial da água
	Coefficiente de transferência de calor do tubo
	Propriedades da água

Fonte: Pesquisa direta (2021)

3.4 Instrumentos de coleta de dados

No presente capítulo são selecionados os métodos de aquisição de dados para a aferição da pesquisa.

Como mencionado anteriormente, este trabalho possui natureza bibliográfica, quantitativa e descritiva. Deste modo, a coleta de dados será realizada por meio de livros, artigos científicos, dissertações, tabelas e medições realizadas a partir do próprio experimento. A partir da Tabela 3: Variáveis e indicadores, é possível ter um embasamento necessário para estudar os processos envolvidos no projeto.

3.5 Tabulação dos dados

Com os dados necessários disponíveis, será utilizado o *software Microsoft Excel* para tabulação de dados, bem como a construção de gráficos e tabelas necessárias. Por fim, o *software Microsoft Word* é utilizado para traduzir os dados obtidos em texto de forma explicativa, incluindo as conclusões.

Deste modo, todos os dados obtidos são arranjados e automatizados, permitindo serem apresentados de forma didática para o melhor entendimento do processo.

3.6 Realização do experimento

A fonte de energia utilizada no experimento são as lâmpadas incandescentes. Ao acioná-las, os raios luminosos serão refletidos pela placa de inox e se irão se convergir para uma linha (ponto de formação da imagem) por onde passa a tubulação de cobre contendo água que será armazenada em um reservatório devidamente isolado.

O calor das lâmpadas, será absorvido pelos tubos de cobre e transmitido, por condução, para a água que circula em seu interior, aumentando assim sua energia interna, e conseqüentemente sua temperatura.

É importante ressaltar que o objetivo do experimento é analisar a massa de água que será aquecida e a quantidade de energia absorvida pelo sistema.

O experimento será realizado em 5 horas e 30 minutos, sendo analisado em intervalos de 30 minutos. Nos intervalos em questão, a bomba será acionada durante um período médio de 5 a 10 segundos, com o objetivo de circular a água, a fim de se obter uma temperatura homogênea em todos os pontos do sistema, uma vez que a temperatura da água nos tubos é maior que a temperatura da água no reservatório.

O teste será feito em um ambiente fechado e escuro, para se evitar qualquer tipo de convecção forçada por meio da força dos ventos e qualquer alteração de energia por meio de outras possíveis fontes de iluminação. Com isso, a perda de energia por convecção forçada devido à velocidade dos ventos, poderá ser desconsiderada.

Por fim, serão registradas as temperaturas de quatro diferentes pontos, sendo eles: a temperatura do reservatório, que é o objeto de estudo principal; a temperatura de referência, que tem como objetivo comparar a variação de temperatura entre este sistema isolado e o sistema de estudo; a temperatura ambiente e a temperatura dos tubos, o que possibilitará a elaboração de uma tabela de resultados que poderá ser interpretada posteriormente.

3.7 Considerações finais

Neste capítulo, é apresentada a metodologia que será utilizada no projeto, descrevendo o tipo de pesquisa utilizado, sua forma de abordagem e os procedimentos técnicos utilizados.

Em seguida, foram introduzidos os materiais e métodos para coleta e tabulação de dados e como estes foram adquiridos e como são analisados. Com isso, é possível ter o entendimento necessário para a próxima etapa do trabalho.

No capítulo seguinte, é abordada a análise dos resultados obtidos de acordo com o método utilizado na pesquisa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os cálculos teóricos do experimento, o modelamento, o modo de construção do protótipo e os resultados obtidos, com o objetivo de realizar um estudo prático do dispositivo.

4.1 Modelamento do protótipo

Os cálculos foram baseados em uma placa de aço inox 430, com dimensões 1000x700x0,5 mm. A partir disso, utilizando as equações de arco, corda, flecha e ângulo de um arco de círculo, foi possível realizar o dimensionamento do protótipo.

Adotou-se um semiângulo de incidência de 60° e um raio de 33,5 cm. Este valor foi escolhido por questões físicas de construção, onde seria possível obter uma boa incidência, conforme exposto no item 2.4.1, aliado a uma dimensão adequada ao sistema.

A partir da equação 3, foi possível calcular a corda da circunferência.

$$C = 2 * 33,5 * \text{sen}60^\circ = 58,024 \text{ cm} \quad (30)$$

Em seguida, calculou-se a flecha a partir da equação 4.

$$F = 33,5 - (33,5 * \text{cos}60^\circ) = 16,75 \text{ cm} \quad (11)$$

Por fim, calculou-se o arco da circunferência, utilizando a equação 5.

$$A = \frac{2 * 60^\circ * \pi * 33,5}{180} = 70,16 \text{ cm} \quad (12)$$

É importante ressaltar que, o valor calculado de A deve ser equivalente à dimensão da largura da chapa, uma vez que a mesma corresponde à parábola da calha reflexiva.

Na sequência, foi calculado o foco do sistema, a fim de se determinar a posição adequada do objeto (lâmpadas) que, como explicado anteriormente, deve estar situado entre o foco e o centro de curvatura.

$$f = \frac{1}{2} * 33,5 = 16,75 \text{ cm} \quad (13)$$

Adotou-se a posição das lâmpadas como valor intermediário entre o foco e o centro de curvatura, uma vez que, quanto mais próximo o objeto fica do foco, mais distante é formada sua imagem, podendo levar a uma geometria física fora da realidade do projeto. De modo análogo, quanto mais próximo o objeto se situa do centro de curvatura, sua imagem também se aproximará do mesmo ponto, o que também não faria sentido para o projeto, uma vez que as lâmpadas e os tubos ficariam bem próximos. Diante disso, a posição das lâmpadas adotada foi de 25,125 cm a partir do vértice da parábola, resultado da média entre o foco e o centro de curvatura.

Determinada a posição das lâmpadas, foi possível calcular a posição dos tubos, através da equação 2.

$$i = \frac{25,125 * 16,75}{25,125 - 16,75} = 50,25 \text{ cm} \quad (14)$$

Em seguida, com todos os pontos necessários calculados, foi feito um esboço da geometria do protótipo utilizando o *software SolidWorks*, representado pela figura 21.

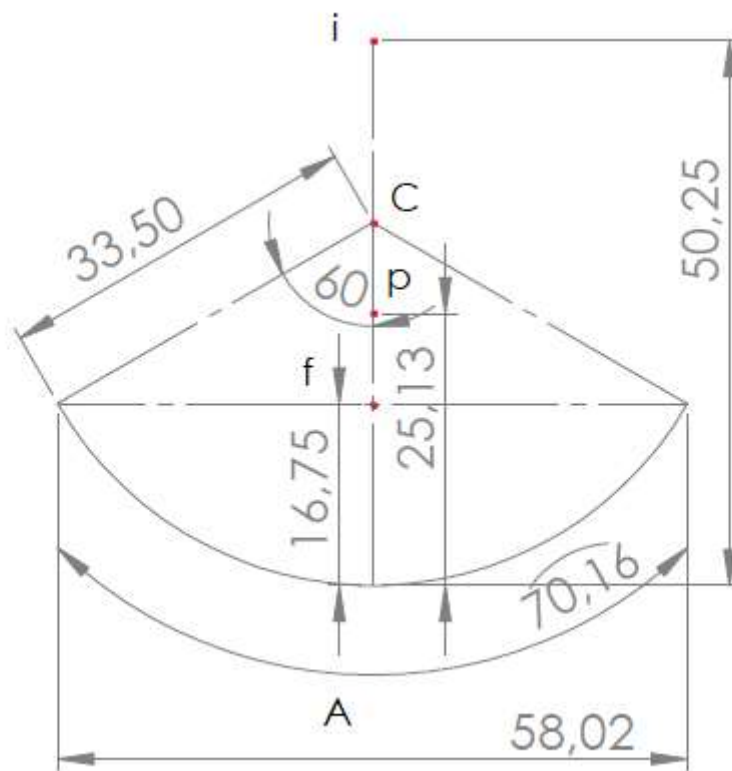


Figura 21: Esboço da geometria do protótipo
 Fonte: Pesquisa direta (2021)

Com o intuito de simular os raios emitidos pelas lâmpadas e refletidos pela calha, foi realizada uma simulação no *website* GeoGebra, utilizando as configurações calculadas. O resultado pode ser visualizado na figura 22.

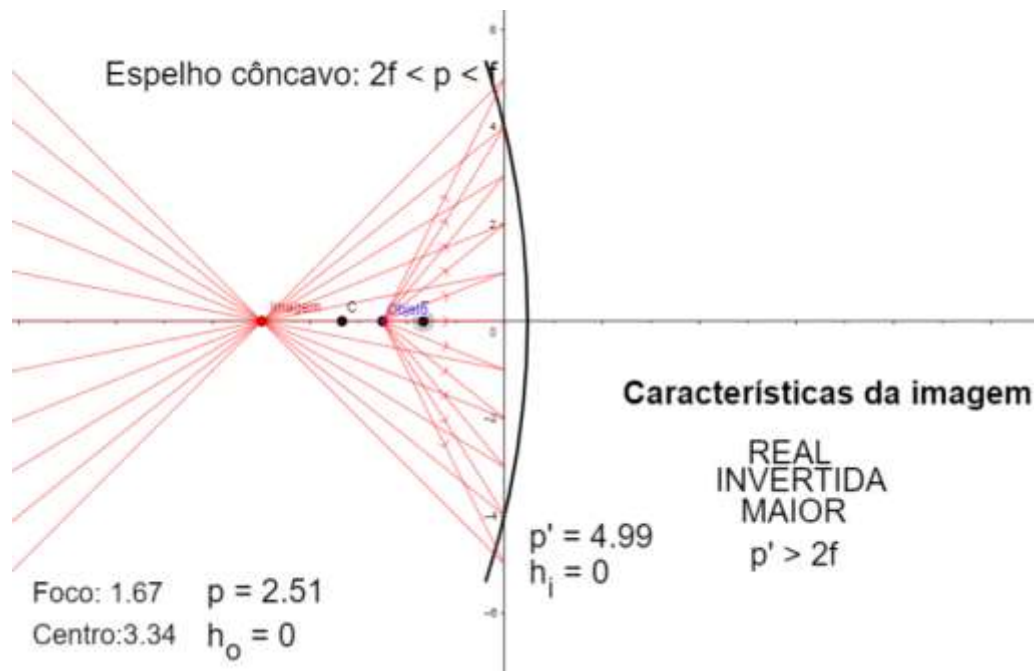


Figura 22: Simulação GeoGebra
Fonte: Pesquisa direta (2021)

A simulação mostra as dimensões reais do projeto, bem como o comportamento dos raios luminosos incidentes e refletidos, mostrando que é possível realizar a construção do protótipo de forma fiel ao equacionamento.

Por fim, com todos os pontos estabelecidos e simulados um desenho do protótipo foi realizado utilizando o *software SolidWorks*, com o objetivo de auxiliar na construção do protótipo, representado na figura 23.



Figura 23: Representação gráfica do protótipo
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Com os parâmetros da geometria calculados e simulados, bem como a representação gráfica do protótipo como auxílio para a construção, será dado início a etapa de seleção de materiais para a confecção do projeto.

4.2 Materiais utilizados

O intuito do projeto é construir um protótipo de baixo custo, apenas para a visualização e estudo do fenômeno, portanto a maioria dos materiais utilizados já pertenciam ao autor. Os materiais utilizados estão apresentados na tabela 4, bem como sua respectiva quantidade e custo.

Tabela 4: Materiais utilizados

Materiais	Quantidade	Custo
Bateria 9v	1	-
Bocal	5	-
Bomba 12v	1	R\$ 30,00
Cola quente	1	R\$ 1,00
Compensado mdf [760x240mm]	3	-
Fios [3m]	1	-
Fita isolante	1	-
Fita veda rosca	1	-
Folha de isopor	1	-
Isolante [1000x300mm]	1	-
Lâmpada 105W	5	-
Mangueira de nível [1m]	1	-
Palete	1	-
Parafusos	39	R\$ 5,00
Placa inox 430 [100x700x0,5mm]	1	R\$ 210,00
Pregos	70	R\$ 2,00
Recipiente água	2	R\$ 10,00
Sensor temperatura	1	-
Tubo de cobre [1000mm]	1	R\$ 17,00
Total		R\$ 275,00

Fonte: Pesquisa direta (2021)

4.3 Construção do protótipo

Com base nos cálculos realizados, da simulação, da representação gráfica e dos materiais disponíveis foi dado início à construção do sistema que pode ser visualizada a partir das figuras 24, 25 e 26, mostrando respectivamente a construção da base, a fixação da chapa parabólica no molde e o posicionamento das lâmpadas e dos tubos de cobre.

A construção do molde foi realizada utilizando os paletes e placas de mdf, e fixadas com pregos. As placas de mdf foram cortadas para garantir que a montagem calha refletiva atenda os cálculos realizados. A placa de inox foi fixada ao molde utilizando os parafusos, adquirindo assim a forma necessária da calha parabólica.



Figura 24: Construção do molde (base)
Fonte: Pesquisa direta (2021)

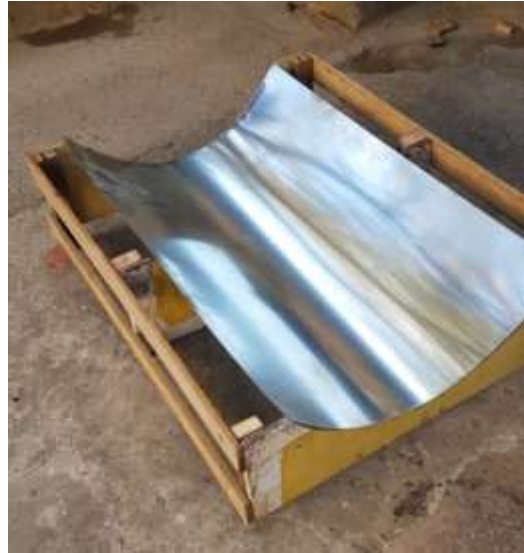


Figura 25: Fixação da placa de inox
Fonte: Pesquisa direta (2021)

As lâmpadas foram apoiadas na altura desejada utilizando uma das ripas do palete, e em seguida, foi feita a ligação elétrica em paralelo. Tal configuração foi escolhida pelo fato de que a tensão não é dividida entre as cinco lâmpadas, aproveitando assim os 105 W de potência de cada uma.



Figura 26: Fixação das lâmpadas e dos tubos
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Os tubos foram fixados diretamente ao suporte, também na altura desejada, por meio de furos. Além disso, os mesmos foram conectados entre si e a um recipiente contendo 450 ml de água. Os tubos e as mangueiras comportam cerca de 150 ml de água,

que serão somados aos 450 ml do recipiente, totalizando 600 ml, quantidade de água que se deseja aquecer

Uma folha de isopor foi utilizada para isolar a parte de cima da tubulação, a fim de atenuar a perda de calor dos tubos por convecção.

A circulação da água foi feita utilizando uma bomba de limpador de para-brisa universal de 12 v, acionada por uma bateria de 9 v.

Por fim, a figura 27 mostra todo o dispositivo em funcionamento.



Figura 27: Dispositivo em funcionamento
Fonte: Pesquisa direta (2021)

Com o dispositivo em funcionamento, é possível perceber que as lâmpadas e os tubos foram posicionados de forma correta, bem como o dimensionamento da calha parabólica, uma vez que se pode visualizar os raios luminosos das lâmpadas se encontrando no ponto de formação da imagem, como previsto anteriormente.

Para a medição das temperaturas, foi utilizado um termômetro digital composto por 4 termopares tipo K, com o objetivo de analisar a diferença de temperatura em 4 pontos, são eles: a temperatura da água a ser aquecida no reservatório; a temperatura da água em um recipiente de comparação; a temperatura ambiente do sistema e a temperatura dos tubos de cobre.

A figura 28 mostra o termômetro digital utilizado no experimento.



Figura 28: Termômetro digital
Fonte: Pesquisa direta (2021)

O termômetro foi utilizado para construir uma tabela com as variações de temperatura de cada ponto, possibilitando fazer a análise quantitativa do sistema.

4.4 Resultados e discussões

Neste capítulo, serão discutidos os resultados obtidos no experimento, além disso, serão discutidos alguns pontos importantes do projeto.

4.4.1 Coleta e análise de dados

Ao final das 5 horas e 30 minutos de experimento, os dados de temperatura foram coletados e estão dispostos na tabela 5. As temperaturas T1, T2, T3 e T4, que correspondem à temperatura do reservatório, a temperatura de referência, a temperatura ambiente e a temperatura dos tubos de cobre, respectivamente.

Tabela 5: Variações de temperatura

Hora	T1 (rec) [°C]	T2 (ref) [°C]	T3 (amb) [°C]	T4 (tubos) [°C]
20:30:00	20,2	20,0	20,5	21,8
21:00:00	29,0	20,4	22,2	27,3
21:30:00	32,9	20,5	22,7	36,6
22:00:00	35,2	20,6	22,8	37,5
22:30:00	37,1	20,8	23,1	36,5
23:00:00	37,9	21,0	23,1	39,7
23:30:00	38,8	21,2	23,3	38,5
00:00:00	39,6	21,1	23,3	38,3
00:30:00	39,9	21,2	23,2	38,9
01:00:00	40,3	21,4	23,5	39,0
01:30:00	40,4	21,5	23,2	40,1
02:00:00	40,5	21,6	23,1	39,5

Fonte: Pesquisa direta (2021)

A partir destes dados, foi possível plotar um gráfico, com o objetivo de analisar o comportamento de cada ponto, conforme a figura 29.

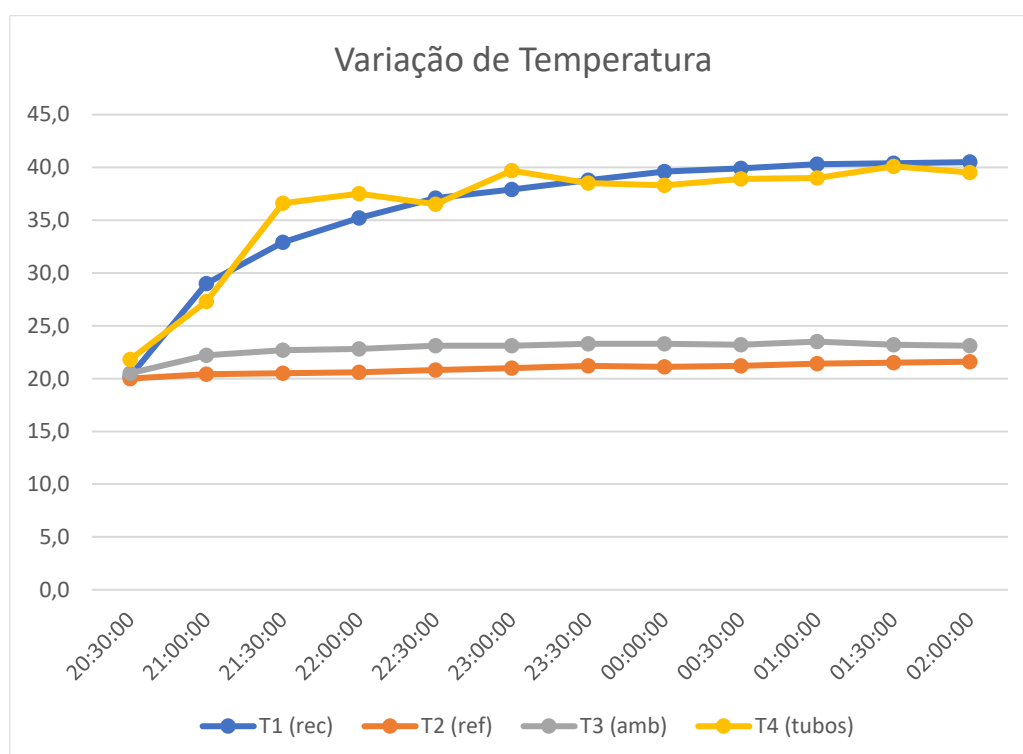


Figura 29: Gráfico da variação de temperatura

Fonte: Pesquisa direta (2021)

Ao interpretar o gráfico da figura 29, é possível analisar o comportamento de cada ponto, os quais serão descritos a seguir.

Todos os pontos possuem uma temperatura inicial semelhante, por volta de 20 °C, com exceção dos tubos de cobre, que apresentaram uma temperatura inicial de 21,8 °C.

É possível perceber que no ponto 1 (ponto de objetivo do experimento) houve um considerável ganho de energia nas primeiras horas, se tornando constante a partir das 3 horas e 30 minutos de experimento. Isso significa que a partir deste ponto (às 00:00 horas), a água do reservatório já havia absorvido seu máximo de energia possível, a partir da quantidade de energia emitida pelas lâmpadas, portanto, sua temperatura começa a ter um padrão constante em torno dos 40 °C.

Ao final do experimento, foi possível observar uma variação de temperatura de 20,3 °C, em um volume de 600 ml de água, mostrando um ganho energético significativo.

A temperatura no ponto 4, que se trata dos tubos de cobre, apresentou um comportamento semelhante à água do reservatório, uma vez que ocorre uma troca térmica entre ambos.

Ainda em relação aos tubos, observa-se uma variação irregular no aquecimento. Este comportamento pode ser explicado pela utilização da bomba. Em cada medição de temperatura, a bomba era acionada durante um intervalo de 5 a 10 segundos, com o intuito de homogeneizar a temperatura da água do sistema. Essa variação no tempo em que a bomba permanece ligada pode resultar em um comportamento irregular, uma vez que, quanto mais tempo a bomba permanece ligada, mais troca de calor acontece.

Uma outra medição foi realizada nos tubos de cobre sem a utilização da bomba, ou seja, sem fluxo de água, a fim de se obter o valor máximo de temperatura alcançada pelos tubos. O resultado foi uma temperatura máxima de 57 °C.

O ponto 2 se trata da temperatura de referência, que tem como objetivo apenas realizar a comparação entre a água submetida à fonte de energia e a água sem fornecimento de calor. É possível perceber que houve um pequeno ganho energético, totalizando uma variação de temperatura de 1,6 °C, valor que pode ser desconsiderado ao se comparar com a água do reservatório.

Por fim, o ponto 3 refere-se à temperatura ambiente. Seu comportamento também apresenta uma leve variação de temperatura, que pode ser justificada pela radiação das lâmpadas que não foi aproveitada pelo protótipo, resultando em uma variação de temperatura de 3 °C.

4.5 Análise energética

A energia térmica incidente Q_{in} , como demonstrada no capítulo 2, corresponde a um terço da potência total emitida pelas lâmpadas, ou seja, 175 W.

Já a energia térmica absorvida, pode ser calculada através da equação 7.

$$Q_{abs} = 0,02 \cdot 4,186 \cdot (40,5 - 20,2) = 1,7 \text{ W} \quad (15)$$

Com isso, é possível calcular a eficiência térmica do sistema, de acordo com a equação 8.

$$\eta = \frac{Q_{abs}}{Q_{in}} \frac{1,7}{175} = 0,0097 = 0,97 \% \quad (16)$$

Isso significa que aproximadamente apenas 1% de toda a energia térmica emitida pelo sistema foi absorvida pela água, fazendo sua temperatura aumentar em 20,3 °C.

Vale ressaltar que essa é uma análise térmica do protótipo, ou seja, estão sendo desconsideradas as análises óticas existentes no fenômeno.

Outro ponto importante a ser considerado, é que no trabalho em questão, o objetivo é apenas demonstrar o fenômeno utilizando um protótipo, portanto, não serão abordados conceitos mais complexos envolvendo o sistema.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

Levando em consideração o objetivo do trabalho, o qual se baseia em dimensionar e construir um protótipo de um concentrador solar cilíndrico-parabólico para o aquecimento de determinada massa de água, demonstrando o fenômeno envolvido, conclui-se que o objetivo foi alcançado com sucesso. O estudo teórico dos concentradores solares, bem como o dimensionamento dos espelhos esféricos e a análise energética foi representada de modo simplificado, desconsiderando estudos mais complexos que envolvem o sistema.

No projeto em questão, foi possível observar o aquecimento de uma massa de 600 ml de água de 20,2 °C até 40,5 °C durante 5 horas e 30 minutos de experimento. Tal massa de água era circulada dentro dos tubos e do reservatório em um intervalo de 30 minutos, durante 5 a 10 segundos, com uma vazão de 20 ml por segundo. Isso comprova o dimensionamento correto da calha parabólica, que foi projetada utilizando os conceitos de espelhos esféricos. Além disso, demonstra também o funcionamento prático de um concentrador solar cilíndrico-parabólico, uma vez que é possível visualizar a concentração dos raios de luz no ponto em que seria formado a imagem e o aumento de temperatura da água no interior dos tubos também pôde ser observada.

Por fim, foram realizados cálculos de eficiência térmica, comparando a energia emitida e a energia absorvida pelo fluido, obtendo um resultado de 0,97 % de eficiência térmica, ou seja, dos 525 W totais de potência das lâmpadas, apenas uma pequena parcela foi realmente absorvida e possibilitou o aquecimento de aproximadamente 20 °C da água do sistema. É importante ressaltar que a baixa eficiência do protótipo acontece pelo fato de que o experimento tem apenas fins demonstrativos, não sendo apropriado para estudos quantitativos.

Com isso, é possível concluir que o experimento possui resultados satisfatórios, uma vez que foi possível observar o correto dimensionamento do protótipo bem como o fenômeno de concentração de raios luminosos que resultariam no aquecimento de uma determinada massa de água.

Baseando-se nestes resultados positivos, outros estudos podem ser realizados utilizando o protótipo, possibilitando assim a realização de futuros trabalhos.

5.2 Recomendações

Para futuros trabalhos, são sugeridas algumas recomendações.

- Realizar o estudo detalhado do balanço energético envolvido no sistema;
- Utilizar um fluxo de água constante;
- Analisar detalhadamente as perdas energéticas envolvidas no processo.
- Fazer um protótipo de concentrador solar de calha parabólica com sistema de rastreamento da posição do sol.

6 REFERÊNCIAS

A energia solar no Brasil. Banco Nacional do Desenvolvimento, 2018. Disponível em: <

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/energia-solar/> >. Acesso em: 10 de mar. de 2020.

A Maldição do Ouro Negro. O Eco, 2019. Disponível em: < <https://www.oeco.org.br/analises/a-maldicao-do-ouro-negro/> >. Acesso em 05 de fev. 2020.

Alemanha registra recorde de energia renovável. DW Brasil, 2019. Disponível em: < <https://www.dw.com/pt-br/alemanha-registra-recorde-de-energia-renov%C3%A1vel/a-51921693/> >. Acesso em: 10 de mar. de 2020.

Alemanha se tornou líder em energia solar per capita. Portal Solar, 2017. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/alemanha-se-tornou-lider-em-energia-solar-per-capita.html/> >. Acesso em 10 de mar. de 2020.

ANDREANI NETZEL, Ricardo. **Estudo Experimental De Um Concentrador Solar Cilíndrico Parabólico**. Orientador: Prof. Dr. Ismael de Marchi Neto. 2019. 132 f. TCC (Graduação) – Engenharia Mecânica, Departamento acadêmico de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019. Disponível em: < <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12317> >. Acesso em: 16 set .2021.

Aquecimento global: 7 gráficos que mostram em que ponto estamos. BBC News, 2020. Disponível em: < <https://www.bbc.com/portuguese/geral-46424720/> >. Acesso em: 24 de mar. de 2020.

Até 2024, temperatura global estará pelo menos 1°C acima dos níveis pré-industriais. ONU News, 2020. Disponível em: < <https://news.un.org/pt/story/2020/07/1719561> >. Acesso em 08 de abril de 2021.

BIANCHINI, Henrique Magalhães; **AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

BJORK et al. (2011) **Encouraging Renewable Energy Development: a handbook for international energy regulators**, January, 2011. USAID-NARUC.

Bom Jesus da Lapa recebe maior parque solar da América Latina. NHS Solar, 2018. Disponível em: < <https://www.nhssolar.com.br/bom-jesus-da-lapa-recebe-maior-parque-solar-da-america-latina/> >. Acesso em: 26 de jun. de 2021.

CALDNAZZA. 2016. Disponível em: < <http://www.caldnazza.com/2012/02/arco-corda-flecha-e-angulo-de-um-arco.html#.V0OB4DUrLIV>>. Acesso em: 13 abr. 2021.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. **Combustíveis fósseis e insustentabilidade**. Ciência e Cultura, 2008. Disponível em: < http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252008000300011 />. Acesso em: 05 de fev. de 2020.

Combustão Completa e Incompleta. Manual da Química, 2016. Disponível em < <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/combustao-completa-incompleta.htm> >. Acesso em 05 de fev. 2020.

Energia Eólica. Casa dos ventos, 2017. Disponível em: < <https://www.casadosventos.com.br/pt/energia-dos-ventos/energia-eolica/> >. Acesso em 10 de mar. de 2020.

Energia solar: o que é, vantagens e desvantagens. eCycle. Disponível em: < <https://www.ecycle.com.br/2890-energia-solar/> >. Acesso em: 10 de mar. 2020.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.
Fontes de Energias Renováveis: O que Você Deveria Saber [Mas Ainda Não Sabe]. Blue Sol, 2021. Disponível em: < <https://blog.bluesol.com.br/fontes-de-energia-renovaveis/> >. Acesso em 10 de abr. de 2021.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GREENPEACE. (2013), **[R]evolução energética: a caminho do desenvolvimento limpo**.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 4;

Histórico do uso do sol. Energia solar, 2012. Disponível em: < <https://energiasolar2012.wordpress.com/historico-do-uso-do-sol/> >. Acesso em 10 de mar. 2020.

INCROPERA, Frank P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

KALOGIROU, Soteris A. **Solar Energy Engineering: Processes and Systems**. 2. Ed. Oxford. Elsevier, 2014.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2004 – 4ª ed.

Magnitude e Centro de Operação. Complexo Eólico de Osório, 2021. Disponível em: < <http://complexoeolicodeosorio.com.br/br/> >. Acesso em 26 de jun. de 2021.

PEREIRA, Enio Bueno. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos – Brasil. 2017.

Resenha Energética Brasileira. Ministério de Minas e Energia, 2019. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/36208/948169/Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasil+eira+-+edi%C3%A7%C3%A3o+2019+v3.pdf/92ed2633-e412-d064-6ae1-eefac950168b/> >. Acesso em: 24 de mar. de 2020.

RIBEIRO, Luiz. **Estudo revela potencial solar em seis microrregiões de Minas Gerais**. Estado de Minas, 2018. Disponível em: < https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2018/03/04/internas_economia,941654/a-bencoadas-pelo-astro-rei.shtml/ >. Acesso em: 10 de mar. de 2020.

SHIMAKO, Mariana Zanarotti; ROSSI, Fabrício. **O potencial hidrelétrico brasileiro e a maior usina geradora de energia do Mundo**. USP, 2018. Disponível em: < <http://www.usp.br/portalbiossistemas/?p=7865/> >. Acesso em: 10 de mar. de 2020.

TADACHI, N. T.; FLORES, Mario Cesar Xavier. **Indicadores da Qualidade e do Desempenho**. 1997.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

Usina heliotérmica Crescent Dunes gera energia 24 horas por dia. EnerCons, 2017. Disponível em: < <https://enercons.com.br/2017/09/26/usina-heliotermica-crescent-dunes-gera-energia-24-horas-por-dia/> >. Acesso em 26 de jun. de 2021.

Usina Hidrelétrica de Itaipu. Andrade Gutierrez, 2018. Disponível em: < <https://www.andradegutierrez.com.br/Projetos/Itaipu.aspx> >. Acesso em: 26 de jun. de 2021.

VENTURA FILHO, Altino. (2013) **Por que a Hidroeletricidade no Mundo e no Brasil?**

Aspectos Energéticos, Econômicos e Socioambientais. INAE - Instituto Nacional de Altos Estudos. Fórum Nacional - Sessão Especial. Brasil: Estratégia de Desenvolvimento Industrial, com Maior Inserção Internacional e Fortalecimento da Competitividade. Rio de Janeiro, 18-19 de setembro de 2013.