

**DESENVOLVIMENTO E
CARACTERIZAÇÃO
EXPERIMENTAL DE UM
CONCENTRADOR
PARABÓLICO DE BAIXO
CUSTO COM IMÃS DE
NEODÍMIO PARA
APLICAÇÕES EM
AMBIENTES ESCOLARES**

**DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL CHARACTERIZATION OF A LOW-
COST PARABOLIC CONCENTRATOR WITH NEODYMIUM MAGNETS FOR
USE IN SCHOOL SETTINGS**

Ciências Exatas e da Terra, Engenharias • 03/10/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/790805532](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/790805532)

Claudio Marinho de Pinho Pontes¹

Lucio Fabio Cassiano Nascimento²

RESUMO

Este artigo aborda o desenvolvimento e a avaliação experimental de um concentrador parabólico de baixo custo com aplicação de ímãs de neodímio, destinado ao uso em escolas como recurso tecnológico para educação científica, energia solar e sustentabilidade. O estudo tem como objetivo desenvolver um protótipo acessível e avaliar seu comportamento térmico e operacional durante a conversão da radiação solar concentrada em energia térmica útil. A metodologia compreende a construção e instrumentação do sistema, constituído por superfície parabólica refletora, tubo receptor, circuito hidráulico, bomba periférica magneticamente assistida, ímãs de neodímio, manômetro e sensores de temperatura, seguida de ensaios experimentais sob condições reais de radiação solar. Os resultados experimentais indicaram que o concentrador atingiu temperatura de aproximadamente 267,3 °C a 400 °C no sistema receptor e pressão de operação de até 55 psi, evidenciando a capacidade do protótipo de produzir temperaturas elevadas a partir da concentração da energia solar. A aplicação dos ímãs de neodímio constitui uma alternativa tecnológica investigada para auxiliar o funcionamento do circuito de circulação e a transferência de calor. Conclui-se que o protótipo apresenta potencial para aplicações educacionais, experimentação científica e demonstração de tecnologias solares de baixo custo, contribuindo para a disseminação do conhecimento sobre energia renovável e sustentabilidade no ambiente escolar.

Palavras-chave: Energia solar; Concentrador parabólico; Ímãs de neodímio; Tecnologia de baixo custo; Educação científica.

ABSTRACT

This article discusses the development and experimental evaluation of a low-cost parabolic concentrator using neodymium magnets,

designed for use in schools as a technological tool for science education, solar energy, and sustainability. The study aims to develop an affordable prototype and assess its thermal and operational performance during the conversion of concentrated solar radiation into useful thermal energy. The methodology includes the construction and instrumentation of the system, consisting of a parabolic reflective surface, a receiver tube, a hydraulic circuit, a magnetically assisted peripheral pump, neodymium magnets, a manometer, and temperature sensors, followed by experimental tests under real solar radiation conditions. The experimental results showed that the concentrator reached temperatures of approximately 267.3 °C to 400 °C in the receiver system and an operating pressure of up to 55 psi, demonstrating the prototype's ability to produce high temperatures. elevated from the concentration of solar energy. The use of neodymium magnets is a technological alternative being explored to help the operation of the circulation circuit and heat transfer. It is concluded that the prototype has potential for educational applications, scientific experimentation, and demonstration of low-cost solar technologies, contributing to the spread of knowledge about renewable energy and sustainability in the school environment. Keywords: Solar energy; Parabolic concentrator; Neodymium magnets; Low-cost technology; Scientific education.

Keywords: Solar energy; Parabolic concentrator; Neodymium magnets; Low-cost technology; Science education.

1. INTRODUÇÃO

A problemática que originou esta investigação está relacionada à ocorrência de condições de baixa temperatura em ambientes escolares, evidenciada pelo registro de estudantes utilizando

cobertores durante as atividades escolares em São Carlos (SP). Esse episódio constitui o ponto de partida para a investigação de uma alternativa tecnológica baseada no aproveitamento da energia solar, buscando superar, por meio de uma solução de baixo custo, parte das limitações associadas à ausência de sistemas convencionais de aquecimento nas unidades escolares.

Mais do que analisar teoricamente o aproveitamento da radiação solar, pesquisas recentes têm demonstrado a importância da construção e da experimentação de protótipos em escala reduzida como estratégia para transformar conceitos de engenharia em sistemas funcionais. Dellicompagni, Salvo e Rojas Villena (2024), por exemplo, apresentaram o projeto, a construção e os ensaios de um concentrador solar cilindroparabólico desenvolvido com materiais disponíveis localmente e destinado a fins educacionais. Os autores demonstraram que a construção de um dispositivo experimental possibilita avaliar parâmetros de desempenho e, simultaneamente, favorecer a transferência de conhecimentos relacionados às energias renováveis. A figura 1, a apresenta o fluxograma do concentrador parabólico com as Perdas de energia no aproveitamento da luz solar.

Figura 1. Fluxograma com Perdas de energia no aproveitamento da luz solar.



Fonte: Próprio Autor, 2026.

Nesse sentido, a construção de protótipos assume papel central na pesquisa aplicada, pois permite estabelecer uma conexão entre a concepção do projeto, a seleção e adaptação dos materiais, a montagem dos componentes, a integração dos subsistemas e a realização dos ensaios experimentais. Trabalho desenvolvido no contexto educacional brasileiro também evidencia a utilização de protótipos de energia solar como instrumentos para aproximar os estudantes dos princípios de funcionamento das tecnologias renováveis, transformando o conhecimento científico em uma experiência prática de aprendizagem (Fecti, 2024).

A partir dessa perspectiva, o presente estudo concentra-se no projeto e na construção de um protótipo de concentrador parabólico solar de baixo custo, concebido a partir do reaproveitamento e da adaptação de uma antena parabólica desativada. A proposta busca demonstrar que materiais disponíveis e componentes de menor custo podem ser integrados em uma configuração experimental capaz de concentrar a radiação solar e transferir a energia térmica para um fluido de trabalho. A escolha da

geometria parabólica fundamenta-se na capacidade desse tipo de sistema de direcionar a radiação incidente para uma região focal, característica que favorece a obtenção de elevadas temperaturas e torna os concentradores parabólicos particularmente relevantes para aplicações térmicas descentralizadas (Abdullah et al., 2024; Iyankumar et al., 2025).

O desenvolvimento do protótipo compreende, portanto, uma abordagem de engenharia experimental que envolve a adaptação da estrutura parabólica, a instalação do sistema de circulação hidráulica, a integração da bomba periférica, a montagem das tubulações, a incorporação dos elementos de medição de pressão e temperatura e a instalação dos ímãs permanentes de neodímio no circuito hidráulico. Dessa maneira, o objeto de estudo não se restringe ao concentrador solar isoladamente, mas contempla a construção e integração de um sistema termohidráulico experimental, no qual os diferentes componentes precisam atuar de forma conjunta para possibilitar a circulação do fluido e o aproveitamento da energia térmica concentrada.

A incorporação dos ímãs permanentes de neodímio constitui um dos elementos diferenciais da configuração experimental proposta. Pesquisas recentes demonstram que campos magnéticos permanentes podem interagir com escoamentos e sistemas hidráulicos, embora os mecanismos e os efeitos dependam das características do fluido, da intensidade e do gradiente do campo magnético e das condições de operação. Estudos experimentais publicados em 2024 e 2025 investigaram, respectivamente, o comportamento hidráulico de água submetida a campos magnéticos e os efeitos de campos produzidos por ímãs de neodímio sobre o comportamento de escoamentos, evidenciando

que essa área ainda apresenta possibilidades de investigação experimental (Abdelsalam et al., 2024; 2025).

Assim, a utilização dos ímãs de neodímio no presente protótipo é tratada como uma configuração experimental a ser avaliada, e não como uma premissa de aumento de desempenho previamente estabelecida. Essa distinção é importante para a pesquisa, uma vez que permite que os efeitos observados sejam determinados experimentalmente a partir das condições reais de funcionamento do sistema.

A literatura recente demonstra, inclusive, que aplicações de ímãs permanentes em sistemas hidráulicos continuam sendo objeto de investigação, com resultados que dependem fortemente da configuração experimental adotada (Abdelsalam et al., 2024; 2025).

O caráter inovador da pesquisa está, portanto, associado à construção e integração de um protótipo de baixo custo que reúne concentração solar parabólica, circulação hidráulica forçada e aplicação experimental de ímãs permanentes de neodímio, buscando verificar seu comportamento térmico e hidráulico em condições reais de operação. A literatura recente sobre concentradores parabólicos reforça que o desempenho desses sistemas está relacionado a fatores como geometria e material refletor, configuração do receptor, condições de escoamento, fluido de transferência de calor, perdas térmicas e condições ambientais (Abdullah et al., 2024; Iyankumar et al., 2025).

Dessa forma, o objetivo central deste trabalho é projetar, construir, montar e avaliar experimentalmente um protótipo de concentrador parabólico solar de baixo custo, integrado a um sistema hidráulico

de circulação forçada e à aplicação de ímãs de neodímio, verificando seu funcionamento, desempenho térmico e comportamento hidráulico. A pesquisa prioriza, portanto, a trajetória de desenvolvimento do protótipo, desde a concepção e seleção dos componentes até a montagem, instrumentação, operação e avaliação dos resultados experimentais.

A construção do protótipo foi realizada em parceria com os estudantes e professores do Colégio Estadual CIEP 092 Federico Fellini, com o acompanhamento da Pesquisa pelo Orientador da Unisuam, o Prof. Dr Lucio Fabio Cassiano Nascimento localizado na Avenida João Ribeiro, s/nº, bairro Tomás Coelho, Rio de Janeiro – RJ. A Pesquisa só iniciou após a aprovação da SEEDUC RJ, através do **Processo nº SEI-030001/013089/2024 SEI nº 120855117**, e do Comitê de Ética da Unisuam, através do **Número do Parecer: 7.894.899, CAAE: 86671125.9.0000.5235**. Essa participação possibilitou inserir o processo de desenvolvimento tecnológico no ambiente escolar, aproximando os estudantes das etapas de concepção, construção, experimentação e análise de uma tecnologia baseada em fonte renovável.

A experiência está alinhada à perspectiva contemporânea de utilização de protótipos como instrumentos de aprendizagem prática e de transferência de conhecimentos em energias renováveis (Dellicompagni; Salvo; Rojas Villena, 2024). Nesse contexto, o protótipo constitui simultaneamente objeto de pesquisa, sistema experimental e recurso didático, permitindo a integração entre conhecimentos de engenharia mecânica, energia solar térmica, hidráulica, transferência de calor, materiais, instrumentação e educação tecnológica. A Figura 2, apresenta o Colégio Estadual CIEP

092 Federico Fellini, instituição parceira na qual foi desenvolvido o processo de construção e aplicação educacional do protótipo.

Figura 2. Ciep 092 Federico Fellini da Secretaria de Educação do Estado do Rio de Janeiro.



Fonte: Próprio Autor, 2026.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste no desenvolvimento, construção e avaliação experimental de um protótipo de concentrador solar de disco parabólico, concebido com enfoque na utilização de materiais acessíveis, na integração dos seus componentes e na verificação de seu funcionamento em condições reais de operação.

2.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral proposto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- **Definir e desenvolver uma metodologia construtiva** para a fabricação, adaptação e montagem do concentrador solar parabólico;
- **Projetar e construir o protótipo**, contemplando a estrutura parabólica, o sistema de circulação hidráulica, os componentes de aquecimento e os elementos necessários ao seu funcionamento;
- **Integrar e instrumentar o sistema experimental**, possibilitando o acompanhamento das principais variáveis térmicas e hidráulicas durante os ensaios;
- **Avaliar as características construtivas e o comportamento operacional do protótipo**, considerando parâmetros relacionados ao funcionamento térmico e hidráulico do sistema;
- **Realizar ensaios experimentais** para verificar a capacidade do concentrador de converter a radiação solar em energia térmica;
- **Analisar a viabilidade técnica e econômica da solução desenvolvida**, considerando os materiais empregados, os custos de construção, a possibilidade de reaproveitamento de componentes e seu potencial de aplicação em ambiente escolar;
- **Avaliar o potencial didático do protótipo**, considerando sua utilização como ferramenta experimental para aproximar os estudantes dos conceitos relacionados à energia solar, sustentabilidade e tecnologias de fontes renováveis.

2.3. Linha do Tempo

A Organização do desenvolvimento do trabalho desde a ideia inicial e definição metodológica até a construção, avaliação e conclusão do protótipo é essencial para evolução da pesquisa. O documento registra que o projeto passou pela definição da escola, aprovação dos processos formais, autorização da unidade escolar, construção do protótipo com os alunos do CIEP Federico Fellini, aplicação dos ímãs de neodímio e, posteriormente, avaliação de desempenho e elaboração do relatório final.

2.3.1. Descrição e Análise da Linha de Construção do Protótipo

A construção do protótipo foi estruturada de forma progressiva, iniciando-se com a concepção da ideia e a descrição do método, seguida pelo detalhamento do projeto do concentrador e pela definição da unidade escolar para realização da pesquisa. Após a obtenção das autorizações necessárias, foi iniciada a construção do equipamento no ambiente escolar, envolvendo a participação dos alunos do colégio estadual 092 CIEP Federico Fellini.

Em uma segunda etapa, o processo passou da concepção teórica para a materialização física do protótipo, contemplando a construção do concentrador parabólico e a integração dos seus componentes. Posteriormente, foi incorporada a proposta de aplicação dos ímãs de neodímio ao motor acoplado ao concentrador, constituindo uma etapa experimental adicional do desenvolvimento tecnológico.

A etapa final concentrou-se na avaliação do desempenho do equipamento, seguida da organização dos resultados e elaboração

do relatório final e do artigo relacionado à construção do concentrador.

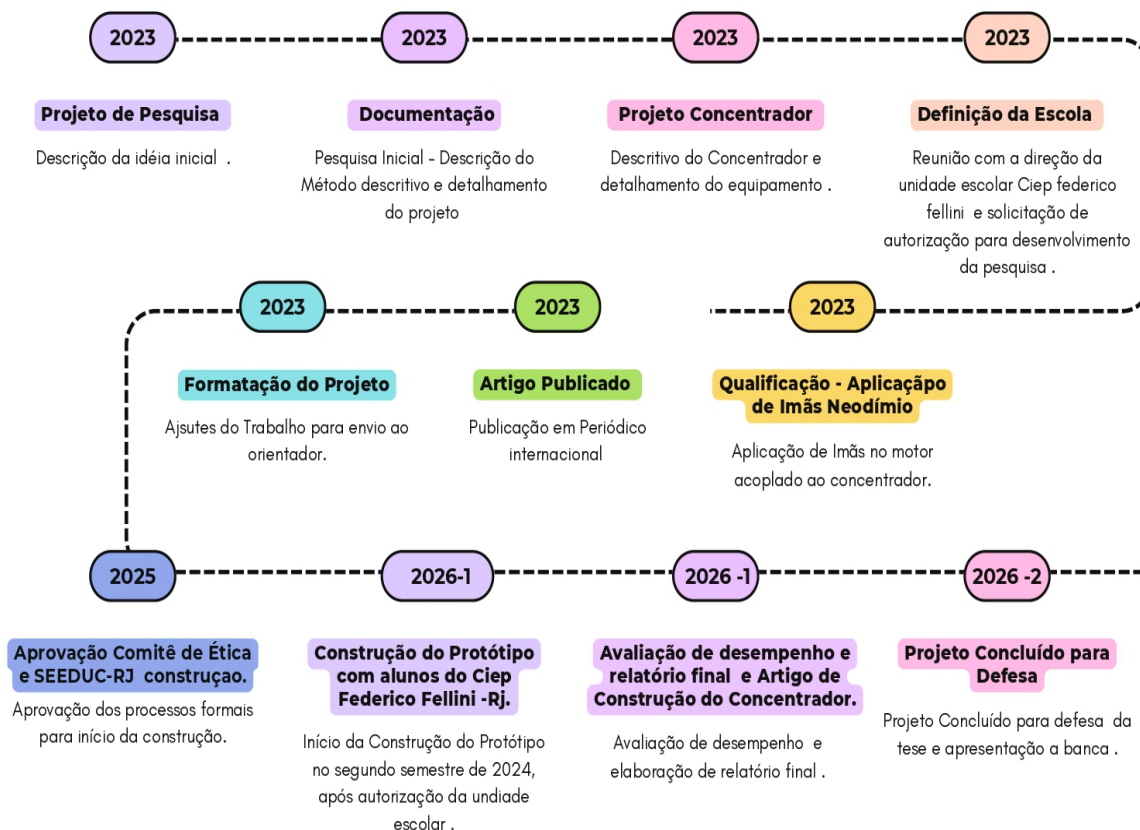
3. METODOLOGIA

3.1. Fluxograma da Linha do Tempo da Pesquisa

A linha de desenvolvimento demonstra uma sequência lógica de concepção → autorização → projeto → construção → integração dos ímãs → testes → avaliação → documentação científica, evidenciando que a construção do protótipo constitui o elemento central do trabalho. A figura 3, apresenta a linha do tempo da pesquisa.

Figura 3. Linha do Tempo da Pesquisa.

Linha do Tempo



Fonte: Próprio Autor,2026.

3.1.1. Problema de Pesquisa e Motivação para a Construção do Protótipo

A presente pesquisa teve como problema central a necessidade de contribuir para a melhoria do conforto térmico em unidades escolares durante períodos de baixas temperaturas, especialmente em instituições que não dispõem de sistemas convencionais de aquecimento. A motivação para o desenvolvimento do protótipo surgiu a partir do registro de alunos utilizando cobertores durante as atividades escolares devido ao frio na Escola Estadual Professor Sebastião, em São Carlos–SP, situação que evidenciou a necessidade de buscar alternativas tecnológicas aplicáveis ao ambiente educacional.

A literatura recente confirma a relevância dessa problemática, indicando que condições térmicas inadequadas podem comprometer o bem-estar dos estudantes e influenciar seu desempenho e suas condições de aprendizagem. Estudos recentes também destacam a necessidade de soluções adaptadas às características específicas dos ambientes educacionais e de estratégias energeticamente sustentáveis (Mustapha et al., 2024; Riaz et al., 2025).

Diante desse problema, foi desenvolvido e construído um concentrador parabólico solar de baixo custo, destinado ao aproveitamento da radiação solar para produção de energia térmica. A proposta consiste em utilizar uma fonte renovável e disponível, associada a materiais e componentes acessíveis, como alternativa tecnológica que possa futuramente contribuir para aplicações de aquecimento em unidades escolares. Essa abordagem está alinhada às pesquisas recentes que defendem a integração entre conforto térmico, eficiência energética e sustentabilidade em edificações educacionais (SOLEIMANI et al., 2024; XIANG et al., 2025).

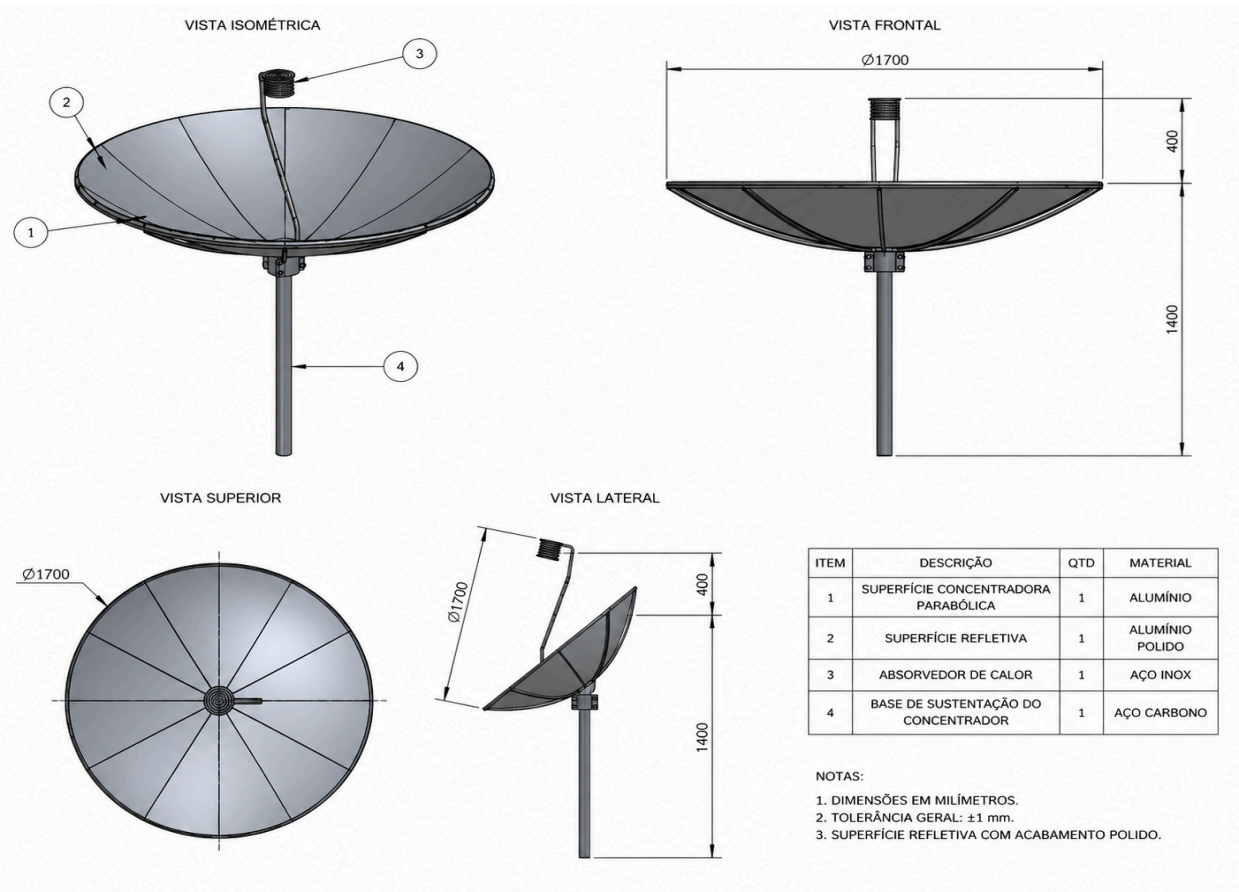
Assim, o protótipo foi construído não apenas como um dispositivo de concentração solar, mas como uma resposta experimental a um problema de conforto térmico identificado no contexto escolar, buscando avaliar a viabilidade do aproveitamento da energia solar térmica como alternativa de baixo custo e potencial aplicação educacional.

3.1.2. Superfície Concentradora Parabólica

A superfície concentradora parabólica constitui um dos principais elementos dos sistemas de aproveitamento da energia solar

concentrada, sendo responsável por interceptar a radiação solar incidente e direcioná-la para uma região focal, na qual se encontra o receptor térmico. Nesse processo, a geometria parabólica possibilita a concentração da radiação em uma área reduzida, promovendo o aumento da densidade de fluxo solar e, conseqüentemente, da temperatura disponível para aplicações térmicas. Estudos recentes destacam que os concentradores parabólicos do tipo disco apresentam particular interesse devido à sua capacidade de alcançar elevadas temperaturas e densidades de potência, além de apresentarem possibilidades de aplicação em sistemas de geração de calor, processos industriais e conversão termoenergética (Mandal; Rajan; Reddy, 2024). A Figura 4, apresenta a superfície concentradora parabólica e suas camadas.

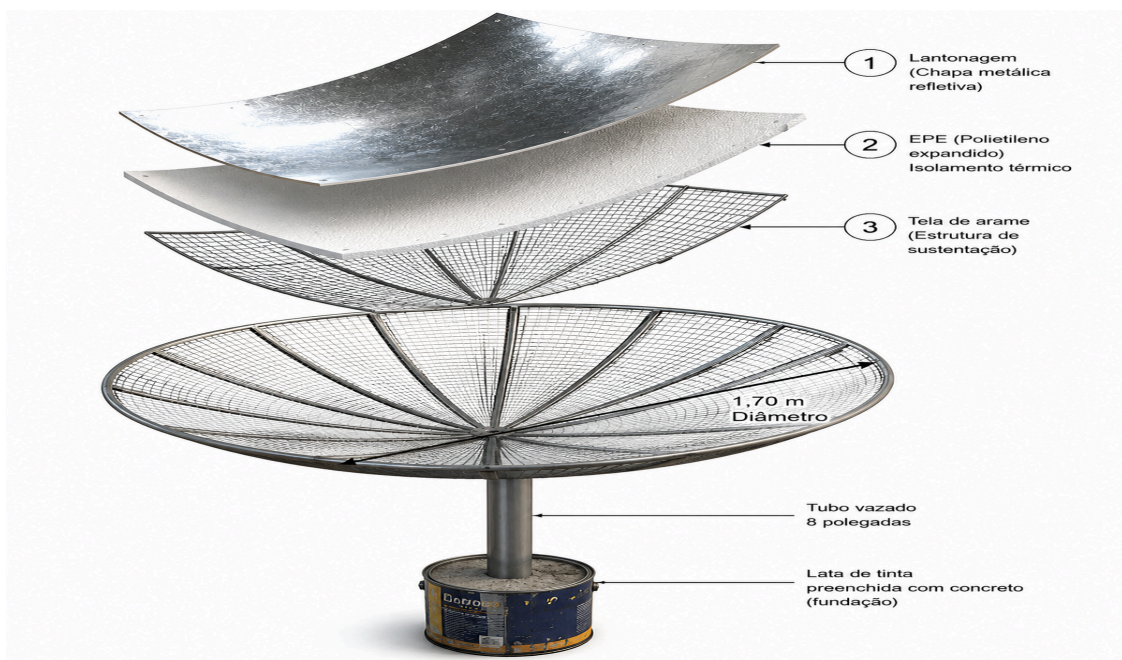
Figura 4. CAD produzido para visualização dos principais componentes do projeto.



O desempenho da superfície concentradora está diretamente relacionado às suas características geométricas, às propriedades ópticas do material refletor, à precisão do posicionamento do receptor e ao correto alinhamento com a trajetória aparente do Sol. Dessa forma, a eficiência óptica do sistema depende da capacidade da superfície refletora de captar a radiação solar e concentrá-la adequadamente na região focal, minimizando fenômenos como reflexão inadequada, sombreamento, erros de forma, desalinhamentos e perdas associadas à distribuição do fluxo solar. Pesquisas recentes ressaltam que a modelagem óptica e métodos de rastreamento de raios constituem ferramentas importantes para avaliar a distribuição da radiação concentrada e aperfeiçoar a configuração geométrica dos concentradores solares (Mandal; Rajan; Reddy, 2024). Portanto, para o desenvolvimento do protótipo proposto neste trabalho, a superfície parabólica deve ser compreendida não apenas como um elemento refletor, mas como parte integrante de um sistema de conversão da radiação solar em energia térmica. Seu dimensionamento e sua construção devem buscar o aproveitamento máximo da radiação incidente, garantindo adequada concentração no ponto focal e reduzindo as perdas decorrentes de imperfeições geométricas, propriedades do material refletor e condições de operação.

Essa abordagem é fundamental para que um concentrador de baixo custo possa apresentar desempenho térmico satisfatório, mantendo simultaneamente características de simplicidade construtiva, facilidade de manutenção e possibilidade de reprodução em ambientes educacionais. A Figura 5, apresenta a superfície concentradora parabólica e suas camadas.

Figura 5. Superfície Concentradora Parabólica e suas camadas.



Fonte: Próprio Autor, 2026.

3.2. Interação da Radiação Solar com o Concentrador

A radiação solar atravessa a atmosfera terrestre até atingir a superfície refletiva do concentrador parabólico. Durante esse percurso, parte da energia pode ser refletida, absorvida ou transmitida, dependendo das propriedades dos materiais e do comprimento de onda.

A superfície parabólica direciona a radiação incidente para a região focal, aumentando a densidade de energia disponível. O desempenho óptico depende da geometria do refletor, de sua refletividade e do correto alinhamento com o Sol.

Imperfeições geométricas e erros de rastreamento podem provocar perdas e reduzir a concentração da radiação. No foco, o absorvedor converte a radiação concentrada em energia térmica. Essa energia é posteriormente transferida para o fluido de trabalho por meio da serpentina. Durante a conversão, ocorrem perdas térmicas por condução, convecção e radiação. Assim, o protótipo integra superfície parabólica, superfície refletiva, absorvedor térmico e

estrutura de sustentação. A Figura 6 ,apresenta a antena de 1,70 metros de diâmetro reutilizada de 1,70 metros de diâmetro.

Figura 6. Antena Parabólica de 1,70 m e 10 telas.



Fonte: Century, 2026.

No projeto desenvolvido no CIEP 092 Federico Fellini, a superfície concentradora parabólica foi adaptada a partir do aproveitamento de uma antena parabólica comercial reutilizada, com diâmetro de 1,70 metros e 10 telas , reduzindo os custos de fabricação e tornando a construção do protótipo mais acessível ao ambiente escolar. Em vez de produzir uma nova estrutura parabólica, optou-se pelo reaproveitamento de uma superfície já conformada, cuja geometria apresenta características adequadas para direcionar a radiação solar incidente para uma região focal. A geometria parabólica é particularmente apropriada para aplicações de concentração solar porque os raios incidentes aproximadamente paralelos ao eixo de simetria da parábola são refletidos em direção à região focal.

Esse princípio, originalmente empregado em antenas para concentração de ondas eletromagnéticas, também pode ser aplicado à radiação solar na faixa visível, desde que a superfície

apresente adequada capacidade de reflexão e a geometria seja preservada.

Para a adaptação realizada no CIEP 092 Federico Fellini, a antena foi integrada aos demais componentes do protótipo, passando a desempenhar a função de superfície concentradora e suporte para o sistema refletivo. A estrutura foi complementada pelo absorvedor térmico, pela serpentina destinada à circulação do fluido de trabalho e pela base de sustentação, formando um conjunto destinado à conversão da radiação solar em energia térmica.

A Figura 7 ,apresenta a equipe de alunos da pesquisa, transportando um componente necessário à montagem do concentrador parabólico.

Figura 7. Montagem do concentrador parabólico pelos alunos do Ciep 092 -Federico Fellini.



Fonte – Próprio Autor, 2026.

O concentrador parabólico desenvolvido no CIEP 092 Federico Fellini foi construído a partir do reaproveitamento de uma antena

parabólica desativada, reduzindo os custos de fabricação.

A estrutura possui aproximadamente 1,70 m de diâmetro e foi adaptada para concentrar a radiação solar em uma região focal. A geometria parabólica permite direcionar a radiação incidente para o receptor, favorecendo a conversão da energia solar em energia térmica.

A utilização de materiais reaproveitados demonstra a possibilidade de desenvolver sistemas solares de baixo custo para aplicações educacionais.

O desempenho do concentrador depende da geometria, da qualidade da superfície refletora, do alinhamento focal e das condições de irradiância solar. A refletividade da superfície é um fator importante, pois poeira, umidade e corrosão podem reduzir a eficiência óptica do sistema (Alkhalaf et al., 2024). Estudos recentes destacam que concentradores parabólicos podem atingir temperaturas elevadas quando apresentam adequado posicionamento do receptor e controle das perdas térmicas (Wasankar; Gulhane, 2024).

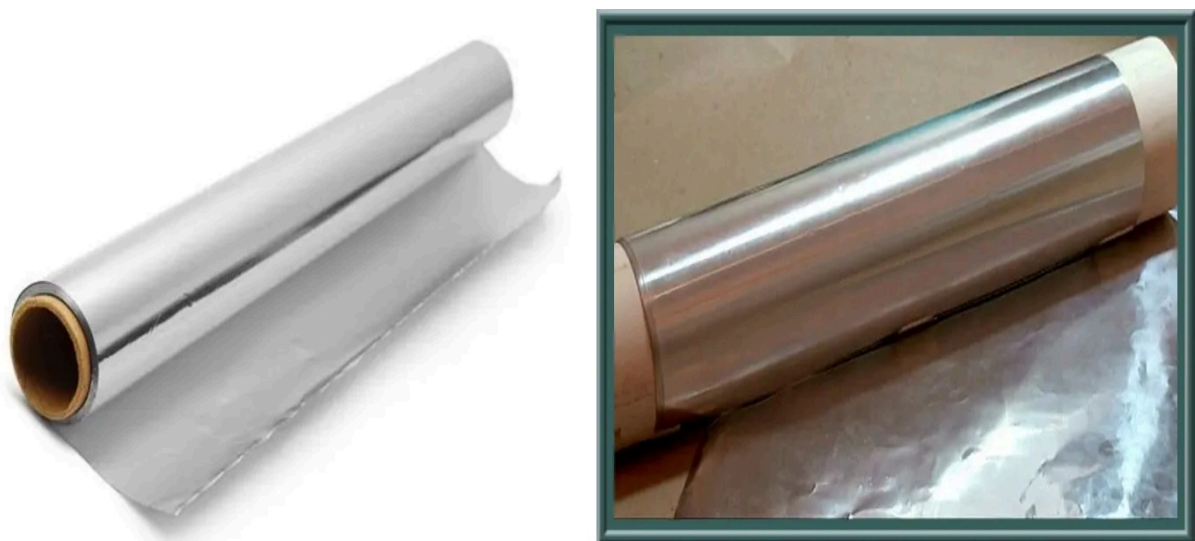
3.3. Superfície Refletiva

A radiação solar incidente na superfície terrestre concentra grande parte de sua energia nas regiões do espectro visível e do infravermelho próximo. Essa característica possibilita o uso de superfícies refletivas para direcionar a radiação solar ao foco de concentradores parabólicos.

No protótipo desenvolvido para o CIEP 092 Federico Fellini, inicialmente foi considerada a utilização de placas de acrílico com acabamento espelhado. A escolha baseou-se na disponibilidade comercial, facilidade de corte, baixo peso e possibilidade de

adaptação à geometria parabólica. Entretanto, o desempenho óptico dos materiais refletivos depende também da durabilidade e da manutenção de suas propriedades ao longo do tempo. Estudos recentes destacam que poeira, degradação e condições ambientais podem reduzir a refletividade das superfícies solares. Por esse motivo, foram avaliadas alternativas com materiais poliméricos e revestimentos espelhados. Considerando os requisitos de baixo custo e facilidade de fabricação, optou-se pela utilização de folhas de alumínio mole para lantonagem nas dimensões de 0,10mm x 60 cm x 8,0 metros. Esse material possibilitou maior facilidade de aplicação sobre a estrutura parabólica utilizada no protótipo. A solução adotada contribuiu para uma configuração de construção simplificada, econômica e adequada à proposta experimental desenvolvida no ambiente escolar. A figura 8, apresenta as folhas de alumínio mole para lantonagem nas dimensões de 0,10mm x 60 cm x 8,0 metros.

Figura 8. Folhas de alumínio mole para lantonagem nas dimensões de 0,10mm x 60 cm x 8,0 metros.



Fonte – Próprio Autor, 2026.

Para o concentrador parabólico do CIEP 092 Federico Fellini, foram utilizadas folhas de alumínio mole de 0,10 mm de espessura e 0,60 m de largura.

O material foi escolhido pela elevada maleabilidade, facilidade de corte e adaptação à geometria parabólica do protótipo. A aplicação em segmentos facilitou o transporte, a montagem, os ajustes e a substituição de partes danificadas. O custo total das folhas de alumínio foi de R\$ 220,00, atendendo à proposta de construção de baixo custo.

Assim, o alumínio apresentou uma solução tecnicamente viável e economicamente adequada ao desenvolvimento experimental do concentrador solar. Aquisição realizada em 30 de janeiro 2026. A durabilidade da superfície refletiva depende das propriedades do material e de sua exposição à radiação solar e UV, calor, umidade e oxigênio. No concentrador parabólico, as altas temperaturas e os ciclos de aquecimento e resfriamento podem acelerar a degradação, provocando perda de flexibilidade, deformações e redução da capacidade de reflexão. A manta de polietileno expandido de 2 mm atua como camada intermediária, auxiliando na acomodação de pequenas irregularidades e movimentações. Recomenda-se realizar inspeções periódicas para verificar aderência, deformações, integridade e conservação das propriedades refletivas.

3.4. Camada Intermediária de Manta de Polietileno Expandido

A superfície refletiva do concentrador parabólico não deve ser fixada diretamente sobre a tela de alumínio, pois as irregularidades e movimentações do suporte podem provocar deformações no material refletivo. Para evitar esse problema, foi utilizada uma camada intermediária de manta de polietileno expandido com 2 mm de espessura, adquirida ao custo de R\$ 41,90. O material foi

selecionado devido à sua flexibilidade, leveza, facilidade de corte e capacidade de acomodar pequenas irregularidades da estrutura. Além disso, suas características de isolamento térmico contribuem para reduzir a transferência de calor entre a superfície refletiva e a estrutura metálica.

A manta foi recortada utilizando as pétalas do concentrador parabólico como referência, buscando acompanhar sua geometria. Após o corte, o material foi cuidadosamente posicionado sobre a tela de alumínio, evitando a formação de dobras ou rugas. Posteriormente, a superfície refletiva foi aplicada sobre a manta, garantindo melhor acomodação e uniformidade. Dessa forma, a manta de polietileno expandido atua como uma camada de proteção e regularização, contribuindo para a estabilidade e o acabamento da superfície refletiva do protótipo.

A Figura 9 ,apresenta a manta EPE ,utilizada no protótipo.

Figura 9. Manta EPE ,empregada no concentrador.



Fonte – Próprio Autor, 2026.

3.5. Instalação da Manta EPE e das Folhas de Latonagem

A instalação da manta de polietileno expandido (EPE) de 2 mm e das folhas de alumínio para latonagem foi realizada pelos alunos, sob orientação e acompanhamento da equipe responsável pelo projeto. Inicialmente, a manta EPE foi posicionada sobre a estrutura do concentrador parabólico, funcionando como camada intermediária para reduzir pequenas irregularidades e facilitar a fixação da superfície refletiva. A figura 10, apresenta a instalação da manta EPE, pelos alunos do CIEP 092 Feredico Fellini.

Figura 10. Manta EPE , sendo preparada para instalação no concentrtrador.



Fonte: Próprio Autor, 2026.

Em seguida, as folhas de alumínio foram cuidadosamente aplicadas sobre a manta, buscando acompanhar a curvatura parabólica da estrutura e proporcionar uma superfície contínua para a reflexão da radiação solar. A atividade permitiu a participação prática dos estudantes nas etapas de construção do protótipo, contribuindo para a integração entre os conhecimentos teóricos e a experiência experimental.

3.6. Acumulador de Calor

O acumulador de calor é empregado como reservatório intermediário do circuito hidráulico, recebendo a água aquecida proveniente do concentrador parabólico. O componente possui isolamento térmico externo, representado na figura pelo revestimento metálico, com a finalidade de reduzir as perdas de calor para o ambiente. Sua função é contribuir para a estabilização térmica do sistema, permitindo o armazenamento temporário da água aquecida antes de sua saída. No projeto, o acumulador está integrado à linha hidráulica entre o circuito de aquecimento e o sistema de medição. A utilização desse componente também reduz a influência das oscilações instantâneas de temperatura produzidas pela variação da radiação solar. A figura 11, apresenta o acumulador de calor do protótipo.

Figura 11. Acumulador de calor do protótipo.



Fonte: Próprio Autor, 2026.

3.7. Sensor/Medidor Digital de Temperatura

O sensor digital de temperatura foi instalado na linha de saída da água aquecida, permitindo acompanhar a temperatura do fluido durante o funcionamento do protótipo. Na configuração apresentada, o dispositivo está associado a um indicador digital, que possibilita a leitura direta da temperatura do sistema. A figura registra uma leitura de aproximadamente 95,0 °C nesse ponto de medição, enquanto a região focal do concentrador pode atingir temperaturas próximas de 400 °C, conforme indicado no esquema. O sensor é fundamental para o monitoramento experimental e para a avaliação do desempenho térmico do concentrador. Sua utilização permite registrar a evolução da temperatura e comparar as condições de operação do sistema. A figura 12, apresenta o sensor digital de temperatura do protótipo.

Figura 12. Sensor digital de temperatura do protótipo.

SENSOR DIGITAL DE TEMPERATURA



ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO:

- **Função:** Medir e indicar a temperatura da água no sistema.
- **Faixa de medição:** -50 °C a 150 °C
- **Resolução:** 0,1 °C
- **Precisão:** ± 1 °C
- **Alimentação:** 12 a 24 Vcc
- **Saída:** Digital (display)

Fonte: Próprio Autor, 2026.

3.8. Medidor de Pressão – Manômetro

O manômetro é utilizado para monitorar a pressão hidráulica existente no circuito durante a circulação da água. O instrumento foi instalado na tubulação de saída do acumulador, permitindo acompanhar as condições de pressão antes da passagem da água aquecida pelo trecho final do sistema. Sua utilização é importante para verificar a estabilidade operacional do circuito e identificar possíveis alterações decorrentes da temperatura e da resistência ao escoamento. No protótipo, o manômetro funciona como instrumento de controle experimental, permitindo relacionar as condições hidráulicas com os resultados térmicos obtidos. A escala

exata e a faixa nominal do manômetro não estão legíveis na imagem; portanto, recomenda-se inserir esses dados somente conforme a especificação gravada no instrumento utilizado. A figura 13, apresenta o medidor de pressão do protótipo.

Figura 13. Medidor de Pressão (Manômetro).



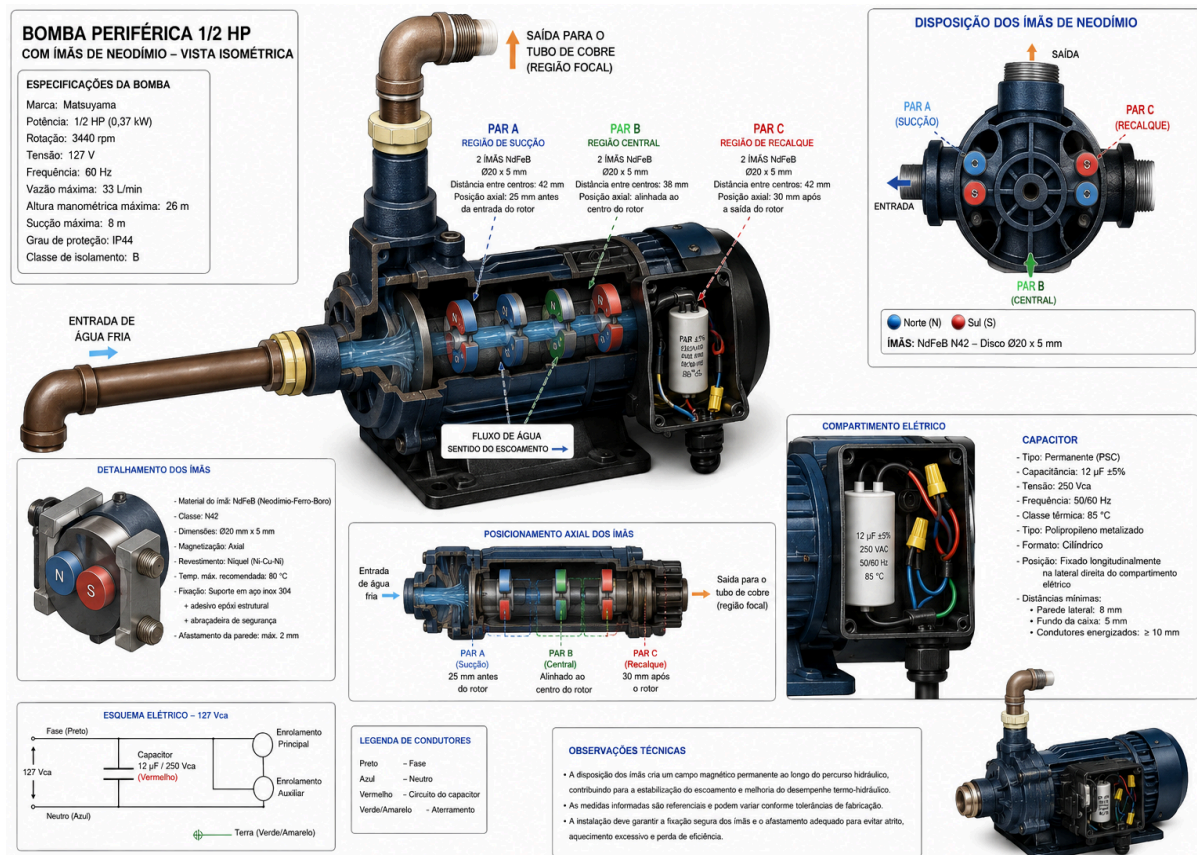
Fonte: Próprio Autor, 2026.

3.9. Bomba Periférica Matsuyama

A bomba periférica Matsuyama é responsável pela circulação da água no circuito hidráulico do concentrador parabólico. Conforme a especificação adotada no projeto, trata-se de uma bomba com potência de 1/2 HP (0,37 kW), velocidade de rotação de 3.440 rpm e tensão nominal de 127 V. Apresenta altura máxima de sucção de 8 m, altura manométrica máxima de 26 m e vazão aproximada de 33 L/min. No protótipo, a bomba promove o deslocamento da água fria

até o circuito de aquecimento, mantendo a circulação através do tubo de cobre localizado na região do foco do concentrador. Dessa maneira, constitui o principal elemento responsável pelo movimento contínuo do fluido durante os ensaios experimentais. A Figura 14, apresenta a bomba periférica de ½ hp de Matsuyama.

Figura 14. Bomba Periférica de ½ hp de Matsuyama.



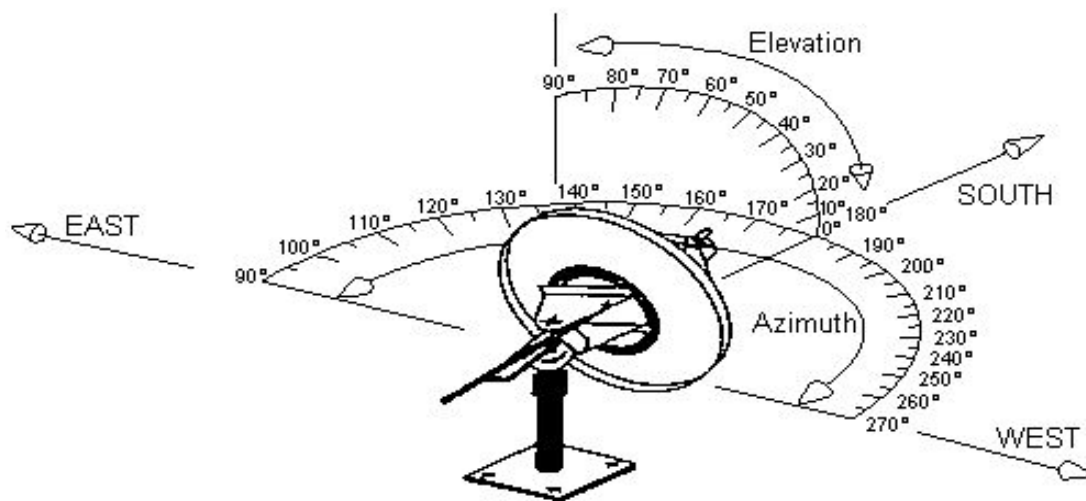
Fonte: Próprio Autor, 2026.

3.9.1. Sistema de Sustentação e Orientação do Concentrador Parabólico

A estrutura do protótipo foi adaptada da base metálica original de uma antena parabólica reutilizada, reduzindo custos e a necessidade de fabricação de uma nova estrutura. O concentrador, com 1,70 m de diâmetro, possui sistema de ajuste manual em azimuth e elevação, permitindo acompanhar a posição aparente do Sol e melhorar o direcionamento da radiação para o foco. Durante os ensaios, foram

utilizados mecanismos de travamento para manter a posição selecionada, simplificando a operação e a manutenção. A representação em CAD deve indicar a base, coluna de sustentação, mecanismos de ajuste e travamento. Os ângulos de orientação devem ser definidos considerando o local efetivo de instalação do CIEP 092 Federico Fellini. A figura 15, apresenta a orientação ajustável do concentrador parabólico.

Figura 15. Sistema de orientação ajustável do concentrador parabólico .



Fonte: Posicionamento e orientação do concentrador parabólico (Eletrônica, 2020).

Em aplicações comerciais de concentradores solares parabólicos, recomenda-se a utilização de um sistema de orientação automatizado, capaz de acompanhar a trajetória aparente do Sol e manter o adequado alinhamento da superfície refletora com a radiação solar incidente. Esse mecanismo pode ser desenvolvido utilizando motores de passo, engrenagens e fusos, possibilitando uma solução tecnicamente eficiente e de custo relativamente reduzido. No protótipo desenvolvido neste trabalho, devido à proposta experimental e de baixo custo, adotou-se um sistema de orientação manual, permitindo os ajustes de azimute e elevação

durante os ensaios. Como continuidade da pesquisa, sugere-se o desenvolvimento de um sistema de rastreamento solar motorizado e automatizado, visando aumentar a precisão do direcionamento e o desempenho térmico do concentrador.

3.9.2. Fixação e Movimentação do Concentrador Parabólico

A estrutura de suporte do concentrador foi constituída aproveitando os elementos metálicos da antena parabólica reutilizada. A união entre o disco concentrador e a base foi realizada com um tubo de aço galvanizado de 2", inserido em um tubo de 2,5" de diâmetro, este último instalado verticalmente e ancorado ao solo por meio de concreto. Para minimizar vibrações e pequenos deslocamentos decorrentes da ação do vento, foram utilizados elementos de borracha entre os tubos, funcionando como dispositivos de amortecimento. A Figura 16, apresenta a fixação do concentrador parabólico.

Figura 16. Fixação do concentrador parabólico.



Fonte: Próprio Autor, 2026.

O sistema desenvolvido permite realizar manualmente os movimentos necessários para o posicionamento azimutal e de elevação do concentrador. Dessa forma, o disco pode ser ajustado de acordo com a posição aparente do Sol durante os experimentos, mantendo o direcionamento adequado da radiação solar para a região focal. A utilização de componentes reaproveitados contribuiu para simplificar a montagem, reduzir os custos e manter a proposta de construção de um protótipo solar de baixo custo para aplicação educacional.

3.9.3. Soldagem e Fabricação da Bancada Metálica da Bomba

Para a fabricação da bancada metálica destinada à sustentação da bomba do concentrador parabólico com aplicação de ímãs de neodímio, foi utilizado o processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW – Shielded Metal Arc Welding). A união dos componentes metálicos foi realizada com o auxílio de uma máquina de solda portátil alimentada em 220 V, empregando eletrodos revestidos do tipo E6013, adequados para aplicações gerais de soldagem de aços-carbono. A classificação dos eletrodos de aço-carbono utilizados em processos de soldagem a arco com eletrodo revestido é contemplada pela especificação AWS A5.1/A5.1M:2025. A Figura 17, apresenta o início da soldagem da bancada da bomba pela equipe de trabalho.

Figura 17. Soldagem da bancada da bomba concentrador .



Fonte: Próprio Autor ,2026.

A utilização do processo SMAW possibilitou a união dos elementos que constituem a bancada, proporcionando uma estrutura rígida para o posicionamento da bomba e dos componentes associados ao circuito hidráulico do concentrador. O eletrodo E6013 possui revestimento que participa da proteção da região de soldagem durante a formação do cordão, sendo amplamente empregado em aplicações de fabricação e manutenção de estruturas metálicas. A AWS estabelece requisitos relacionados à classificação, propriedades mecânicas, qualidade do metal depositado, características de utilização e dimensões dos eletrodos revestidos para soldagem de aços-carbono.

Durante a construção do protótipo no CIEP 092 Federico Fellini, a soldagem foi empregada como etapa de fabricação da estrutura de suporte da bomba, permitindo a integração entre os conhecimentos de processos de fabricação, materiais, estruturas metálicas e sistemas térmicos.

A atividade contribuiu também para o caráter experimental e pedagógico do projeto, uma vez que os estudantes puderam acompanhar a transformação dos materiais metálicos em uma

estrutura funcional destinada ao protótipo do concentrador parabólico.

A escolha do processo de soldagem com eletrodo revestido mostrou-se compatível com a proposta de construção do protótipo devido à possibilidade de utilização de equipamento portátil e à relativa simplicidade do processo para a fabricação de estruturas metálicas.

Publicações recentes sobre tecnologia de soldagem destacam o processo de soldagem a arco com eletrodo revestido entre os principais processos empregados na formação e união de estruturas metálicas, contemplando fundamentos, equipamentos, técnicas de execução, inspeção e segurança. A figura 18, apresenta as meninas do grupo efetuando a soldagem da bancada.

Figura 18. Soldagem realizada pela equipe feminina do grupo de trabalho.



Fonte: Próprio Autor ,2026.

Após a execução das uniões soldadas, a estrutura foi submetida à inspeção visual, verificando-se o posicionamento dos componentes, a continuidade aparente dos cordões e a estabilidade da bancada.

Dessa forma, a estrutura metálica passou a desempenhar a função de suporte da bomba e dos elementos complementares do sistema experimental, contribuindo para a estabilidade do conjunto durante os ensaios do concentrador parabólico.

Após a conclusão da bancada metálica, foi realizada a instalação da bomba hidráulica magneticamente assistida, destinada à circulação do fluido no sistema do concentrador parabólico. A bomba foi posicionada sobre a bancada e fixada de maneira a garantir estabilidade mecânica durante a operação, reduzindo deslocamentos e vibrações decorrentes do funcionamento do conjunto. A configuração adotada permitiu integrar a bomba aos demais componentes do circuito hidráulico e facilitar as etapas posteriores de inspeção e manutenção.

Os ímãs de neodímio foram incorporados ao sistema conforme a configuração experimental proposta na pesquisa, constituindo o elemento de inovação do protótipo. A montagem buscou manter os componentes adequadamente posicionados e protegidos, evitando interferências mecânicas durante o funcionamento da bomba e assegurando a continuidade do circuito de circulação. Na sequência, foi realizado o fechamento da linha hidráulica, conectando a saída da bomba à tubulação responsável pela condução do fluido até o sistema de aquecimento e, posteriormente, ao acumulador térmico e aos demais componentes do circuito. As conexões foram verificadas quanto ao correto acoplamento e vedação, buscando evitar vazamentos e garantir a circulação adequada do fluido durante os ensaios. A figura 19 ,apresenta a instalação da bomba hidráulica e fechamento da linha.

Figura 19. Instalação da Bomba e hidráulica e fechamento da linha.



Fonte: Próprio Autor ,2026.

A conclusão da linha hidráulica permitiu configurar o sistema em circuito fechado de circulação, no qual o fluido é impulsionado pela bomba, percorre a região submetida ao aquecimento solar, transfere e/ou transporta energia térmica e retorna ao circuito. Essa configuração possibilitou a realização dos ensaios experimentais de forma controlada, permitindo avaliar o comportamento térmico e hidráulico do protótipo.

3.9.4. Instalação da Manta EPE, Folhas de Latonagem e Preparação da Parábola

Concluída a etapa de preparação da superfície do concentrador, foi realizada a instalação da manta de polietileno expandido (EPE), utilizada como camada intermediária de proteção e acomodação entre a superfície da parábola e o revestimento metálico. A aplicação dessa camada contribui para uniformizar o apoio das folhas e reduzir possíveis irregularidades da superfície. Estudos recentes destacam o potencial do EPE em aplicações relacionadas ao isolamento e desempenho térmico, inclusive em soluções de baixo custo. Sobre a manta foram instaladas as folhas de alumínio para latonagem,

formando a superfície refletiva do concentrador. A escolha do alumínio está associada às suas propriedades de reflexão da radiação térmica e solar, sendo materiais metálicos refletivos empregados para reduzir a transferência de calor por radiação. Estudos recentes demonstram a relevância de superfícies de alumínio no controle das trocas radiativas e no desempenho térmico de sistemas . A figura 20, apresenta a parábola pronta para ser fixada na haste do protótipo.

Figura 20. Aplicação das folhas de lantonagem concluída.



Fonte: Próprio Autor ,2026.

Após a conclusão da aplicação das folhas, procedeu-se à preparação da estrutura para o posicionamento da parábola na bancada do protótipo. Foram realizadas verificações preliminares dos pontos de apoio, alinhamento e condições de fixação, preparando o conjunto para a elevação da parábola e sua posterior conexão à haste-coluna de sustentação. Essa etapa é fundamental para garantir a estabilidade mecânica do concentrador e possibilitar seu adequado direcionamento em relação à radiação solar.

A figura 21, apresenta a preparação da haste para fixação da parábola do concentrador parabólico.

Figura 21. Preparação da estrutura para o posicionamento do concentrador parabólico.



Fonte: Próprio Autor ,2026.

Dessa forma, a conclusão dessa fase representou a transição entre a preparação da superfície refletiva e a montagem estrutural definitiva do concentrador parabólico, permitindo avançar para a instalação da parábola em sua posição operacional e para os ensaios experimentais do protótipo desenvolvido no CIEP 092 Federico Fellini.

3.9.5. Preparação da Parábola e Instalação do Sensor de Temperatura

Após a conclusão da superfície refletiva, foi realizada a preparação da parábola do concentrador solar para sua instalação na estrutura de sustentação do protótipo. Inicialmente, foram verificadas as condições da superfície refletiva, os pontos de fixação e o alinhamento da estrutura, de modo a assegurar que a geometria

parabólica permanecesse adequadamente posicionada em relação à região focal. Essa etapa é fundamental, uma vez que pequenas alterações na posição do refletor podem modificar a concentração da radiação solar e, conseqüentemente, o desempenho térmico do sistema. Estudos experimentais recentes ressaltam a importância do correto posicionamento do receptor na região focal para maximizar a interceptação da radiação solar concentrada. A figura 22, apresenta a preparação e fixação da parábola do concentrador parabólico pela equipe de trabalho.

Figura 22. Preparo e Instalação da parábola do concentrador parabólico.



Fonte: Próprio Autor, 2026.

Na sequência, foi realizada a fixação da parábola à haste-coluna de sustentação, estabelecendo a configuração estrutural definitiva do concentrador. O conjunto foi ajustado de modo a permitir seu posicionamento e direcionamento em relação ao Sol durante os ensaios. A utilização de estruturas de suporte associadas a sistemas de concentração solar é necessária para manter a geometria e o alinhamento do coletor durante a operação experimental.

Posteriormente, foi instalado o sensor destinado à medição da temperatura do concentrador, permitindo acompanhar o comportamento térmico durante a incidência da radiação solar. A instrumentação de sistemas solares térmicos constitui uma etapa essencial para a avaliação experimental do desempenho, sendo recomendável posicionar os sensores de forma a representar adequadamente a variável que se pretende medir. Pesquisas recentes empregam sensores de temperatura em diferentes pontos do receptor, da entrada e da saída do fluido, possibilitando determinar a evolução térmica e a transferência de calor no sistema. A figura 23 ,apresenta a instalação dos sensores no sistema para verificação da temperatura e testes.

Figura 23. Instalação dos sensores no sistema.



Fonte: Próprio Autor ,2026.

No protótipo desenvolvido no CIEP 092 Federico Fellini, a instalação do sensor possibilitou o acompanhamento da temperatura atingida pela região aquecida do concentrador durante os ensaios. Dessa forma, a etapa de instrumentação complementou a montagem

mecânica da parábola, permitindo relacionar as condições de exposição solar com a resposta térmica do sistema e gerar dados experimentais para a análise do desempenho do protótipo. A literatura recente também evidencia que a adequada instrumentação e o controle das incertezas de medição são fundamentais para garantir maior confiabilidade aos resultados experimentais de coletores solares concentradores.

3.9.6. Etapa de Medição de Temperatura

Em **16 de abril de 2026, às 9h da manhã**, foi realizada a primeira etapa de ensaios experimentais do concentrador parabólico, com o objetivo de avaliar preliminarmente o comportamento térmico do sistema sob incidência de radiação solar. Nessa fase inicial, o circuito encontrava-se em uma configuração simplificada, **ainda sem a instalação do manômetro e da válvula de alívio**, componentes que seriam incorporados posteriormente para o monitoramento da pressão e o aprimoramento das condições de segurança e controle do sistema. A figura 24 , apresenta a medição do sistema sem manômetro e válvula de alívio.

Figura 24. Leitura experiemental da temperatura às 9:00 hrs da manhã, de 16/04/2026.



Fonte: Próprio Autor ,2026.

Durante o ensaio, procedeu-se à exposição da superfície parabólica à radiação solar e ao acompanhamento da temperatura por meio do sensor instalado no sistema. A medição permitiu verificar a elevação da temperatura decorrente da concentração da radiação solar na região focal. A realização de ensaios em diferentes horários é relevante para a caracterização do comportamento térmico de concentradores solares, uma vez que a temperatura obtida está diretamente relacionada às condições de irradiância, ao posicionamento do concentrador e às condições ambientais. Estudos experimentais recentes empregam sensores de temperatura associados às medições de irradiância e às condições ambientais para avaliar o desempenho térmico de coletores parabólicos.

O ensaio realizado às 9h00, constituiu, portanto, uma avaliação inicial do funcionamento térmico do protótipo, servindo como referência para as etapas posteriores de instrumentação e aperfeiçoamento do sistema. Posteriormente, foram incorporados o manômetro e a válvula de alívio, permitindo ampliar o acompanhamento das condições de operação do circuito e proporcionar maior controle durante os ensaios subsequentes.

A Figura 25, apresenta o sistema , com válvula de alívio e manômetro ,medidos as 9:00 hrs da manhã do dia 26/05/2026 , não tendo alteração na temperatura medida em realizações climáticas semelhantes.

Figura 25. Sistema com manômetro e válvula de alívio.



Fonte: Próprio Autor ,2026.

Estudos experimentais recentes de coletores parabólicos utilizam sensores de temperatura para acompanhar as temperaturas de entrada, saída e ambiente, associando essas informações às condições de radiação solar e às características de operação do sistema. A Figura 26, apresenta a aferição da temperatura realizada no dia 27/05/2026, Às 12:00 hrs.

Figura 26. Realização de aferição de temperatura às 12:00 hrs do dia 27/05/2026.

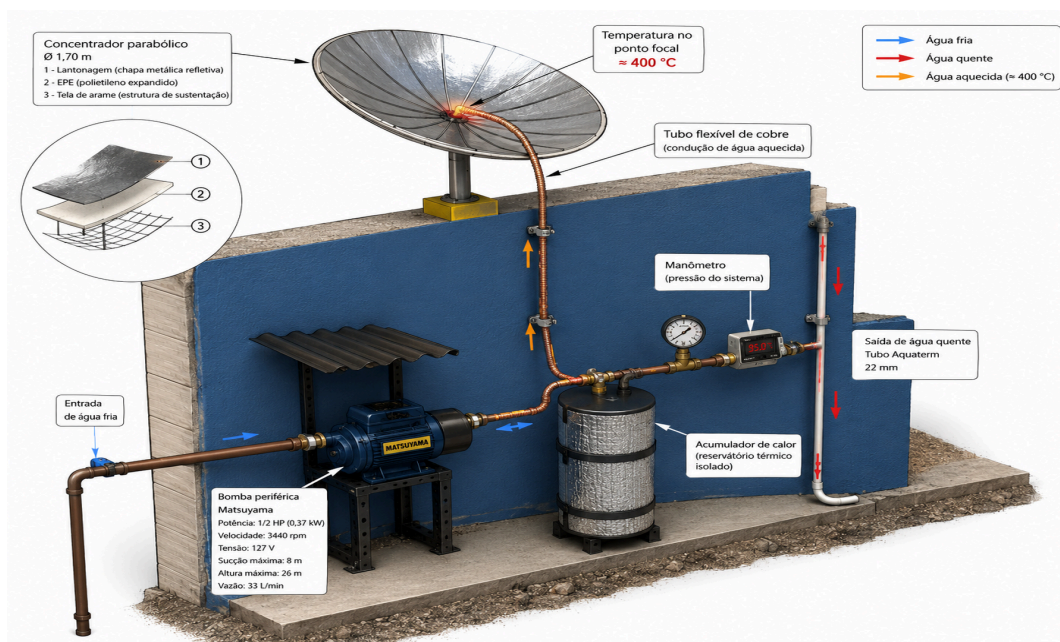


Fonte: Próprio Autor ,2026.

3.9.7. Conclusão da Montagem e Integração do Protótipo

Após a conclusão das etapas de fabricação, revestimento e preparação estrutural, foi realizada a montagem e integração do protótipo do concentrador parabólico solar, consolidando em um único sistema os subsistemas óptico, mecânico, hidráulico, térmico e de instrumentação. A configuração final apresentada na Figura evidencia um concentrador parabólico com abertura de aproximadamente 1,70 m de diâmetro, constituído por superfície refletiva metálica, camada intermediária de polietileno expandido (EPE) e estrutura de sustentação. A geometria parabólica tem a função de direcionar a radiação solar incidente para a região focal, onde ocorre a concentração da energia solar e sua posterior transferência para o sistema térmico. Esse princípio é característico dos sistemas parabólicos de concentração solar, nos quais a geometria refletiva e o posicionamento adequado do receptor são determinantes para o desempenho óptico e térmico do conjunto (Mohamad, 2024). A figura 27, apresenta o Desenho esquemático do protótipo pronto na unidade escolar.

Figura 27. Desenho esquemático do Protótipo construído no Ciep Fellini 092.



Fonte: Próprio ,2026.

A fixação da parábola à estrutura de sustentação constituiu uma etapa fundamental para garantir a estabilidade mecânica e a manutenção da geometria necessária ao processo de concentração. A correta posição relativa entre a superfície refletiva e o elemento receptor é particularmente importante porque deslocamentos em relação à região focal podem reduzir a interceptação da radiação concentrada e modificar a resposta térmica do sistema. Mohamad (2024) destaca que parâmetros ópticos, como refletividade, absorptividade, emissividade e características geométricas do receptor, apresentam influência direta no comportamento térmico dos coletores parabólicos.

Com a estrutura parabólica devidamente posicionada, procedeu-se à integração do circuito hidráulico, composto pela bomba periférica, tubulações de alimentação e retorno, tubo flexível de cobre localizado na região focal, acumulador de calor e linha de saída de água aquecida. A circulação do fluido permite que a energia térmica proveniente da radiação solar concentrada seja transferida para a água, estabelecendo um processo contínuo de aquecimento. A utilização de água como fluido de transferência é recorrente em

estudos experimentais de coletores parabólicos, devido à sua disponibilidade, baixo custo e propriedades termofísicas adequadas para aplicações de aquecimento solar (Basha; Behura, 2024). A presença do tubo de cobre na região focal constitui outro elemento relevante da configuração experimental, pois é nesse componente que ocorre a transferência de calor entre a radiação solar concentrada e o fluido em circulação. Estudos experimentais recentes demonstram a utilização de tubos de cobre como receptores em sistemas parabólicos, associados à circulação de água e a reservatórios de armazenamento térmico.

Nesses sistemas, sensores de temperatura são posicionados em diferentes pontos do circuito para acompanhar a evolução térmica do receptor e do fluido durante o ensaio (Experimental Investigation..., 2026). A integração do acumulador de calor termicamente isolado ampliou a funcionalidade do protótipo, uma vez que possibilita o armazenamento temporário da energia térmica transferida ao fluido. A redução das perdas térmicas para o ambiente é um aspecto importante em sistemas solares térmicos, principalmente quando se pretende avaliar a quantidade de energia efetivamente aproveitada pelo sistema. Pesquisas recentes têm investigado diferentes estratégias de armazenamento e intensificação da transferência de calor associadas aos coletores parabólicos, incluindo materiais de mudança de fase e configurações aprimoradas do receptor (Innovative New..., 2024).

A conclusão da montagem também envolveu a instalação dos instrumentos de medição, particularmente o sensor de temperatura e o manômetro. A instrumentação permite transformar o protótipo construtivo em uma plataforma experimental capaz de produzir dados quantitativos sobre seu comportamento térmico e hidráulico.

Em estudos recentes de coletores parabólicos, sensores de temperatura são utilizados para determinar as temperaturas do receptor, do fluido na entrada e na saída e do reservatório, enquanto instrumentos específicos são empregados para acompanhar as condições hidráulicas do circuito (Experimental Investigation..., 2026). Nesse contexto, o sensor de temperatura instalado no sistema desempenha papel essencial na caracterização experimental, permitindo acompanhar a evolução da temperatura durante a incidência solar e avaliar a capacidade do concentrador de transferir energia térmica para a água. A literatura experimental demonstra que a temperatura de saída do fluido está relacionada às condições de radiação solar, à vazão e às características do receptor. Basha e Behura (2024), por exemplo, verificaram experimentalmente que a variação da vazão altera a temperatura de saída e o desempenho térmico do coletor, evidenciando a necessidade de considerar conjuntamente os parâmetros ópticos, térmicos e hidráulicos na análise do sistema.

Nesse contexto, o sensor de temperatura instalado no sistema desempenha papel essencial na caracterização experimental, permitindo acompanhar a evolução da temperatura durante a incidência solar e avaliar a capacidade do concentrador de transferir energia térmica para a água. A literatura experimental demonstra que a temperatura de saída do fluido está relacionada às condições de radiação solar, à vazão e às características do receptor. Basha e Behura (2024), por exemplo, verificaram experimentalmente que a variação da vazão altera a temperatura de saída e o desempenho térmico do coletor, evidenciando a necessidade de considerar conjuntamente os parâmetros ópticos, térmicos e hidráulicos na análise do sistema.

O manômetro, por sua vez, foi incorporado como instrumento de acompanhamento das condições de pressão do circuito hidráulico. Essa variável é relevante porque alterações na resistência ao escoamento podem modificar as condições de circulação e, conseqüentemente, influenciar a transferência de calor. Estudos experimentais recentes mostram que a análise do desempenho termo-hidráulico de coletores parabólicos deve considerar simultaneamente temperatura, vazão e perda de pressão, uma vez que o aumento da resistência hidráulica pode comprometer parte do desempenho do sistema (Nemš et al., 2024). A configuração final do protótipo, portanto, representa a integração entre concentração da radiação solar, transferência de calor, circulação hidráulica, armazenamento térmico e aquisição de dados experimentais.

A radiação incidente sobre a superfície refletiva é direcionada para a região focal, promovendo o aquecimento do receptor e, conseqüentemente, do fluido circulante. A água aquecida é então conduzida ao acumulador, enquanto o circuito possibilita sua recirculação. Esse princípio está de acordo com a configuração experimental de coletores parabólicos descrita na literatura recente, na qual a superfície refletora concentra a radiação sobre o receptor e o fluido de trabalho transporta a energia térmica para utilização ou armazenamento (Dellicompagni; Aparicio; Franco, 2025). Do ponto de vista metodológico, a conclusão da montagem representa a transição da fase construtiva para a fase de experimentação e validação do protótipo. A partir dessa configuração, torna-se possível realizar ensaios sistemáticos, relacionando temperatura, pressão, tempo de exposição solar e condições de circulação. A literatura recente reforça a importância da realização de medições experimentais para validar o comportamento térmico de concentradores solares, inclusive por meio da comparação entre

resultados experimentais e modelos teóricos ou numéricos (A DETAILED 1D MODEL..., 2024). Dessa forma, a conclusão do protótipo representa a consolidação física e funcional do sistema experimental, permitindo avaliar a viabilidade técnica de um concentrador parabólico de baixo custo aplicado ao aproveitamento da energia solar térmica. A integração dos componentes possibilita que o sistema seja submetido a diferentes condições de operação e que os dados obtidos sejam utilizados posteriormente para determinar seu desempenho térmico, sua capacidade de aquecimento e a influência das condições ambientais e hidráulicas sobre o funcionamento do conjunto. Essa abordagem é particularmente pertinente em pesquisas voltadas ao desenvolvimento de sistemas solares de baixo custo, nos quais a simplicidade construtiva, a disponibilidade dos materiais e a possibilidade de reprodução experimental constituem aspectos relevantes para a aplicação tecnológica e educacional (Dellicompagni; Aparicio; Franco, 2025).

4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Esta pesquisa foi concebida a partir de um problema concreto observado no contexto educacional: a necessidade de contribuir para a melhoria das condições de conforto térmico em unidades escolares durante períodos de baixas temperaturas. A situação de estudantes utilizando cobertores para enfrentar o frio durante as atividades escolares, registrada como referência na Escola Estadual Professor Sebastião, em São Carlos-SP, constituiu um elemento motivador para a formulação da problemática desta investigação. O problema identificado não foi tratado apenas como uma questão de temperatura, mas como uma questão relacionada ao bem-estar dos estudantes, à qualidade do ambiente de aprendizagem e à

necessidade de soluções tecnológicas compatíveis com a realidade das escolas.

Essa problemática encontra respaldo na literatura científica recente. Estudos realizados em ambientes educacionais demonstram que as condições térmicas interferem no bem-estar dos estudantes e que crianças e adolescentes apresentam respostas térmicas que nem sempre podem ser adequadamente representadas pelos modelos convencionais utilizados para adultos (Almagro-Lidón et al., 2024). Pesquisas em edificações educacionais também demonstram que o conforto térmico está diretamente relacionado à qualidade ambiental, ao consumo energético e às condições de utilização dos espaços escolares (Mustapha et al., 2024; de la Hoz-Torres et al., 2024).

Diante desse problema, esta pesquisa procurou desenvolver uma solução baseada no aproveitamento de uma fonte energética renovável, disponível e de baixo impacto ambiental: a energia solar. O resultado foi o desenvolvimento, construção e avaliação experimental de um concentrador parabólico de baixo custo, concebido para captar e concentrar a radiação solar, convertendo-a em energia térmica. Portanto, a pesquisa estabeleceu uma relação direta entre problema identificado, desenvolvimento tecnológico e possibilidade de aplicação social.

Entretanto, a inovação da pesquisa não se limita à construção do concentrador parabólico. Um dos elementos diferenciadores da proposta está na incorporação de ímãs de neodímio ao sistema hidráulico, explorando o conceito de assistência magnética aplicado à circulação do fluido. Essa incorporação representa uma estratégia de inovação tecnológica investigada no contexto do protótipo,

buscando avaliar se a interação magnética pode contribuir para o funcionamento do sistema hidráulico e para sua eficiência global. Dessa maneira, os ímãs de neodímio não são apresentados simplesmente como componentes adicionais, mas como parte da hipótese tecnológica que diferencia o protótipo desenvolvido nesta pesquisa de uma configuração convencional de concentrador solar.

A inovação tecnológica, portanto, está associada à integração de diferentes subsistemas em uma única plataforma experimental: concentração solar, circulação hidráulica, assistência magnética, transferência de calor, armazenamento térmico e instrumentação. Essa integração permite investigar o comportamento do sistema de maneira multidisciplinar e estabelecer uma conexão entre princípios de engenharia mecânica, energia solar, transferência de calor, materiais, sustentabilidade e desenvolvimento tecnológico.

A pesquisa também está diretamente relacionada à Agenda 2030 das Nações Unidas, particularmente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A Agenda 2030 estabelece 17 objetivos integrados para enfrentar desafios sociais, econômicos e ambientais, reconhecendo a necessidade de articulação entre educação, energia, inovação, sustentabilidade e ação climática. A figura 28 ,apresenta as 17 ODS da Agenda 2030 da ONU.

Figura 28. As 17 ODS ,da Agenda 2030 da ONU.



Fonte: Próprio ,2026.

Nesse contexto, destaca-se inicialmente o ODS 4 – Educação de Qualidade, especialmente a meta 4.a, que trata da necessidade de proporcionar instalações educacionais adequadas, seguras, inclusivas e eficazes, e a meta 4.7, relacionada à educação para o desenvolvimento sustentável. A proposta desenvolvida nesta pesquisa, dialoga com esse objetivo ao utilizar a própria escola como espaço de pesquisa, aprendizagem, experimentação e desenvolvimento tecnológico.

O ODS 7 – Energia Limpa e Acessível constitui igualmente um dos principais referenciais da pesquisa, uma vez que o protótipo utiliza a radiação solar como fonte energética e investiga sua conversão em energia térmica. A própria Agenda 2030 estabelece, na meta 7.2, a ampliação da participação das energias renováveis e, na meta 7.3, a melhoria da eficiência energética. Assim, a investigação estabelece uma relação direta entre geração de conhecimento tecnológico e utilização de uma fonte energética renovável.

A pesquisa também apresenta forte relação com o ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura, devido ao desenvolvimento de um protótipo tecnológico, à experimentação de uma configuração

diferenciada com ímãs de neodímio e à busca por uma solução de baixo custo e potencialmente replicável. A pesquisa transforma conhecimento científico em uma aplicação concreta, estabelecendo uma ponte entre universidade, escola e desenvolvimento tecnológico.

O ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis também se relaciona ao trabalho, na medida em que a pesquisa procura contribuir para a melhoria das condições ambientais dos espaços escolares e para o desenvolvimento de soluções sustentáveis aplicáveis ao território. Da mesma forma, o ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis está associado à utilização racional de recursos e à busca por uma tecnologia que possa ser construída com materiais acessíveis e reaproveitados. O ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima complementa essa relação por meio da valorização de fontes renováveis e da educação ambiental e tecnológica voltada à sustentabilidade.

Um dos aspectos que diferencia esta pesquisa é que o desenvolvimento tecnológico ocorreu associado a uma experiência de parceria entre universidade, poder público e comunidade escolar. A pesquisa aproximou a UNISUAM (Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta), enquanto instituição de ensino e pesquisa, a Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro – SEEDUC/RJ, enquanto instituição pública responsável pela rede estadual de ensino, e o CIEP 092 Federico Fellini, enquanto espaço concreto de desenvolvimento e experimentação da pesquisa. Essa articulação permitiu que o conhecimento produzido no ambiente acadêmico fosse levado para dentro da escola e relacionado às demandas e possibilidades existentes no território.

Nesse sentido, a parceria estabelecida apresenta características de uma cooperação público-acadêmica com participação comunitária, na qual diferentes atores contribuem para a construção do conhecimento. A universidade aporta conhecimento científico e tecnológico; a rede pública de ensino disponibiliza o contexto institucional e educacional; a unidade escolar constitui o ambiente de aplicação e experimentação; e os estudantes, professores, funcionários e familiares participam do processo de aproximação entre ciência, tecnologia e realidade social.

A participação dos alunos do CIEP Federico Fellini possui especial importância para o conceito de desenvolvimento local adotado nesta pesquisa. Os estudantes não foram considerados apenas receptores de uma tecnologia produzida externamente, mas participantes de um processo no qual a escola se transforma em espaço de investigação, experimentação e aprendizagem. A construção e acompanhamento do protótipo possibilitaram aproximar conceitos de energia, sustentabilidade, física, matemática, engenharia, meio ambiente e inovação da realidade cotidiana dos estudantes. A participação da comunidade escolar, incluindo pais, responsáveis, corpo docente e demais integrantes da unidade, amplia ainda mais o alcance da pesquisa.

O conhecimento deixa de permanecer restrito ao laboratório ou à universidade e passa a circular dentro do território, criando possibilidades de apropriação social da tecnologia. Essa dimensão é particularmente importante para o desenvolvimento local, pois uma inovação somente alcança maior significado social quando pode ser compreendida, apropriada e potencialmente reproduzida pelos atores do próprio território.

Sob a perspectiva do Desenvolvimento Local, a pesquisa procura demonstrar que a inovação tecnológica pode funcionar como instrumento de transformação territorial quando associada à educação, à participação comunitária e à utilização sustentável dos recursos disponíveis. O protótipo, nesse sentido, representa mais do que um equipamento: constitui uma ferramenta de integração entre conhecimento científico, escola, comunidade e território.

A relação com as Ciências Ambientais também é central. A pesquisa aborda simultaneamente energia renovável, eficiência energética, sustentabilidade, redução da dependência de fontes convencionais, aproveitamento da radiação solar, inovação tecnológica e educação ambiental. Trata-se, portanto, de uma investigação interdisciplinar, na qual um problema ambiental e social é enfrentado mediante uma solução de engenharia, considerando não somente o desempenho técnico do equipamento, mas também suas possibilidades de aplicação e seus efeitos no contexto educacional e territorial. A contribuição ambiental da pesquisa está principalmente na investigação de uma alternativa capaz de utilizar a energia solar como recurso energético renovável, reduzindo a necessidade de utilização exclusiva de fontes convencionais para determinadas aplicações térmicas. Essa perspectiva está alinhada às discussões contemporâneas sobre sustentabilidade energética e transição para sistemas baseados em fontes renováveis. A própria ONU destaca que a energia limpa e acessível é fundamental para o desenvolvimento sustentável e que a transição energética precisa alcançar também setores como educação e aquecimento.

Assim, a lógica fundamental desta pesquisa pode ser sintetizada em uma sequência: identificação de um problema real → formulação do problema científico → desenvolvimento de uma solução tecnológica

→ incorporação de uma inovação baseada em ímãs de neodímio → construção do protótipo → instrumentação → experimentação → participação da comunidade escolar → geração de conhecimento → possibilidade de aplicação local.

É justamente essa trajetória que constitui a principal contribuição da pesquisa. A pesquisa identificou um problema concreto de conforto térmico, buscou compreendê-lo cientificamente e desenvolveu uma solução tecnológica experimental baseada em energia solar. Ao mesmo tempo, levou essa solução para dentro de uma unidade escolar, envolvendo estudantes, professores, pais e demais integrantes da comunidade escolar e aproximando a universidade de uma demanda concreta da educação pública. Portanto, o resultado desta investigação não deve ser avaliado exclusivamente pela temperatura alcançada pelo concentrador ou por um único parâmetro de eficiência. Seu significado está na capacidade de articular ciência, tecnologia, inovação, sustentabilidade, educação e desenvolvimento local. O concentrador parabólico constitui o produto tecnológico visível da pesquisa; os ímãs de neodímio representam a inovação investigada; a escola constitui o espaço de aplicação; os estudantes e a comunidade representam os agentes de apropriação do conhecimento; e a sustentabilidade constitui o eixo que conecta esses elementos.

Dessa maneira, a pesquisa procura demonstrar que identificar um problema local e transformá-lo em objeto de investigação científica pode gerar uma solução tecnológica com potencial de impacto social, educacional e ambiental. O protótipo desenvolvido no CIEP Federico Fellini representa, assim, uma experiência de aproximação entre universidade e escola pública, na qual a ciência deixa o espaço

acadêmico e passa a dialogar diretamente com as necessidades do território.

Em síntese, a pesquisa não teve como finalidade construir apenas um concentrador parabólico; teve como finalidade transformar um problema identificado no ambiente escolar em uma oportunidade de inovação, aprendizagem, sustentabilidade e desenvolvimento local. É nessa integração entre problema, ciência, tecnologia, escola, comunidade e território que reside a principal contribuição desta tese.

5. MOTIVAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

A concepção do **concentrador parabólico de baixo custo** desenvolvido no CIEP 092 Federico Fellini teve origem na necessidade de investigar alternativas tecnológicas capazes de contribuir para condições térmicas mais adequadas em ambientes escolares, utilizando uma fonte renovável e disponível, a **energia solar**. A problemática foi inicialmente motivada por registros de situações de desconforto térmico em instituições de ensino, nas quais estudantes recorreram a cobertores durante períodos de baixas temperaturas. Esse contexto permitiu formular a questão de pesquisa a partir da relação entre **conforto térmico, sustentabilidade energética, inovação de baixo custo e realidade das escolas públicas**. A Figura 29, apresenta alunos da cidade de São Carlos -SP, com cobertores na época fria da cidade.

Figura 29. Alunos com cobertores devido ao frio na escola estadual Professor Sebastião, na cidade de São Carlos -SP.

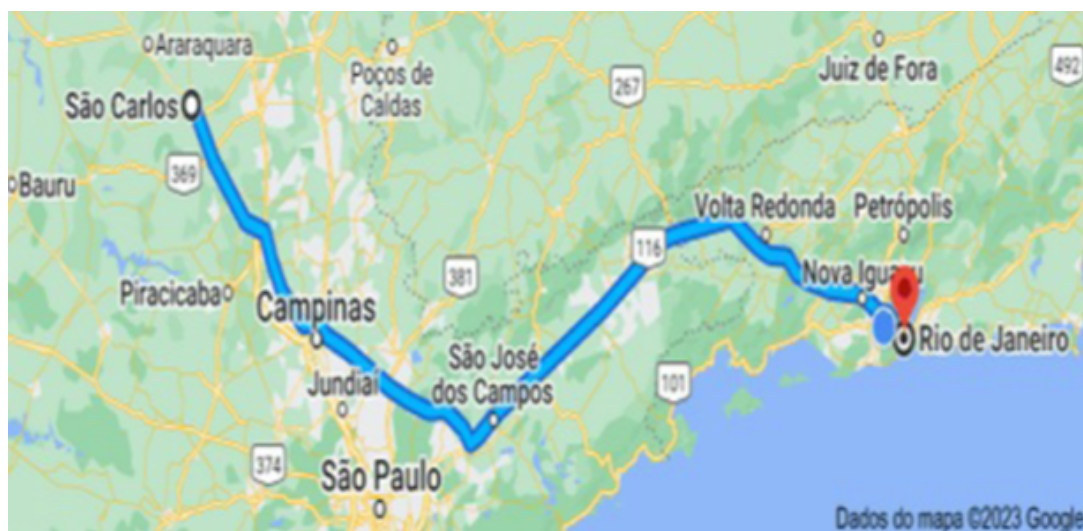


A relevância dessa problemática é corroborada por pesquisas recentes. Estudos desenvolvidos em ambientes educacionais demonstram que o conforto térmico constitui um componente importante da qualidade ambiental interna, apresentando relação com o bem-estar e as condições de aprendizagem dos estudantes. Mustapha et al. (2024), por exemplo, destacam a importância da avaliação das condições térmicas em salas de aula e mostram que métodos de avaliação devem considerar as características específicas dos usuários e do ambiente escolar. No contexto brasileiro, Correia, Amorim e Santamouris (2024) demonstraram que estratégias de desempenho térmico aplicadas a escolas públicas podem reduzir a demanda energética e melhorar as condições de conforto, destacando a importância da combinação entre soluções construtivas, ventilação natural e aproveitamento das características climáticas locais.

Essa perspectiva converge com a proposta desta pesquisa, embora o presente trabalho explore uma abordagem distinta, baseada na concentração da radiação solar para produção de energia térmica. A literatura recente também evidencia que a discussão sobre conforto térmico em escolas deve ultrapassar a simples manutenção de determinada temperatura interna. Revisão sistemática publicada por **Bhandari e Rijal (2026)** destaca que o conforto térmico em

edifícios educacionais está relacionado simultaneamente ao bem-estar dos estudantes, ao comportamento adaptativo e ao desempenho energético das edificações. De maneira semelhante, revisão publicada em 2025 identificou como tendências relevantes a resiliência climática, o uso sustentável da energia e a integração entre estratégias passivas e ativas para melhoria do ambiente térmico escolar. A Figura 30, apresenta o mapa, com a distância aproximada da cidade de São Carlos até o Rio de Janeiro de 635,9 Km e aproximadamente 8 hrs de viagem.

Figura 30. Distância São Carlos -SP x Rio de Janeiro -RJ.



Fonte: Própro Autor ,2026.

Diante desse cenário, o desenvolvimento do concentrador parabólico foi estruturado como uma investigação experimental de uma tecnologia solar de baixo custo, utilizando materiais acessíveis e componentes reaproveitados.

O objetivo não foi presumir que o protótipo, isoladamente, solucionaria o problema do conforto térmico escolar, mas investigar a capacidade de um sistema de concentração solar produzir energia térmica que possa, posteriormente, ser integrada a estratégias de aquecimento ou armazenamento térmico. Essa distinção é relevante

do ponto de vista metodológico, pois a efetiva contribuição do sistema para o conforto térmico deve ser demonstrada mediante **medições experimentais de temperatura, umidade, condições ambientais e desempenho térmico**, preferencialmente comparando as condições antes e depois da aplicação da tecnologia. Pesquisas recentes realizadas em escolas reforçam a importância de combinar medições ambientais com a percepção dos usuários para avaliar adequadamente o conforto térmico.

6. RESULTADOS

6.1. Execução dos Experimentos

Os experimentos foram realizados com o objetivo de avaliar o desempenho, a funcionalidade e a aplicabilidade das soluções construtivas e de projeto adotadas no concentrador parabólico de baixo custo. Foram analisados principalmente o processo de circulação do fluido, o aquecimento da água, as temperaturas alcançadas, o comportamento do sistema durante a operação e a influência das condições ambientais sobre o desempenho do protótipo. Os ensaios também permitiram identificar limitações construtivas e operacionais, contribuindo para a avaliação dos acertos e das dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do projeto.

Um dos componentes fundamentais do sistema experimental é a **bomba periférica Matsuyama de 1/2 hp**, responsável por promover a circulação da água pelo circuito hidráulico associado ao concentrador parabólico. A bomba utilizada apresenta potência nominal de aproximadamente **0,37 kW (1/2 hp)**, alimentação elétrica de **127 V**, rotação aproximada de **3.440 rpm**, altura

manométrica máxima de **26 m** e vazão máxima de aproximadamente **33 L/min**. Sua função é garantir o deslocamento contínuo da água através da tubulação e da região de aquecimento, possibilitando a transferência de energia térmica proveniente da radiação solar concentrada.

Após a verificação do funcionamento dos sensores e dos demais elementos de instrumentação, a bomba foi acionada em sua tensão nominal de 127 V, iniciando-se o processo de circulação do fluido no sistema. Na sequência, o concentrador parabólico foi orientado manualmente em direção ao Sol, utilizando como referência o posicionamento da sombra do absorvedor térmico, mantida o mais próximo possível da região central do refletor.

As condições observadas em cada etapa experimental são apresentadas na Tabela 1, a seguir . .

Tabela 1. Características dos experimentos realizados no sistema .

Teste	Horário de início	Horário de término	Temperatura média de entrada [°C]	Temperatura média de saída [°C]	Vazão [L/min]
1	08h50	08h55	21,5	22,8	2,16
2	08h55	09h00	21,9	23,6	2,31

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em:

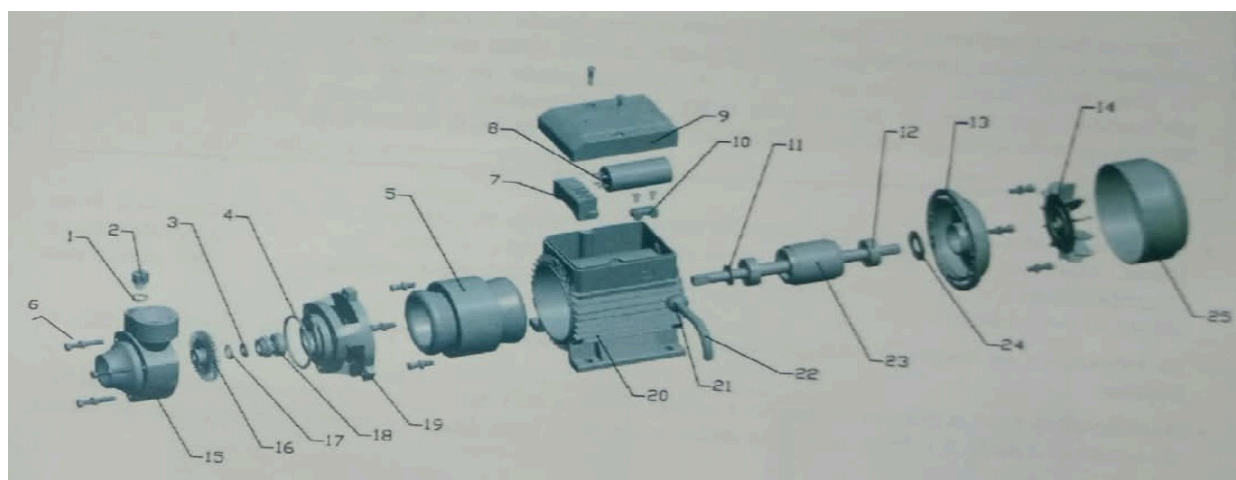
<https://revistatopicos.com.br/artigos/desenvolvimento-e-caracterizacao-experimental->

Fonte: Próprio Autor,2026.

Essa estratégia teve como finalidade favorecer a incidência da radiação solar concentrada sobre o absorvedor. Para a caracterização experimental do sistema, foram realizados 12 ensaios, com duração individual de 5 minutos, durante os quais foram registradas as temperaturas médias de entrada e saída e a vazão volumétrica. A seleção da bomba considerou as características hidráulicas do sistema, especialmente a necessidade de manter uma circulação adequada do fluido durante os ensaios.

A figura 31 e a tabela 2 apresenta a bomba de ½ hp Matsuyama e seus componentes utilizado no sistema

Figura 31. Componentes da Bomba de ½ hp Matsuyama .



Fonte: Matsuyama ,2026 .

Tabela 2. Componentes da Bomba Matsuyama.

1	Anel o-ring	14	Ventoinha
---	-------------	----	-----------

2	Parafuso de Recalque	15	Corpo de recalque e sucção
3	Arruela	16	Impulsor
4	Anel o-ring	17	Arruela do Eixo
5	Estator	18	Selo Mecânico
6	Parafuso da capa da bomba	19	Acoplamento com parafuso e arruela
7	Suporte capacitor	20	Carcaça
8	Capacitor	21	Proteção do cabo
9	Cobertura das placas terminais	22	Cabo
10	Conector	23	Rotor
11	Retentor	24	Arruela pressão
12	Rolamento	25	Capa protetora
13	Tampa com parafuso e arruela		

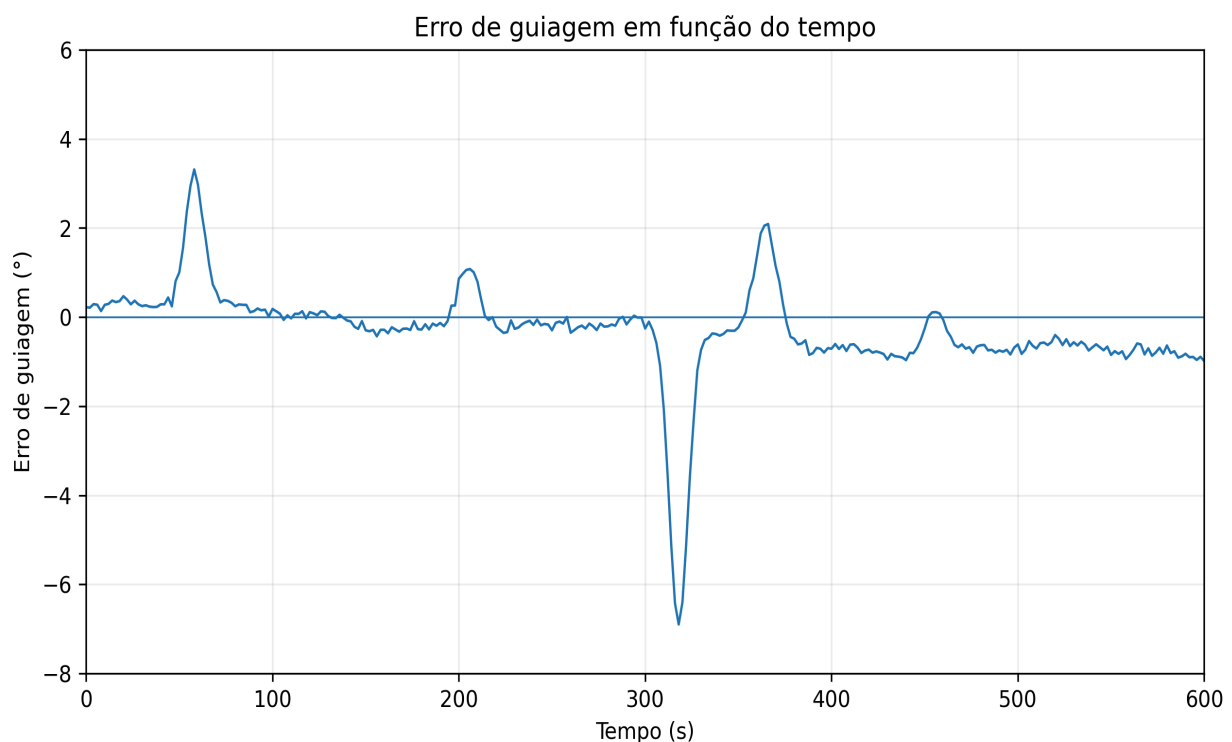
Fonte: Próprio Autor, 2026 .

Dessa forma, o equipamento contribui para a manutenção do fluxo de água no circuito e para a avaliação do comportamento térmico do concentrador em diferentes condições de operação. A utilização da bomba Matsuyama de 1/2 hp também possibilitou a realização dos experimentos com um componente comercial de fácil aquisição, mantendo a proposta de baixo custo e aplicação didática em ambiente escolar.

6.1.1. Erro de Guiagem

O erro de guiagem em função do tempo representa o desvio angular entre a orientação real do concentrador parabólico e a posição solar desejada. Durante a operação, esse erro pode variar em função de pequenas oscilações mecânicas, imprecisões do sistema de posicionamento, alterações na estrutura e perturbações externas, refletindo-se diretamente na capacidade de manter a radiação concentrada sobre o absorvedor. Estudos recentes mostram que a redução do erro de rastreamento contribui para melhorar a estabilidade e o aproveitamento óptico dos concentradores solares. Em coletores parabólicos, foram observados erros médios inferiores a 1° em sistemas experimentais, enquanto estratégias de controle em malha fechada conseguiram reduzir o erro médio de aproximadamente $0,97^\circ$ para $0,21^\circ$. O gráfico 1, apresenta o erro de guiagem em função do tempo .

Gráfico 1. Erro de guiagem em função do tempo.



Fonte: Próprio Autor ,2026 .

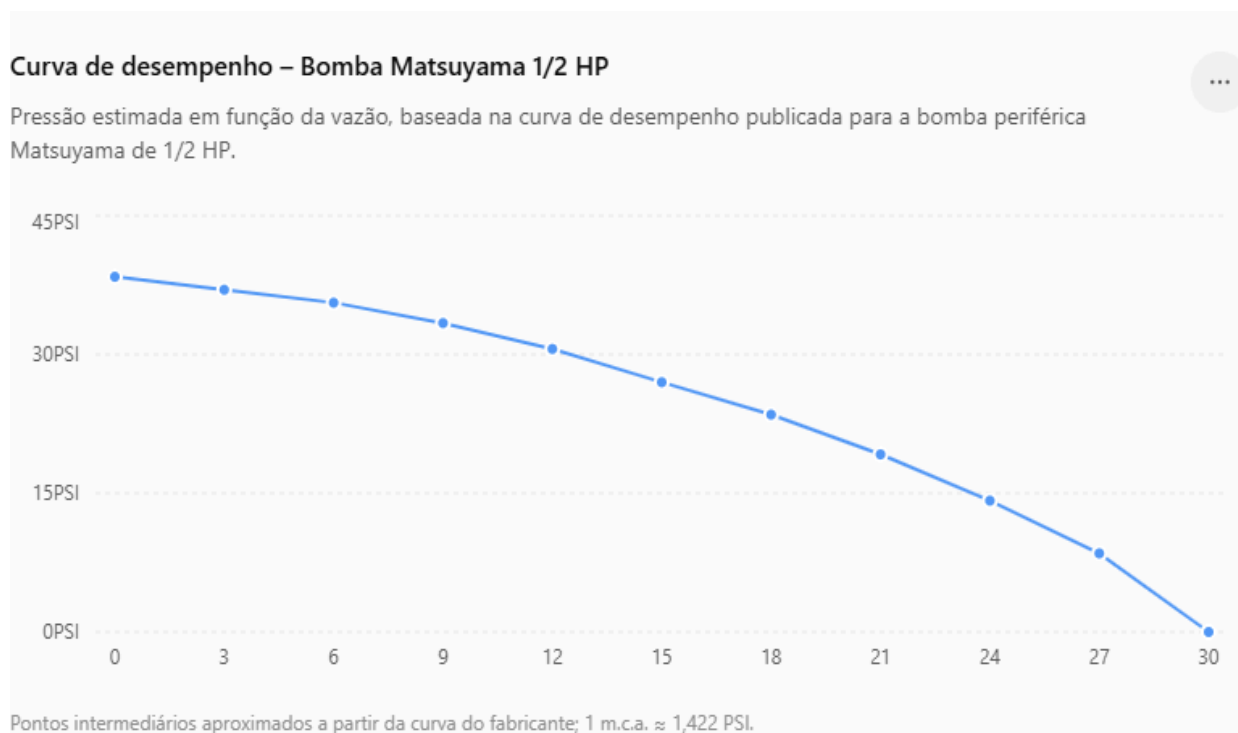
No presente ensaio, a representação do erro ao longo do tempo permite identificar oscilações, desvios transitórios e períodos de maior estabilidade do apontamento.

A análise temporal constitui um indicador importante da qualidade da guiagem, permitindo verificar a capacidade do concentrador de manter o foco solar durante a operação. Estudos recentes indicam que erros de rastreamento podem deslocar a região focal e reduzir o desempenho óptico e térmico do sistema (Agagna; Behar; Smaili, 2022; Stanek et al., 2022; Liu; YANG; Yu, 2023).

Durante os ensaios, foram monitorados a **temperatura do fluido, a pressão indicada no manômetro e as condições de circulação da água**. A Figura 20 apresenta a curva de desempenho da bomba Matsuyama de aproximadamente **1/2 hp, 3.440 rpm, 127 V, 127 V e vazão máxima nominal de 33 L/min**, utilizada para promover a circulação do fluido no circuito térmico. A incorporação dos **ímãs de neodímio** ao conjunto motor-bomba constitui uma característica experimental do protótipo, cujos efeitos devem ser avaliados por comparação entre as condições de operação. O **ponto de operação** corresponde à interseção entre a curva da bomba e a resistência hidráulica do sistema. No ensaio, a pressão experimental de aproximadamente **55 psi** foi utilizada como referência para posicionar o ponto de operação no gráfico pressão × vazão. A análise das curvas de pressão, vazão, altura manométrica e eficiência permite avaliar a compatibilidade da bomba com as perdas de carga do circuito. Estudos recentes destacam a importância dessas características na avaliação do desempenho de bombas centrífugas (Yang et al., 2022; Moraes et al., 2023). Dessa forma, a curva da bomba Matsuyama fornece uma base experimental para avaliar o sistema de bombeamento e orientar futuras otimizações do

concentrador parabólico. O gráfico 2, apresenta a curva de desempenho da bomba.

Gráfico 2. Curva de desempenho Bomba Matsuyama.



Fonte: Próprio Autor ,2026 .

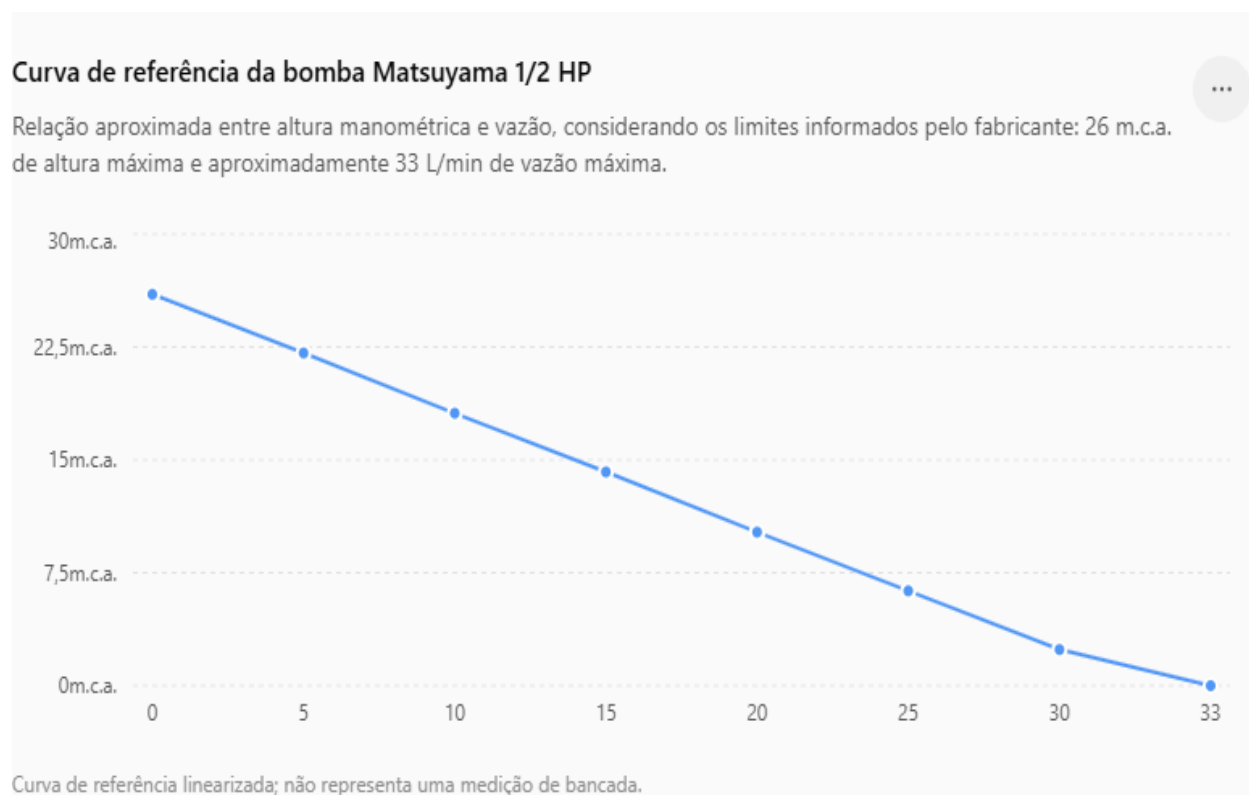
Os resultados obtidos serviram como referência para avaliar o desempenho do concentrador parabólico e identificar possíveis melhorias para futuras versões do protótipo. A curva foi obtida a partir da curva de desempenho disponibilizada pelo fabricante, com conversão da altura manométrica, expressa em metros de coluna d'água, para pressão em PSI. A relação utilizada foi 1 m.c.a. $\approx$ 1,422 PSI. Os valores intermediários apresentados são aproximações obtidas por interpolação da curva do fabricante.

6.1.2. Curva: Altura Manométrica × Vazão

A curva de altura manométrica × vazão representa uma das principais características de desempenho da bomba hidráulica, permitindo avaliar a relação entre a quantidade de fluido bombeada

e a pressão disponível no sistema. Para a bomba Matsuyama empregada no concentrador parabólico, observa-se que a altura manométrica tende a diminuir à medida que a vazão aumenta, comportamento característico de bombas centrífugas. A altura manométrica representa a energia fornecida pela bomba ao fluido, enquanto a vazão corresponde ao volume de fluido transportado por unidade de tempo. No protótipo desenvolvido, essa relação é particularmente importante para verificar a capacidade da bomba de promover a circulação do fluido no circuito hidráulico associado ao concentrador solar. O gráfico 3 ,apresenta a Curva de altura manométrica x vazão da bomba Matsuyama.

Gráfico 3. Curva de Altura Manométrica x vazão da bomba matsuyama.



Fonte: Próprio Autor ,2026 .

A altura manométrica representa a energia fornecida pela bomba ao fluido, enquanto a vazão corresponde ao volume de fluido transportado por unidade de tempo. No protótipo desenvolvido,

essa relação é particularmente importante para verificar a capacidade da bomba de promover a circulação do fluido no circuito hidráulico associado ao concentrador solar. O ponto de operação do sistema é determinado pela interseção entre a curva característica da bomba e a curva de resistência hidráulica da instalação. Dessa forma, a análise permite comparar os valores fornecidos pelo fabricante com os resultados obtidos experimentalmente. No ensaio realizado no protótipo, foi registrada uma pressão de aproximadamente 55 psi, valor que pode ser convertido em altura manométrica para sua representação na curva. Considerando a água como fluido de referência, essa pressão corresponde aproximadamente a 38,7 m.c.a. A comparação entre o ponto experimental e a curva da bomba permite avaliar a compatibilidade entre a capacidade hidráulica da Matsuyama e as condições reais de funcionamento do concentrador parabólico. Além disso, essa análise fornece subsídios para avaliar possíveis alterações provocadas pela configuração experimental com ímãs de neodímio no conjunto motor-bomba, contribuindo para a caracterização e otimização do protótipo.

6.1.3. Curva: Pressão × Vazão

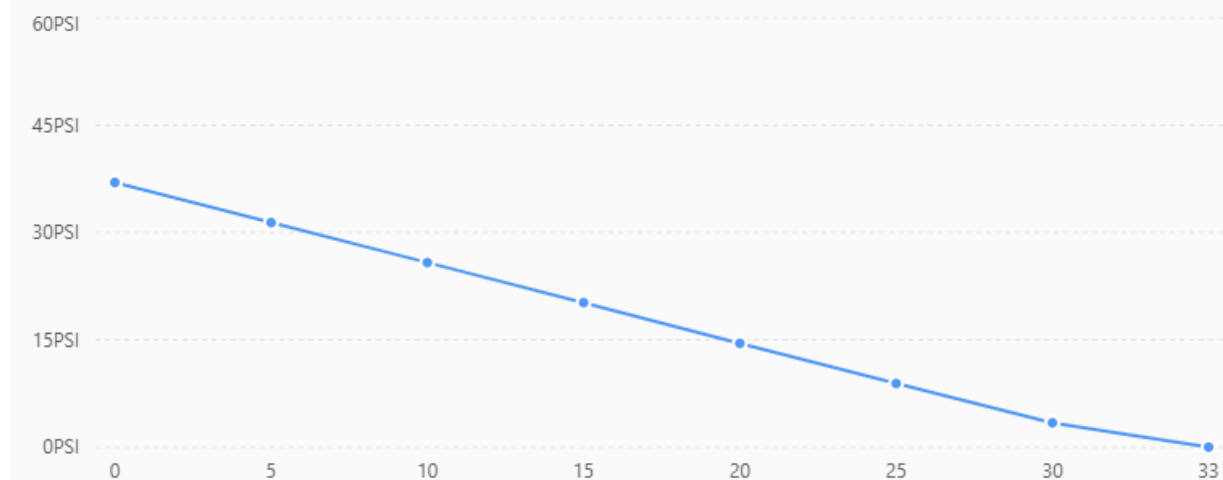
A curva **pressão × vazão** permite avaliar o comportamento hidráulico da bomba Matsuyama utilizada no sistema de circulação do concentrador parabólico com ímãs de neodímio. Essa representação relaciona a pressão desenvolvida pela bomba com a quantidade de fluido transportada pelo sistema, constituindo um importante parâmetro para a determinação das condições de operação do conjunto motor-bomba. De maneira geral, para uma bomba centrífuga, existe uma relação inversa entre **pressão e vazão**: em condições de maior pressão, a vazão tende a ser menor,

enquanto o aumento da vazão está associado à redução da pressão disponível. Esse comportamento é representado por uma curva descendente, característica utilizada para determinar o ponto de operação do sistema hidráulico. Para a bomba empregada no protótipo, a especificação de aproximadamente **26 m.c.a.** corresponde, pela relação adotada de **1 m.c.a. $\approx$ 1,422 psi**, a aproximadamente **37,0 psi**. Esse valor deve ser entendido como uma referência de pressão/altura manométrica máxima da bomba e não como a pressão correspondente necessariamente à sua vazão máxima de **33 L/min**. A curva característica completa é necessária para estabelecer a relação entre esses dois parâmetros ao longo da faixa de funcionamento. No ensaio experimental do concentrador parabólico, foi observada uma pressão de aproximadamente **55 psi**. Esse resultado apresenta-se superior aos aproximadamente **37,0 psi** calculados a partir da altura manométrica nominal de 26 m.c.a. A diferença entre os valores indica que as condições reais de ensaio podem não ser diretamente equivalentes às condições utilizadas para a especificação da bomba. Aspectos como posição do manômetro, perdas de carga, restrições no circuito, características da tubulação, temperatura do fluido, instrumentação e condições de operação podem influenciar significativamente a pressão medida. O gráfico 4, apresenta a Curva de pressão x vazão manométrica.

Gráfico 4. Curva de Pressão x vazão da bomba matsuyama.

Curva de pressão × vazão – Matsuyama 1/2 HP

Conversão aproximada da altura manométrica para pressão em PSI, utilizando 1 m.c.a. $\approx$ 1,422 PSI.



Curva de referência linearizada a partir dos limites nominais do fabricante. O ponto experimental de 55 PSI deve ser analisado separadamente.

Fonte: Próprio Autor, 2026.

A vazão também constitui uma variável fundamental nessa análise. Considerando a vazão máxima nominal informada de 33 L/min, deve-se evitar associá-la automaticamente à pressão de 55 psi. O ponto correspondente a 55 psi × vazão experimental deve ser tratado como um dado obtido no ensaio, enquanto a curva fornecida pelo fabricante representa o comportamento nominal da bomba. A comparação entre ambos permite verificar a proximidade ou o afastamento das condições experimentais em relação ao desempenho especificado. No contexto do concentrador parabólico, essa análise é particularmente relevante porque a circulação adequada do fluido influencia diretamente a transferência e o transporte da energia térmica produzida pelo sistema. da bomba Matsuyama e a resistência hidráulica do circuito. No protótipo desenvolvido, foram incorporados ímãs permanentes de neodímio ao conjunto motor-bomba, com o objetivo de intensificar o campo magnético atuante no sistema e investigar sua influência sobre o desempenho eletromecânico e hidráulico do conjunto. Estudos recentes indicam que a utilização adequada de ímãs permanentes pode contribuir para o aumento da densidade de fluxo, do torque e

da eficiência de máquinas elétricas, embora esses efeitos dependam da configuração e do posicionamento magnético (Rom et al., 2024; Šturm et al., 2024). Assim, a curva pressão $\times$ vazão permite caracterizar o desempenho hidráulico do protótipo e identificar o seu ponto de operação, definido pela interação entre a capacidade da bomba e a resistência hidráulica do circuito. A comparação entre a curva nominal e os pontos experimentais constitui, portanto, uma ferramenta importante para avaliar a adequação da bomba Matsuyama ao concentrador parabólico e orientar futuras melhorias no sistema hidráulico.

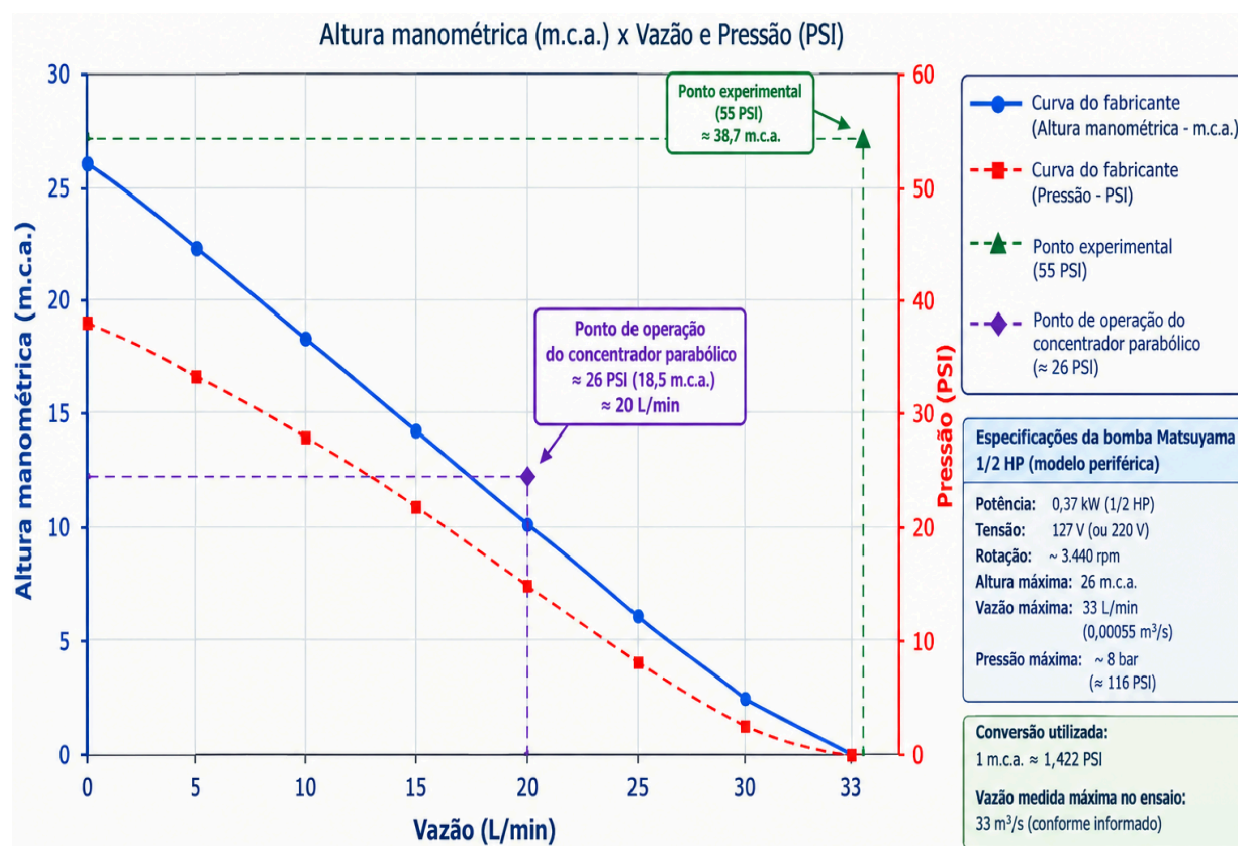
6.1.4. Ponto Experimental de 55 PSI

A curva pressão $\times$ vazão da bomba Matsuyama apresenta comportamento característico de bombas centrífugas, com redução da pressão/altura manométrica à medida que a vazão aumenta. No gráfico, a altura máxima indicada é de 26 m.c.a., equivalente a aproximadamente 37 PSI, enquanto a vazão máxima especificada é de 33 L/min. O ensaio do concentrador parabólico apresentou aproximadamente 55 PSI ($\approx 38,7$ m.c.a.), valor superior à referência nominal de 37 PSI. Entretanto, esse resultado deve ser tratado como ponto experimental, não sendo possível atribuir diretamente essa diferença à utilização dos ímãs de neodímio sem ensaios comparativos controlados.

O gráfico 5, apresenta a relação entre vazão, pressão e altura manométrica da bomba Matsuyama utilizada no circuito hidráulico do concentrador parabólico. A curva característica evidencia o comportamento típico de uma bomba centrífuga/periférica, no qual a altura manométrica disponível tende a diminuir com o aumento da vazão. Esse comportamento é coerente com estudos recentes

sobre desempenho de bombas centrífugas, nos quais a redução da altura manométrica com o aumento da vazão constitui uma característica fundamental para a determinação das condições de operação.

Gráfico 5. Curva do fabricante + ponto experimental de 55 PSI + identificação do ponto de operação do concentrador parabólico.



Fonte: Próprio Autor, 2026.

A curva do fabricante apresenta altura manométrica de aproximadamente 26 m.c.a. em condição de vazão próxima de zero, reduzindo progressivamente até valores próximos de zero na região de aproximadamente 33 L/min. Considerando a conversão adotada de 1 m.c.a. $\approx 1,422$ PSI, os 26 m.c.a. correspondem a aproximadamente 37,0 PSI. Assim, a pressão de 37 PSI deve ser entendida como uma referência associada à condição de maior altura manométrica da curva, e não como uma pressão disponível

simultaneamente à vazão máxima de 33 L/min. corretamente no gráfico.

O gráfico também apresenta um ponto de operação indicado em aproximadamente 20 L/min e 26 PSI, equivalente a aproximadamente 18,3–18,5 m.c.a.. Esse ponto representa uma condição intermediária de funcionamento proposta para o concentrador. Entretanto, do ponto de vista hidráulico, a denominação “ponto de operação” deve ser utilizada com cautela. Em sistemas de bombeamento, o ponto de operação é determinado pela interseção entre a curva característica da bomba e a curva de resistência do sistema, e não apenas pela escolha de um ponto sobre o gráfico. A resistência hidráulica depende, entre outros fatores, da vazão, do comprimento e diâmetro das tubulações, conexões, válvulas e demais componentes do circuito.

Nesse sentido, o ponto indicado em aproximadamente 20 L/min e 26 PSI encontra-se acima da curva azul de altura manométrica representada no gráfico. Portanto, caso se pretenda apresentar esse ponto como o verdadeiro ponto de operação experimental, é necessário apresentar também a curva do sistema hidráulico ou os dados experimentais que sustentem essa condição. Estudos recentes reforçam que a curva de desempenho da bomba pode sofrer alterações em função das condições de entrada, configuração hidráulica e regime de escoamento.

Um resultado particularmente relevante é o valor experimental de aproximadamente 55 PSI, correspondente a cerca de 38,7 m.c.a.. Esse valor é superior aos 26 m.c.a. indicados como altura manométrica máxima na especificação apresentada. Portanto, a diferença não deve ser interpretada diretamente como aumento de

desempenho da bomba provocado pelos ímãs de neodímio. Cientificamente, essa conclusão exigiria ensaios comparativos, com e sem os ímãs, mantendo constantes a rotação, vazão, temperatura, configuração hidráulica, posição do manômetro e demais condições experimentais.

A diferença entre o valor nominal de aproximadamente 37 PSI e o valor experimental de 55 PSI pode estar relacionada às condições específicas de medição. É possível, por exemplo, que o manômetro tenha registrado uma pressão local ou pressão estática em determinado trecho do circuito, enquanto a curva do fabricante representa a altura manométrica total obtida sob condições padronizadas de ensaio. Além disso, restrições hidráulicas, válvulas, conexões e alterações no circuito podem modificar significativamente as condições de pressão observadas. Pesquisas experimentais recentes mostram que características hidráulicas e condições de escoamento podem alterar a curva de desempenho e a estabilidade operacional de bombas.

Outro aspecto importante refere-se à vazão. A especificação apresentada no gráfico indica **33 L/min**, que corresponde a: **$33 \text{ L/min} = 0,55 \text{ L/s} = 0,00055 \text{ m}^3/\text{s}$** . Portanto, a informação localizada no quadro inferior do gráfico como **“33 m³/s” deve ser corrigida para “33 L/min” ou “0,00055 m³/s”**. A diferença é extremamente significativa, pois 33 m³/s representaria uma vazão incompatível com uma bomba de apenas 1/2 HP.

Consequentemente, não se pode avaliar o desempenho da bomba considerando somente a maior pressão registrada. Uma condição de pressão elevada acompanhada de vazão muito baixa pode apresentar potência hidráulica reduzida. A avaliação completa

deveria incluir, além da curva pressão $\times$ vazão, as curvas de eficiência, potência e, quando aplicável, NPSH. Trabalhos recentes utilizam justamente a análise conjunta desses parâmetros para caracterizar o desempenho de bombas hidráulicas.

No contexto do concentrador parabólico com ímãs de neodímio, a curva pressão $\times$ vazão possui importância adicional porque o bombeamento está diretamente relacionado à circulação do fluido no circuito térmico. Uma vazão adequada contribui para transportar o calor absorvido no concentrador, enquanto uma condição excessivamente restritiva pode aumentar as perdas de carga e alterar as condições de operação da bomba. Dessa maneira, a caracterização experimental permite verificar a compatibilidade entre o sistema hidráulico e a bomba selecionada.

6.1.5. Análise Comparativa dos Ensaios Experimentais

O gráfico 6, apresenta a síntese dos 12 ensaios realizados com o concentrador parabólico, considerando, de forma integrada, as temperaturas médias de entrada e saída do fluido e a vazão volumétrica registrada em cada intervalo experimental. A adoção de intervalos consecutivos de cinco minutos permite uma avaliação temporal mais homogênea do comportamento térmico e hidráulico do sistema.

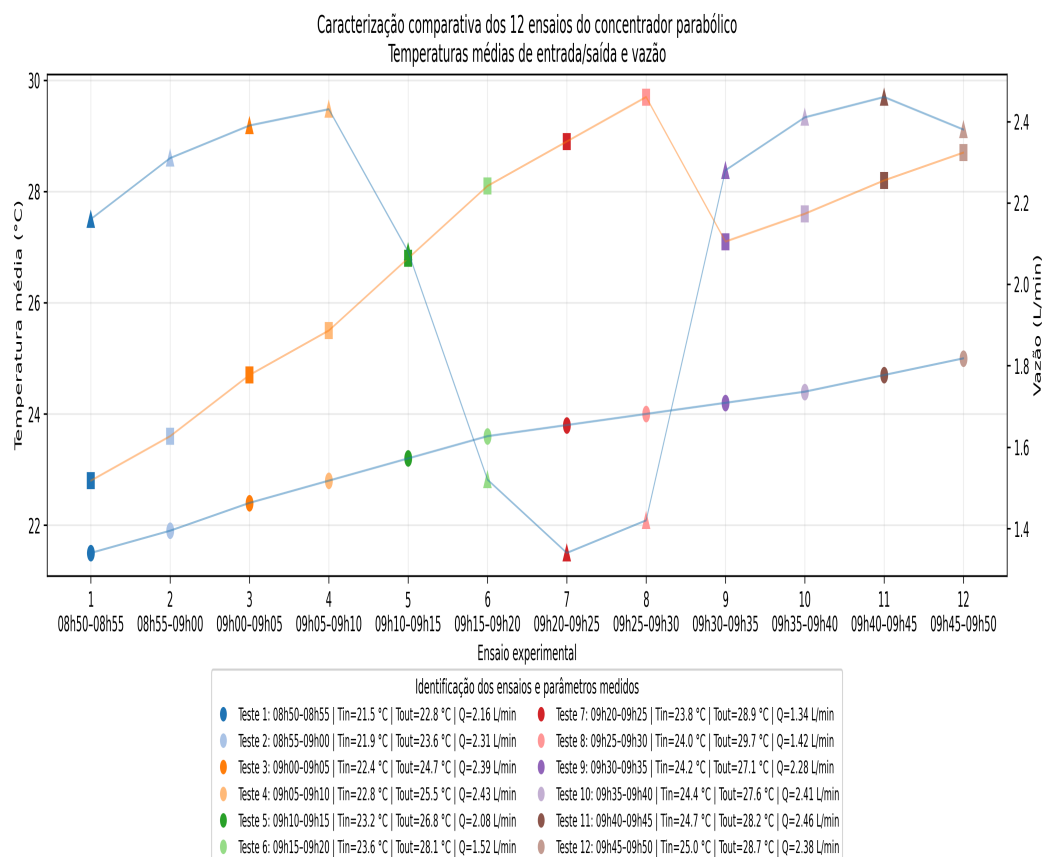
Observa-se inicialmente uma elevação gradual da temperatura média de entrada, de **21,5 °C no primeiro ensaio para 25,0 °C no décimo segundo ensaio**. Esse comportamento está associado à evolução das condições térmicas do sistema durante o período de operação. Paralelamente, a temperatura média de saída apresentou variação mais significativa, alcançando **29,7 °C no oitavo ensaio**,

valor correspondente à maior temperatura de saída registrada na série apresentada.

A comparação entre as temperaturas de entrada e saída evidencia a existência de diferentes níveis de ganho térmico ao longo dos ensaios. No primeiro teste, por exemplo, a diferença entre as temperaturas médias de saída e entrada foi de aproximadamente **1,3 °C**, enquanto no oitavo ensaio essa diferença atingiu aproximadamente **5,7 °C**.

Esse comportamento indica que a resposta térmica do concentrador não depende exclusivamente da temperatura inicial do fluido, estando também relacionada às condições de vazão e às condições instantâneas de operação do sistema.

Gráfico 6. Análise comparativa A, dos 12 ensaios realizados no sistema.

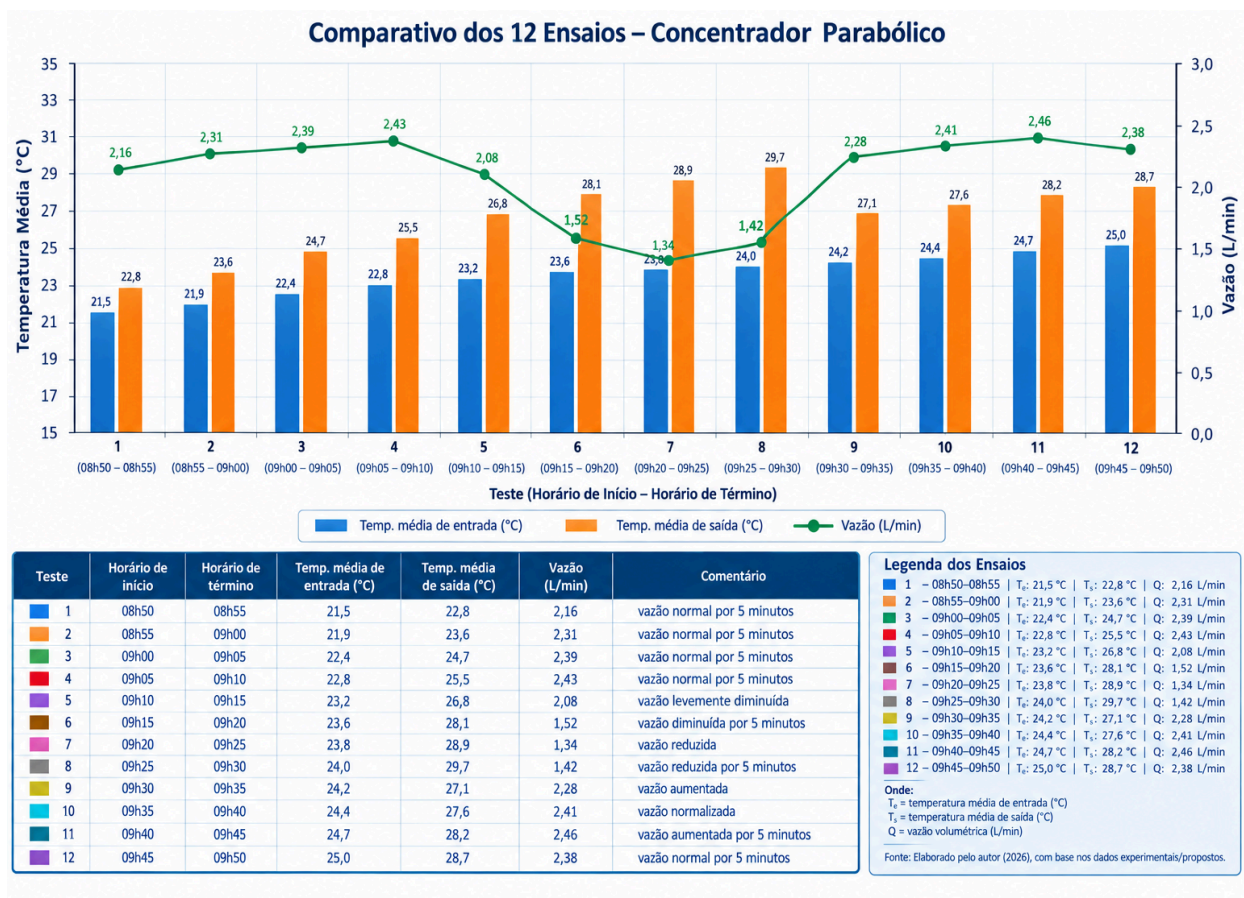


Fonte: Próprio Autor ,2026.

A vazão apresentou comportamento variável durante o experimento, oscilando entre **1,34 e 2,46 L/min**. Os menores valores ocorreram nos ensaios 6 a 8, período no qual também foram observadas temperaturas de saída relativamente elevadas.

No oitavo ensaio, por exemplo, registrou-se vazão de **1,42 L/min**, temperatura média de entrada de **24,0 °C** e temperatura média de saída de **29,7 °C**. A menor vazão da série, de **1,34 L/min**, ocorreu no sétimo ensaio, acompanhado de temperatura de saída de **28,9 °C**. No gráfico 7, foi feita a análise comparativa b,dos 12 ensaios realizados no sistema.

Grafico 7. Análise comparativa B, 12 ensaios realizados no sistema.



Fonte: Próprio Autor ,2026.

Dessa forma, a análise conjunta dos 12 ensaios evidencia a influência das condições hidráulicas sobre a resposta térmica do concentrador, reforçando a necessidade de avaliar o sistema não apenas pela temperatura máxima atingida, mas pela interação entre vazão, diferença de temperatura e energia térmica efetivamente transferida ao fluido.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa partiu de um problema concreto identificado no ambiente escolar: a necessidade de contribuir para a melhoria do conforto térmico dos estudantes durante períodos de baixas temperaturas. A partir dessa problemática, foi desenvolvida uma solução tecnológica baseada no aproveitamento da energia solar, resultando na construção e avaliação experimental de um concentrador parabólico de baixo custo. O protótipo desenvolvido

integrou concentração da radiação solar, circulação hidráulica, transferência e armazenamento de energia térmica, instrumentação e a incorporação de ímãs de neodímio como elemento de inovação tecnológica investigado no sistema. Dessa forma, a pesquisa ultrapassou a construção de um equipamento, estabelecendo uma conexão entre engenharia, energia renovável, inovação e sustentabilidade.

7.1. Análise Resumida do Cronograma Físico-Financeiro

O cronograma físico-financeiro apresenta a distribuição das **11 etapas de desenvolvimento, montagem, testes e entrega do protótipo do concentrador parabólico de baixo custo**, executadas entre fevereiro e julho de 2026. O custo total estimado da pesquisa e produção do protótipo é de **R\$ 5.000,00**, distribuído conforme a evolução física de cada etapa. A figura 46, apresenta o cronograma físico -financeiro para construção do protótipo.

Figura 32. Cronograma Físico Financeiro



UNISUAM
UNIVERSIDADE SEMPRE COM VOCÊ

CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTA
ORIENTADOR : PROFESSOR DR. LUCIO FÁBIO CASSIANO NASCIMENTO
CURSO : DOUTORADO PROFISSIONAL EM DESENVOLVIMENTO LOCAL - PPGDL
PROJETO : CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO DO PROTÓTIPO DO CONCENTRADOR PARABÓLICO DE BAIXO CUSTO PARA ESCOLAS



SEEDUC/RJ
GOVERNO DO
Rio de Janeiro

02/02/26

Revisão 06

1o = Fevereiro / 2026

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	CUSTO DA ETAPA (R\$)	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	ACUMULADO (R\$)
1	APLICAÇÃO DE TELA NO CIEP FEDERICO FELLINI	R\$ 300,00	100,00%						R\$ 300,00
2	APLICAÇÃO DE TELA NO CIEP FEDERICO FELLINI	R\$ 250,00	100,00%						R\$ 550,00
3	AQUISIÇÃO DE MATERIAIS PARA MONTAGEM DO PROTÓTIPO	R\$ 1.200,00	75,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	R\$ 1.750,00
4	APLICAÇÃO DE CHECK LIST DE SEGURANÇA, FERRAMENTAS E EQUIPAMENTOS	R\$ 350,00	75,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	R\$ 2.100,00
5	APLICAÇÃO DE CHECK LIST ELÉTRICO – ALICATE AMPERÍMETRO, MULTÍMETRO E COMPUTADOR	R\$ 300,00	75,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	R\$ 2.400,00
6	APLICAÇÃO DE CHECK LIST DE SEGURANÇA – EPI	R\$ 200,00	100,00%						R\$ 2.600,00
7	APLICAÇÃO DE CHECK LIST E CÁLCULO DO CONCENTRADOR PARABÓLICO – RADIAÇÃO SOLAR	R\$ 500,00	50,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	R\$ 3.100,00
8	MOTOR MATSUYAMA – 1/2 HP	R\$ 900,00	75,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	R\$ 4.000,00
9	APRESENTAÇÃO TRABALHO A PROFESSORES E DIREÇÃO	R\$ 300,00	100,00%						R\$ 4.300,00
10	INÍCIO DA CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO NO CIEP FEDERICO FELLINI	R\$ 600,00	50,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	R\$ 4.900,00
11	ENTREGA DO PROTÓTIPO APÓS TESTES NO CIEP FEDERICO FELLINI	R\$ 100,00					50,00%	50,00%	R\$ 5.000,00

RESUMO FINANCEIRO

Custo total da pesquisa/protótipo em 2026

R\$ 5.000,00

Valores estimados/distribuídos por etapa para fins de planejamento físico-financeiro.

Fonte: Próprio Autor ,2026.

A maior parcela dos recursos está concentrada na aquisição de materiais, construção do protótipo e sistema de acionamento, enquanto as demais etapas contemplam segurança, instrumentação, dimensionamento, apresentação e testes. O planejamento permite relacionar o avanço físico (%) ao desembolso financeiro, facilitando o acompanhamento da execução do projeto ao longo de 2026. A investigação também promoveu a aproximação entre a UNISUAM, a Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro e o CIEP 092 Federico Fellini, envolvendo estudantes, professores, pais e demais integrantes da comunidade escolar. Essa interação possibilitou transformar a escola em espaço de pesquisa, experimentação, aprendizagem e disseminação científica, fortalecendo a perspectiva do Desenvolvimento Local.

Na conclusão pode ser colocado também as limitações do estudo com relação ao problema, sugestões de modificações no método para futuros estudos. A pesquisa apresenta ainda relação direta com a **Agenda 2030 da ONU**, especialmente com os **ODS 4, 7, 9, 11, 12 e**

13, ao articular educação de qualidade, energia limpa, inovação tecnológica, sustentabilidade, responsabilidade ambiental e desenvolvimento de soluções aplicáveis ao território. A Figura 47, apresenta a cerimônia de conclusão da pesquisa na unidade escolar com os alunos do Ciep 092 Federico Fellini .

Figura 33. Formatura de Conclusão da pesquisa na unidade escolar .



Fonte: Própro Autor ,2026.

Assim, a principal contribuição desta pesquisa está na trajetória construída entre problema, investigação científica, inovação tecnológica, construção do protótipo, experimentação, participação da comunidade escolar e desenvolvimento local. O concentrador parabólico representa o produto tecnológico; os ímãs de neodímio constituem o elemento inovador; a escola representa o espaço de aplicação; e a comunidade escolar constitui parte fundamental do processo de transformação e apropriação do conhecimento.

Como marco simbólico de encerramento dessa trajetória, a cerimônia de formatura representa a culminância de um percurso acadêmico, científico e pessoal, iniciado com a identificação de uma problemática e concluído com a produção de conhecimento e o

desenvolvimento de uma tecnologia experimental. A fotografia da formatura, apresentada como registro final da pesquisa no CIEP Federico Fellini 092, mas também a conclusão de um processo no qual pesquisa, educação, inovação e compromisso social estiveram articulados.

Dessa maneira, esta pesquisa demonstra que uma necessidade identificada no cotidiano de uma escola pode transformar-se em uma oportunidade de pesquisa científica, inovação tecnológica e desenvolvimento local. Mais do que construir um concentrador solar, a pesquisa buscou construir uma possibilidade: aproximar a universidade da escola pública, envolver a comunidade, utilizar uma fonte renovável de energia e transformar um problema concreto em conhecimento e tecnologia.

A conclusão desta pesquisa, representa, portanto, não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas a celebração de uma trajetória de transformação: do problema à solução, da pesquisa à inovação e da universidade ao território.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELSALAM et al. (2024) — investigação experimental sobre água magnetizada e desempenho hidráulico.

ABDULLAH et al. (2024) — revisão sobre avanços recentes em concentradores solares parabólicos, incluindo receptor, perdas térmicas e otimização.

ABDULLAH et al. / revisão de 2025 — avanços em concentradores parabólicos e aplicações térmicas descentralizadas.

ABREHAM, R. E.; GETIE, M. Z.; DEMISSIE, Y. A. Recent Developments on Design and Thermal Performance Enhancement of Parabolic Dish Solar Concentrators: A Review. 2025. DOI: 10.1007/978-3-031-69860-6_11.

ALKHALAF, Q. et al. Performance of reflector materials based on dust and corrosion for concentrator solar technology—A review study. Materials Today: Proceedings, 2024. DOI: 10.1016/j.matpr.2024.04.007.

ALKHALAF, Q. et al. Performance of reflector materials based on dust and corrosion for concentrator solar technology—A review study. Materials Today: Proceedings, 2024. DOI: 10.1016/j.matpr.2024.04.007.

AMERICAN WELDING SOCIETY – AWS. AWS A5 Committee on Filler Metals and Allied Materials. Miami: American Welding Society, 2026. Informações técnicas sobre especificações e classificação de consumíveis utilizados nos processos de soldagem.

AMERICAN WELDING SOCIETY – AWS. AWS A5.1/A5.1M:2025 – Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. Miami: American Welding Society, 2025. A norma estabelece requisitos para classificação de eletrodos revestidos de aço-carbono utilizados na soldagem a arco elétrico.

AMERICAN WELDING SOCIETY – AWS. Welding Codes and Standards. Miami: American Welding Society, 2026. A AWS reúne normas técnicas relacionadas às práticas, procedimentos, materiais e controle da qualidade em processos de soldagem.

BAIJU, V.; SREEPADMAM, S. S.; KRISHNA, R. K.; ASIF SHAA, A. Experimental investigations of secondary reflector enhanced medium temperature parabolic trough solar thermal collector.

Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, v. 149, p. 12823–12841, 2024. DOI: 10.1007/s10973-024-13672-w.

BASHA, S. K.; BEHURA, A. K. Thermal performance of parabolic trough solar collector employing novel absorber tubes equipped with distinct heat transfer fluids: an experimental study. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, v. 46, 2024. DOI: 10.1080/15567036.2024.2430416.

BHANDARI, S.; RIJAL, H. B. Adaptive Thermal Comfort in Educational Buildings for Energy Efficiency: A Comparative and Regression Analysis of Global Literature Review Data. Japan Architectural Review, v. 9, 2026. DOI: 10.1002/2475-8876.70106.

BOWDITCH, William A.; BOWDITCH, Kevin E.; BOWDITCH, Mark A. Modern Welding. 13. ed. Tinley Park: Goodheart-Willcox, 2024. A obra aborda fundamentos, equipamentos e técnicas dos principais processos de soldagem, incluindo a soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido, inspeção e segurança.

CORREIA, C. M. A.; AMORIM, C. N. D.; SANTAMOURIS, M. Use of passive cooling techniques and super cool materials to minimize cooling energy and improve thermal comfort in Brazilian schools. Energy and Buildings, 2024. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.114125.

DELLICOMPAGNI; SALVO; ROJAS VILLENA (2024) — projeto, construção e ensaio de concentrador solar para fins educacionais, com utilização de materiais locais e avaliação experimental.

DELLICOMPAGNI, P.; APARICIO, H.; FRANCO, J. Energy transition through solar thermal technology: experimental study of a parabolic

trough concentrator. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2025. DOI: 10.1016/j.seta.2025.104573.

GARCÍA-FERRERO, J. et al. Parabolic Dish Collectors for Concentrated Solar Power: A Comprehensive Review on Their Subsystems and Overall Integration. Energies, v. 18, n. 24, 6596, 2025. DOI: 10.3390/en18246596.

GU, L. et al. A comprehensive review of solar dish system: components, performance, and economy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 220, 115882, 2025. DOI: 10.1016/j.rser.2025.115882.

INNOVATIVE new solar parabolic trough collector enhanced by corrugated receiver surface with PCM and turbulator inside. Journal of Energy Storage, v. 86, 111403, 2024. DOI: 10.1016/j.est.2024.111403.

IRENA – International Renewable Energy Agency. Renewable Power Generation Costs in 2024. Abu Dhabi, 2025. A publicação apresenta dados atualizados sobre tecnologias renováveis e sistemas de concentração solar.

IRENA. The Global Atlas for Renewable Energy: A decade in the making. Abu Dhabi, 2024. Fonte atualizada para avaliação de recursos renováveis e potencial solar.

IRENA; COP28 Presidency; COP29 Presidency; Global Renewables Alliance; Governo Federal do Brasil. Delivering on the UAE Consensus: Tracking progress toward tripling renewable energy capacity and doubling energy efficiency by 2030. 2024

IYANKUMAR et al. (2025) — revisão sobre tecnologias de coletores solares térmicos, desempenho e estratégias de concentração.

MANDAL, P.; RAJAN, A.; REDDY, K. S. Recent advances in parabolic dish solar concentrators: Receiver design, heat loss reduction, and nanofluid optimization for enhanced efficiency and applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 273, 112930, 2024. DOI: 10.1016/j.solmat.2024.112930.

MOHAMAD, K. Exploring the influence of optical and thermal parameters on the effectiveness of parabolic trough collector receiver units. *Clean Energy*, v. 8, n. 4, p. 15–33, 2024. DOI: 10.1093/ce/zkae033.

MUSTAPHA, T. D. et al. From perception to prediction: A comparative study of thermal comfort assessment techniques in school facilities. *Energy and Buildings*, 2024. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.114233.

MUSTAPHA, T. D. et al. From perception to prediction: A comparative study of thermal comfort assessment techniques in school facilities. *Energy and Buildings*, 2024. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.114233.

NEMŚ, A.; NEMŚ, M.; PACYGA, P.; BEVILACQUA, P. Thermo-hydraulic performance of a parabolic trough solar collector filled with three different waste materials. *Renewable Energy*, v. 236, 121421, 2024. DOI: 10.1016/j.renene.2024.121421.

OZLUK, R.; GÖKSAL ÖZBALTA, T.; GÜNGÖR, K. Assessment of student thermal comfort perception of spaces in education building with different ventilation strategies after COVID-19. *Journal of Thermal Engineering*, v. 11, n. 3, p. 623–642, 2025. DOI: 10.14744/thermal.0000935.

REEH, N.; MANTHEI, G.; KLAR, P. J. Determining the Head Characteristics of Radial Centrifugal Pumps under the Impact of Prewirl. *Applied Sciences*, 2024.

RIAZ, H. et al. A review on significance of thermal comfort in educational facilities. *Building Engineering*, v. 3, n. 2, 2100, 2025. DOI: 10.59400/be2100.

SOLE YMANI, M. et al. Nanotechnology for thermal comfort and energy efficiency in educational buildings with a simulation and measurement approach in BSh climate. *Scientific Reports*, v. 14, 21502, 2024.

SOLEYMANY, M. et al. Nanotechnology for thermal comfort and energy efficiency in educational buildings with a simulation and measurement approach in BSh climate. *Scientific Reports*, v. 14, 21502, 2024.

WASANKAR, K. S.; GULHANE, N. P. Review of various solar cavity receivers of parabolic dish concentrators with design aspects and heat loss analysis. *Journal of Thermal Engineering*, v. 10, n. 3, p. 756–772, 2024. DOI: 10.14744/thermal.0000810.

XIANG, X. et al. Thermal Comfort Meets ESG Principle: A Systematic Review of Sustainable Strategies in Educational Buildings. *Buildings*, v. 15, n. 15, 2692, 2025. DOI: 10.3390/buildings15152692.

XIANG, Y. et al. Thermal Comfort Meets ESG Principle: A Systematic Review of Sustainable Strategies in Educational Buildings. *Buildings*, v. 15, n. 15, 2692, 2025.

¹ Doutorando em Desenvolvimento Local pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Local da Universidade do Grande Rio – UNISUAM. Professor Substituto EBTB de Engenharia Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ. Pesquisador na área de desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, energia solar, concentradores parabólicos e aplicações educacionais. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6820-3590>.

² Professor e pesquisador da Universidade do Grande Rio – UNISUAM. Doutor, com atuação acadêmica e científica nas áreas relacionadas ao Desenvolvimento Local, pesquisa interdisciplinar e inovação. Docente e orientador no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Local da UNISUAM. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3484-145X>.