



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - ENM**  
**PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMA CPVT**

**Pedro Moreira da Silva Neto**

**BRASÍLIA**

**2024**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - ENM**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMA CPVT**

**Pedro Moreira da Silva Neto**

**Orientador: Prof. Dr. Mário Benjamin Siqueira**

**PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**PUBLICAÇÃO ENM.PG - JAN/2024**

**BRASÍLIA-DF, 19 DE JANEIRO DE 2024.**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - ENM**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMA CPVT**

**Pedro Moreira da Silva Neto**

Projeto de Graduação 2 submetido ao Departamento de Engenharia Mecânica como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro em Engenharia Mecânica.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Mário Benjamin Siqueira  
Orientador

---

Prof. Dr. Guilherme Caribé de Carvalho  
Examinador interno

---

Prof. Dr. Darío Gerardo Fantini  
Examinador interno

**Brasília, 19 de janeiro de 2024.**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

PEDRO MOREIRA DA SILVA NETO

**Análise de desempenho de sistema CPVT**

**2023xv, 163p., 201x297 mm**

(ENM/FT/UnB, Engenheiro Mecânico, Engenharia Mecânica, 2024)

Projeto de Graduação - Universidade de Brasília

Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Mecânica

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

PEDRO MOREIRA DA SILVA NETO (2024) ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMA CPVT. Projeto de Graduação em Engenharia Mecânica, Publicação 01/2024, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 163 p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Pedro Moreira da Silva Neto

TÍTULO: Análise de desempenho de sistema CPVT.

GRAU: Engenheiro Mecânico ANO: 2024

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste projeto de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor se reserva a outros direitos de publicação e nenhuma parte deste projeto de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Pedro Moreira da Silva Neto

[moreira.neto@aluno.unb.br](mailto:moreira.neto@aluno.unb.br)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Deus Pai, Filho e Espírito Santo por ter criado os céus, a terra e tudo o que há, inclusive o Sol, o recurso energético deste projeto. Pela sua misericórdia, Deus proveu momentos de céu claro para realização deste trabalho.

Agradeço à minha mãe (Aldaires), ao meu pai (Jackson), e à minha irmã (Aline) por todo suporte ao longo da minha vida, e em especial, ao meu tempo de graduação na Universidade de Brasília (UnB).

Agradeço aos meus orientadores e colegas de laboratório Darío Fantini, Mário Siqueira, Guilherme Caribé, Raphael, Jackson pela orientação e apoio durante a realização deste projeto.

Agradeço a todas as pessoas do Núcleo de Vida Cristã (NVC), que como um Oásis no deserto, proveu água fresca e descanso durante minha estadia na UnB, fortalecendo minha fé em Jesus Cristo e criando novas amizades.

Utilizando como referência Gênesis 2.15: “O Senhor Deus colocou o homem no jardim do Éden para cuidar dele e cultivá-lo” e Lucas 16.11: “Assim, se vocês não forem dignos de confiança em lidar com as riquezas deste mundo ímpio, quem confiará as verdadeiras riquezas a vocês? ”, que Deus me ajude a usar os conhecimentos aprendidos no curso de Engenharia Mecânica para não me deixar cegar pelo brilho excessivo da tecnologia, jamais me esquecendo de que trabalho para o bem da humanidade e não da máquina; respeitando a natureza, evitando projetar ou construir equipamentos que destruam ou poluam o equilíbrio ecológico.

## **RESUMO**

Os impactos ambientais negativos do consumo de combustíveis fósseis (emissões de gases de efeito estufa, poluição do ar, destruição de ecossistemas) destacam a importância da utilização de fontes renováveis de energia. Nesse contexto, o Sol é um forte candidato a ser a principal fonte de energia renovável. Dentre as formas de aproveitamento do recurso solar, encontram-se os sistemas fotovoltaicos (PV), sistemas fotovoltaicos com concentração solar (CPV) e sistemas fotovoltaicos térmicos com concentração solar (CPVT); em todos eles há a conversão de energia solar em energia elétrica pelo efeito fotovoltaico, porém no sistema CPVT há também a geração de energia térmica por aquecimento de um fluido, o que torna a eficiência global desse sistema maior. Para concentrar a luz solar, usam-se espelhos refletores ou lentes. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo definir os materiais para a construção do absorvedor fotovoltaico de um sistema CPVT e avaliar o desempenho de uma placa fotovoltaica de silício monocristalino sob as condições sem concentração solar e com concentração solar. O absorvedor fotovoltaico é composto por um duto onde passa o fluido térmico e pelas células de silício monocristalino, as quais estão unidas ao duto. Utilizou-se neste projeto, um protótipo de sistema CPVT constituído por: uma lente Fresnel para concentração solar, um absorvedor fotovoltaico térmico composto de duto de alumínio anodizado por onde escoava água e células de silício monocristalino, e uma estrutura com base de aço e barras rosçadas para fixação do duto de alumínio 26 cm acima do foco da lente. Obteve-se a partir de simulação no *TONATIUH* um fator de concentração solar de 7.7. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Energia e Ambiente da Universidade de Brasília entre os dias 23/11/2023 e 30/11/2023, localizada em Brasília-DF. Os resultados principais foram que: o alumínio anodizado é um excelente material para construção de um absorvedor fotovoltaico térmico pois evita o curto-circuito ao entrar em contato com as células; a eficiência elétrica do sistema NCPV (sem concentração fotovoltaica) foi de ( $\eta_{ele} = 5.83\%$ ), do sistema CPV (com concentração fotovoltaica sem fluido térmico) foi de ( $\eta_{ele} = 7.91\%$ ) e do sistema CPVT (com concentração fotovoltaica e utilizando água como fluido térmico) foi de ( $\eta_{ele} = 11.87\%$ ). Além disso, notou-se que sistemas CPV forçam as células a operarem em temperaturas elevadíssimas (maiores que 150°C) e que a eficiência térmica do sistema CPVT alcançou um valor de ( $\eta_{ter} = 89.66\%$ ).

**Palavras-chave:** Concentração Solar Fotovoltaico Térmica (CPVT), Concentração Solar Fotovoltaica (CPV), Lente Fresnel, Duto de Alumínio anodizado, Água.

## ABSTRACT

The negative environmental impacts of fossil fuel consumption (greenhouse gas emissions, air pollution, ecosystem destruction) underscore the importance of utilizing renewable energy sources. In this context, the Sun emerges as a strong candidate to be the primary source of renewable energy. Among the ways of using solar energy are photovoltaic systems (PV), concentrated photovoltaic systems (CPV), and concentrated photovoltaic thermal systems (CPVT); all involve the conversion of solar energy into electrical energy through the photovoltaic effect. However, the CPVT system also generates thermal energy by heating a fluid, enhancing its overall efficiency. Mirrors or lenses are employed to concentrate solar light. In this sense, the present study aimed to define materials for constructing the photovoltaic absorber of a CPVT system and evaluate the performance of a monocrystalline silicon photovoltaic panel under conditions with and without solar concentration. The photovoltaic absorber consists of a duct through which the thermal fluid flows and monocrystalline silicon cells attached to the duct. In this project, a CPVT system prototype was utilized, comprising a Fresnel lens for solar concentration, a thermal photovoltaic absorber consisting of an anodized aluminum duct for water flow and monocrystalline silicon cells, and a structure with a steel base and threaded bars for securing the aluminum duct 26 cm above the lens focus. A solar concentration factor of 7.7 was obtained through simulation in TONATIUH. Experiments were conducted at the Energy and Environment Laboratory of the University of Brasília from 11/23/2023 to 11/30/2023, in Brasília-DF. The main results indicated that anodized aluminum is an excellent material for constructing a thermal photovoltaic absorber, preventing short circuits when in contact with cells. The electrical efficiency of the NCPV system (without photovoltaic concentration) was ( $\eta_{ele} = 5.83\%$ ), the CPV system (with photovoltaic concentration without thermal fluid) was ( $\eta_{ele} = 7.91\%$ ), and the CPVT system (with photovoltaic concentration using water as a thermal fluid) was ( $\eta_{ele} = 11.87\%$ ). Furthermore, it was observed that CPV systems force cells to operate at very high temperatures (above  $150^{\circ}\text{C}$ ), and the thermal efficiency of the CPVT system reached ( $\eta_{ter} = 89.66\%$ ).

**Keywords:** Concentrated Photovoltaic Thermal (CPVT), Concentrated Photovoltaic (CPV), Fresnel Lens, No Concentrated Photovoltaic (NCPV), Anodized Aluminum Duct, Water.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 - Mapa do total anual de irradiação solar direta normal com destaque para região do Cinturão Solar.....	3
Figura 2. 1 - Quantidade de artigos publicados ao longo do tempo. ....	7
Figura 2. 2 - Palavras-chave sobre o assunto.....	8
Figura 2. 3 - Lentes Fresnel implementada com Tonatiuh.....	9
Figura 2. 4 - Aparato Experimental para obtenção do fluxo de irradiação. ....	9
Figura 2. 5 - Comparação entre os fluxos de irradiação ( <i>Tonatiuh</i> x Experimental). ....	10
Figura 2. 6 - Aparato experimental para análise de sistema CPV. ....	11
Figura 2. 7 - Potência de saída x DNI de sistemas com concentração (CPV - $\eta_{el} = 40\%$ ) e sem concentração (NCPV - $\eta_{el} = 20\%$ ).....	12
Figura 2. 8 - Efeito da concentração solar na potência de saída do sistema CPV.....	13
Figura 2. 9 - Sistema experimental com concentração fotovoltaico térmica.....	14
Figura 2. 10 - Sistema experimental com concentração fotovoltaico térmica.....	15
Figura 2. 11 - Quantidade de artigos publicados ao longo do tempo. ....	16
Figura 2. 12 - Palavras-chave do assunto concentração solar por linear Fresnel. ....	17
Figura 2. 13 - Autores e coautores que mais produziram sobre concentração solar por linear Fresnel. ....	17
Figura 2. 14 - Refletores linear Fresnel com placas duplas.....	18
Figura 2. 15 - Energia anual recebida pelo absorvedor. Azul: sem considerar desvio solar, vermelho: considerando desvio solar, cinza: considerando desvio solar e sombreamento. ....	19
Figura 2. 16 - Coletor solar linear Fresnel montado em Atenas, Grécia. ....	20
Figura 2. 17 - Energia armazenada ao longo do dia. ....	20
Figura 2. 18 - Protótipo de sistema híbrido fotovoltaico térmico com concentrador linear Fresnel montado em Al-Karak, Jordânia.....	21
Figura 2. 19 - Gráfico com as eficiências térmica, elétrica e combinada.....	22
Figura 3. 1 - Radiação direta, difusa e refletida.....	24
Figura 3. 2 - Ângulos solares de zênite ( $\theta$ ) e azimute ( $\alpha$ ). ....	25
Figura 3. 3 - Coletor solar plano em aplicação residencial. ....	26
Figura 3. 4 - Concentração dos raios solares por lente e refletor Linear Fresnel. ....	26
Figura 3. 5 - Tipos de concentradores CPVT. ....	27
Figura 3. 6 - Disco parabólico com motor Stirling.....	27
Figura 3. 7 - Exemplo de sistema de concentração fotovoltaica utilizando lentes linear Fresnel. ....	28

Figura 3. 8 - Usina fotovoltaica São Gonçalo (PI). .....	29
Figura 3. 9 - Formas de conversão de energia solar em energia elétrica.....	30
Figura 4. 1 - Comprimento e largura da placa em mm.....	31
Figura 4. 2 - Comprimento e largura da lente Fresnel em mm.....	32
Figura 4. 3 - Modelagem da lente Fresnel no <i>Tonatiuh</i> . .....	33
Figura 4. 4 - Altura relativa ao foco da lente (h) no <i>Tonatiuh</i> .....	34
Figura 4. 5 - Gráfico do Fator de concentração solar em função da altura relativa ao foco.....	34
Figura 4. 6 - Distribuição da irradiância solar na placa para h = 7, 14, 26, 40 cm.....	36
Figura 5. 1 - Protótipo de sistema de concentração solar com lente Fresnel.....	37
Figura 5. 2 - Duto de alumínio com placa fotovoltaica gerando 6.79V. ....	38
Figura 5. 3 - Duto de alumínio com estrutura de fixação. ....	39
Figura 5. 4 - Circuito para calibração do sensor de tensão.....	42
Figura 5. 5 - Circuito para calibração do sensor de corrente.....	42
Figura 5. 6 - Curvas de calibração para os sensores de corrente (esquerda) e tensão (direita).	43
Figura 5. 7 - Circuito para medição de corrente de curto circuito e tensão de circuito aberto.	43
Figura 5. 8 - Teste da proteção do verniz à água. ....	44
Figura 5. 9 - Desenho esquemático do sistema hidráulico. ....	45
Figura 5. 10 - Concentração solar proporcionada pela lente Fresnel às 11:43 do dia 29/11/2023. .....	46
Figura 5. 11 - Sensores utilizados nos experimentos. ....	47
Figura 5. 12 - Posicionamento dos termopares.....	47
Figura 5. 13 - Tipos de experimentos realizados (NCPV – <i>no concentration photovoltaic</i> , CPV – <i>concentration photovoltaic</i> , CPVT – <i>concentration photovoltaic thermal</i> )......	48
Figura 6. 1 - Gráfico de <i>GHI</i> , <i>Isc</i> e <i>Tcélula</i> no dia 24/11/2023 das 12:17 às 12:39.....	50
Figura 6. 2 - Gráfico de <i>GHI</i> , <i>Voc</i> e <i>Tcélula</i> no dia 27/11/2023 das 13:10 às 13:22.....	51
Figura 6. 3 - Gráfico de <i>GHI</i> , <i>Voc</i> e <i>Tcélula</i> no dia 27/11/2023 das 13:10 às 13:22.....	52
Figura 6. 4 - Gráfico de <i>Tentrada</i> , <i>Tsaída</i> e <i>Tcélula</i> no dia 28/11/2023 das 12:30 às 13:05. .....	53
Figura 6. 5 - Gráfico de <i>GHI</i> , <i>Isc</i> e <i>Tcélula</i> no dia 30/11/2023 das 12:22 às 12:43.....	54
Figura 6. 6 - Gráfico de <i>Tentrada</i> , <i>Tsaída</i> e <i>Tcélula</i> no dia 30/11/2023 das 12:22 às 12:43. .....	54
Figura 6. 7 - Período do dia 24/11/2023 onde se analisou a corrente para o teste NCPV.....	55
Figura 6. 8 - Período do dia 27/11/2023 onde se analisou a tensão para o teste NCPV. ....	56
Figura 6. 9 - Corrente de curto circuito ( <i>Isc</i> ) no teste NCPV. ....	57

Figura 6. 10 - Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) no teste NCPV.....	57
Figura 6. 11 - Gráficos relacionando tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) e corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) com a temperatura da célula ( $T_{célula}$ ) no sistema NCPV. ....	58
Figura 6. 12 - Representação gráfica de uma célula com baixo fator de forma (FF). ....	60
Figura 6. 13 - Período do dia 24/11/2023 onde se analisou a corrente para o teste CPV.....	61
Figura 6. 14 - Período do dia 28/11/2023 onde se analisou a tensão para o teste CPV. ....	62
Figura 6. 15 - Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) no teste CPV. ....	63
Figura 6. 16 - Corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) no teste CPV. ....	63
Figura 6. 17 - Gráficos relacionando tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) e corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) com a temperatura da célula ( $T_{célula}$ ) no sistema CPV. ....	64
Figura 6. 18 - Período do dia 30/11/2023 onde se analisou a corrente para o teste CPVT. ....	66
Figura 6. 19 - Período do dia 28/11/2023 onde se analisou a tensão para o teste CPVT. ....	67
Figura 6. 20 - Temperaturas de entrada, saída e da célula central para o teste CPVT. ....	67
Figura 6. 21 - Corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) no teste CPVT.....	68
Figura 6. 22 - Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) no teste CPVT.....	69
Figura 6. 23 - Gráficos relacionando tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) e corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) com a temperatura da célula ( $T_{célula}$ ) no sistema CPVT.....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1 - Autores com mais publicações sobre concentração solar por linear Fresnel. ....	17
Tabela 4. 1 - Parâmetros de entrada para simulação. ....	33
Tabela 5. 1 - Materiais para fabricação do duto absorvedor. ....	38
Tabela 5. 2 - Materiais para fabricação da estrutura de fixação do duto. ....	39
Tabela 5. 3 - Dados Experimentais medidos. ....	41
Tabela 5. 4 - Materiais para o sistema hidráulico. ....	45
Tabela 6. 1 - Erros experimentais. ....	49
Tabela 7. 1 - Eficiências NCPV, CPV e CPVT. ....	73
Tabela 7. 2 - Valores médios obtidos experimentalmente. ....	74

## LISTA DE SÍMBOLOS

$FC$	Fator de concentração solar
$I_{sup}$	Irradiância em uma superfície ( $W/m^2$ )
$I_{i,j}$	Irradiância em uma subárea $i,j$ ( $W/m^2$ )
$I_{médio}$	Valor médio da irradiância em uma superfície ( $W/m^2$ )
$N_{ph}$	Número de fótons
$P_{ph}$	Potência por fóton ( $W$ )
$P_{máx}$	Potência elétrica máxima ( $W$ )
$DNI$	Irradiação normal direta ( $W/m^2$ )
$GHI$	Irradiação global horizontal ( $W/m^2$ )
$h$	Altura relativa ao foco ( $m$ )
$I.U$	Índice de uniformidade
$A_{sup}$	Área de uma superfície ( $m^2$ )
$A_{placa}$	Área da placa solar ( $m^2$ )
$A_{duto}$	Área do duto por onde passa água ( $m^2$ )
$FF$	Fator de forma
$b$	Largura de uma superfície ( $m$ )
$w$	Comprimento de uma superfície ( $m$ )
$V_{oc}$	Tensão de circuito aberto ( $V$ )
$V_{mp}$	Tensão de máxima potência ( $V$ )
$I_{sc}$	Corrente de curto-circuito ( $A$ )
$I_{mp}$	Corrente de máxima potência ( $A$ )
$T_{célula}$	Temperatura da célula ( $^{\circ}C$ )
$T_{entrada}$	Temperatura da água na entrada ( $^{\circ}C$ )
$T_{saída}$	Temperatura da água na saída ( $^{\circ}C$ )
$Q$	Vazão volumétrica de água ( $m^3/s$ )
$\rho$	Massa específica da água ( $kg/m^3$ )
$c_{água}$	Calor específico da água ( $J/kg - K$ )
$\eta_{ele}$	Eficiência elétrica
$\eta_{ter}$	Eficiência térmica
$\Delta(X)$	Erro associado a uma variável $X$

## LISTA DE ABREVIÇÕES

ONU – Organização das Nações Unidas  
IEA – Agência Internacional de Energia  
SHC – *Solar Heating and Cooling Programme*  
PVT – *Photovoltaic Thermal*  
CPVT – *Concentrated Photovoltaic Thermal*  
CPV – *Concentrated Photovoltaic*  
NCPV – *No Concentrated Photovoltaic*  
CSP – *Concentrated Solar Power*  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
LEA – Laboratório de Energia e Ambiente  
UnB – Universidade de Brasília  
NREL – *National Energy Laboratory*

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
--------------------	---

1.1	Contextualização.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.3	Estrutura do Trabalho .....	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	6
2.1	Termos de buscas (palavras-chaves).....	6
2.2	Resultados ( <i>CAPES</i> ) .....	7
2.3	Resultados ( <i>Scopus e Web of Science</i> ).....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO .....	23
3.1	Radiação Solar .....	23
3.2	Ângulos Solares .....	24
3.3	Conversão da Energia Solar.....	25
4	MODELAGEM E SIMULAÇÃO .....	31
4.1	Descrição das placas solares e lente Fresnel.....	31
4.2	Modelagem e Parâmetros de Entrada .....	32
4.3	Simulação do fator de concentração da irradiância solar .....	33
4.4	Simulação distribuição do fluxo da irradiância .....	35
5	FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS .....	37
5.1	Fabricação do protótipo .....	37
5.2	Procedimentos Experimentais .....	40
6	RESULTADOS E ANÁLISE.....	48
6.1	Erros experimentais .....	49
6.2	Experimento do dia 24/11/2023.....	49
6.3	Experimento do dia 27/11/2023.....	51
6.4	Experimento do dia 28/11/2023.....	52
6.5	Experimento do dia 30/11/2023.....	53
6.6	Sistema NCPV .....	55
6.7	Sistema CPV .....	61

6.8 Sistema CPVT .....	66
7 CONCLUSÕES .....	73
REFERÊNCIAS .....	75
APÊNDICES .....	78
Apêndice A – Cálculo da irradiância incidente na placa fotovoltaica.....	78
Apêndice B – Cálculo do Fator de Concentração em função do posicionamento da placa fotovoltaica.....	82
Apêndice C – Mapas de cores da distribuição da irradiância na placa fotovoltaica em diferentes alturas.....	84
Apêndice D – Modificador de arquivo .dat do CR1000 para um .txt.....	86
Apêndice E – Gera os gráficos iniciais do experimento completo .....	87
Apêndice F – Gera os gráficos de corrente para os experimentos CPV e NCPV ....	91
Apêndice G – Gera os gráficos de corrente e temperatura para o experimento CPVT .....	95
Apêndice H – Gera o gráfico de tensão para o experimento NCPV.....	100
Apêndice I – Gera os gráficos de tensão e temperatura para o experimento CPVT .....	104
Apêndice J – Gera os gráficos da tensão em função da temperatura para o teste NCPV .....	109
Apêndice K – Gera os gráficos da tensão em função da temperatura para o teste CPV .....	111
Apêndice L – Gera os gráficos da tensão em função da temperatura para o teste CPVT .....	113
Apêndice M – Gera os gráficos da corrente em função da temperatura para o teste NCPV .....	115
Apêndice N – Gera os gráficos da corrente em função da temperatura para o teste CPV .....	117
Apêndice O – Gera os gráficos da corrente em função da temperatura para o teste CPVT .....	119

Apêndice P – Calcula as eficiências elétrica e térmica dos sistemas CPV, NCPV e CPVT .....	121
Apêndice Q – Desenhos para fabricação .....	124
ANEXOS .....	130
ANEXO A – PIRANÔMETRO LI-COR 200R.....	130
ANEXO B – TERMOPARES TIPO K E J (OMEGA).....	131
ANEXO C – SENSOR DE VAZÃO YF-S201 .....	136
ANEXO D – SENSOR DE CORRENTE ACS712.....	137
ANEXO E – SENSOR DE TENSÃO DC 0-25V .....	140
ANEXO F – DATALOGGER CR 1000 .....	143
ANEXO G – BOMBA PERIFÉRICA KSB P500 TNG.....	144

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo dedica-se a fazer uma introdução da temática do projeto, apresentando uma contextualização do problema e os objetivos gerais e específicos do trabalho.

### 1.1 Contextualização

O efeito estufa a nível global ocasiona o aquecimento do planeta Terra, por isso, vários organismos e/ou agências como a Organização das Nações Unidas (ONU) e a Agência Internacional de Energia (IEA) promovem políticas de redução nas emissões de gás carbônico ( $CO_2$ ) – assumido como principal causador do efeito estufa. Nessa perspectiva, a busca de novas tecnologias que utilizam recursos naturais renováveis para geração dos diferentes tipos de energia é fundamental. Do mesmo modo, busca-se aprimorar as tecnologias renováveis já disponíveis; almejando atender a demanda energética do futuro sem aumentar o uso de combustíveis fósseis, ou melhor ainda, diminuindo este. Nessa perspectiva, o Brasil se comprometeu na 26ª Conferência das Nações Unidas sobre mudanças climáticas (COP26) a reduzir as emissões de carbono em 50% até 2030.

No cenário atual, percebe-se que o aumento das emissões de  $CO_2$  está relacionado ao crescimento do consumo de energia. De acordo com a IEA, o consumo de energia em toda a Terra aumentou 2,3% no ano de 2018, sendo que metade deste aumento se deve ao maior consumo de energia elétrica. Analisando a energia térmica, sabe-se que o calor utilizado para aquecimento de água e de espaços em edifícios e processos industriais é responsável por 40% das emissões de  $CO_2$  a nível global. Nesse sentido, o setor industrial contribui com 18,8% e as residências com 4,5% do total das emissões de  $CO_2$  segundo o Ministério das Minas e Energia. Dessa forma, descarbonizar o calor é uma ação desafiadora para a sociedade.

A energia solar que chega no planeta em uma hora é maior que toda a energia consumida por toda Terra em um ano (LEWIS, 2007), por isso, o Sol é um excelente candidato a ser a principal fonte de energia renovável. Não obstante, cientistas e engenheiros enfrentam o desafio de aproveitar a energia solar de forma eficiente. Infere-se que a energia fotovoltaica possui baixa eficiência, porém está em amplo aperfeiçoamento e expansão; por outro lado, a tecnologia heliotérmica ou CSP (*Concentrated Solar Power*) e a tecnologia térmica solar são mais desenvolvidas e antigas do que a fotovoltaica, todavia possuem baixos índices de crescimento nos anos recentes. Nessa perspectiva, o relatório anual *Solar Heat Worldwide 2019* – realizado

pela IEA SHC (*Solar Heat and Cooling Programme*) mostrou que os sistemas híbridos fotovoltaicos térmicos (PVT – *Photovoltaic Thermal*) começaram a ganhar visibilidade.

Os sistemas de concentração fotovoltaica aumentam a eficiência das células solares, atualmente em mais de 45% (PHILIPPS *et al.* 2015). Todavia, esses sistemas requerem sistemas de rastreamento para aproveitar ao máximo a radiação solar direta e demandam resfriamento adequado devido aos altos fluxos de calor que incidem na célula. Outro fator relevante é a iluminação não uniforme, a qual prejudica a performance elétrica das células solares (FRANKLIN *et al.* 2002).

Os sistemas de concentração fotovoltaico térmica (CPVT - *Concentrated Photovoltaic Thermal*) possui como uma de suas principais vantagens a geração de duas formas de energia: energia elétrica e energia térmica. O calor pode ser armazenado em reservatórios térmicos para geração de energia durante a noite ou ser usado em outras aplicações. Além disso, comparado ao sistema fotovoltaico, o sistema CPVT reduz a quantidade de células solares necessárias para gerar uma determinada potência elétrica. Por outro lado, o sistema CPVT possui uma construção e operação mais complicada que o sistema fotovoltaico.

O potencial de energia solar do Brasil é bastante grande, destacando-se a região nordeste do país com o maior grau de radiação solar e a menor variação anual. A radiação média anual do país gira em torno de  $1220$  a  $2400$   $kWh/m^2$ , destacando-se a região da Bahia e o noroeste de Minas Gerais, que representam os picos de radiação do país com valores de  $6,5$   $kWh/m^2/dia$ , principalmente porque há baixa cobertura de nuvens com alta radiação durante grande parte do ano. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - o qual produziu o Atlas Brasileiro de Energia Solar -, a cidade de Brasília faz parte da região denominada de “Cinturão Solar”. Esta região, que vai do Nordeste ao Pantanal, apresenta índices de incidência solar acima da média ao longo do ano. Além disso, as regiões que compõem o cinturão solar apresentam uma estação seca entre os meses de maio e setembro, mitigando os problemas de dias chuvosos e nebulosidade, os quais diminuem a eficiência de aproveitamento do recurso solar. Os valores do Brasil são bastante elevados em relação à média mundial, mas ainda abaixo dos níveis de radiação em algumas regiões do Oriente Médio, Austrália, Chile, Peru e México, que chegam a mais de  $3000$   $kWh/m^2$  (EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2016). A Figura 1.1 apresenta um mapa da irradiação direta normal total anual no Brasil presente no Atlas Brasileiro de Energia Solar, neste mapa fica evidenciada a região do Cinturão Solar com altos índices de irradiação direta normal.

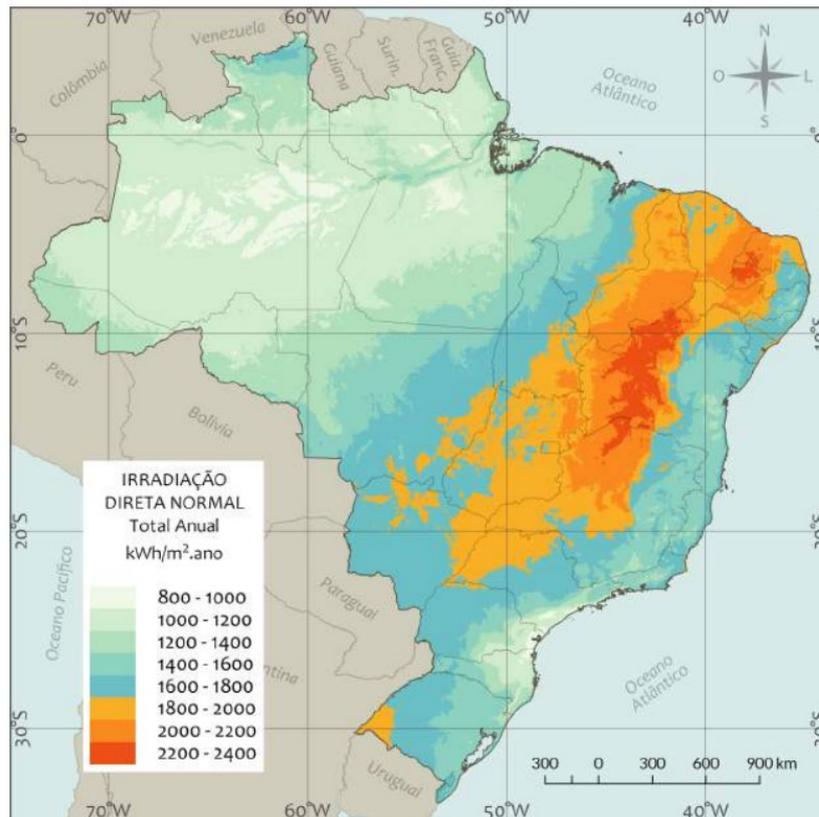


Figura 1. 1 - Mapa do total anual de irradiação solar direta normal com destaque para região do Cinturão Solar.

Fonte: PEREIRA et al. (2017).

Nesse contexto, infere-se que sistemas híbridos fotovoltaicos térmicos com concentração solar apresentam desafios construtivos para o absorvedor, pois deseja-se que este tenha isolamento elétrico na superfície e boa condutividade térmica para dissipação do calor. Por outro lado, não se sabe se as células fotovoltaicas convencionais têm seu comportamento térmico compatível em sistemas CPVT. Diante dessas questões, definiu-se os objetivos deste trabalho.

## 1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como principais objetivos: a definição de materiais para um duto de um absorvedor fotovoltaico térmico, a medição e análise de desempenho em um protótipo de sistema fotovoltaico térmico com concentração solar, comparando-o com outros sistemas (sem concentração solar e com concentração solar, mas sem fluido térmico).

Nesse sentido, dentre os desafios para fabricação de um absorvedor fotovoltaico térmico, encontra-se o de determinar um material para o duto que seja isolante elétrico – a fim de evitar curto circuito com as células fotovoltaicas – e bom condutor de calor – para conseguir dissipar a energia solar concentrada com eficácia, mantendo a temperatura das células dentro dos limites operacionais.

Para a análise de desempenho do sistema CPVT, pretende-se medir os parâmetros de tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ), temperatura da célula ( $T_{célula}$ ), irradiância global horizontal ( $GHI$ ), vazão de fluido térmico ( $Q$ ) e temperaturas na entrada e saída do fluido no duto ( $T_{entrada}$ ,  $T_{saída}$ ) para análise do protótipo. Para isso, foram conduzidos experimentos na cidade de Brasília – DF, mais precisamente no Laboratório de Energia e Ambiente (LEA) da Universidade de Brasília (UnB) entre os dias 23/11/2023 e 30/11/2023 das 12h às 14h.

### 1.3 Estrutura do Trabalho

O relatório deste trabalho foi organizado em sete capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Referencial Teórico, Modelagem e Simulação, Fabricação do Protótipo e Procedimentos Experimentais, Resultados e Análise, Conclusões. Os assuntos abordados em cada capítulo são apresentados abaixo:

- **Introdução:** apresenta uma contextualização sobre as principais tecnologias de aproveitamento do recurso solar e mostra quais os objetivos deste trabalho.
- **Revisão Bibliográfica:** realiza-se uma análise dos trabalhos já produzidos sobre o tema Sistemas Híbridos Fotovoltaicos Térmicos Com Concentração Solar Linear Fresnel, apresentando a evolução histórica do tema e fazendo uma análise dos trabalhos mais relevantes.
- **Referencial Teórico:** apresenta conceitos teóricos relevantes sobre radiação solar e as formas de conversão da energia solar.
- **Modelagem e Simulação:** neste capítulo, apresenta-se a modelagem e simulação do protótipo de sistema CPVT com lente Fresnel com os objetivos de determinar o fator de concentração solar produzido pela lente e a uniformidade da iluminação em função do posicionamento da placa fotovoltaica.

- **Fabricação do Protótipo e Procedimentos Experimentais:** apresenta-se como o protótipo de sistema CPVT foi elaborado e os procedimentos experimentais para a análise de desempenho.
- **Resultados e Análise:** são apresentados gráficos com os resultados obtidos experimentalmente e realiza-se uma análise desses resultados, comparando sistemas de concentração solar (CPV e CPVT) com sistemas fotovoltaicos tradicionais sem concentração (NCPV).
- **Conclusões:** é apresentado neste capítulo as conclusões obtidas sobre os experimentos realizados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Faz-se neste capítulo uma revisão dos trabalhos já existentes sobre dois temas: sistemas híbridos fotovoltaicos com concentração por refletores linear Fresnel e sistemas híbridos fotovoltaicos com concentração solar por lentes Fresnel. As bases *Scopus*, *Web of Science* (WoS) e *Periódicos CAPES* foram utilizadas na busca de artigos sobre os temas. Para a organização dos arquivos obtidos, foram usados os softwares *Excel* e *VOSviewer*. O Excel foi usado na análise quantitativa, ou seja, identificação e eliminação dos artigos duplicados, organização da quantidade de artigos por ano de publicação e identificação da quantidade de trabalhos por autor. Por outro lado, o *VOSviewer* foi usado na análise qualitativa - geração de redes e mapas de calor acerca das palavras-chaves e grupos de autores.

### 2.1 Termos de buscas (palavras-chaves)

Uma etapa crucial para executar uma revisão sistemática bibliográfica é a escolha das palavras chaves juntamente com os operadores lógicos. Nessa perspectiva, as palavras chaves são consideradas boas quando retornam artigos com temáticas semelhantes ao projeto em estudo. Assim sendo, a temática deste projeto é a medição e análise de um sistema fotovoltaico térmico com concentradores linear Fresnel, então, definiu-se termos de pesquisa que provavelmente retornariam artigos relacionados a essa temática.

Após algumas tentativas iniciais de pesquisa, os seguintes termos e operadores lógicos foram utilizados na base de dados da *CAPES*: (“*Concentrating Photovoltaic*” OR “*CPV*”) AND (“*Cooling*” OR “*Refrigeration*” OR “*Thermal*”) AND (“*Linear Fresnel Lens*” OR “*Fresnel Lens*”). O retorno obtido para essa entrada foi de 69 artigos.

Nas bases *Scopus* e *Web of Science*, foram utilizados os seguintes operadores lógicos: (“*LINEAR FRESNEL REFLECTOR*” OR “*LFR*” OR “*CLFR*”) AND (“*CPVT*” OR “*CONCENTRA\*SYSTEM\**” OR “*CPC*” OR “*CONCENTRA\*PHOTOVOLTAIC\*THERMAL\**” OR “*CPV?T*” OR “*LCPV?T*” OR “*CPVT*” OR “*LCPVT*” OR “*CPV/T*” OR “*LCPV/T*” OR “*PHOTOVOLTAIC\*THERMAL\**” OR “*CONCENTR\*HYBRID PV?THERMAL*” OR “*HYBRID P\*T\**”). O retorno obtido para essa entrada foi de 64 artigos na *Scopus* e 39 artigos na *Web of Science*. Excluindo os artigos duplicados, obteve-se 66 artigos para a análise bibliométrica.

## 2.2 Resultados (CAPES)

Analisando os 69 artigos obtidos, nota-se que todos estão relacionados a concentração solar fotovoltaico térmica linear Fresnel (com lentes ou refletores). O artigo pioneiro foi o publicado por (CHENLO e CID, 1987), e neste artigo foram analisados os efeitos da não uniformidade da iluminação e temperatura na eficiência de células fotovoltaicas sob concentração solar com lentes Fresnel.

Ademais, percebe-se que mais de 95% dos trabalhos sobre o assunto foram produzidos no século XXI e a maior quantidade de artigos sobre o assunto (oito artigos) foi publicada em 2021, revelando a grande importância do assunto no cenário atual. A Figura 2.1 apresenta a evolução histórica do tema ao longo dos anos.

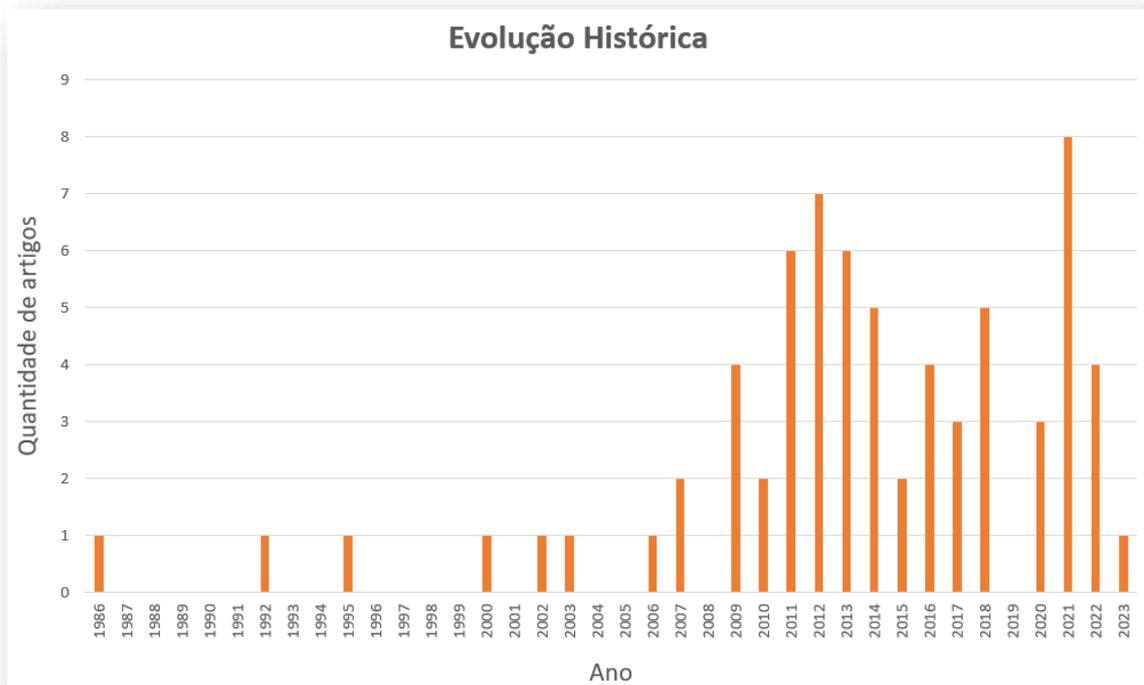


Figura 2. 1 - Quantidade de artigos publicados ao longo do tempo.

Por outro lado, a Figura 2.2 apresenta as palavras-chave mais recorrentes nos artigos analisados, sendo que a palavra “*photovoltaic*” foi a mais recorrente, aparecendo 42 vezes e a palavra menos recorrente foi “*fresnel*”, aparecendo 16 vezes.

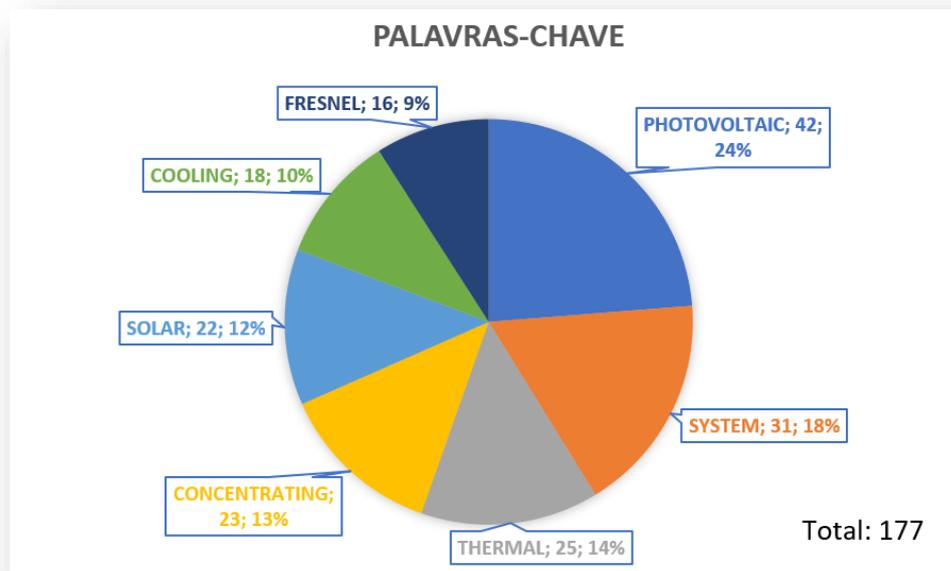


Figura 2. 2 - Palavras-chave sobre o assunto.

Analisando as publicações que fizeram trabalhos experimentais sobre sistemas com concentração por lentes linear Fresnel, destaca-se que (MATEOS-CANSECO *et al.* 2018) comparou o fluxo de irradiação solar concentrado em uma superfície obtido com o *Tonatiuh* (*software* livre que traça os raios solares em sistemas com concentração) com o fluxo medido experimentalmente. Para isso, os autores modelaram uma lente Fresnel no *Tonatiuh* como material refratário; as principais características da lente são: foco de 220 mm, área ativa 267x267 mm, transmissividade 0,92 e a superfície analisada está a 15 mm abaixo do foco. Ademais, infere-se que os experimentos foram feitos na cidade de Aguascalientes, México. A Figura 2.3 apresenta a simulação computacional das lentes Fresnel no *Tonatiuh* e a Figura 2.4 apresenta o aparato experimental montado para obter experimentalmente o fluxo e irradiação.

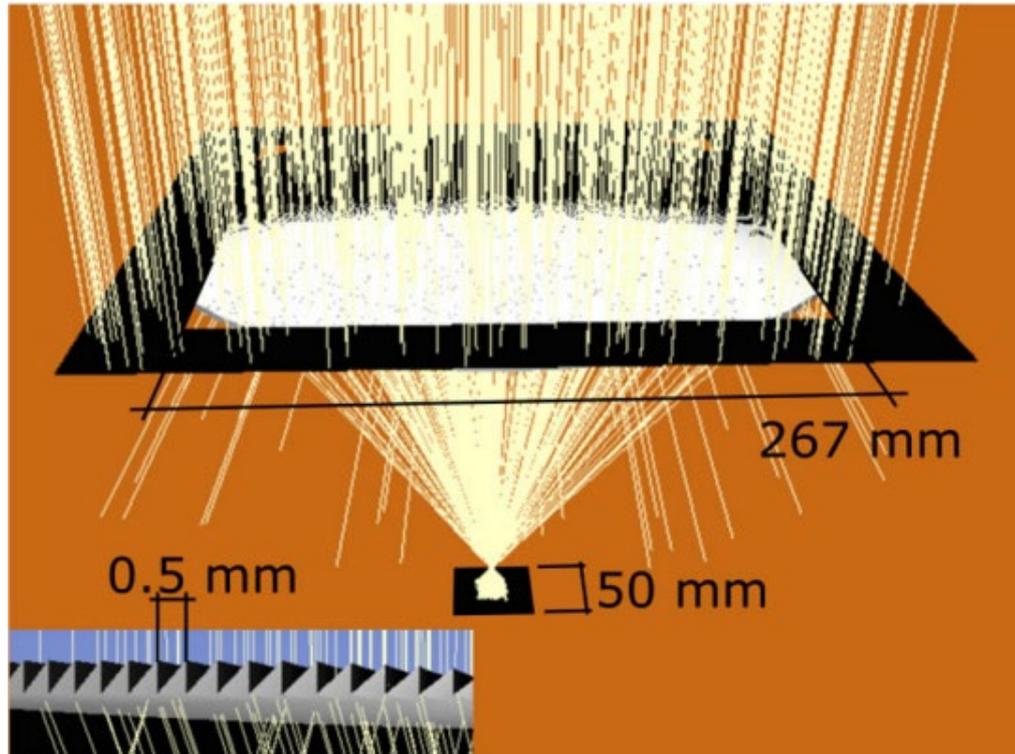


Figura 2. 3 - Lentes Fresnel implementada com Tonatiuh.

Fonte: MATEOS-CANSECO et al. (2018).

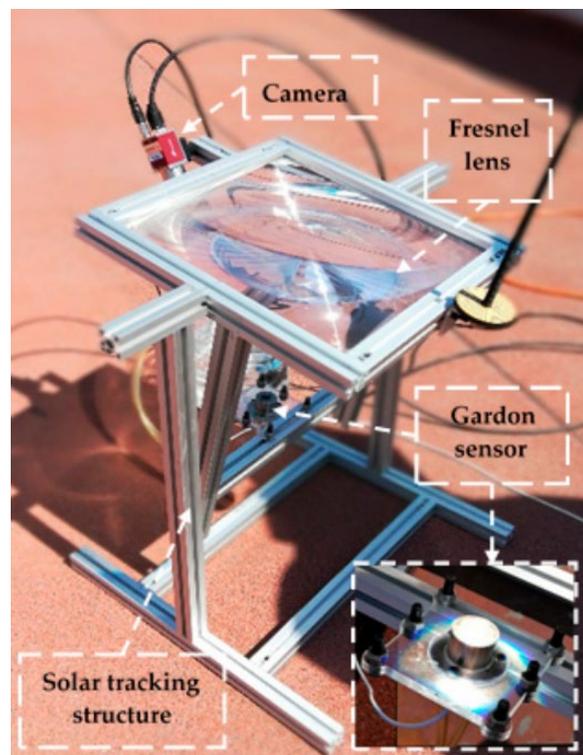


Figura 2. 4 - Aparato Experimental para obtenção do fluxo de irradiação.

Fonte: MATEOS-CANSECO et al. (2018).

Os mapas de irradiação obtidos por (MATEOS-CANSECO *et al.* 2018) mostram que a superfície real apresenta uma distribuição de irradiância heterogênea quando comparada à superfície simulada no *Tonatiuh*. Não obstante, os valores de potência total, fluxo médio e fluxo máximo estão em boa concordância. A Figura 2.5 apresenta uma comparação entre os resultados experimentais e os resultados obtidos com a simulação no *Tonatiuh*.

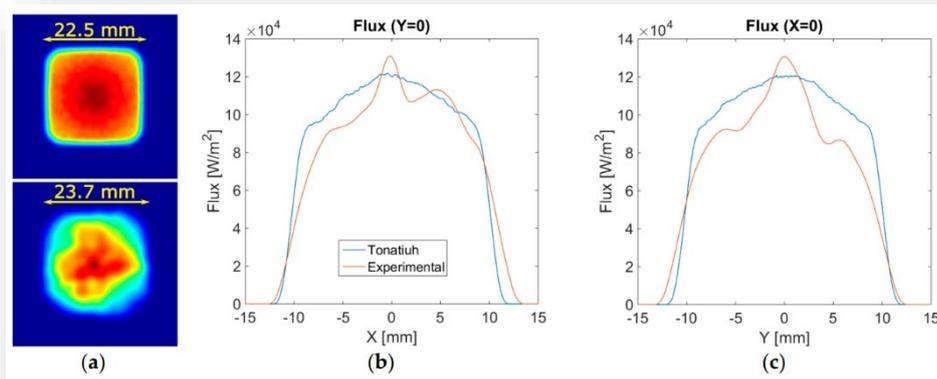


Figura 2. 5 - Comparação entre os fluxos de irradiação (*Tonatiuh* x Experimental).

Fonte: MATEOS-CANSECO *et al.* (2018).

Uma comparação direta na performance de sistemas fotovoltaicos com concentração e sem concentração foi feita na publicação “*Deciding between concentrated and non-concentrated photovoltaic systems via direct comparison of experiment with opto-thermal computation*” de (SHARMA e BHATTACHARYA, 2021). Os autores utilizaram neste trabalho células de Gálio Arsênio (GaAs), as quais foram colocadas acima do foco para uma concentração mais uniforme dos raios e resfriadas com água. Os dados experimentais – irradiação normal direta (DNI), temperatura, tensão elétrica e corrente - foram adquiridos no dia 20/01/2021 de 10 as 15h na cidade de Kanpur, Índia. A Figura 2.6 apresenta o aparato experimental montado no trabalho.

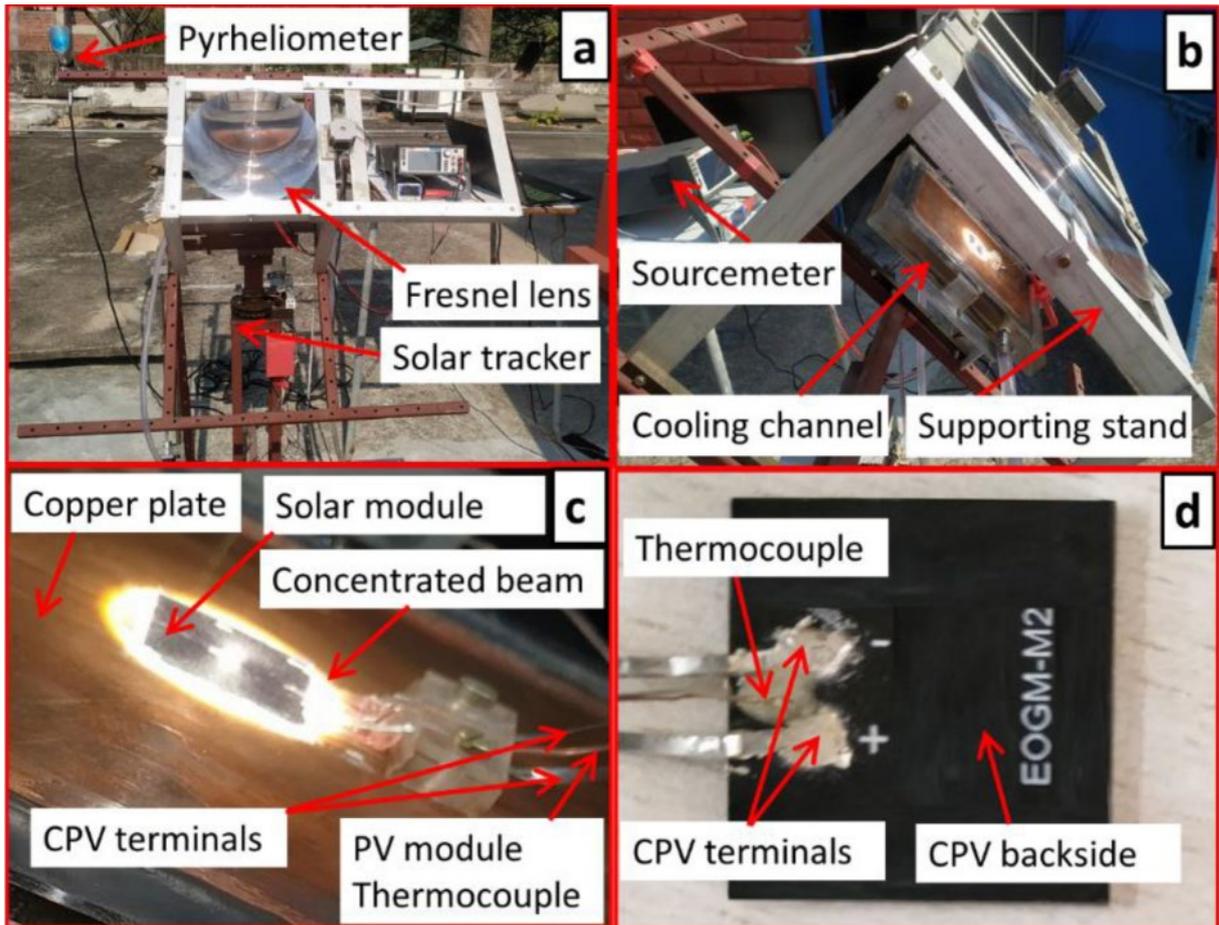


Figura 2. 6 - Aparato experimental para análise de sistema CPV.

Fonte: SHARMA e BHATTACHARYA (2021).

Os principais resultados obtidos por SHARMA e BHATTACHARYA mostram que: a potência de saída aumenta com o fator de concentração solar e o uso de sistemas fotovoltaicos com concentração solar é justificado somente para valores de DNI acima de um limite. Este valor depende essencialmente das eficiências elétrica do sistema com e sem concentração. A Figura 2.7 apresenta a potência elétrica de sistemas fotovoltaicos com e sem concentração em função da irradiação direta incidente considerando a eficiência nominal do sistema com concentração igual a 40% e a eficiência nominal do sistema sem concentração igual a 20%. A partir dela, infere-se que o valor crítico de DNI é igual a  $280 \text{ W/m}^2$ ; logo, nesse caso, o uso de concentração solar só é recomendado para valores de DNI superiores a esse considerando somente o aspecto energético. Por outro lado, a Figura 2.8 apresenta o aumento da potência elétrica de saída com o aumento da concentração solar.

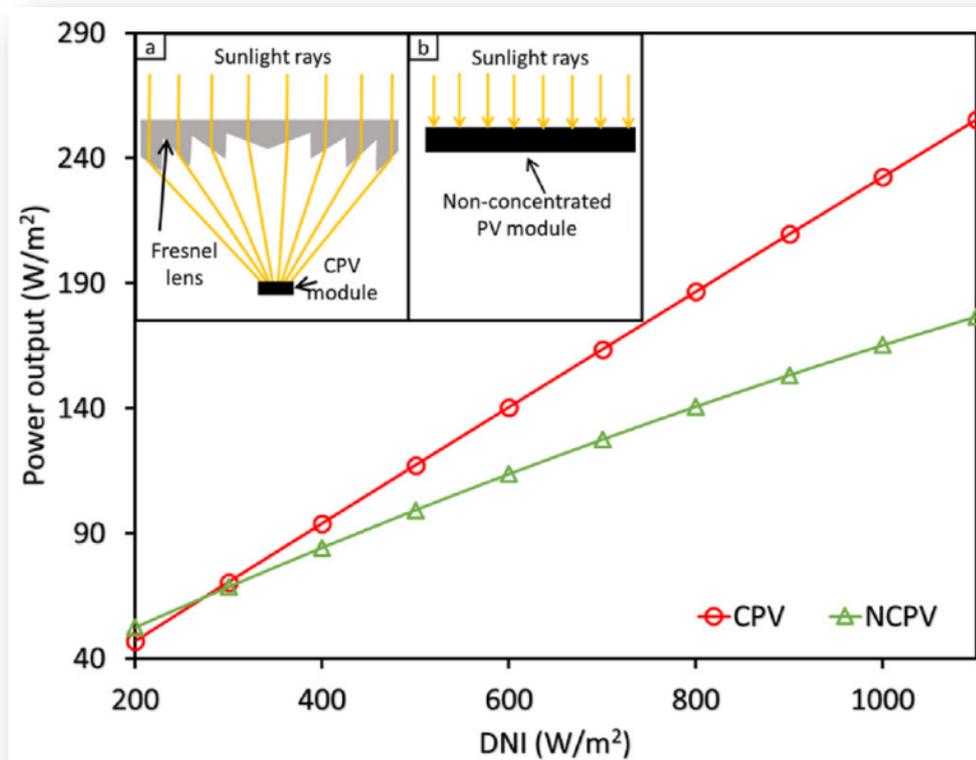


Figura 2. 7 - Potência de saída x DNI de sistemas com concentração (CPV -  $\eta_{el} = 40\%$ ) e sem concentração (NCPV -  $\eta_{el} = 20\%$ ).

Fonte: SHARMA e BHATTACHARYA (2021).

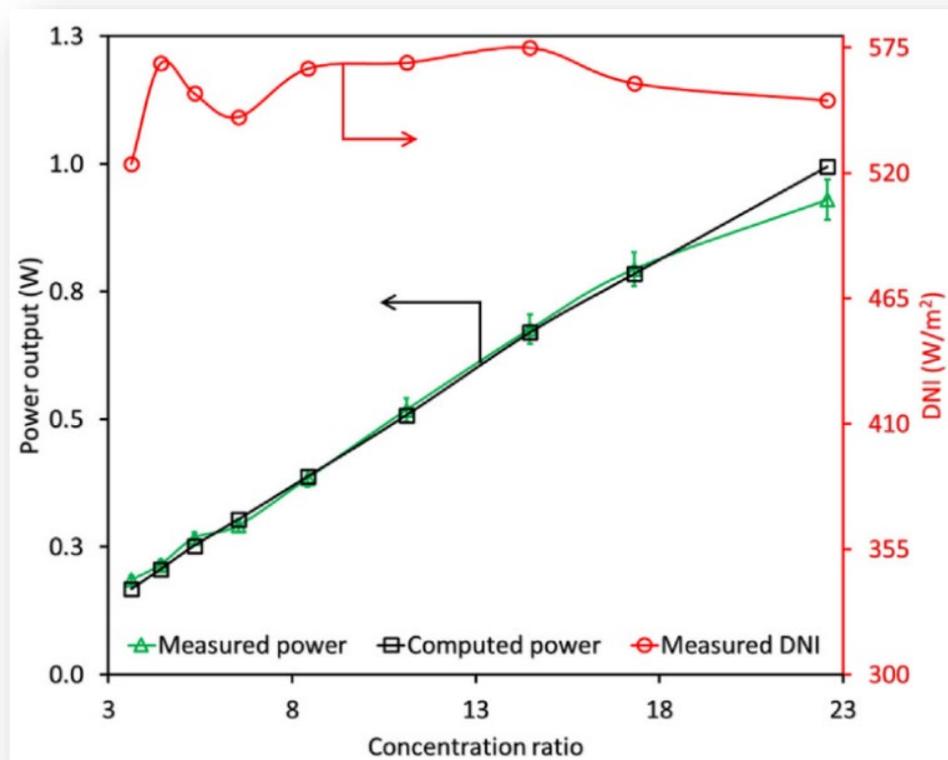


Figura 2. 8 - Efeito da concentração solar na potência de saída do sistema CPV.

Fonte: SHARMA e BHATTACHARYA (2021).

A publicação “*Experimental study on active cooling for concentrating photovoltaic cells working at high concentration ratios*” de (WU *et al.* 2021) investigou experimentalmente o comportamento elétrico e térmico de sistema com concentração fotovoltaica para valores altos de concentração solar. O tipo de célula utilizada neste trabalho foi uma célula tripla junção (InGaP/InGaAs/Ge) e os dissipadores de calor são de alumínio e resfriados passivamente (ar) ou ativamente (água). Além disso, vários modelos de dissipadores foram testados e o sistema possui um concentrador secundário. Os experimentos foram realizados na cidade de Shenzhen City, China nos dias 21/06/2019 (*Summer Solstice - SS*) e 24/10/2019 (*Frost Descent - FD*). A Figura 2.9 apresenta o aparato experimental utilizado neste trabalho.

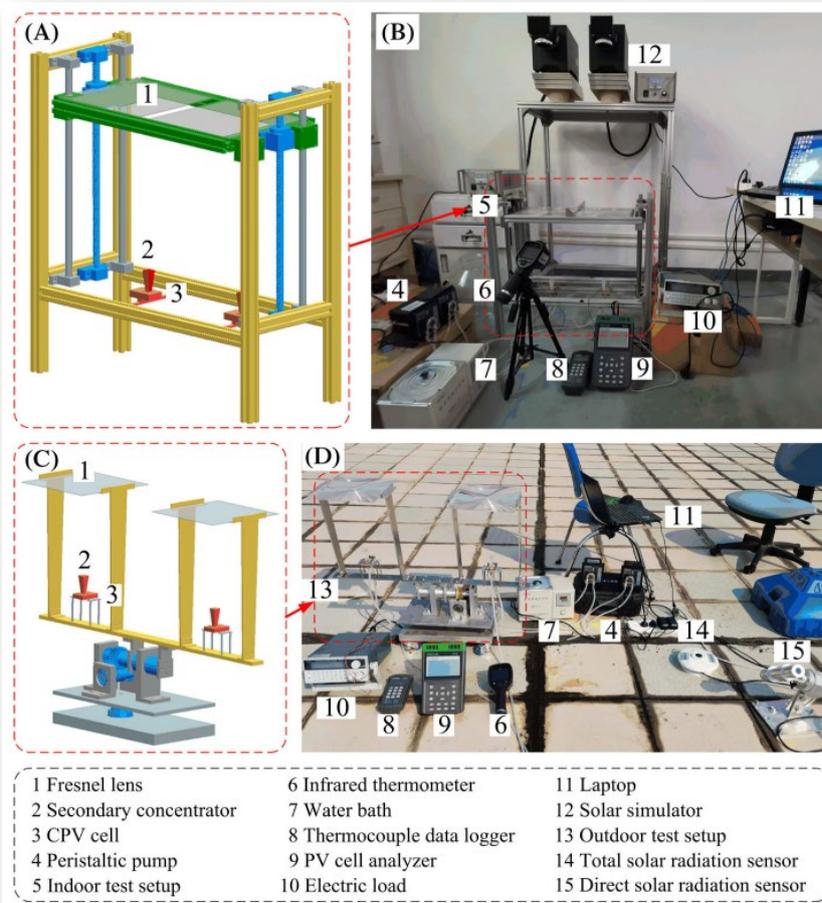


Figura 2. 9 - Sistema experimental com concentração fotovoltaico térmica.

Fonte: WU et al. (2021).

Neste trabalho, os autores variaram a vazão de água de 7,5 a 35 mL/min e temperatura de entrada da água entre 30 e 45°C. Como resultado, eles concluíram que aumentar a vazão ou reduzir a temperatura de entrada do fluido reduz significativamente a temperatura máxima da célula e aumenta levemente a potência de saída. Ademais, eles perceberam que o resfriamento passivo não é suficiente para manter a temperatura da célula a níveis aceitáveis (abaixo de 80°C). A Figura 2.10 compara os valores de eficiência elétrica e térmica para diferentes tipos de dissipadores de calor com vazão de 22 mL/min e temperatura de entrada de 30°C, a partir dela, recomenda-se que um trocador de calor com área de resfriamento igual a área da célula (tipo B) seja utilizado.

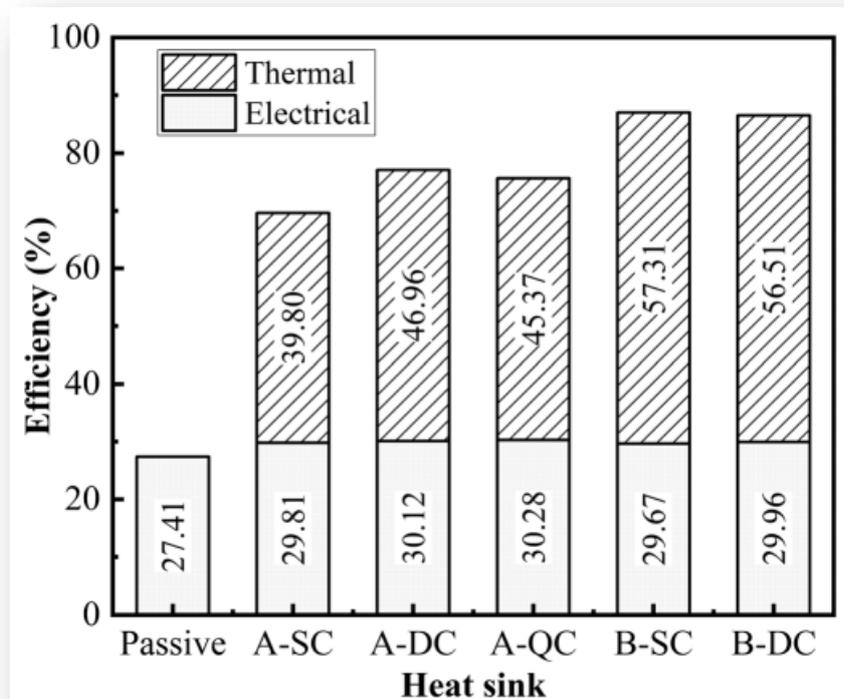


Figura 2. 10 - Sistema experimental com concentração fotovoltaico térmica.

Fonte: WU et al. (2021).

### 2.3 Resultados (*Scopus e Web of Science*)

Analisando os 66 artigos obtidos, percebe-se que todos estão relacionados a sistemas térmicos com concentração solar por refletor linear Fresnel. Além disso, nota-se que o artigo mais antigo é o publicado por (Gordon, 1991); este trabalho foi feito em Israel fortemente influenciado pelas questões climáticas - clima desértico - e geopolítica da região - guerra com países vizinhos -, fazendo com que Israel buscasse uma independência na sua matriz energética.

Ainda sob a perspectiva histórica, o primeiro trabalho com uso de refletores linear Fresnel em sistemas CPVT se deu no trabalho de (Sharan e Kandpal, 1992); no artigo “*Testing of a prototype combined photovoltaic-thermal linear fresnel concentrator-receiver system*”, os autores mostram resultados de alguns experimentos em um sistema fotovoltaico térmico composto por concentrador linear Fresnel e absorvedor formado por canal retangular com células solares.

Após esses anos, passou-se mais de uma década para os trabalhos sobre concentração solar na geração de energia elétrica voltarem a ser produzidos. Tal fato deve-se a principalmente a queda do preço do petróleo nos anos 90. Não obstante, de 2011 em diante, o tema voltou a ser

objeto de estudo devido ao compromisso dos países em reduzir o efeito estufa, fazendo-os buscar fontes alternativas de energia como o sistema CPVT. A Figura 2.11 mostra a evolução histórica do tema ao longo do tempo, e dela infere-se que mais de 95% das publicações foram produzidas na última década, revelando que este assunto é importantíssimo no cenário atual.

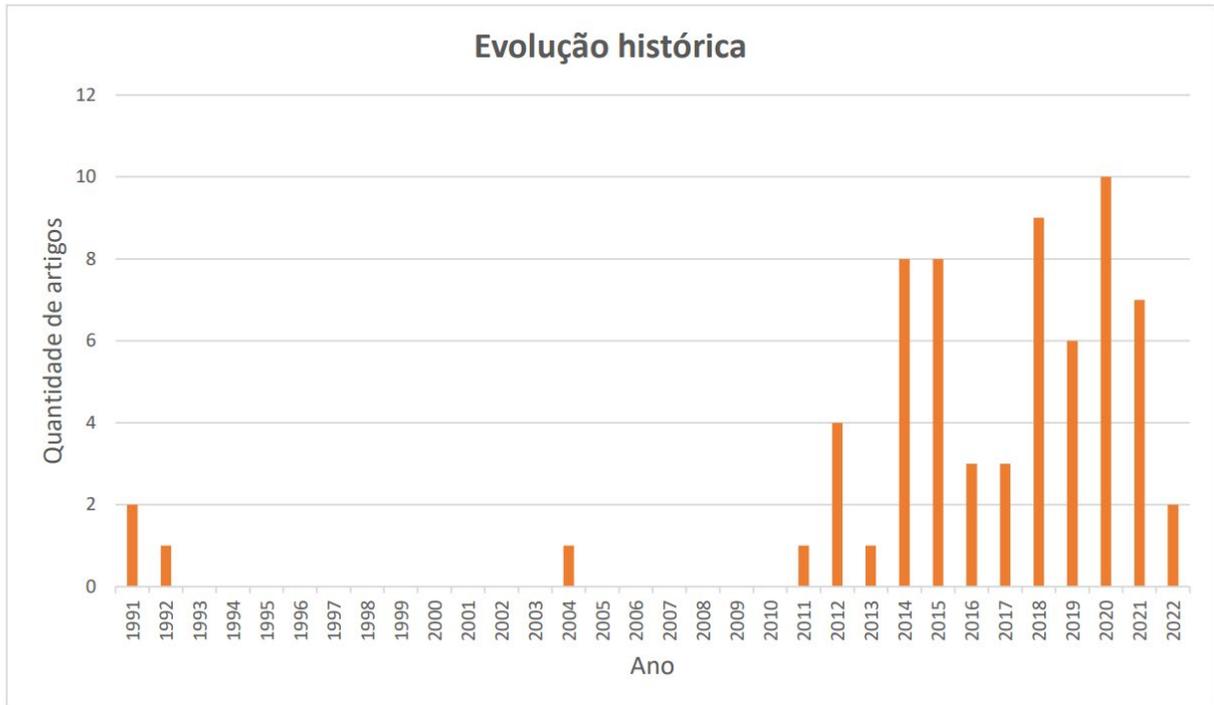


Figura 2. 11 - Quantidade de artigos publicados ao longo do tempo.

A análise qualitativa permitiu avaliar quais as palavras chaves presentes na maior parte das publicações e listar quais autores produziram mais trabalhos sobre o tema. Desse modo, obteve-se que 176 autores e coautores elaboraram as 66 publicações. A Figura 2.12 apresenta as palavras chaves mais recorrentes nos artigos e a relação entre elas, enquanto a Figura 2.13 mostra um mapa de calor dos autores e coautores e a ligação entre eles. Ademais, a Tabela 2.1 mostra quais os autores que mais produziram conteúdo sobre o tema.

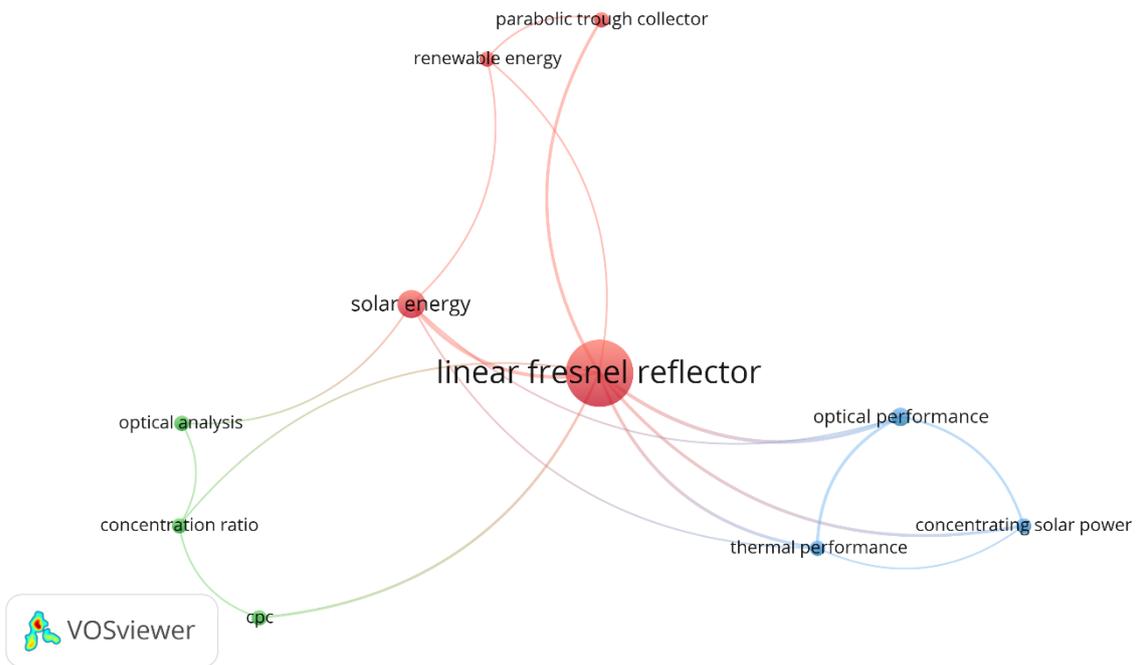


Figura 2. 12 - Palavras-chave do assunto concentração solar por linear Fresnel.

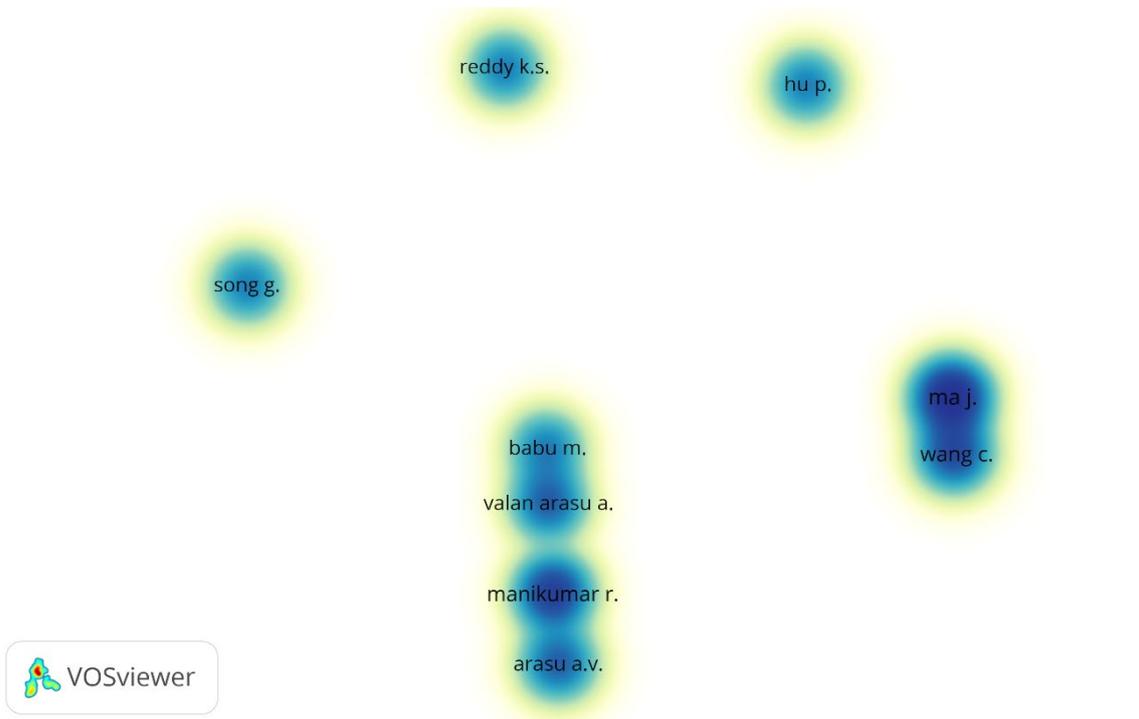


Figura 2. 13 - Autores e coautores que mais produziram sobre concentração solar por linear Fresnel.

Tabela 2. 1 - Autores com mais publicações sobre concentração solar por linear Fresnel.

Autor	Quantidade de Publicações
Wang, Chenglong	8
Ma, Jing	7
Manikumar R.	7
Chen, Zeshao	5
Babu, M.	3

Analisando as publicações que analisaram de forma experimental sistemas com concentração linear Fresnel, destaca-se que (Lecœuvre *et al.* 2020) analisaram um sistema de placas duplas, onde em uma face da placa estava o espelho para concentração solar e na outra face o módulo fotovoltaico policristalino. Neste trabalho os autores determinaram a energia recebida pelo absorvedor de três maneiras: sem considerar o desvio solar, considerando o desvio solar e considerando o efeito de sombreamento. A Figura 2.14 mostra o sistema montado pelos autores. O gráfico da Figura 2.15 mostra a energia anual recebida, nota-se que as perdas devido ao desvio solar são significativas (20,9%). Outro dado importante dessa publicação é a temperatura no tanque de armazenamento: 60 a 70°C.



Figura 2. 14 - Refletores linear Fresnel com placas duplas.

Fonte: Lecœuvre *et al.* (2020).

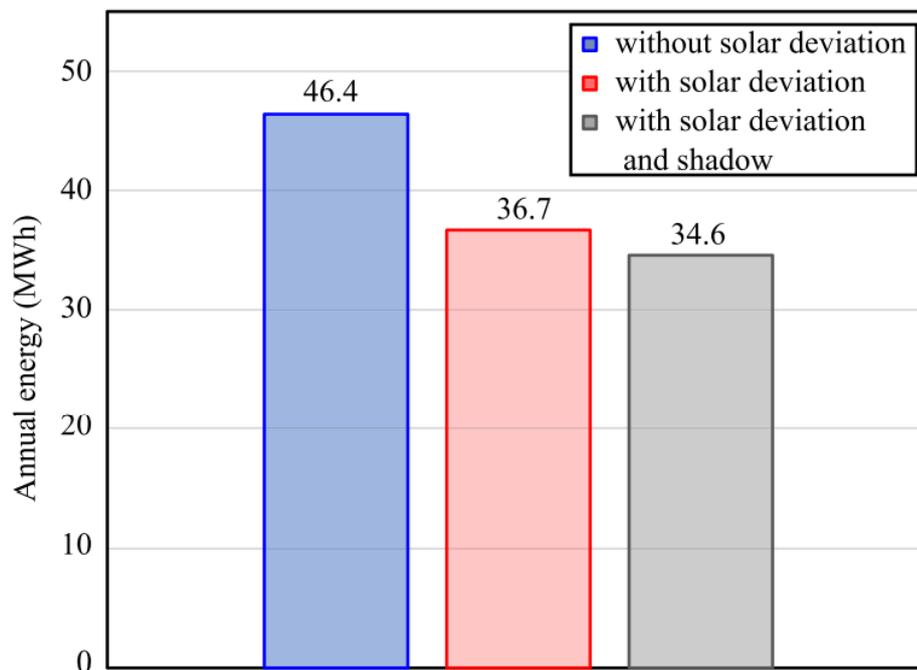


Figura 2. 15 - Energia anual recebida pelo absorvedor. Azul: sem considerar desvio solar, vermelho: considerando desvio solar, cinza: considerando desvio solar e sombreamento.

Fonte: Fonte: Lecoeuvre *et al.* (2020).

Na publicação “*Experimental investigation of the daily performance of an integrated linear Fresnel reflector system*”, (Bellos *et al.* 2018) analisaram um sistema de concentração solar com refletores linear Fresnel montado em Atenas, Grécia - a Figura 2.16 mostra este sistema. Vale destacar que foram escolhidos quatro dias do ano para análise do sistema entre junho e agosto - verão no hemisfério norte. Neste artigo, os autores validaram um modelo matemático a partir dos resultados experimentais - o gráfico da Figura 2.17 mostra a energia armazenada em função da hora do dia, comparando os dados experimentais com os dados calculados. Além disso, vale destacar que os autores obtiveram uma eficiência ótica de 28,4% e até 100°C de temperatura usando água como fluido de trabalho.



Figura 2. 16 - Coletor solar linear Fresnel montado em Atenas, Grécia.

Fonte: Bellos *et al.* (2018).

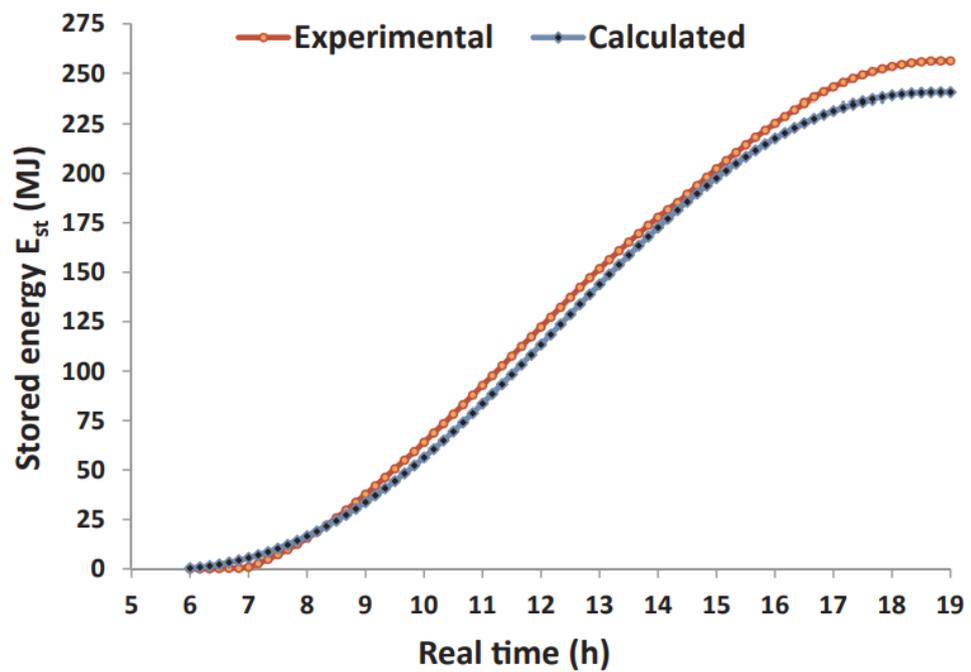


Figura 2. 17 - Energia armazenada ao longo do dia.

Fonte: Bellos *et al.* (2018).

A publicação “*An experimental implementation and testing of a concentrated hybrid photovoltaic/thermal system with monocrystalline solar cells using linear Fresnel reflected mirrors*” de (Gomaa, 2019) analisa um sistema híbrido fotovoltaico térmico de concentração solar linear Fresnel montado em Al-Karak, Jordânia. Neste trabalho, destaca-se que a coleta de dados foi feita entre julho e agosto em três dias de céu limpo. Na coleta de dados, foram medidas a temperatura ambiente e as temperaturas de entrada e saída do fluido de refrigeração das células fotovoltaicas (água). Além disso, o desempenho elétrico das células fotovoltaicas foi avaliado a partir da curva corrente voltagem. Em suma, os autores obtiveram nesse trabalho uma eficiência ótica de 70-90%, temperatura máxima da água de 74°C e eficiência combinada (térmica e elétrica) próximas de 80%. A Figura 2.18 mostra o protótipo montado e o gráfico presente na Figura 2.19 compara as eficiências elétrica, térmica e combinada.

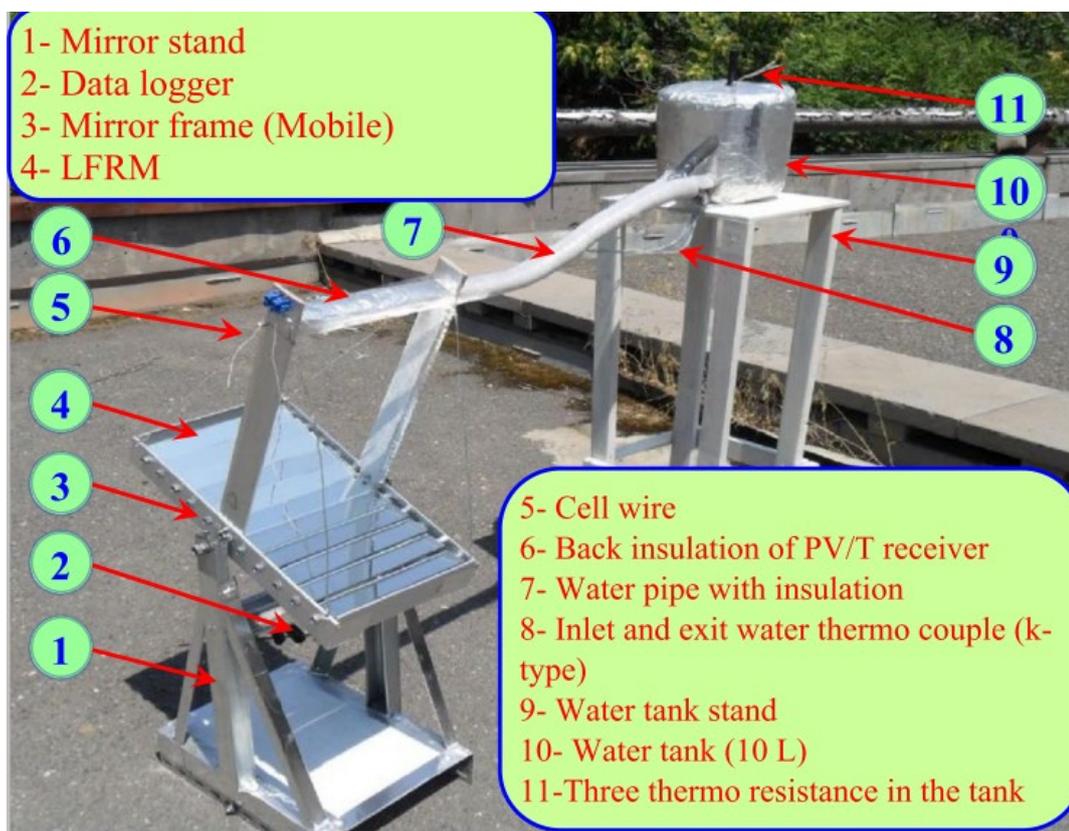


Figura 2. 18 - Protótipo de sistema híbrido fotovoltaico térmico com concentrador linear Fresnel montado em Al-Karak, Jordânia.

Fonte: Gomaa *et al.* (2019).

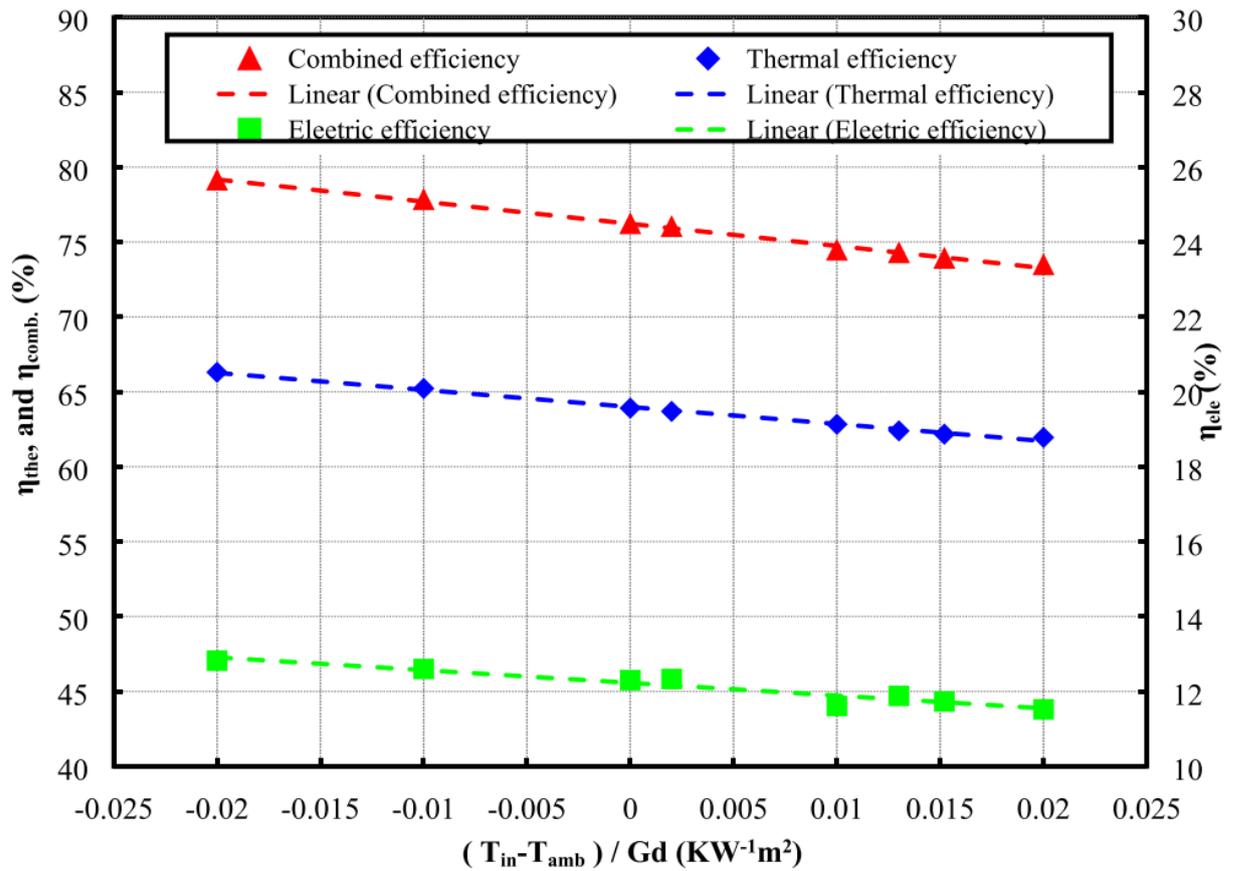


Figura 2. 19 - Gráfico com as eficiências térmica, elétrica e combinada.

Fonte: Gomaa *et al.* (2019).

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Para uma melhor compreensão do trabalho desenvolvido, conceitos teóricos relevantes sobre o assunto serão apresentados nesta seção. Começando com os conceitos sobre irradiação solar, e, posteriormente, serão abordados conceitos sobre as formas de conversão da energia solar. Além disso, utilizou-se como base para elaboração desta seção a obra “Energia Solar: Fundamentos Tecnologia e Aplicações” de (VIAN et al. 2021).

#### 3.1 Radiação Solar

A energia solar é toda energia irradiada pelo Sol, seja em forma de luz visível ou não. Nesse contexto, a constante solar é entendida como a irradiância que uma superfície imediatamente fora da atmosfera terrestre e perpendicular ao Sol recebe, o valor dessa constante é de aproximadamente  $1353 \text{ W/m}^2$ . Desse modo, a energia que atinge a superfície terrestre é diferente da emanada pelo Sol devido aos fenômenos de absorção, reflexão e difusão que ocorrem durante a travessia dos raios solares na atmosfera. Assim sendo, o fluxo radiante que atinge a superfície da Terra e pode ser capturado por um receptor adequado é formado por três componentes:

- **Radiação direta (DNI – *Direct Normal Irradiance*):** é a componente que atravessa a atmosfera e alcança o receptor.
- **Radiação difusa (DHI – *Diffuse Horizontal Irradiance*):** é a componente que é gerada pela interação com moléculas na atmosfera (nuvens, poeiras, gases).
- **Radiação refletida (albedo):** é a componente que tendo atingido o solo ou outros objetos é refletida para o receptor.

A soma dessas três componentes forma a radiação global (GHI – *Global Horizontal Irradiance*) que incide em uma superfície. Em dias de céu claro, cerca de 70% da radiação global é formada por radiação direta, 15% por radiação difusa e 15% por albedo. Ademais, é importante destacar a diferença entre irradiância e radiação: irradiância refere-se à potência por unidade de área ( $\text{W/m}^2$ ), enquanto radiação refere-se a energia solar incidente durante um período de tempo ( $\text{Wh/m}^2$ ). A Figura 3.1 apresenta as três componentes da radiação solar.

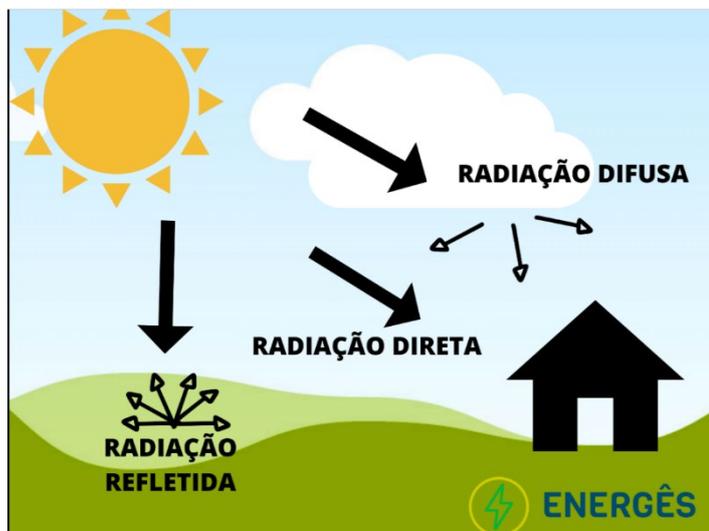


Figura 3. 1 - Radiação direta, difusa e refletida.

Fonte: Energês (2020).

Além disso, infere-se que a radiação solar incidente em uma superfície depende de vários fatores: posição geográfica, estação do ano, hora do dia, posição da superfície coletora, condições locais e condições climáticas. Em relação a posição geográfica, próximo do equador os raios solares vão incidir de forma ortogonal; enquanto isso, nas regiões polares, os raios nunca serão perpendiculares. A estação do ano representa a proximidade do Sol à Terra e quanto mais próximo, maior a irradiação. A exposição da Terra ao Sol varia com a rotação e inclinação do planeta, o que também define as horas do dia. A orientação da superfície coletora, idealmente, deve estar perpendicular aos raios solares para garantir a incidência máxima. As condições locais afetam no sombreamento (árvores, prédios, postes) e as condições climáticas afetam na radiação recebida (nuvens, umidade, densidade do ar).

### 3.2 Ângulos Solares

A posição do Sol relativa a um ponto na Terra é definida pelos ângulos solares: azimute ( $\alpha$ ), elevação ( $El$ ) ou zênite ( $\theta$ ). O azimute é o ângulo horizontal entre o norte geográfico e o ponto exatamente abaixo do Sol, percorrido no sentido anti-horário; a elevação é o ângulo vertical entre a direção do Sol e o plano horizontal; e o ângulo de zênite é o ângulo complementar ao ângulo de elevação, compreendido entre a posição de zênite e o Sol. Além disso, infere-se que os ângulos solares dependem basicamente da localização geográfica do observador na Terra, da data e da hora do dia. A Figura 3.2 apresenta os ângulos solares de zênite e azimute.

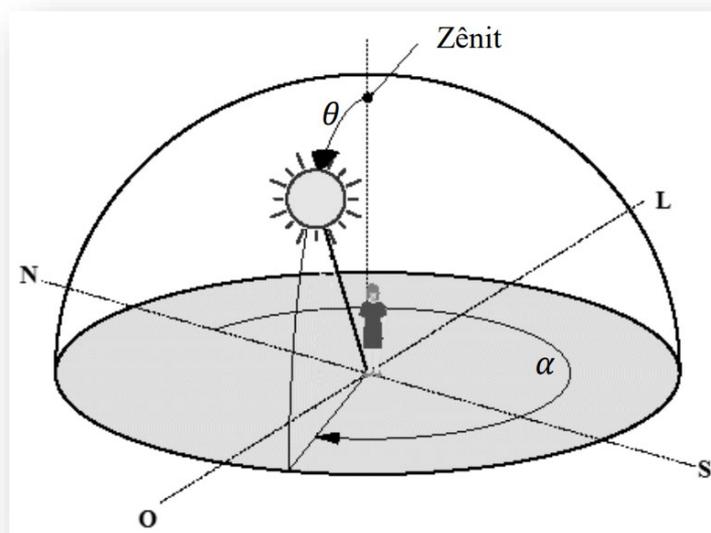


Figura 3. 2 - Ângulos solares de zênite ( $\theta$ ) e azimute ( $\alpha$ ).

Fonte: QUASCHNING (2003).

### 3.3 Conversão da Energia Solar

A utilização da energia solar se baseia em métodos de captação da energia solar térmica ou luminosa e sua transformação em outras formas de energia. As principais tecnologias de conversão da energia solar são: solar térmica, solar termodinâmica e solar fotovoltaica.

A conversão solar térmica consiste no uso de coletores solares que usam a energia térmica do Sol para produzir água quente, a qual é armazenada em reservatórios térmicos para utilização em instalações hidráulicas, aplicações residenciais, comerciais ou industriais. Nessa perspectiva, estudos mostram que o retorno do investimento energético para esses sistemas se dá em um período muito curto comparado à vida útil dessas instalações. A Figura 3.3 apresenta um coletor solar plano usado em uma aplicação residencial.



Figura 3. 3 - Coletor solar plano em aplicação residencial.

Fonte: Sociedade do Sol (2020).

Por sua vez, a tecnologia solar termodinâmica dispõe de coletores solares que utilizam a energia térmica do Sol para produzir fluido a altas temperaturas, utilizando-os em processos termodinâmicos clássicos (ciclos Brayton, Rankine, Stirling). Para produzir fluido em altas temperaturas, esses sistemas utilizam tecnologias de concentração solar; e, há duas formas principais de concentrar a luz solar: com refletores ou lentes, ambos concentram os raios solares em um ponto focal ou uma linha focal. Os fluidos mais comuns nesses sistemas são: água, ar, óleos térmicos e sais fundidos. Ademais, é fundamental que esses sistemas acompanhem a posição do Sol ao longo do dia, por meio de um sistema de rastreamento, a fim de concentrar a radiação solar direta (DNI) no foco ou linha focal. A Figura 3.4. apresenta a concentração dos raios solares por lente e refletores Linear Fresnel, enquanto a Figura 3.5 apresenta vários tipos de concentrador solar (Refletor Linear Fresnel - LFR, Refletor Calha Parabólica, lente com foco em linha, lente com foco pontual, etc.), e a Figura 3.6 apresenta a tecnologia de concentração com disco parabólico e motor Stirling.

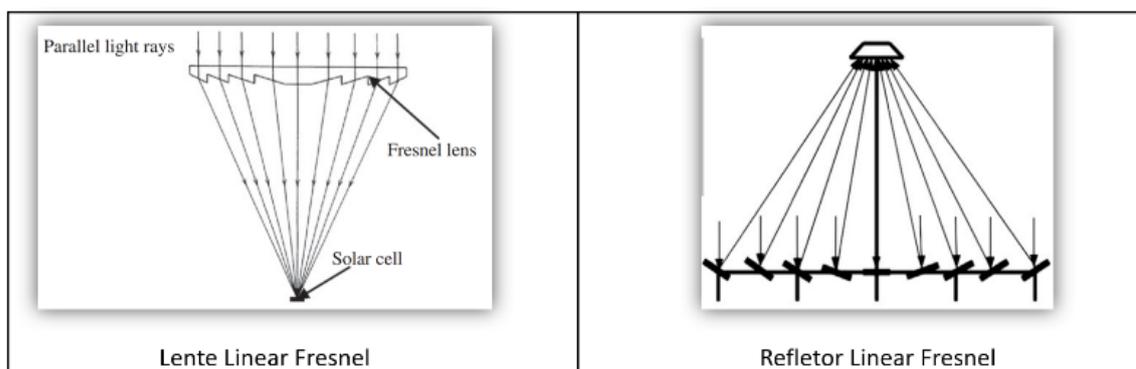


Figura 3. 4 - Concentração dos raios solares por lente e refletor Linear Fresnel.

Fonte: WU et al. (2012) e ABBAS et al. (2013).

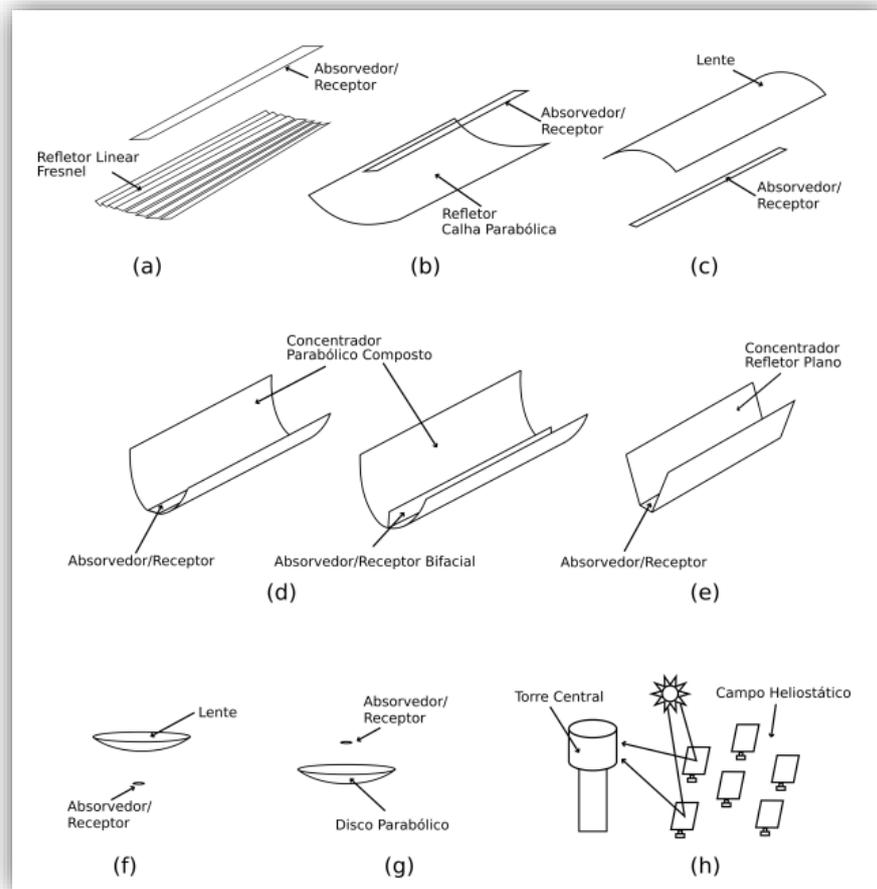


Figura 3. 5 - Tipos de concentradores CPVT.

Fonte: FANTINI (2020).



Figura 3. 6 - Disco parabólico com motor Stirling.

Fonte: PIGOZZO FILHO (2019).

Um conceito importante nas tecnologias de concentração é a relação de concentração em número de sóis, onde 1 Sol é definido como uma irradiação de  $1000 \text{ W/m}^2$ . Desse modo, uma concentração de 1000 sóis indicaria uma irradiação de  $10^6 \text{ W/m}^2$ .

Outra aplicação da concentração solar é a concentração fotovoltaica (CPV – *Concentrated Photovoltaic*), a qual, geralmente, utiliza lentes para concentrar a radiação direta em células solares. A Figura 3.7 apresenta exemplo de sistema de concentração fotovoltaica com lente Fresnel.



Figura 3. 7 - Exemplo de sistema de concentração fotovoltaica utilizando lentes linear Fresnel.

Fonte: VIAN et al. (2021).

A tecnologia fotovoltaica permite a conversão direta da radiação em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico foi observado por A. E. Becquerel em 1839, confirmado experimentalmente por Heinrich Hertz em 1887 e sua explicação só foi dada por Albert Einstein em 1905, o qual foi premiado com o Nobel de Física em 1921 por isso. Esse efeito consiste, basicamente, na emissão de elétrons induzida pela ação da luz. A tecnologia mais prevalente na fabricação de células solares utiliza "wafer" (placas justapostas) compostas por materiais semicondutores, como o silício (Si), cádmio (Cd), Gálio (Ga). Estas células operam como se fossem baterias de corrente contínua e são conectadas em arranjos em série e paralelo, criando um módulo. Estes módulos são interconectados para formar painéis solares que geram energia em corrente contínua, a qual geralmente é convertida em corrente alternada através do uso de um inversor. A Figura 3.8 apresenta a usina solar São Gonçalo localizada no estado do Piauí, a qual utiliza vários painéis solares para geração de eletricidade.



Figura 3. 8 - Usina fotovoltaica São Gonçalo (PI).

Fonte: Canal Solar (2023).

Nas células fotovoltaicas ocorre a transformação direta da energia solar em eletricidade. Por outro lado, nas usinas de concentração solar (CSP – *Concentrated Solar Power*), a energia solar é inicialmente convertida em calor, o qual é posteriormente transformado em energia elétrica por processos termodinâmicos. Conseqüentemente, a eficiência da conversão da energia solar em eletricidade em tais usinas tende a ser inferior àquela das células fotovoltaicas, as quais realizam a conversão diretamente. Nesse sentido, infere-se que o limite teórico do rendimento com a tecnologia CSP é determinado pelas leis da termodinâmica e pelo ciclo de Carnot, enquanto o rendimento das células fotovoltaicas está relacionado à natureza eletromagnética da radiação incidente e dos fenômenos de interação da luz com o material semiconductor utilizado. Assim sendo, os rendimentos reais de sistemas fotovoltaicos nas condições de teste são de 16% para as células de silício policristalino e 20% para as de silício monocristalino; em outro ponto, sistemas com concentração a espelhos parabólicos lineares alcança rendimento global de cerca de 16 a 17%. O diagrama presente na Figura 3.9 apresenta as duas principais formas de conversão de energia solar em energia elétrica: conversão heliotérmica e fotovoltaica.

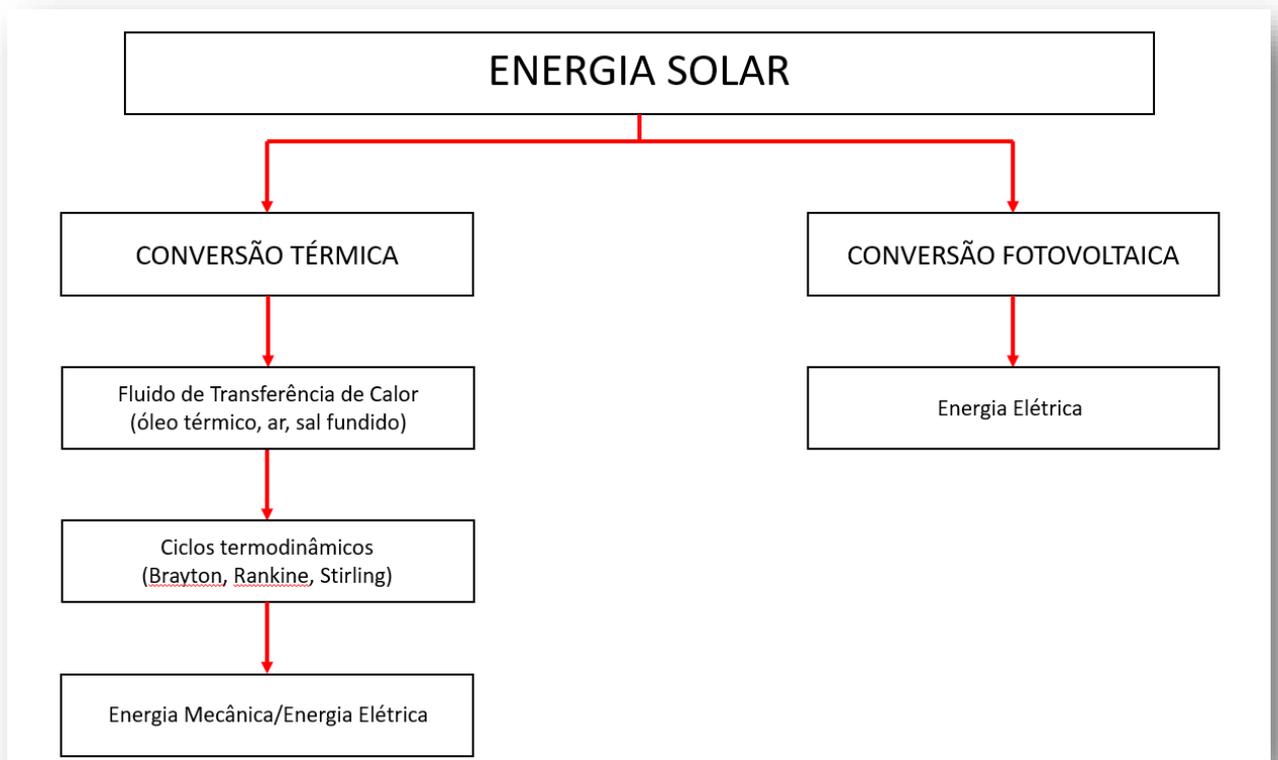


Figura 3. 9 - Formas de conversão de energia solar em energia elétrica.

## 4 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A presente seção destina-se a modelar e simular o sistema de concentração com lente Fresnel através do *Tonatiuh* - *software* livre para traçar os raios solares validado pelo NREL (*National Renewable Energy Laboratory*). Os dados gerados por esse *software* foram tratados com o *Python* (linguagem de programação de alto nível), obtendo-se o fator de concentração da irradiância solar e a uniformidade da iluminação para diferentes posições da placa solar.

### 4.1 Descrição das placas solares e lente Fresnel

A placa solar utilizada possui dimensões de 120 x 78 mm e foi montada para este experimento a partir de doze células menores com dimensões de 40 x 18 mm. A Figura 4.1 apresenta a placa utilizada com suas dimensões principais.

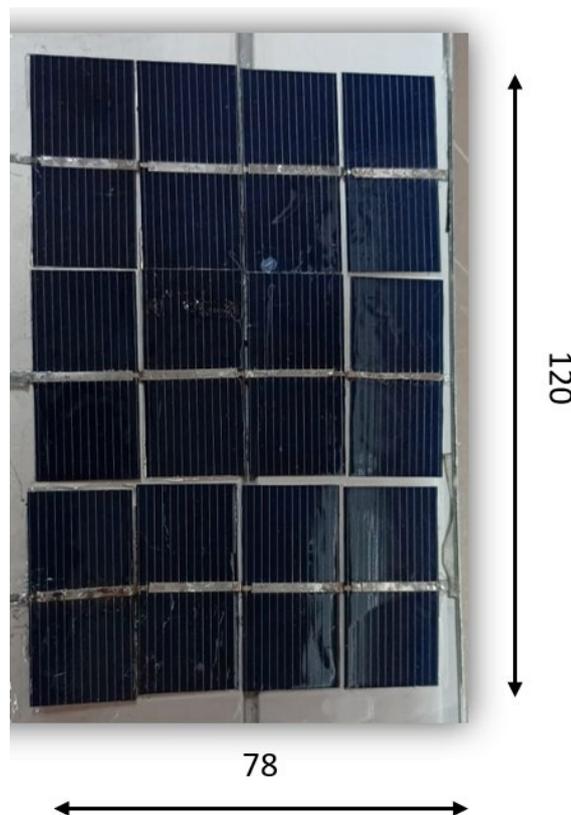


Figura 4. 1 - Comprimento e largura da placa em mm.

A lente Fresnel convergente usada possui formato retangular (670 x 880 mm) e seu material é vidro. A distância focal dessa lente é de 750 mm e sua espessura de 1 mm. A Figura 4.2 apresenta a lente utilizada junto com suas dimensões principais.

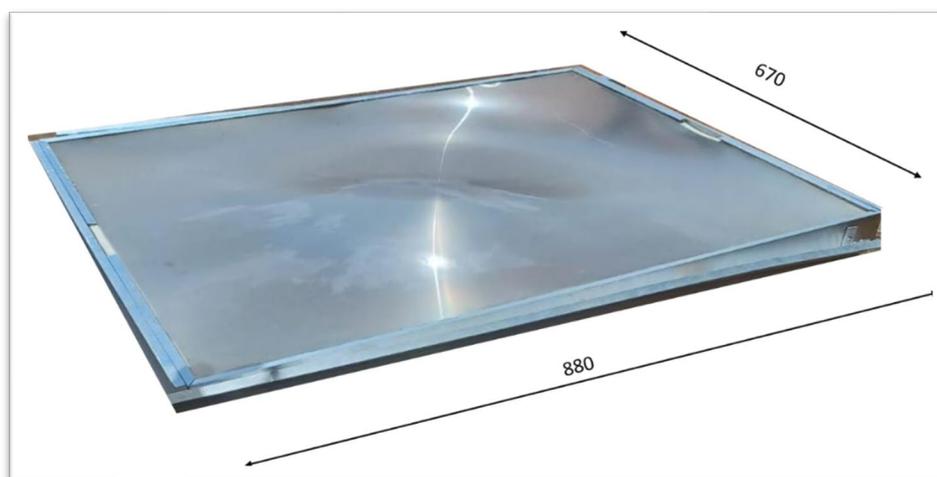


Figura 4. 2 - Comprimento e largura da lente Fresnel em mm.

#### 4.2 Modelagem e Parâmetros de Entrada

A lente Fresnel foi modelada como uma lente parabólica convergente convexa de mesmo foco (0.75 m) e área de abertura do concentrador real (0.88 x 0.67 m). Ademais, como dito por (OSÓRIO et al. 2016): “para representar um componente refratário no *Tonatiuh*, deve-se definir duas superfícies com coeficientes para absorção, transmissão, reflexão e índice refratário em cada lado”. Nessa perspectiva, escolheu-se a transmissividade ( $\tau = 0.92$ ) da lente de acordo com (MATEOS – CANSECO et al. 2018) e o índice refratário ( $n = 1.67$ ) conforme (SHANKS et al. 2018). Além disso, considerou-se as células solares de silício monocristalino como material especular de absortividade ( $\alpha = 0.8$ ) em concordância com o presente em (MENG et al. 2019). Por outro lado, parâmetros referentes ao Sol (ângulos solares, irradiação, número de raios) e a divisão da malha na placa devem também ser informados para simulação. A Tabela 4.1 apresenta os parâmetros de entrada para simulação da irradiância em função da altura e da distribuição do fluxo de luminosidade, enquanto a Figura 4.3 apresenta a modelagem da lente no *Tonatiuh*.

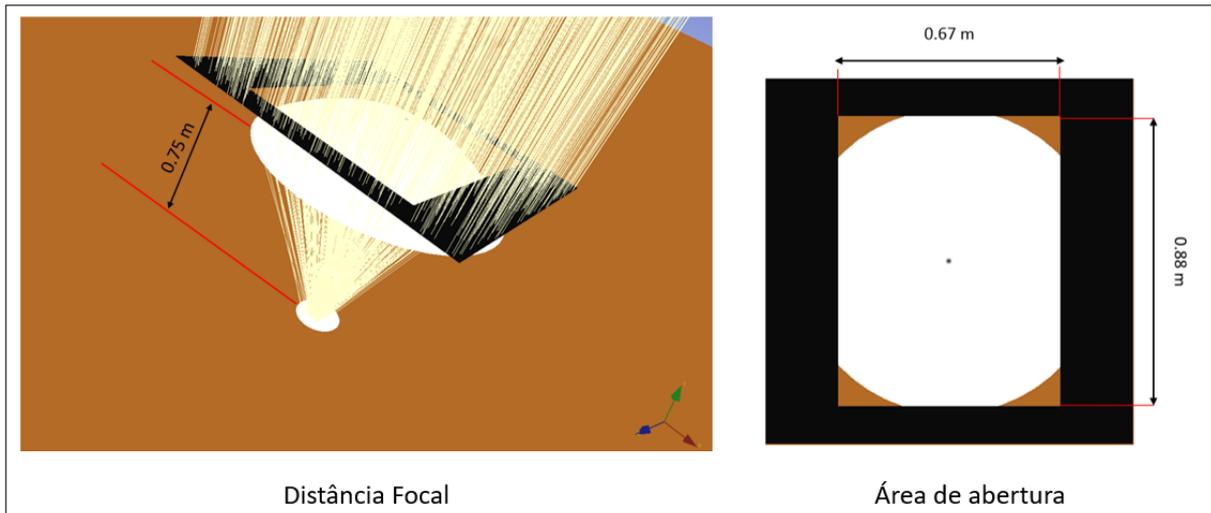


Figura 4. 3 - Modelagem da lente Fresnel no *Tonatiuh*.

Tabela 4. 1 - Parâmetros de entrada para simulação.

PARÂMETROS	IRRADIÂNCIA X ALTURA	DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO
Posição do Sol	A pino (Az=0° e El=90°)	A pino (Az=0° e El=90°)
Irradiância Solar	1000 W/m <sup>2</sup>	1000 W/m <sup>2</sup>
Número de raios	10 <sup>4</sup>	10 <sup>8</sup>
Divisão da malha	-	50 x 50

### 4.3 Simulação do fator de concentração da irradiância solar

Para determinar o fator de concentração da irradiância incidente na placa solar em função da altura relativa ao foco, deve-se analisar os raios solares traçados pelo *Tonatiuh* e calcular a irradiância incidente na placa em várias posições. Os códigos em *Python* presentes nos Apêndice A e Apêndice B foram utilizados para esse fim. O fator de concentração é determinado pela Equação (4.1).

$$FC = \frac{I_{sup}}{DNI} = \frac{N_{ph} * P_{ph}}{DNI * A_{sup}} \quad (4.1)$$

$FC$  – fator de concentração solar

$I_{sup}$  – irradiância na superfície de interesse (placa solar) [W/m<sup>2</sup>]

$DNI$  – irradiância normal direta [1000 W/m<sup>2</sup>]

$N_{ph}$  – número de fótons que atinge a placa solar

$P_{ph}$  – potência por fóton [W]

$A_{sup}$  – área da placa fotovoltaica (0.12 x 0.078 m) [ $m^2$ ]

O fator de concentração foi calculado em setenta posições da placa solar, variando em um centímetro a altura relativa ao foco – distância entre a placa solar e o foco da lente, assim, obteve-se um gráfico do fator de concentração em relação à altura da placa relativa ao foco. A Figura 4.4 apresenta o que é a altura relativa ao foco ( $h$ ) no *Tonatiuh*, já a Figura 4.5 apresenta o gráfico obtido com a regressão exponencial dos pontos.

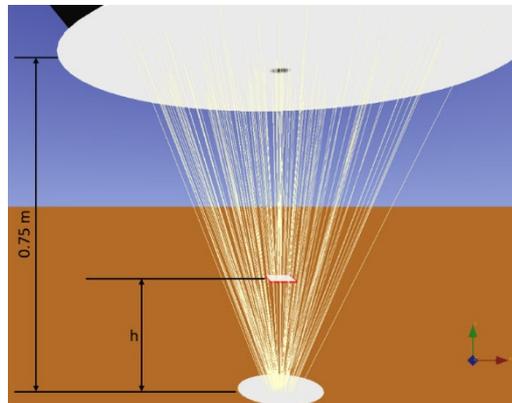


Figura 4. 4 - Altura relativa ao foco da lente ( $h$ ) no *Tonatiuh*.

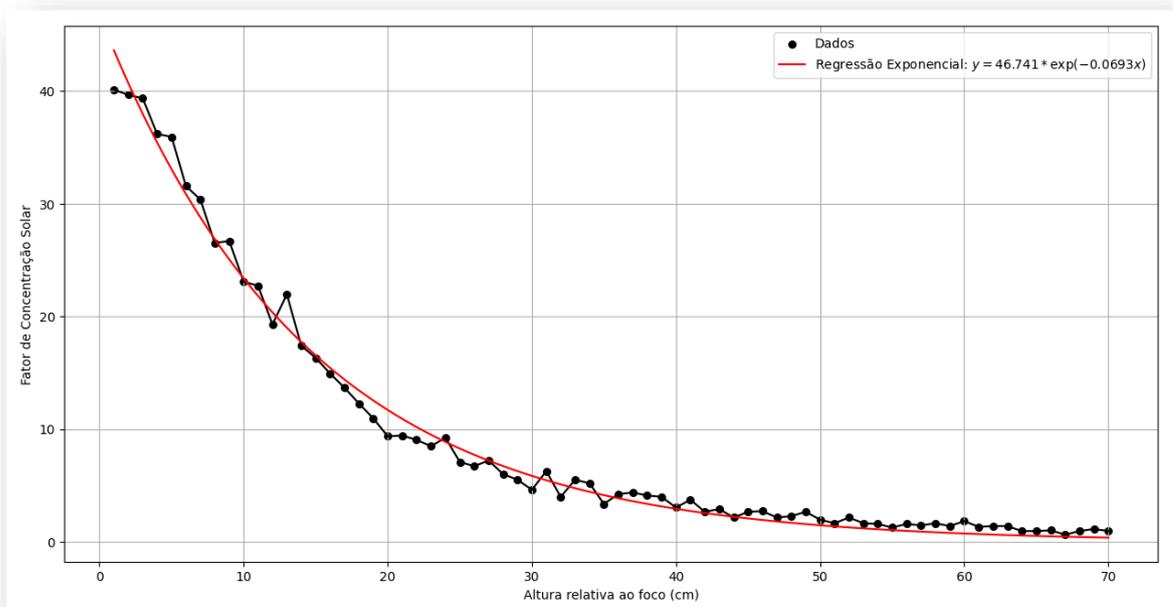


Figura 4. 5 - Gráfico do Fator de concentração solar em função da altura relativa ao foco.

A regressão exponencial obtida é de suma relevância, pois permite determinar o fator de concentração solar, e, por conseguinte, a irradiância solar concentrada, sabendo-se somente a posição da placa solar relativa ao foco. Além disso, nota-se que ao se distanciar do foco, a concentração solar vai diminuindo de forma exponencial. A Equação (4.2) apresenta a regressão exponencial obtida.

$$FC = 46.741 * \exp(-6.93 * h) \quad (4.2)$$

$FC$  - fator de concentração

$h$  - altura relativa ao foco [m]

#### 4.4 Simulação distribuição do fluxo da irradiância

Em outro aspecto, determinou-se a distribuição do fluxo de irradiação na célula e o índice de uniformidade a partir do código do Apêndice C. A distribuição do fluxo é determinada a partir do valor de irradiância em cada subárea ( $i,j$ ) da placa e o índice de uniformidade é calculado pela Equação (4.3).

$$I.U = \frac{\sqrt{\left( \left( \frac{1}{50 * 50} \right) * \left( \sum_i^{50} \sum_j^{50} (I_{i,j} - I_{médio})^2 \right) \right)}}{I_{médio}} \quad (4.3)$$

$I.U$  – índice de uniformidade

$I_{i,j}$  – irradiância em cada subárea da placa [ $W/m^2$ ]

$I_{médio}$  – valor médio da irradiância na placa [ $W/m^2$ ]

Nesse sentido, infere-se que quanto mais uniforme a distribuição do fluxo da irradiância menor o índice de uniformidade, logo quanto mais próximo de zero o valor desse índice, significa que mais uniforme está a distribuição da irradiância. A Figura 4.6 apresenta a distribuição da irradiância solar concentrada e o índice de uniformidade para quatro posições da placa fotovoltaica.

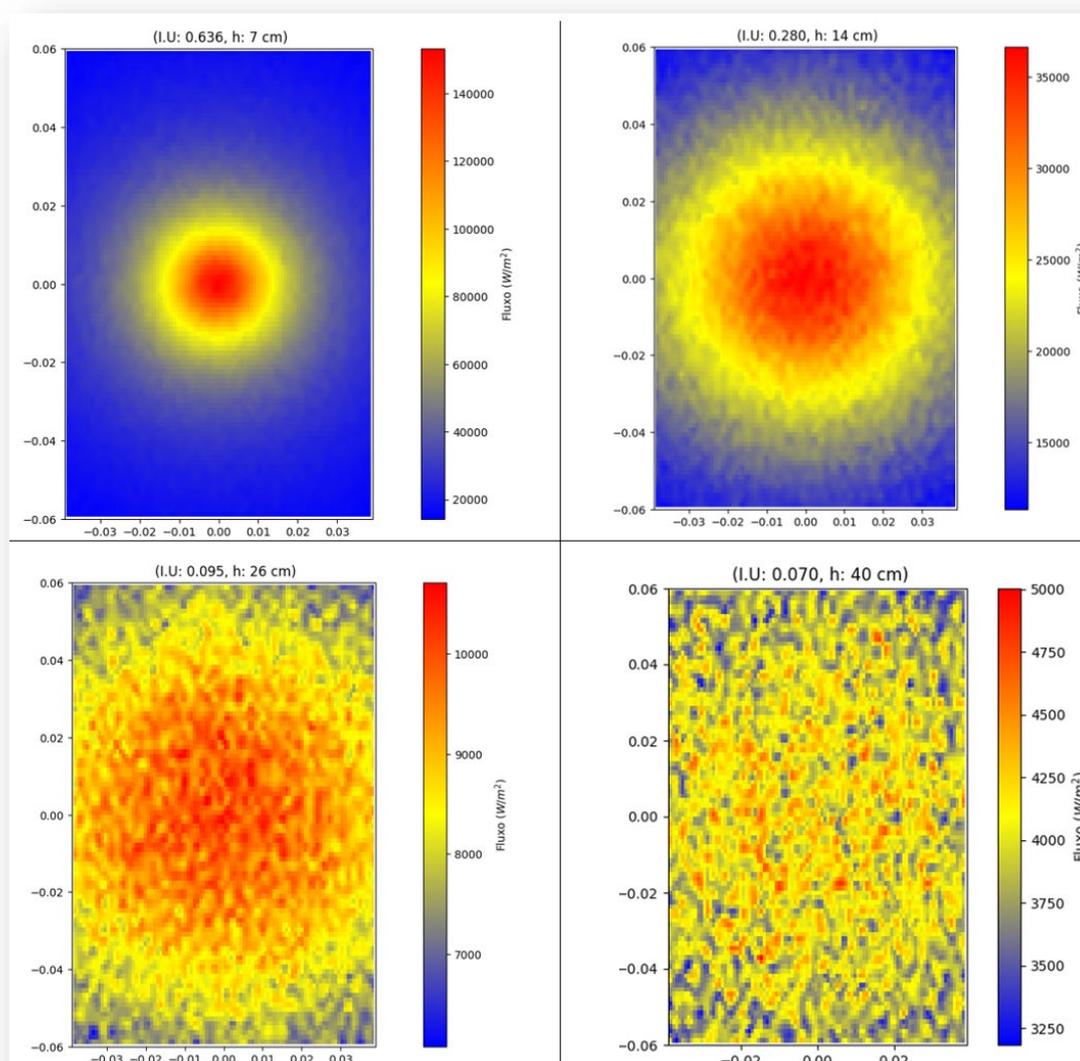


Figura 4. 6 - Distribuição da irradiância solar na placa para  $h = 7, 14, 26, 40$  cm.

Observando a Figura 4.6, percebe-se que a uniformidade da irradiância vai aumentando à medida que se aproxima da lente, ou seja, à medida que se distancia do foco. Desse modo, não se deve operar muito próximo ao foco em sistemas fotovoltaicos com concentração solar visto que a não-uniformidade da irradiância afeta o desempenho das células. Segundo o trabalho de (FANTINI, 2020), índices de uniformidade inferiores a 0.3 apresentam boa homogeneidade na distribuição da irradiância.

## 5 FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Nesta seção será apresentado como o protótipo do sistema de concentração foi elaborado, destacando os materiais utilizados e a geometria da estrutura. Além disso, apresentar-se-ão os procedimentos e equipamentos utilizados para aquisição de dados experimentais (temperatura, tensão elétrica, corrente elétrica, etc).

### 5.1 Fabricação do protótipo

O protótipo possui três partes: a lente Fresnel convergente, o duto dissipador de alumínio com a placa fotovoltaica e a estrutura para fixar o duto de alumínio em uma altura conveniente. Vale destacar que o duto dissipador e sua estrutura de fixação foram elaborados nesse trabalho, enquanto a lente Fresnel já se encontra pronta. A Figura 5.1 apresenta o protótipo montado com a placa fotovoltaica posicionada 26 cm acima do foco em Sol à pino.

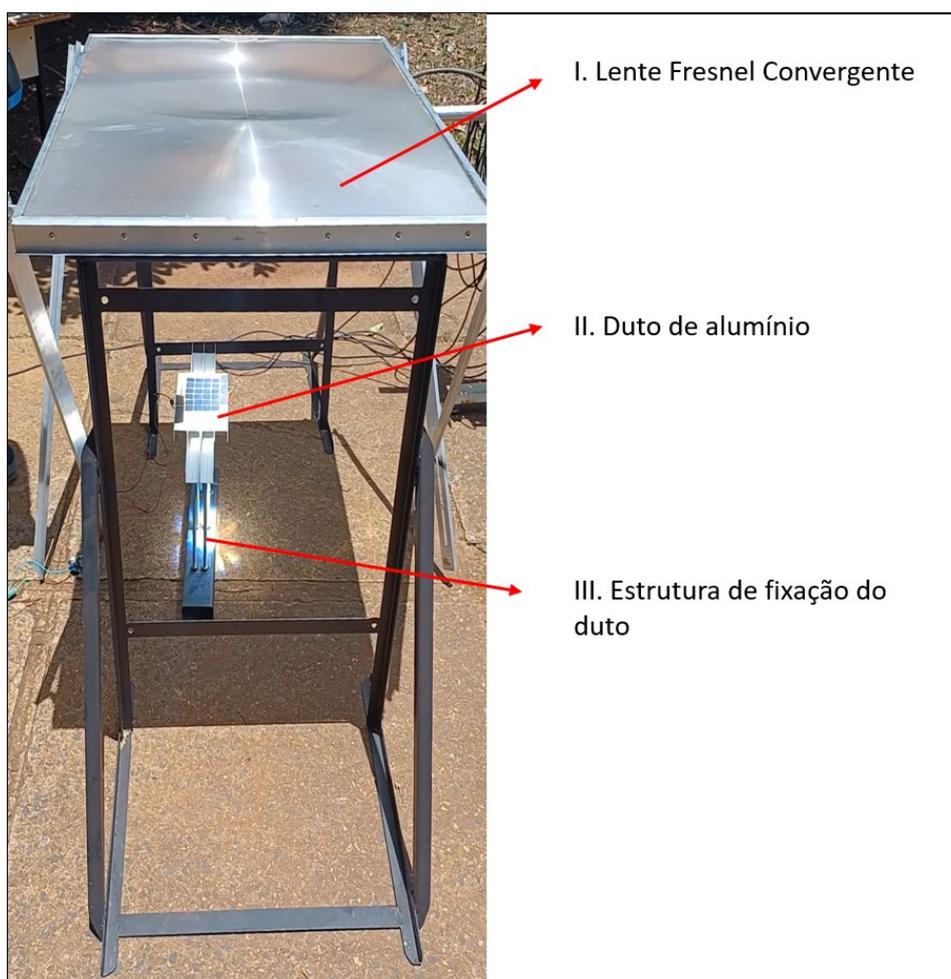


Figura 5. 1 - Protótipo de sistema de concentração solar com lente Fresnel.

O material escolhido para fabricação do duto foi o alumínio anodizado, pois o mesmo apresentou não condutividade elétrica na superfície, sendo útil portanto no contato com as células fotovoltaicas, as quais devem ser fixadas sobre uma superfície isolante elétrica para evitar curto-circuito. Nesse sentido, fez-se o duto a partir de perfis do tipo duplo U, sendo que as partes foram unidas com veda calha para alumínio. Após isso, as doze células fotovoltaicas foram soldadas em série, formando uma placa fotovoltaica. Então, colou-se essa placa no duto com verniz de revestimento conformável, o qual tem as funções de proteger e isolar eletricamente as células. Além disso, utilizou-se vedador para rufos, calhas e telhas a fim de garantir que a água não penetrasse entre as partes unidas. A Tabela 5.1 apresenta os materiais utilizados na fabricação do duto e a Figura 5.2 apresenta o duto montado em um teste inicial da tensão elétrica gerada nas células, o valor de tensão medido foi 6.79 V.

Tabela 5. 1 - Materiais para fabricação do duto absorvedor.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE
Perfil duplo U de alumínio anodizado (2 m)	1
Veda calha para alumínio (280 g)	1
Vedador para rufos, calhas e telhas (380 g)	1
Verniz de revestimento conformável (900 ml)	1
Células fotovoltaicas de silício monocristalino (40 x 18 mm)	12

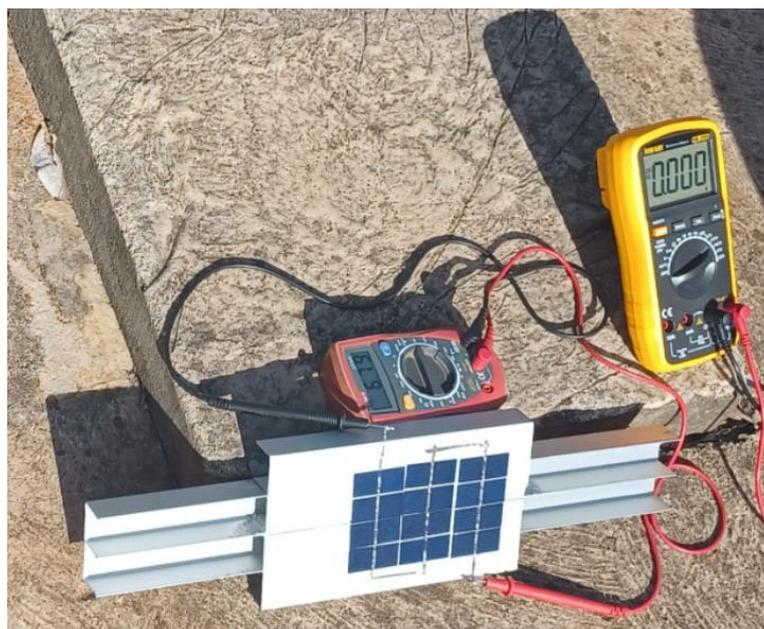


Figura 5. 2 - Duto de alumínio com placa fotovoltaica gerando 6.79V.

Para fabricação da estrutura de fixação do duto, utilizou-se três peças retangulares de alumínio, barras roscadas, porcas, arruelas e uma base em perfil U de aço. É de suma importância que a base seja de aço devido às altas temperaturas que a lente proporciona próximo ao foco, testes mostraram que a concentração no foco é capaz de incendiar madeira instantaneamente, logo, a temperatura ultrapassa 250°C. Ademais, as peças retangulares de alumínio foram unidas ao duto com veda calha para alumínio. Um ponto interessante nessa montagem é que ela possibilita a redução da altura do duto por meio da troca, corte ou regulagem das barras roscadas. A Figura 5.3 apresenta o duto de alumínio fixado em sua estrutura e a Tabela 5.2 apresenta os materiais utilizados na fabricação da estrutura de fixação.

Tabela 5. 2 - Materiais para fabricação da estrutura de fixação do duto.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE
Perfil U enrijecido de aço	1
Barras roscadas (10 mm x 1m)	3
Porcas hexagonais M10	24
Arruelas (10 mm)	24
Peças de seção retangular	3

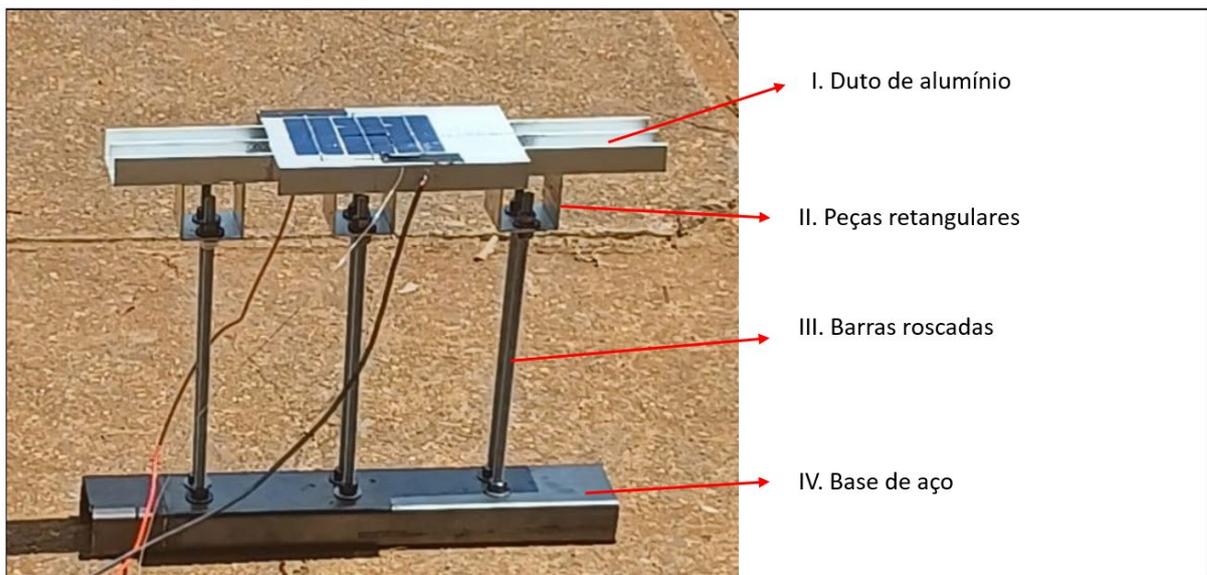


Figura 5. 3 - Duto de alumínio com estrutura de fixação.

Nesse contexto, os procedimentos para fabricação do duto de alumínio com sua estrutura de fixação seguem as seguintes etapas:

- I. Corte dos perfis do tipo duplo U de alumínio.
- II. União dos perfis de alumínio com veda calha para alumínio.
- III. Corte das peças retangulares de alumínio.
- IV. Executar furos (10 mm de diâmetro) nas peças retangulares de alumínio e na base de aço.
- V. Unir as peças retangulares ao duto com o vedador para rufos, calhas e telhas.
- VI. Cortar barras roscadas.
- VII. Unir o duto de alumínio com a base de aço através das barras roscadas, utilizando porcas e arruelas para o aperto.

As dimensões do duto dissipador de alumínio e da sua estrutura de fixação, o posicionamento dos furos e a montagem em geral estão especificadas nos desenhos técnicos presentes no Apêndice Q. Após a fabricação do duto de alumínio com sua estrutura de fixação, monta-se a placa fotovoltaica soldando as células em série; então, cola-se essa placa na face superior do duto absorvedor com o verniz de revestimento conformável. Ademais, vale destacar que as ferramentas utilizadas para fabricação (serrote, furadeira de mesa, brocas, chaves fixas, etc.) são encontradas no LEA.

## 5.2 Procedimentos Experimentais

As variáveis medidas experimentalmente nesse trabalho foram: irradiância global horizontal ( $GHI$ ), temperatura da célula central da placa ( $T_{célula}$ ), tensão elétrica de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), corrente elétrica de curto circuito ( $I_{sc}$ ), temperatura de entrada ( $T_{entrada}$ ) e saída ( $T_{saída}$ ) da água e a vazão de água ( $Q$ ). Esses dados experimentais foram medidos por vários instrumentos e coletados pelo *datalogger* CR1000 da *Campbell Scientific*. A Tabela 5.3 apresenta as variáveis medidas e os instrumentos que mediram cada variável. Além disso, os catálogos dos equipamentos estão presentes na seção de Anexos.

Tabela 5. 3 - Dados Experimentais medidos.

PARÂMETROS	UNIDADE	INSTRUMENTO
Irradiância Global Horizontal ( $GHI$ )	$W/m^2$	Piranômetro LI-200R
Temperatura da célula ( $T_{célula}$ )	$^{\circ}C$	Termopar tipo K
Temperatura de entrada ( $T_{entrada}$ )	$^{\circ}C$	Termopar tipo J
Temperatura de saída ( $T_{saída}$ )	$^{\circ}C$	Termopar tipo J
Vazão de água ( $Q$ )	L/min	YF-S201
Corrente elétrica ( $I_{sc}$ )	A	ACS712ELCTR-05B-T
Tensão elétrica ( $V_{oc}$ )	V	Sensor de tensão 0-25V DC

Nesse sentido, fez-se necessária a calibração dos sensores de corrente, tensão e temperatura. Para calibração dos sensores de corrente e tensão, utilizaram-se multímetros devidamente conectados aos sensores para obter a curva de calibração e inserir os coeficientes (*multiplier* e *offset*) no programa do *datalogger*. Para os sensores de temperatura, o *datalogger* utiliza sua própria temperatura como referência e verificou-se que os termopares aqueciam e resfriavam medindo a temperatura corretamente. A Figura 5.4 apresenta o circuito para calibração do sensor de tensão, a Figura 5.5 apresenta o circuito para calibração do sensor de corrente, já a Figura 5.6 apresenta as curvas de calibração obtidas para os sensores de corrente e tensão.

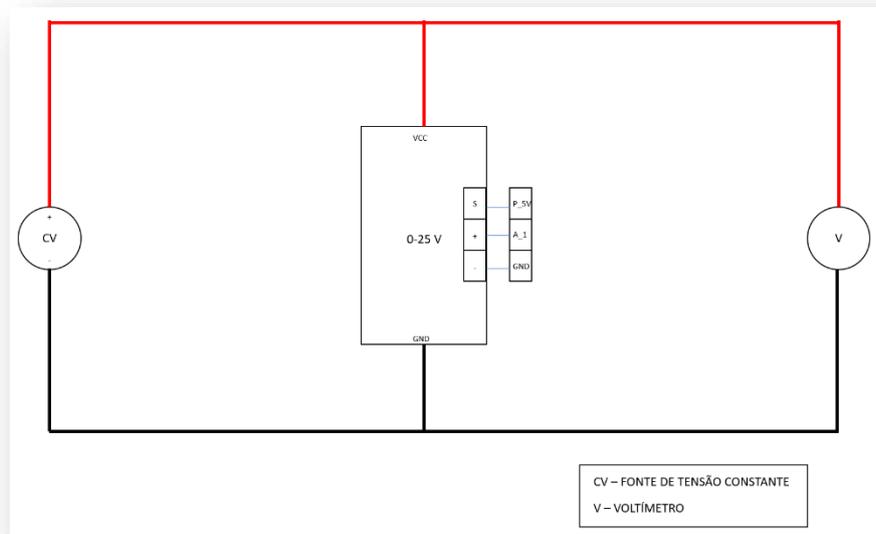


Figura 5. 4 - Circuito para calibração do sensor de tensão.

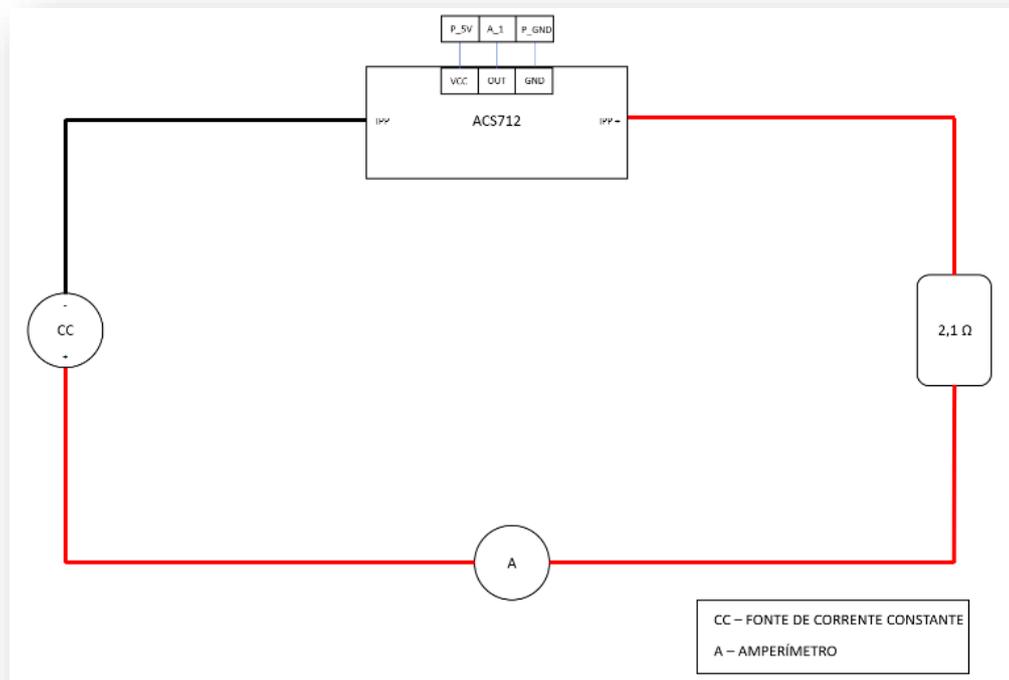


Figura 5. 5 - Circuito para calibração do sensor de corrente.

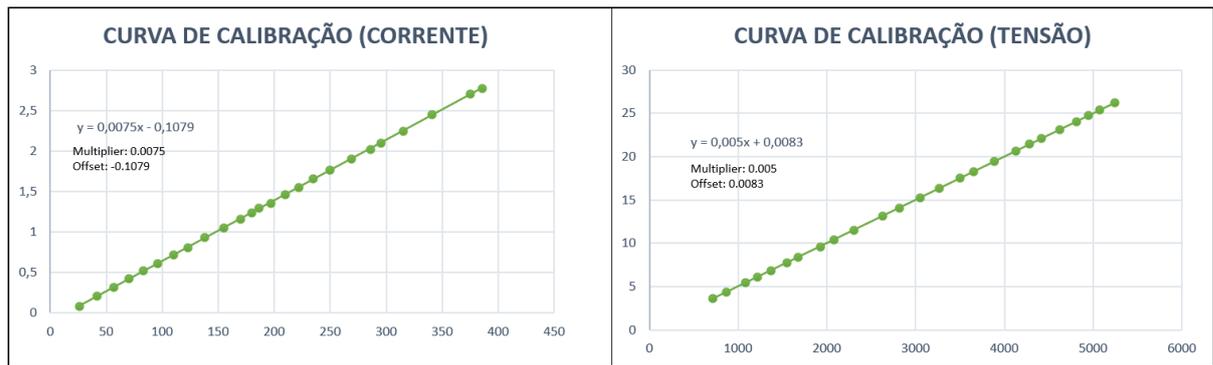


Figura 5. 6 - Curvas de calibração para os sensores de corrente (esquerda) e tensão (direita).

Para medição da corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) e tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) deve-se proceder conforme o esquema presente na Figura 5.7.

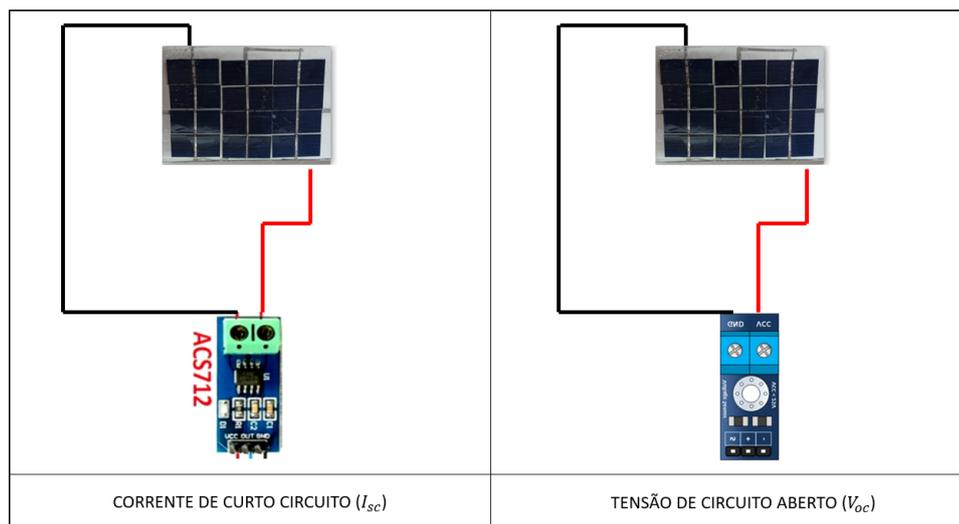


Figura 5. 7 - Circuito para medição de corrente de curto circuito e tensão de circuito aberto.

Quanto ao sistema hidráulico, utilizou-se uma bomba periférica *KSB hydrobloc P500TNG* para realizar o transporte da água de uma caixa de 300 L para o duto absorvedor. A vazão da bomba é especificada por um controlador de frequência da *SINOVO (model SD90-2S-0.7G)*, mais detalhes sobre o sistema de controle da bomba estão presentes no trabalho feito por (LOPES, 2023). Após a montagem hidráulica, fez-se um teste da eficácia do verniz em proteger as células fotovoltaicas com água vazando diretamente sobre as células; e o resultado obtido foi que o verniz protegeu as células eficazmente. A Figura 5.8 apresenta o teste do verniz e a Figura 5.9 apresenta o esquema hidráulico montado. Ademais, a Tabela 5.4 apresenta os materiais utilizados no sistema hidráulico.

Para verificar a vazão produzida pela bomba, uma caixa da água de 30L foi preenchida em 2.04 minutos com uma rotação de 40 Hz, logo a vazão produzida nessa situação foi de 14.67 L/min. Assim sendo, como a vazão é proporcional a velocidade de rotação, a vazão produzida para 10 Hz é de 3.7 L/min.

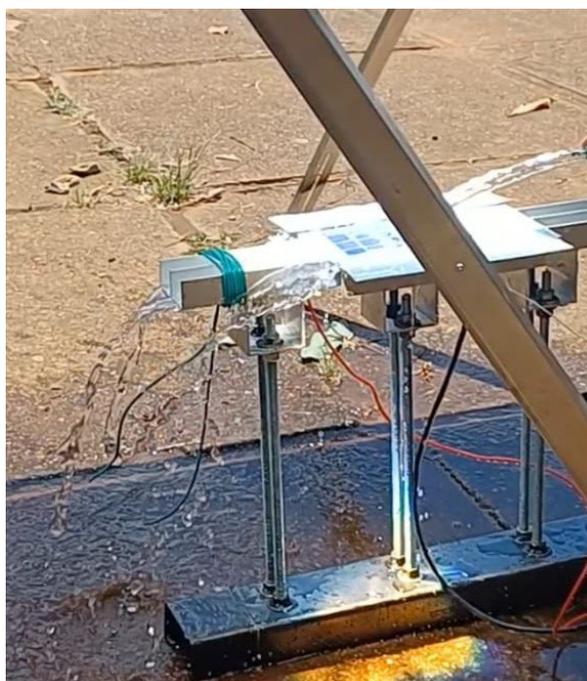


Figura 5. 8 - Teste da proteção do verniz à água.

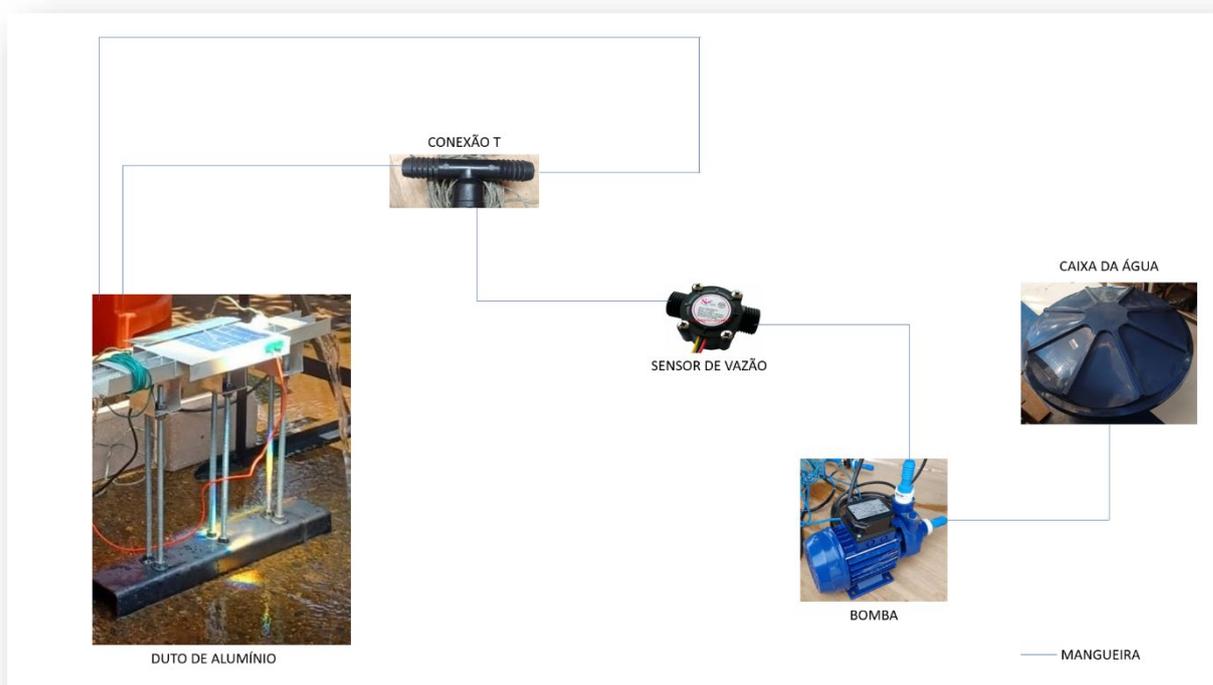


Figura 5. 9 - Desenho esquemático do sistema hidráulico.

Tabela 5. 4 - Materiais para o sistema hidráulico.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE
Caixa da água FORTLEV 300 L	1
Bomba periférica KSB HYDROBLOC P500TNG	1
Mangueira 3/4 ” 50 m	1
Conexão T 3/4 ”	1

Após essas etapas, integraram-se todos os sensores ao *datalogger CR1000* e realizaram-se as medições entre os dias 23 e 30 de novembro de 2023, na faixa de horário com Sol aproximadamente à pino (12h às 14h). Segundo o *SPA CALCULATOR* do *NREL*, o ângulo de elevação varia entre 85° e 62° nessa faixa de horário, não distando mais de 30° da posição de Sol à pino. A Figura 5.10 apresenta a concentração solar gerada pela lente Fresnel no dia 29/11/2023 às 11:43, enquanto a Figura 5.11 apresenta uma representação esquemática dos

sensores utilizados na experimentação. Ademais, a Figura 5.12 apresenta os termopares em seus locais de medição.



Figura 5. 10 - Concentração solar proporcionada pela lente Fresnel às 11:43 do dia 29/11/2023.



Figura 5. 11 - Sensores utilizados nos experimentos.



Figura 5. 12 - Posicionamento dos termopares.

Nessa perspectiva, realizaram-se três tipos de experimento com diferentes formas de aproveitamento da energia solar: sem concentração fotovoltaica (NCPV – “*No concentration photovoltaic*”), com concentração fotovoltaica (CPV – “*Concentration photovoltaic*”) e com concentração fotovoltaica térmica (CPVT – “*Concentration photovoltaic thermal*”). No sistema NCPV, as células são expostas sem concentração pela lente e sem fluido térmico a radiação solar; no sistema CPV, as células são expostas com concentração pela lente e sem fluido térmico; no sistema CPVT, as células são expostas com concentração pela lente e com fluido térmico. A Figura 5.13 apresenta os três tipos de experimentos realizados entre os dias 23/11/2023 e 30/11/2023 entre às 12h e 14h no Laboratório de Energia e Ambiente (LEA) da Universidade de Brasília (UnB).

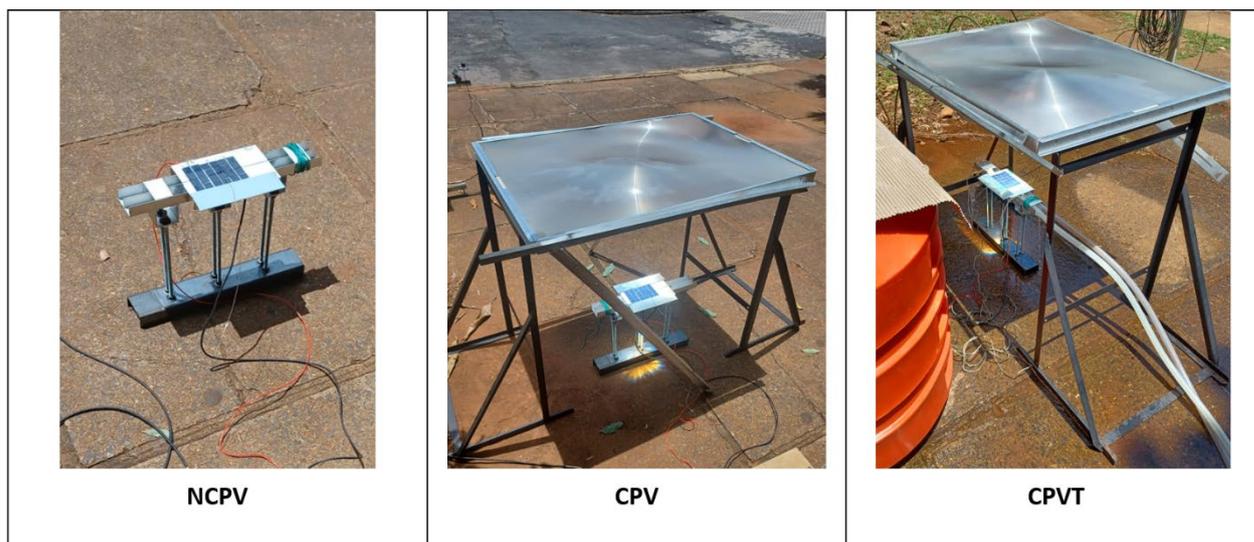


Figura 5. 13 - Tipos de experimentos realizados (NCPV – *no concentration photovoltaic*, CPV – *concentration photovoltaic*, CPVT – *concentration photovoltaic thermal*).

Vale ressaltar que nos experimentos do tipo CPV e CPVT a célula foi posicionada a uma distância de 26 cm acima do foco da lente ( $h = 26$  cm).

Nessa perspectiva, os procedimentos para execução do experimento CPVT são sintetizados nas seguintes etapas:

- I. Posicionar a lente Fresnel (85 cm acima do chão).
- II. Calibrar e posicionar o piranômetro.
- III. Montar o esquema hidráulico.
- IV. Calibrar e posicionar sensores (tensão, corrente, termopares, vazão).
- V. Conectar sensores ao *datalogger* CR1000 e verificar a aquisição dos dados.
- VI. Posicionar o duto com a placa fotovoltaica sob concentração solar.
- VII. Ligar a bomba e adquirir os dados experimentais.

Lembrando que para realizar o experimento CPV basta seguir as etapas acima sem montar o esquema hidráulico, e para realizar o experimento NCPV coloca-se a placa fora da concentração e não se monta o esquema hidráulico.

## 6 RESULTADOS E ANÁLISE

Apresentar-se-ão nesta seção os resultados experimentais obtidos em forma de gráficos gerados com o *Python* - os códigos utilizados estão presentes na seção de Apêndice. Além disso, foi feita uma análise comparativa dos três sistemas analisados (NCPV, CPV, CPVT), calculando as eficiências elétrica e/ou térmica em cada um dos sistemas e mostrando as vantagens e desvantagens de cada forma de aproveitamento do recurso solar.

## 6.1 Erros experimentais

A determinação dos erros experimentais de cada medição é essencial para assegurar a confiabilidade dos resultados obtidos. Nesse sentido, os erros experimentais de cada medição direta realizada são determinados a partir dos catálogos dos instrumentos de medição utilizados (trena, sensor de vazão, sensor de corrente, sensor de tensão, termopares, piranômetro). Além disso, a propagação de erros foi calculada usando como referência os trabalhos de (JURAITIS e DOMICIANO, 2009) e (VUOLO, 1996). Os erros experimentais associados a cada dado medido e instrumento são apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6. 1 - Erros experimentais.

<b>SENSOR</b>	<b>VARIÁVEL</b>	<b>ERRO</b>
Piranômetro LI-200R	$GHI [W/m^2]$	$\pm 5\% * GHI W/m^2$
Termopares (tipo K e J)	$T_{célula}, T_{entrada}, T_{saída} [°C]$	$\pm 1.1 °C$
ACS712ELCTR-05B-T	$I_{sc} [A]$	$\pm 1.5\% * I_{sc}$
Sensor de tensão 0-25V DC	$V_{oc} [V]$	$\pm 0.02 V$
YF-S201	$Q [L/min]$	$\pm 0.17 L/min$
Trena ou régua	$h, b, w [mm]$	$\pm 0.5 mm$

## 6.2 Experimento do dia 24/11/2023

Dados de irradiação global horizontal ( $GHI$ ), corrente elétrica de curto circuito ( $I_{sc}$ ), e temperatura da célula central ( $T_{célula}$ ) foram coletados neste dia das 12:17 às 12:39. Os tipos de experimento realizados neste dia foram o CPV e o NCPV. A Figura 6.1 apresenta o gráfico com os dados coletados neste dia.

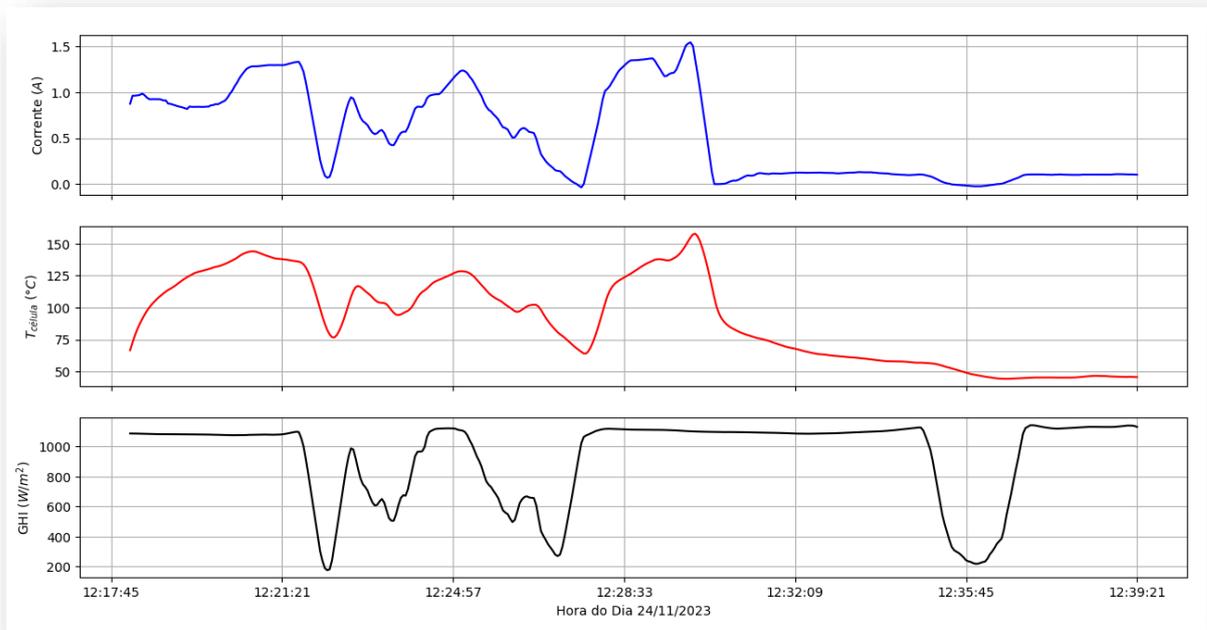


Figura 6. 1 - Gráfico de  $GHI$ ,  $I_{sc}$  e  $T_{célula}$  no dia 24/11/2023 das 12:17 às 12:39.

Analisando a figura acima, nota-se que a geração de corrente elétrica está intimamente ligada a irradiância solar disponível visto que logo após as 12:21 há uma queda do GHI disponível e como consequência, logo após, a corrente elétrica gerada cai. Um dos fatores mais importantes que ocasionam a queda do GHI é a nebulosidade. Ademais, nota-se também que a corrente aumenta com a temperatura da célula, pois após as 12:28 e antes das 12:32 há um pico de temperatura e consequentemente ocorre um pico de corrente para o GHI se mantendo constante. Desse modo, infere-se que a corrente elétrica de curto circuito ( $I_{sc}$ ) aumenta com o irradiância global horizontal ( $GHI$ ) e com a temperatura da célula ( $T_{célula}$ ).

Por outro lado, percebe-se que por volta das 12:30 a estrutura foi retirada da concentração solar (migrou-se do CPV para o NCPV) pois a corrente caiu abruptamente, assim como a temperatura da célula.

Além disso, infere-se que a temperatura da célula chegou a valores superiores a  $150^{\circ}\text{C}$  no sistema CPV, mostrando que a concentração fotovoltaica força as células a trabalharem fora do limite operacional indicado nas placas solares ( $-40^{\circ}\text{C}$  a  $85^{\circ}\text{C}$ ).

### 6.3 Experimento do dia 27/11/2023

Coletou-se dados de irradiação global horizontal ( $GHI$ ), tensão elétrica de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), e temperatura da célula central ( $T_{célula}$ ) das 13:10 às 13:22 para o experimento do tipo NCPV. A Figura 6.2 apresenta o gráfico com os dados coletados neste dia.

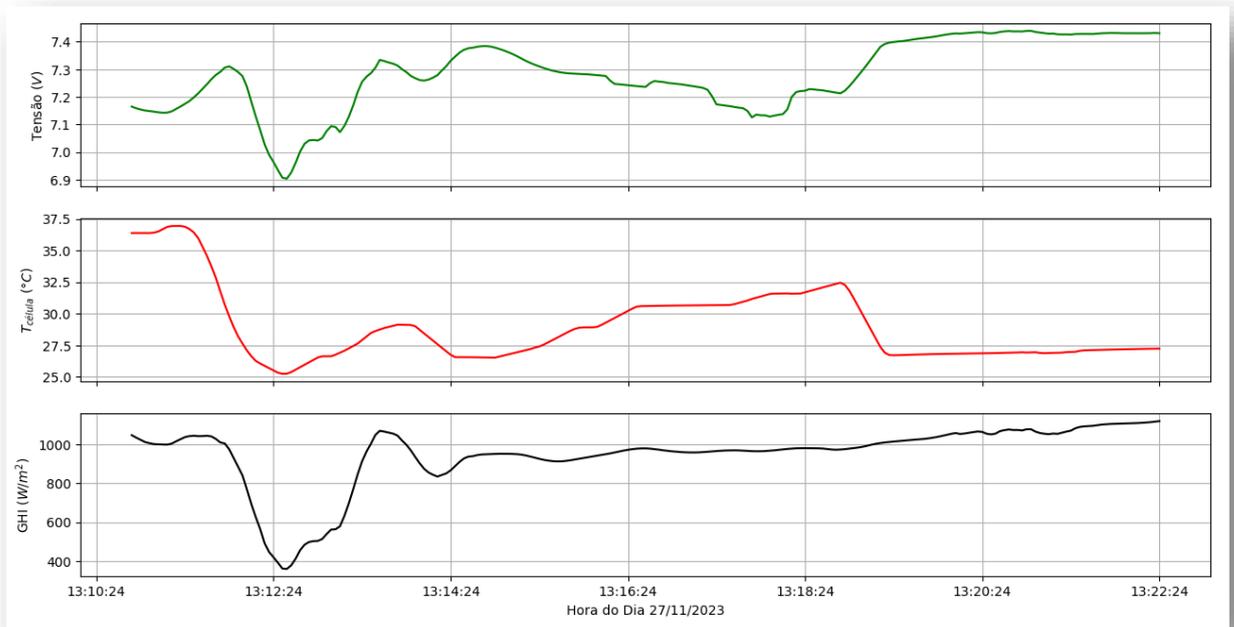


Figura 6. 2 - Gráfico de  $GHI$ ,  $V_{oc}$  e  $T_{célula}$  no dia 27/11/2023 das 13:10 às 13:22.

Analisando a figura acima, nota-se que a geração de tensão elétrica, assim como a corrente, está intimamente ligada a irradiação solar disponível visto que perto das 13:12 há uma queda do GHI disponível e como consequência, logo após, a tensão elétrica cai. Outro ponto interessante observado no gráfico é que a tensão aumenta com a redução da temperatura da célula, pois, após as 13:18 e antes das 13:20, ocorre uma queda da temperatura, queda esta que acarreta em elevação da tensão de circuito aberto. Assim sendo, é evidente que a tensão elétrica de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) aumenta com o irradiação global horizontal ( $GHI$ ), porém, diferente da corrente, aumenta com a redução da temperatura da célula central ( $T_{célula}$ ).

## 6.4 Experimento do dia 28/11/2023

Os testes do tipo CPVT e CPV foram realizados neste dia, sendo coletados dados de irradiação global horizontal ( $GHI$ ), tensão elétrica de circuito aberto ( $V_{oc}$ ), temperatura da célula central ( $T_{célula}$ ), temperatura da água na entrada ( $T_{entrada}$ ), temperatura da água na saída ( $T_{saída}$ ) e vazão volumétrica de água ( $Q$ ) das 12:30 às 13:05. A vazão volumétrica foi colocada em 3.7 L/min através do controle da rotação em 10 Hz pelo variador de velocidade. A Figura 6.3 apresenta os dados de tensão de circuito aberto, irradiação e temperatura da célula coletados; enquanto a Figura 6.4 apresenta as temperaturas (entrada, saída e célula) medidas no duto.

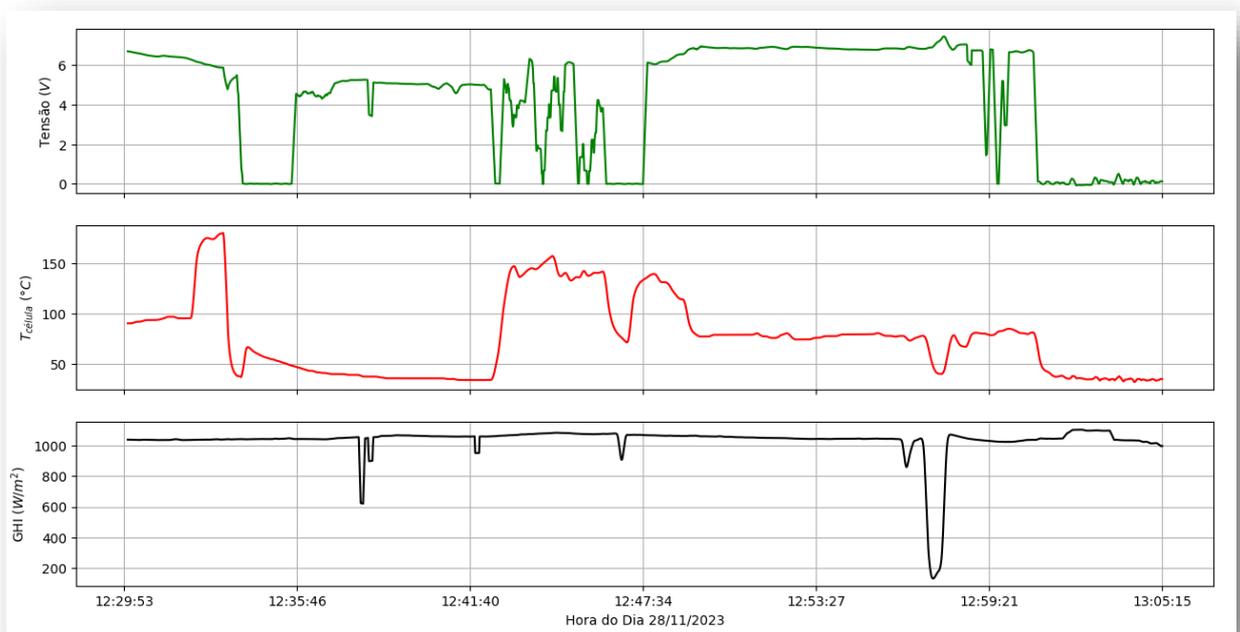


Figura 6.3 - Gráfico de  $GHI$ ,  $V_{oc}$  e  $T_{célula}$  no dia 27/11/2023 das 13:10 às 13:22.

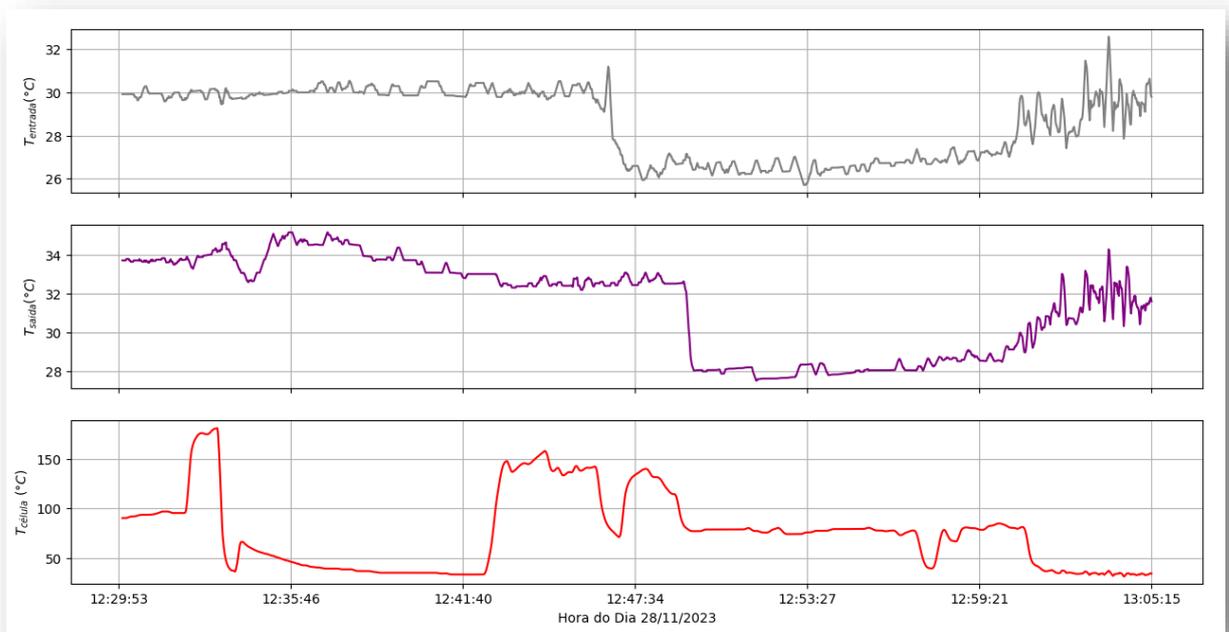


Figura 6. 4 - Gráfico de  $T_{entrada}$ ,  $T_{saída}$  e  $T_{célula}$  no dia 28/11/2023 das 12:30 às 13:05.

Observando os gráficos das Figuras 6.3 e 6.4, nota-se ao refrigerar as células com água, em sistemas CPVT, consegue-se manter a temperatura das células solares dentro dos limites operacionais (menores que 85°C). Além disso, o calor absorvido pela água gera um ganho térmico ao sistema. Nesse sentido, infere-se que sistemas com concentração fotovoltaica devem prover meios para manter a temperatura das células solares dentro da faixa operacional.

### 6.5 Experimento do dia 30/11/2023

Dados de irradiação global horizontal ( $GHI$ ), corrente elétrica de curto circuito ( $I_{sc}$ ), temperatura da célula central ( $T_{célula}$ ), temperatura da água na entrada ( $T_{entrada}$ ), temperatura da água na saída ( $T_{saída}$ ) e vazão volumétrica de água ( $Q$ ) foram adquiridos neste dia das 12:22 às 12:43. A vazão utilizada também foi de 3.7 L/min e os testes foram CPV e CPVT. A Figura 6.5 apresenta os dados de corrente de curto circuito, irradiação solar e temperatura da célula coletados; enquanto a Figura 6.6 apresenta as temperaturas (entrada, saída e célula) medidas no duto.

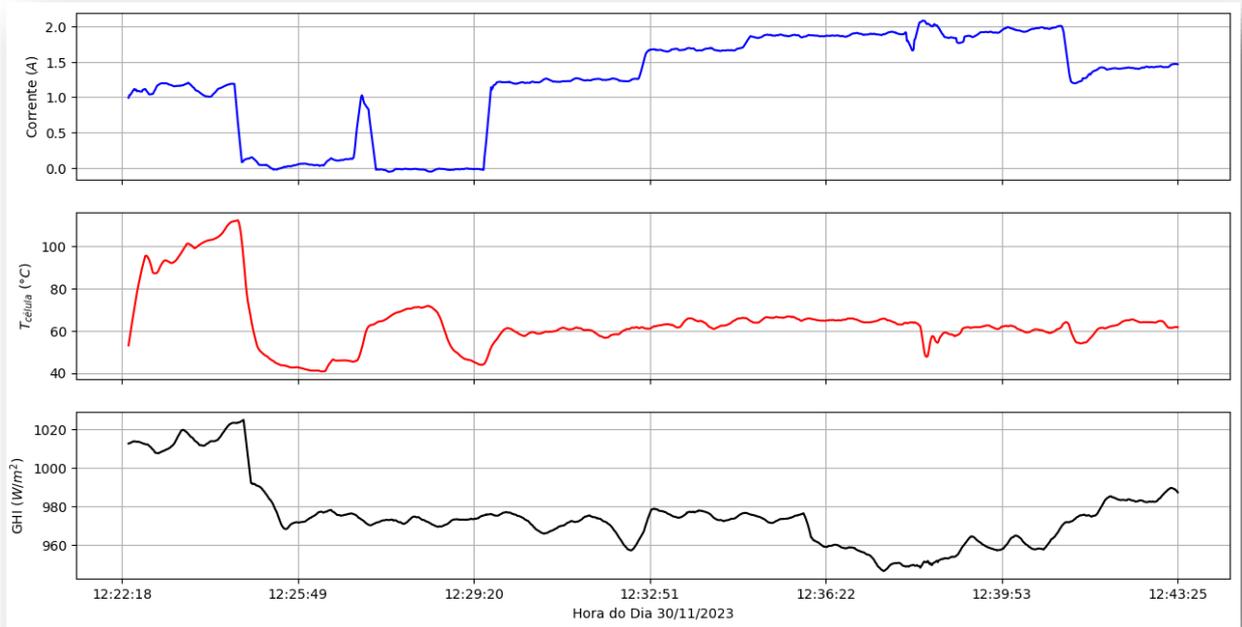


Figura 6. 5 - Gráfico de  $GHI$ ,  $I_{sc}$  e  $T_{célula}$  no dia 30/11/2023 das 12:22 às 12:43.

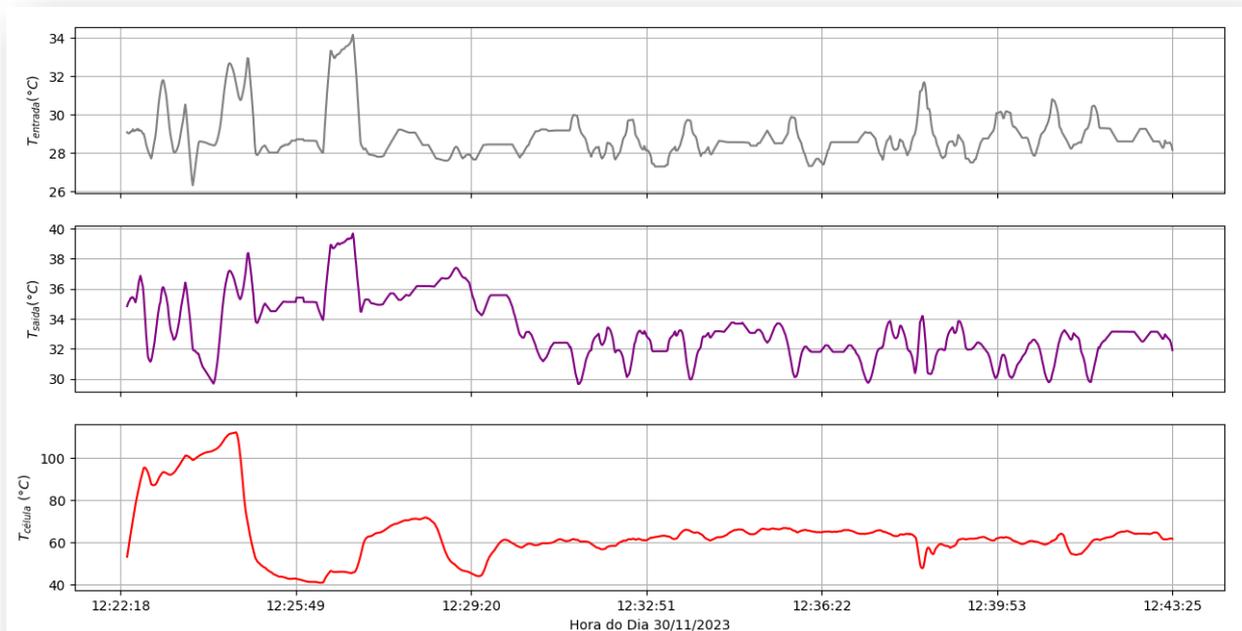


Figura 6. 6 - Gráfico de  $T_{entrada}$ ,  $T_{saida}$  e  $T_{célula}$  no dia 30/11/2023 das 12:22 às 12:43.

Ao analisar os gráficos das Figuras 6.5 e 6.6, nota-se que se conseguiu manter a temperatura das células solares dentro dos limites operacionais (abaixo de 85°C). Além disso, após as 12:29 ocorre um salto inesperado nos valores de corrente, tal fato ocorreu por que uma das células perdeu contato com alumínio e esquentou-se demasiadamente, acarretando em aumento da corrente.

## 6.6 Sistema NCPV

Nos dias 24/11/2023 e 27/11/2023 foram coletados dados de corrente de curto circuito e tensão de circuito aberto para a situação sem concentração fotovoltaica (NCPV). Analisando os gráficos destes dias, fez-se uma análise de dois períodos específicos: das 12:36 às 12:39 do dia 24/11/2023 para analisar o comportamento da corrente e das 13:18 às 13:22 do dia 27/11/2023 para analisar o comportamento da tensão. A Figura 6.7 apresenta o período onde se analisou a corrente e a Figura 6.8 apresenta o período onde se analisou a tensão elétrica.

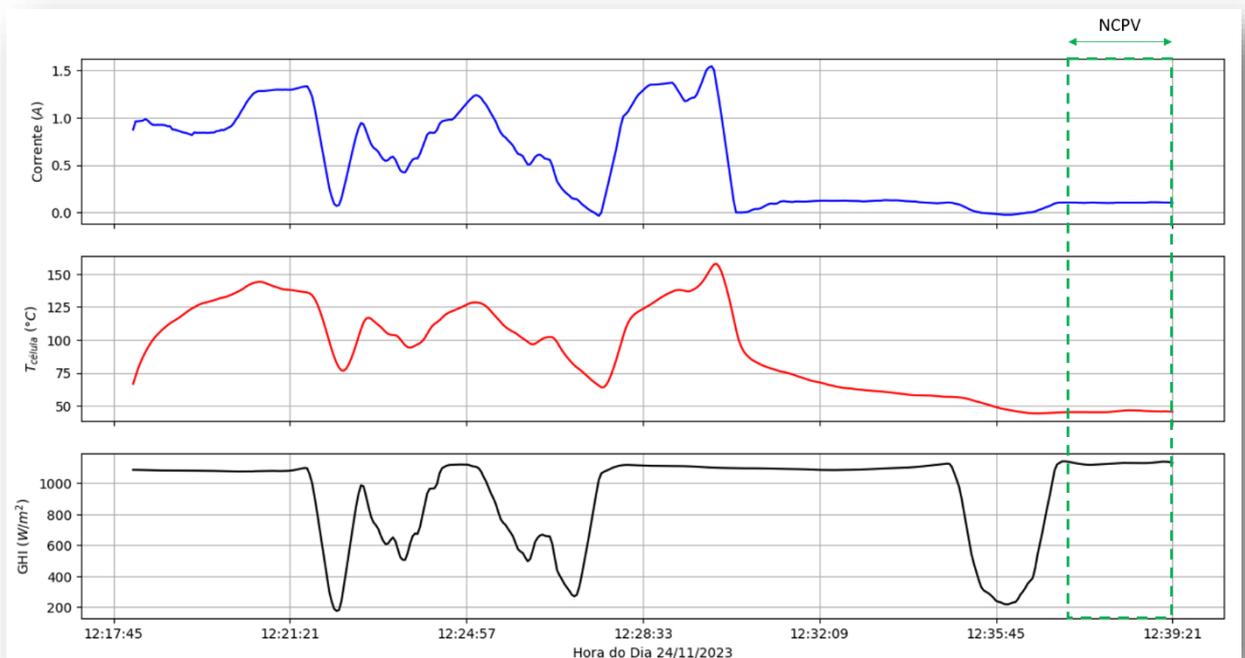


Figura 6. 7 - Período do dia 24/11/2023 onde se analisou a corrente para o teste NCPV.

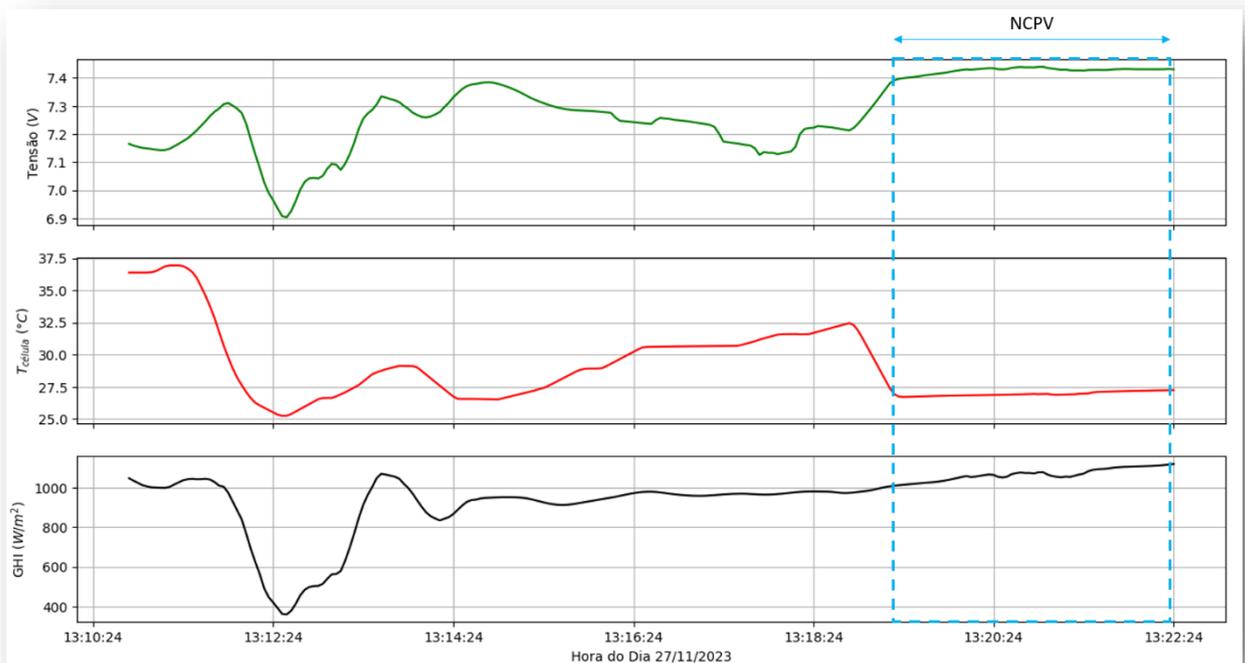


Figura 6. 8 - Período do dia 27/11/2023 onde se analisou a tensão para o teste NCPV.

Dessa forma, foram gerados gráficos de tensão elétrica, corrente elétrica e a relação destes com a temperatura para o sistema NCPV; e com os valores médios obtidos calculou-se a eficiência elétrica do sistema. A Figura 6.10 apresenta o gráfico da tensão elétrica de circuito aberto para o teste NCPV, com um valor médio de 7.42 V; a Figura 6.9 apresenta o gráfico da corrente de curto circuito para o teste NCPV, com um valor médio de 0.102 A. Em ambos os gráficos, estão representados os erros experimentais. Por outro lado, a Figura 6.11 apresenta os gráficos que relacionam a corrente e a tensão com a temperatura da célula.

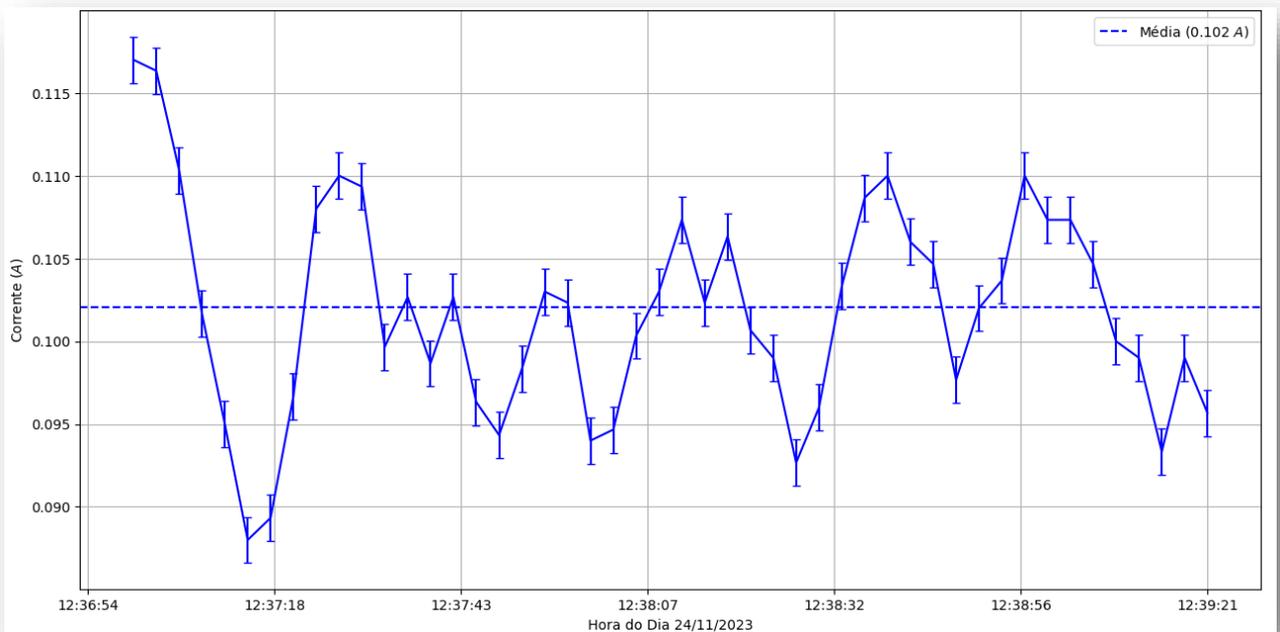


Figura 6. 9 - Corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) no teste NCPV.

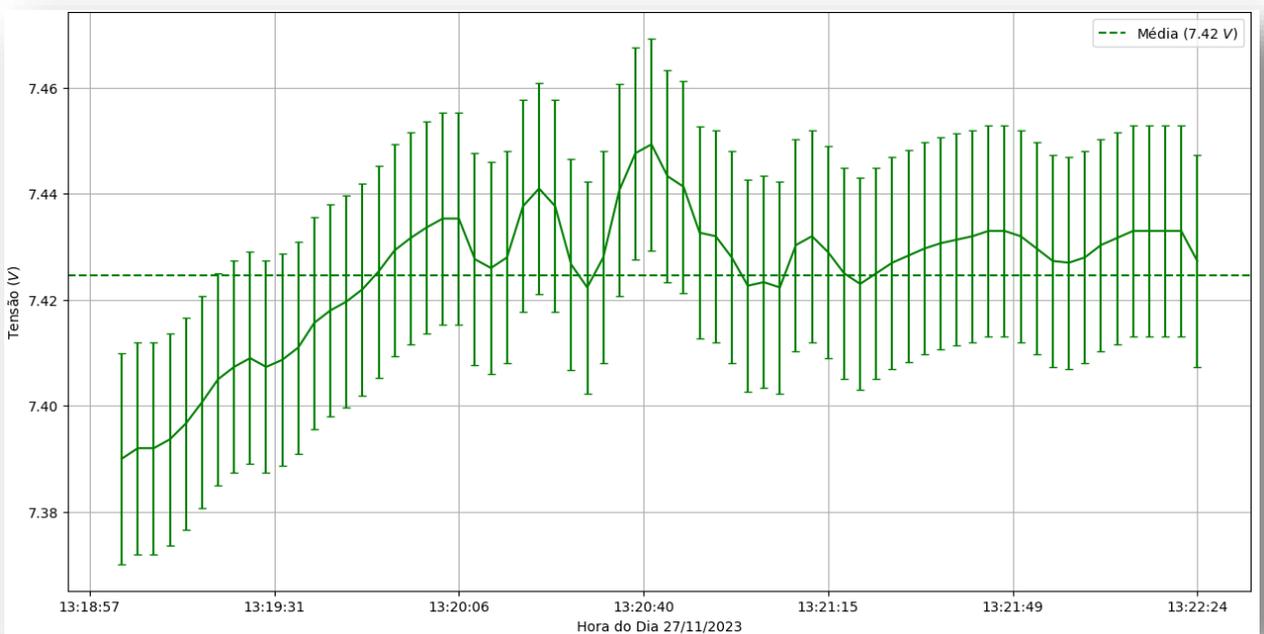


Figura 6. 10 - Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) no teste NCPV.

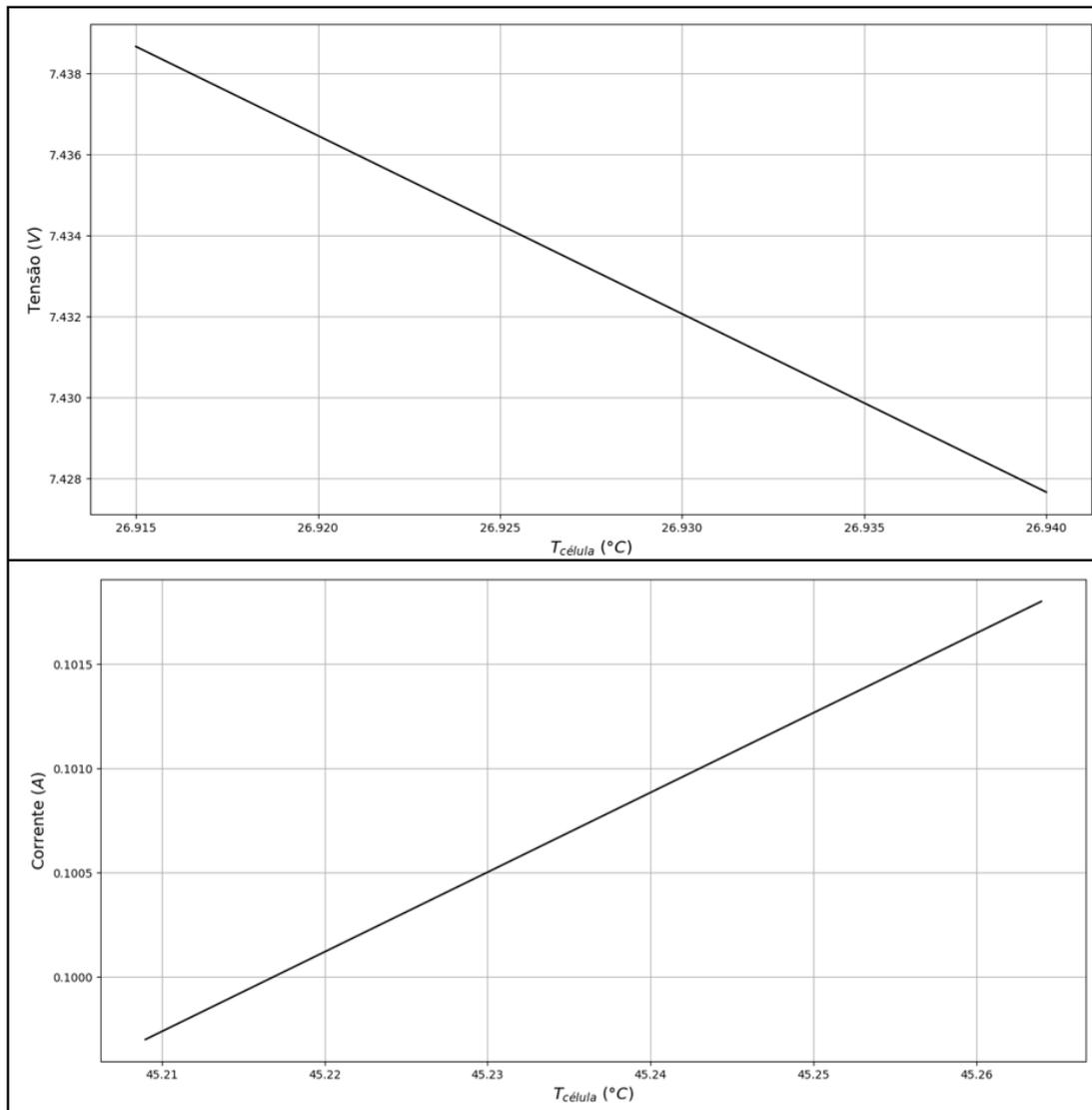


Figura 6. 11 - Gráficos relacionando tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) e corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) com a temperatura da célula ( $T_{célula}$ ) no sistema NCPV.

Analisando os gráficos da Figura 6.11, comprova-se que a corrente e a tensão têm comportamentos inversos em relação à temperatura: a corrente aumenta com a elevação da temperatura, enquanto a tensão diminui.

Para calcular a eficiência elétrica do sistema NCPV ( $\eta_{ele}$ ), utiliza-se a Equação (6.1); e, para calcular o erro desta eficiência ( $\Delta\eta_{ele}$ ), utiliza-se a Equação (6.2).

$$\eta_{ele} = \frac{P_{max}}{GHI * A_{placa}} = \frac{V_{oc} * I_{sc} * FF}{GHI * b * w} \quad (6.1)$$

$$\Delta\eta_{ele} = \eta_{ele} * \left[ \left( \frac{\Delta V_{oc}}{V_{oc}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta I_{sc}}{I_{sc}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta GHI}{GHI} \right)^2 + \left( \frac{\Delta b}{b} \right)^2 + \left( \frac{\Delta w}{w} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6.2)$$

$P_{max}$  – potência elétrica máxima gerada pela placa solar [W]

$GHI$ - irradiância global horizontal [ $W/m^2$ ]

$\Delta GHI$  – erro associado a irradiância global horizontal [ $W/m^2$ ]

$A_{placa}$  – área da placa solar [ $m^2$ ]

$V_{oc}$  – tensão média de circuito aberto [V]

$\Delta V_{oc}$  – erro associado a medida de tensão elétrica [V]

$I_{sc}$  – corrente de curto circuito [A]

$\Delta I_{sc}$  – erro associado a medida de corrente elétrica [A]

$FF$ - *fill factor* (fator de forma)

$b * w$  – medidas da placa solar [m x m]

$\Delta b, \Delta w$  – erros associado a medição das dimensões da placa [m]

O fator de forma ( $FF$ ) é um parâmetro que mede o quanto uma célula solar se aproxima da idealidade, ele é definido como a razão entre a potência máxima gerada pelas células solares e o produto da tensão de circuito aberto e corrente de curto circuito. Nesse sentido, é importante ressaltar que este parâmetro está relacionado à temperatura de operação das células, sendo que para temperaturas maiores, a célula afasta-se da idealidade, e o valor desse fator se aproxima de zero. A Figura 6.12 apresenta uma representação gráfica do que significa o fator de forma.

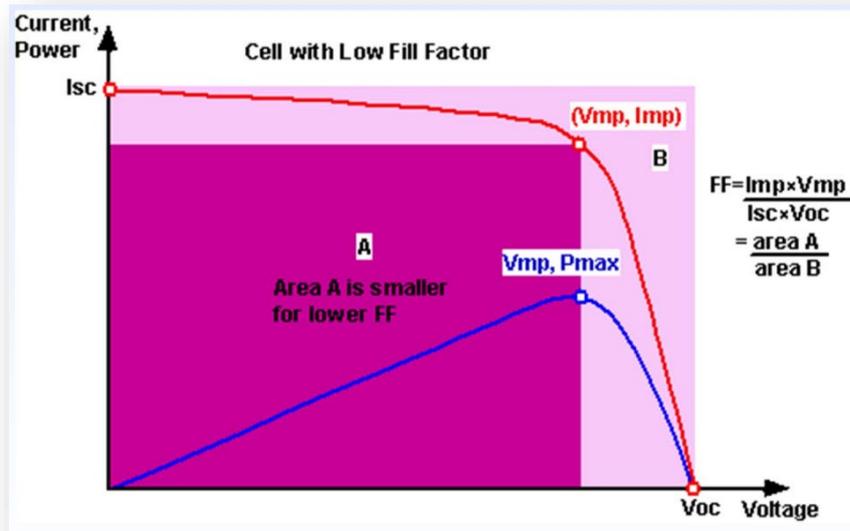


Figura 6. 12 - Representação gráfica de uma célula com baixo fator de forma (FF).

Fonte: DAHAL et al. (2012).

Nesse contexto, segundo presente em (SOLARINNOVA, 2023), o fator de forma nas condições padrão ( $25^{\circ}\text{C}$  e  $1000\text{ W/m}^2$ ) vale 0.7951. Além disso, de acordo com (CHANDER, 2015) o fator de forma para células de silício monocristalino varia com uma taxa de  $-0.0013/^{\circ}\text{C}$ . Desse modo, o fator de forma é calculado segundo a Equação (6.3).

$$FF = 0.7951 - 0.0013 * (T_{célula} - 25) \quad (6.3)$$

Assim sendo, todos os parâmetros para o cálculo da eficiência elétrica já são conhecidos e, como resultado, obtém-se que:

$$FF = 0.7951 - 0.0013 * (27 - 25) = 0.792$$

$$\eta_{ele} = \frac{7.42 * 0.102 * 0.792}{1099 * 0.12 * 0.078} = 5.83 \%$$

$$\Delta\eta_{ele} = 0.0583 * \left[ \left( \frac{0.02}{7.42} \right)^2 + \left( \frac{0.00153}{0.102} \right)^2 + \left( \frac{54.95}{1099} \right)^2 + \left( \frac{0.0005}{0.12} \right)^2 + \left( \frac{0.0005}{0.078} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$= \pm 0.31 \%$$

## 6.7 Sistema CPV

Nos dias 24/11/2023 e 28/11/2023 foram coletados dados de corrente de curto circuito e tensão de circuito aberto para a situação com concentração fotovoltaica (CPV). Analisando os gráficos destes dias, fez-se uma análise de dois períodos específicos: das 12:18 às 12:21 do dia 24/11/2023 para analisar o comportamento da corrente e das 12:30 às 12:33 do dia 28/11/2023 para analisar o comportamento da tensão. A Figura 6.13 apresenta o período onde se analisou a corrente e a Figura 6.14 apresenta o período onde se analisou a tensão elétrica.

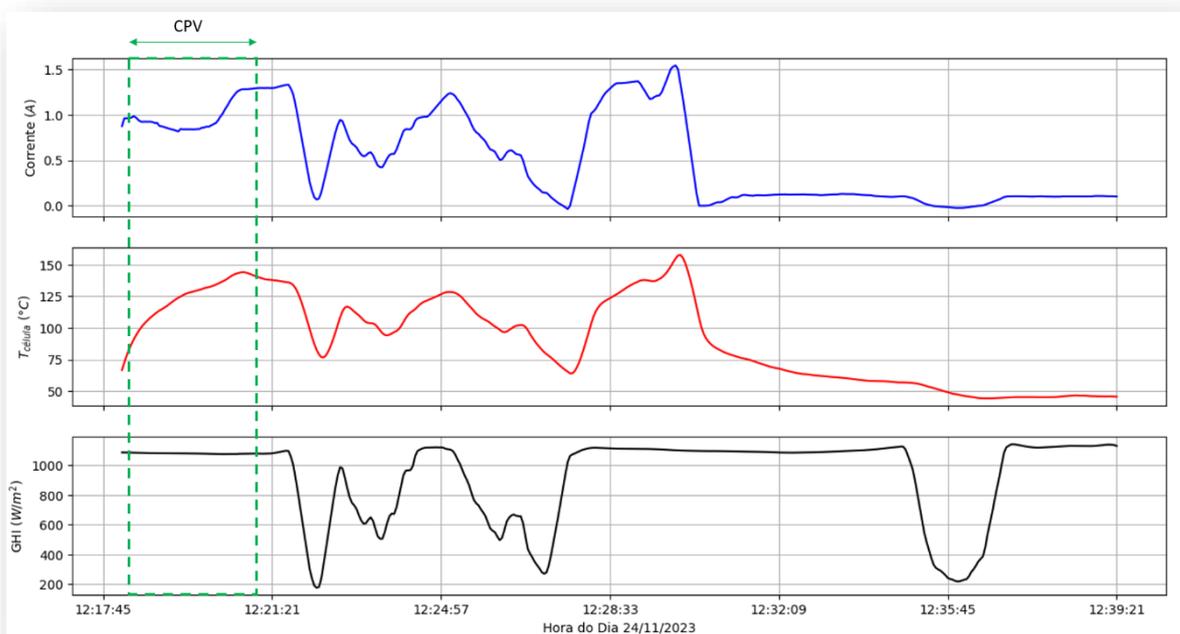


Figura 6. 13 - Período do dia 24/11/2023 onde se analisou a corrente para o teste CPV.

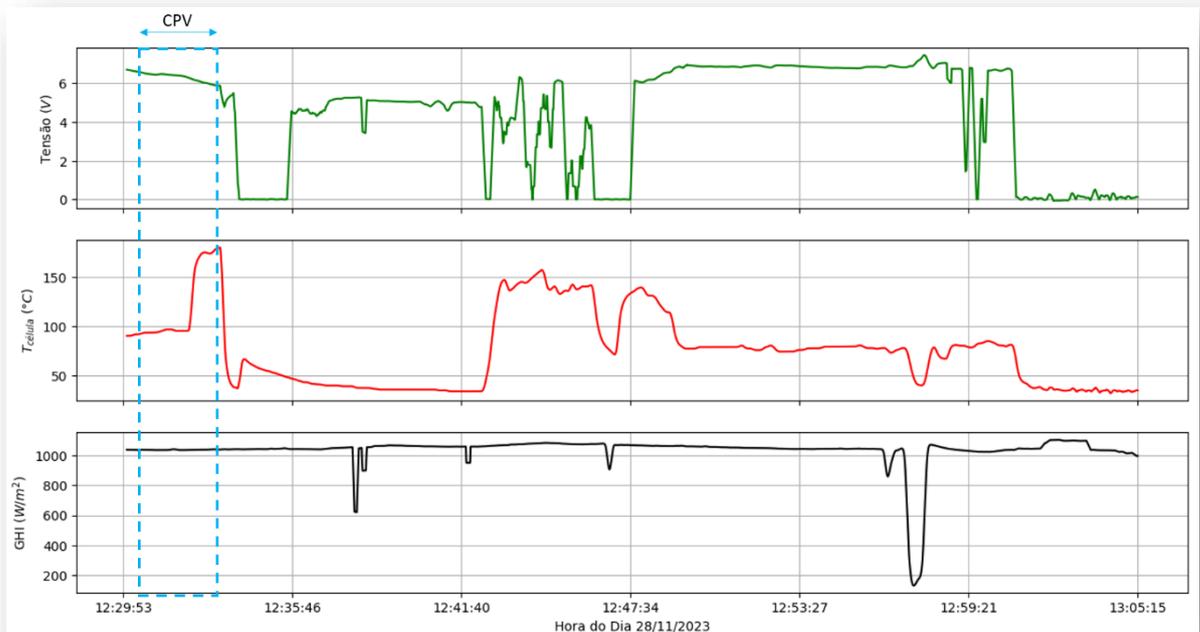


Figura 6. 14 - Período do dia 28/11/2023 onde se analisou a tensão para o teste CPV.

Desse modo, geraram-se gráficos de tensão elétrica, corrente elétrica e a relação destes com a temperatura para o sistema CPV; e com os valores médios obtidos calculou-se a eficiência elétrica do sistema. A Figura 6.15 apresenta o gráfico da tensão elétrica de circuito aberto para o teste CPV, com um valor médio de 6.36 V; a Figura 6.16 apresenta o gráfico da corrente de curto circuito para o teste CPV, com um valor médio de 1.06 A. Por outro lado, a Figura 6.17 apresenta os gráficos que relacionam a corrente e a tensão com a temperatura da célula.

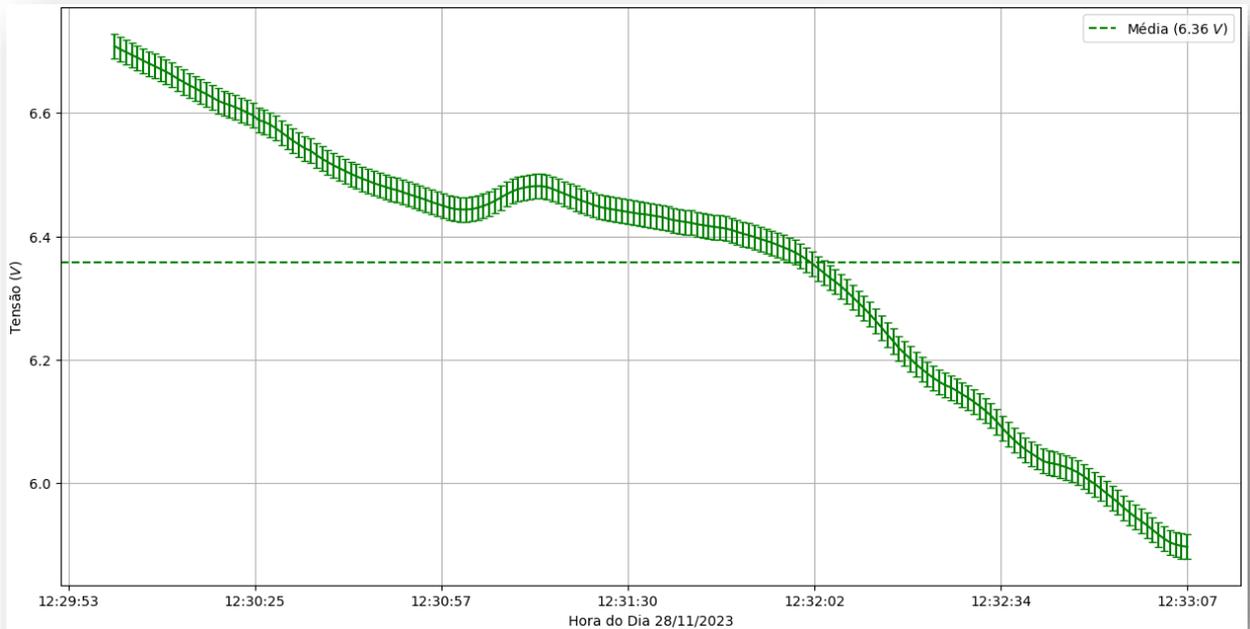


Figura 6. 15 - Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) no teste CPV.

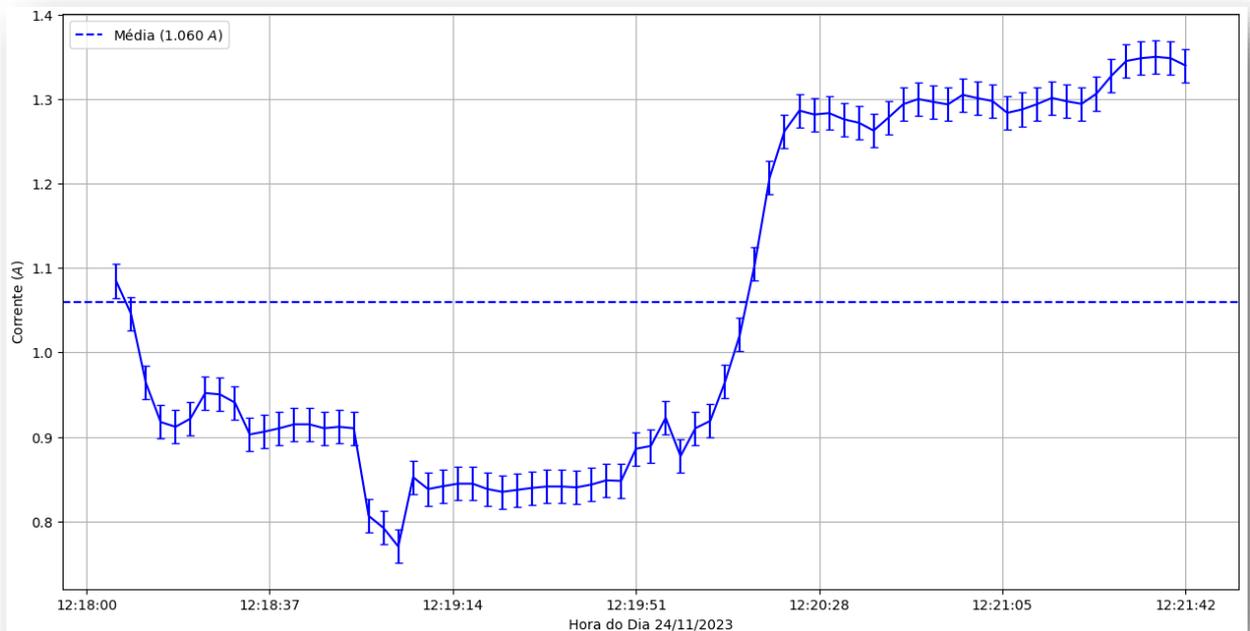


Figura 6. 16 - Corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) no teste CPV.



Para calcular a eficiência elétrica do sistema CPV ( $\eta_{ele}$ ), aproxima-se a irradiação direta normal ( $DNI$ ) como 70% da irradiação global horizontal ( $GHI$ ) e obtém-se o fator de concentração ( $FC$ ) pela Equação (4.2); então utiliza-se a Equação (6.4) e, para calcular o erro desta eficiência ( $\Delta\eta_{ele}$ ), utiliza-se a Equação (6.5).

$$\eta_{ele} = \frac{P_{max}}{[(FC * DNI) + (0.3 * GHI)] * A_{placa}} \quad (6.4)$$

$$= \frac{V_{oc} * I_{sc} * FF}{[(FC * 0.7 + 0.3) * GHI] * b * w}$$

$$\Delta\eta_{ele} = \eta_{ele} * \left[ \left( \frac{\Delta V_{oc}}{V_{oc}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta I_{sc}}{I_{sc}} \right)^2 + \left( \frac{\Delta GHI}{GHI} \right)^2 + \left( \frac{\Delta b}{b} \right)^2 + \left( \frac{\Delta w}{w} \right)^2 + \left( \frac{\Delta FC}{FC} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6.5)$$

$DNI$  – irradiação direta normal [ $W/m^2$ ]

$FC = 46.741 * \exp(-6.93 * 0.26) = 7.7$  – fator de concentração solar para placa 26 cm acima do foco

$\Delta FC = FC * \Delta h = 7.7 * 0.0005 = 0.00385$  – erro do fator de concentração solar

Assim sendo, todos os parâmetros para o cálculo da eficiência elétrica já são conhecidos e, como resultado, obtém-se que:

$$FF = 0.7951 - 0.0013 * (126 - 25) = 0.664$$

$$\eta_{ele} = \frac{6.36 * 1.06 * 0.664}{[(7.7 * 0.7 + 0.3) * 1060] * (0.12 * 0.078)} = 7.91 \%$$

$$\Delta\eta_{ele} = 0.079 * \left[ \left( \frac{0.02}{6.36} \right)^2 + \left( \frac{0.0159}{1.06} \right)^2 + \left( \frac{53}{1060} \right)^2 + \left( \frac{0.0005}{0.12} \right)^2 + \left( \frac{0.0005}{0.078} \right)^2 + \left( \frac{0.00385}{7.7} \right)^2 \right]^{1/2} = \pm 0.42 \%$$

## 6.8 Sistema CPVT

Nos dias 28/11/2023 e 30/11/2023 foram coletados dados de corrente de curto circuito, tensão de circuito aberto e temperaturas para a situação com concentração fotovoltaica térmica (CPVT). Analisando os gráficos destes dias, fez-se uma análise de dois períodos específicos: das 12:50 às 12:56 do dia 28/11/2023 para analisar o comportamento da tensão e das 12:30 às 12:32 do dia 30/11/2023 para analisar o comportamento da corrente e das temperaturas. A Figura 6.18 apresenta o período onde se analisou a corrente, a Figura 6.19 apresenta o período onde se analisou a tensão elétrica e a Figura 6.20 apresenta o gráfico das temperaturas adquiridas para uma vazão total de 3.7 L/min.

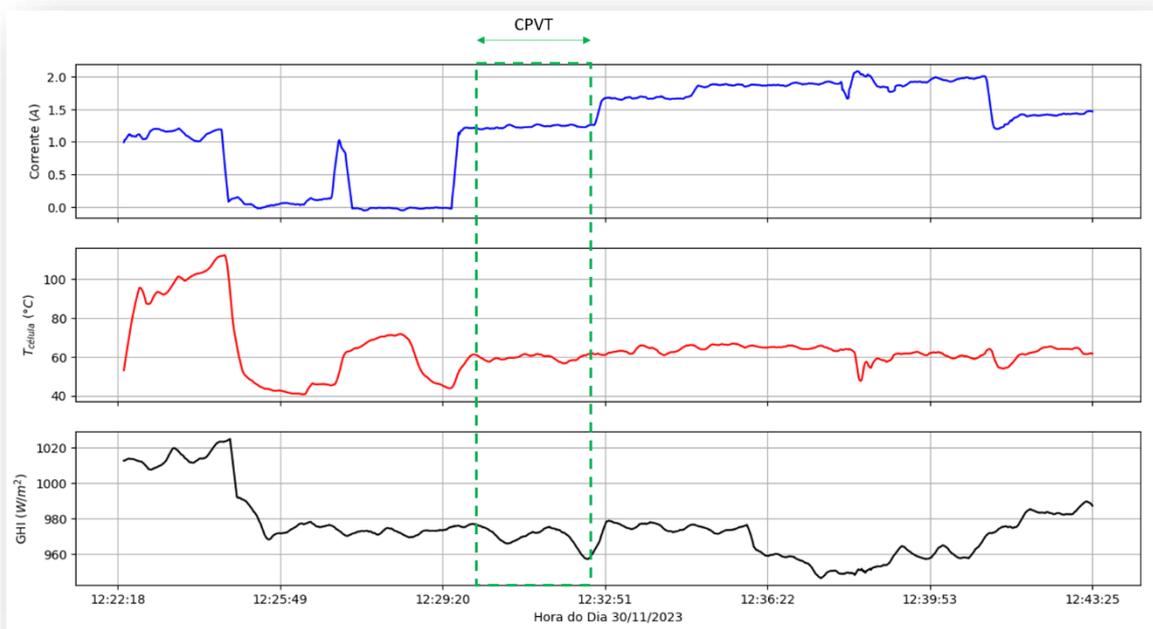


Figura 6. 18 - Período do dia 30/11/2023 onde se analisou a corrente para o teste CPVT.

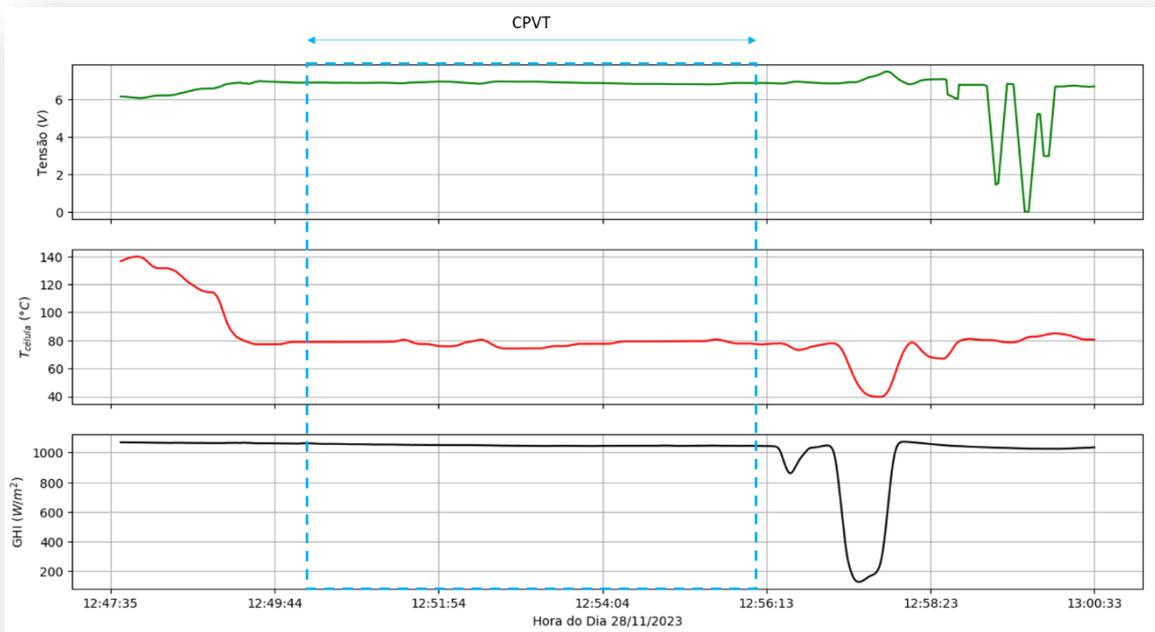


Figura 6. 19 - Período do dia 28/11/2023 onde se analisou a tensão para o teste CPVT.

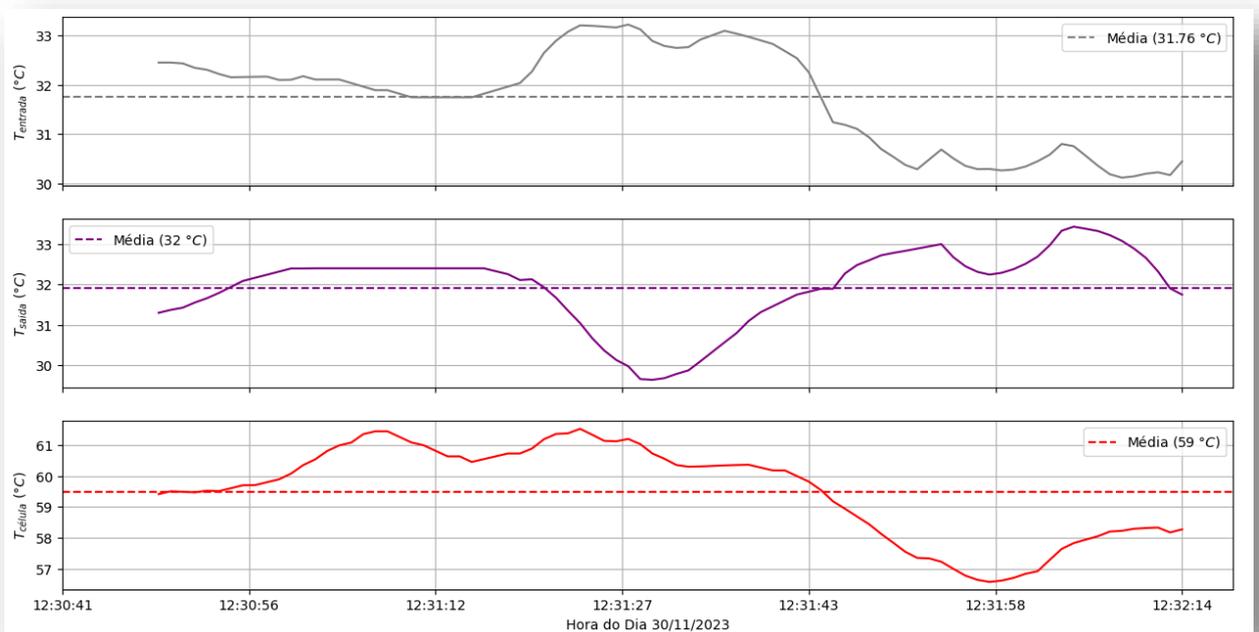


Figura 6. 20 - Temperaturas de entrada, saída e da célula central para o teste CPVT.

Nessa perspectiva, gráficos de tensão elétrica, corrente elétrica e a relação destes com a temperatura para o sistema CPVT foram gerados; e com os valores médios obtidos fizeram-se os cálculos das eficiências elétrica e térmica do sistema. A Figura 6.21 apresenta o gráfico da tensão elétrica de circuito aberto para o teste CPVT, com um valor médio de 6.86 V; a Figura 6.22 apresenta o gráfico da corrente de curto circuito para o teste CPVT, com um valor médio de 1.24 A. Por outro lado, a Figura 6.23 apresenta os gráficos que relacionam a corrente e a tensão com a temperatura da célula.

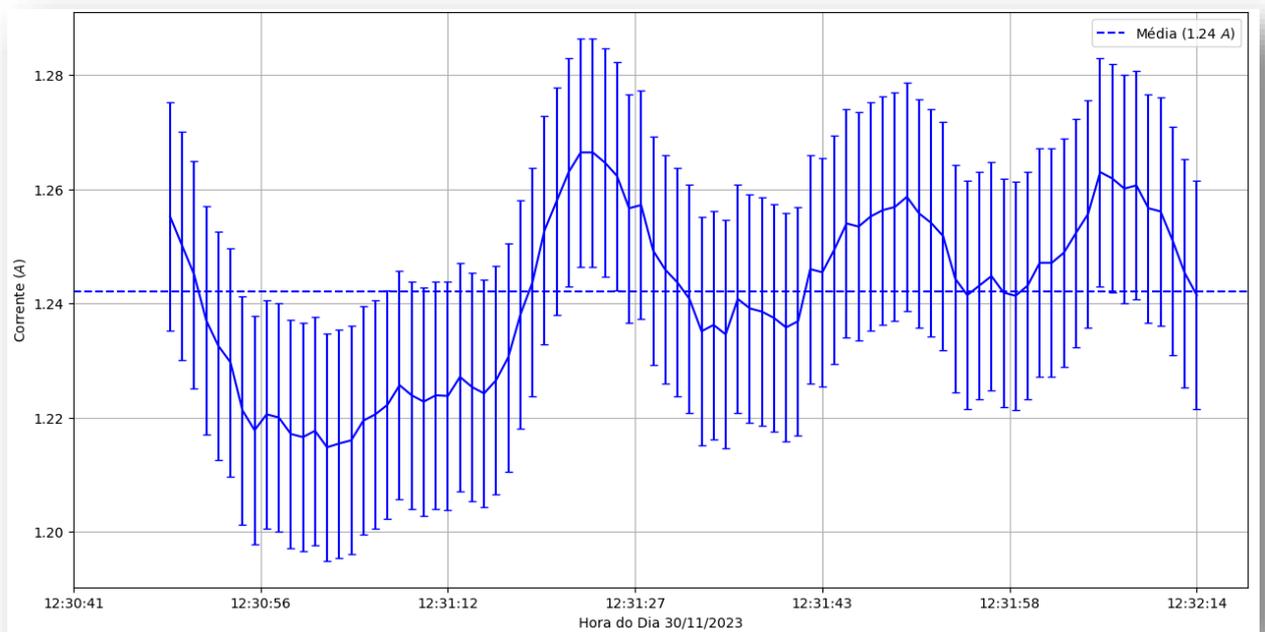


Figura 6. 21 - Corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) no teste CPVT.

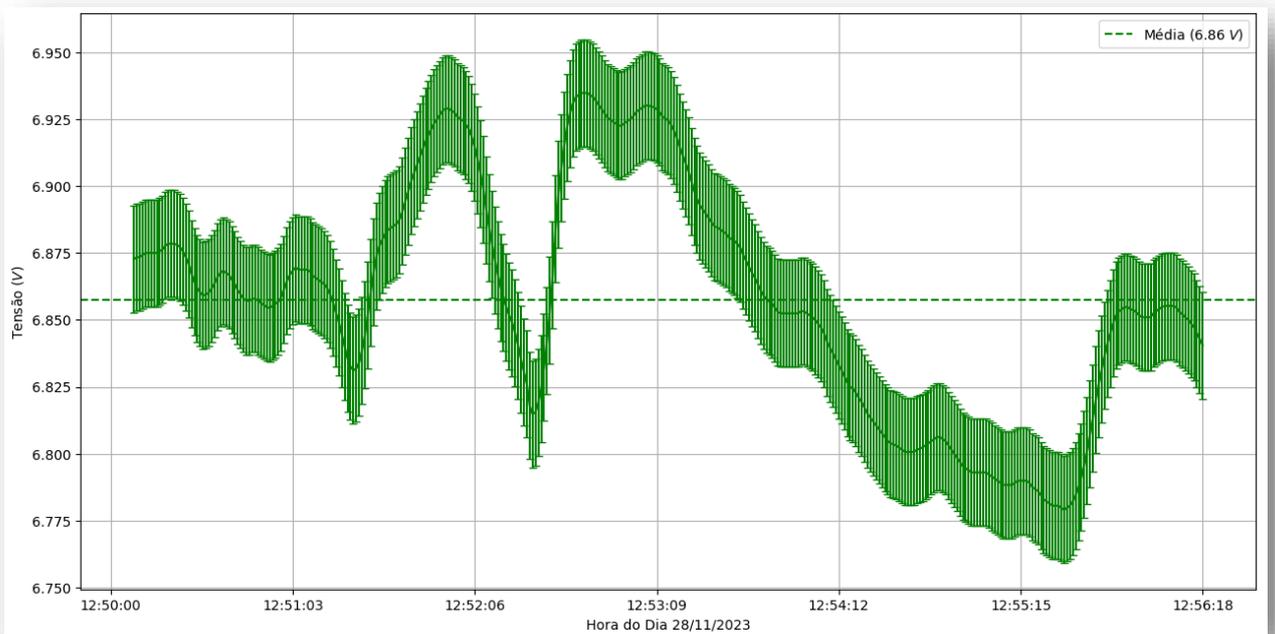


Figura 6. 22 - Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) no teste CPVT.

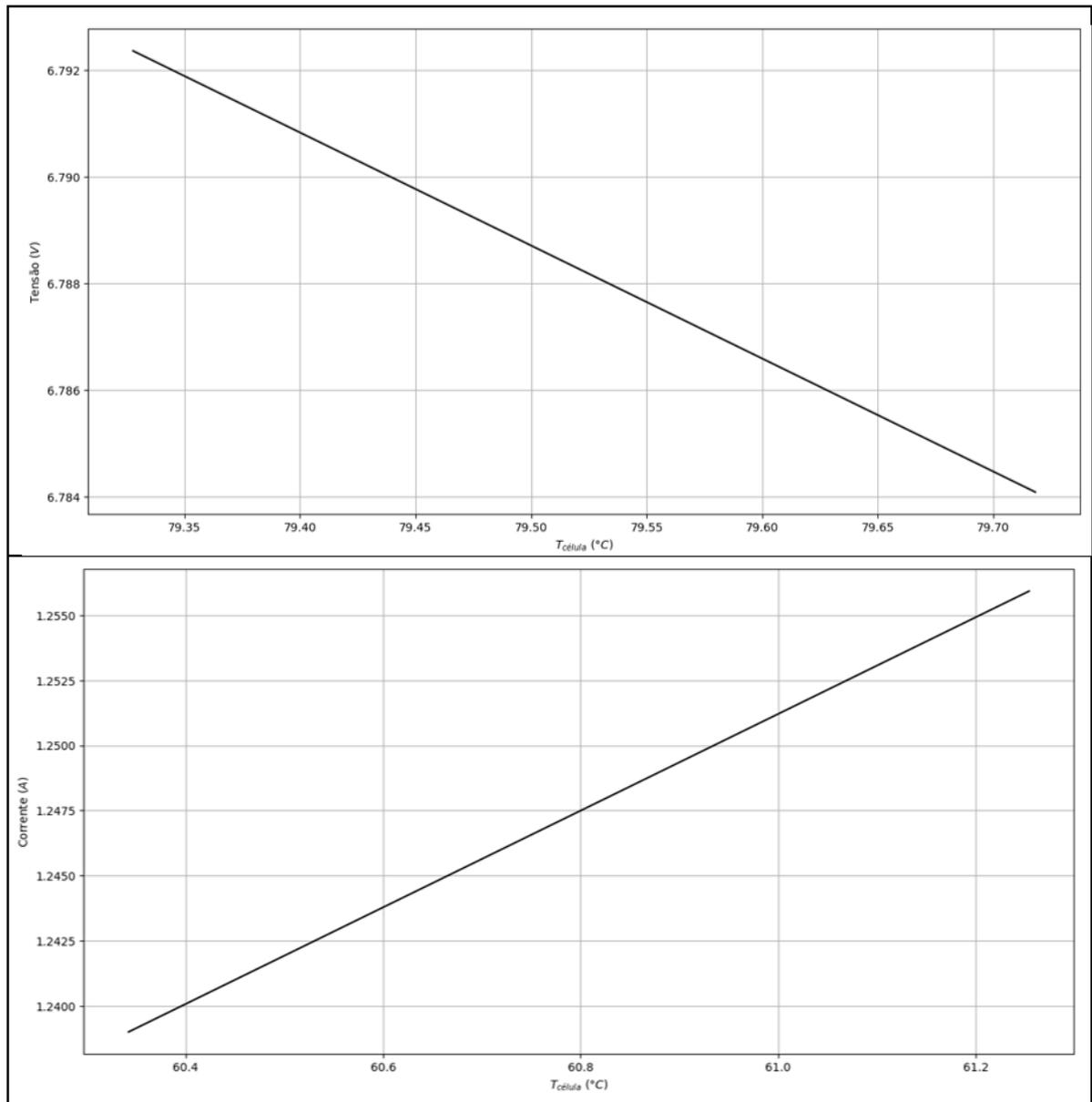


Figura 6. 23 - Gráficos relacionando tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) e corrente de curto circuito ( $I_{sc}$ ) com a temperatura da célula ( $T_{célula}$ ) no sistema CPVT.

Analisando os gráficos da Figura 6.23, comprova-se que a corrente e a tensão no sistema CPVT têm comportamentos similares ao sistema NCPV em relação à temperatura: a corrente aumenta com a elevação da temperatura, enquanto a tensão diminui.

Para calcular a eficiência elétrica do sistema CPVT ( $\eta_{ele}$ ) considera-se o fator de forma ( $FF$ ) como 0.75 devido às temperaturas intermediárias atingidas no teste; então utilizam-se as mesmas equações utilizadas para calcular a eficiência elétrica no sistema CPV, porém com valores de tensão e corrente do sistema CPVT.

Em outro aspecto, para determinar a eficiência térmica do sistema CPVT ( $\eta_{ter}$ ), consideram-se os dados obtidos no dia 30/11/2023, porém desprezando o erro experimental da temperatura devido a pequena diferença entre a temperatura na entrada e saída. Desse modo, utiliza-se a Equação (6.6) e a Equação (6.7).

$$\eta_{ter} = \frac{\rho * Q * c_{agua} * (T_{saida} - T_{entrada})}{[(FC * DNI) + (0.3 * GHI)] * A_{duto}} \quad (6.6)$$

$$= \frac{\rho * Q * c_{agua} * (T_{saida} - T_{entrada})}{[(FC * 0.7 + 0.3) * GHI] * b * w}$$

$$\Delta\eta_{ter} = \eta_{ter} * \left[ \left( \frac{\Delta Q}{Q} \right)^2 + \left( \frac{\Delta GHI}{GHI} \right)^2 + \left( \frac{\Delta b}{b} \right)^2 + \left( \frac{\Delta w}{w} \right)^2 + \left( \frac{\Delta FC}{FC} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6.7)$$

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  – massa específica da água

$Q = 6.17 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  - vazão da água

$c_{agua} = 4180 \text{ J/kgK}$  – calor específico da água

$T_{saida}$  – temperatura da água na saída do duto

$T_{entrada}$  – temperatura da água na entrada do duto

$\Delta Q$  – erro associado a vazão de água

$A_{duto} = b * w = 0.2 * 0.06 \text{ m}^2$  – área do duto por onde passa água

Assim sendo, todos os parâmetros para o cálculo das eficiências elétrica e térmica já são conhecidos e, como resultado, obtém-se que:

$$FF = 0.7951 - 0.0013 * (59 - 25) = 0.751$$

$$\eta_{ele} = \frac{6.86 * 1.26 * 0.751}{[(7.7 * 0.7 + 0.3) * 1009] * (0.12 * 0.078)} = 11.87 \%$$

$$\Delta\eta_{ele} = 0.119 * \left[ \left( \frac{0.02}{6.86} \right)^2 + \left( \frac{0.01845}{1.26} \right)^2 + \left( \frac{50.45}{1009} \right)^2 + \left( \frac{0.0005}{0.12} \right)^2 + \left( \frac{0.0005}{0.078} \right)^2 + \left( \frac{0.00385}{7.7} \right)^2 \right]^{1/2} = \pm 0.63 \%$$

$$\eta_{ter} = \frac{1000 * 6.17 * 10^{-5} * 4180 * (32 - 31.76)}{[(7.7 * 0.7 + 0.3) * 1009] * (0.2 * 0.06)} = 89.66\%$$

$$\begin{aligned} \Delta\eta_{ter} &= 0.897 * \left[ \left( \frac{2.8 * 10^{-6}}{6.17 * 10^{-5}} \right)^2 + \left( \frac{50.45}{1009} \right)^2 + \left( \frac{0.0005}{0.24} \right)^2 + \left( \frac{0.0005}{0.06} \right)^2 + \left( \frac{0.00385}{7.7} \right)^2 \right]^{1/2} \\ &= \pm 6.14\% \end{aligned}$$

## 7 CONCLUSÕES

Devido ao exposto, infere-se que o alumínio anodizado juntamente com o verniz de revestimento conformável são excelentes materiais para garantir o isolamento elétrico e proteção das células solares contra água. Nos experimentos conduzidos neste trabalho, em nenhum momento houve curto-circuito na placa solar. Portanto, conseguiram-se definir os materiais para a construção do duto para o absorvedor fotovoltaico térmico.

Em outro aspecto, é evidente que sistemas de concentração fotovoltaica exigem intervenções para manter a temperatura das células solares em níveis aceitáveis, pois ao não realizar essa intervenção, a temperatura começa a aumentar bruscamente, acarretando em prejuízos operacionais para célula.

Ao comparar três sistemas fotovoltaicos: sem concentração fotovoltaica (NCPV), com concentração fotovoltaica (CPV) e com concentração fotovoltaico térmica (CPVT); percebe-se que a eficiência elétrica vai aumentando na direção NCPV-CPV-CPVT. Todavia, este ganho energético acontece com aumento do custo para concentrar a radiação solar (por lentes ou espelhos), custo para refrigerar as célula (bomba, mangueiras, etc) e o custo para construção da estrutura. Para o sistema CPVT, há a vantagem da geração de energia térmica, a qual pode ser utilizada para outra finalidade que não a geração de energia elétrica. A Tabela 7.1 apresenta uma comparação entre as eficiências obtidas nesses sistemas.

Tabela 7. 1 - Eficiências NCPV, CPV e CPVT.

Sistema	Eficiência Elétrica	Eficiência Térmica
NCPV	5.83 ± 0.31 %	-
CPV	7.91 ± 0.42 %	-
CPVT	11.87 ± 0.63 %	89.66 ± 6.14 %

Nesse contexto, ao analisar o efeito da concentração solar na corrente e tensão geradas, nota-se que a corrente de curto circuito aumenta em torno de dez vezes, enquanto a tensão sofre pouca alteração. Dessa forma, infere-se que a potência elétrica gerada em sistemas com concentração fotovoltaica (CPVT) é muito maior que a potência gerada em sistemas fotovoltaicos tradicionais (NCPV). A Tabela 7.2 apresenta uma comparação entre os valores médios obtidos nos experimentos.

Tabela 7.2 - Valores médios obtidos experimentalmente.

<b>EXPERIMENTO</b>	$V_{oc}$ (V)	$I_{sc}$ (A)	FF	$P_{máx}$ (W)	$\eta_{ele}$ (%)	$T_{célula}$ (°C)
NCPV	7.42	0.102	0.792	0.600	5.83	27
CPV	6.36	1.06	0.664	4.475	7.91	126
CPVT	6.86	1.24	0.751	6.387	11.87	59

Observando a Tabela 7.2, percebe-se que a potência elétrica máxima gerada no sistema CPVT é mais que dez vezes maior que a potência gerada no sistema NCPV, o que comprova o futuro promissor das tecnologias de concentração fotovoltaico térmica.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, R. et al. High concentration linear Fresnel reflectors. **Energy Conversion and Management**, v. 72, p. 60-68, 2013.
- BELLOS, E.; MATHIOULAKIS, E.; PAPANICOLAOU, E.; BELESSIOTIS, V. Experimental investigation of the daily performance of an integrated linear Fresnel reflector system. **Solar Energy**, 167, p. 220-230. 2018.
- CANALSOLAR. **Confirma as 5 maiores usinas fotovoltaicas do Brasil**. Canal Solar, [s.d.]. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/confirma-as-5-maiores-usinas-fotovoltaicas-do-brasil/>>. Acesso em: 10 dez. 2023.
- CASA CIVIL. **Brasil se compromete a reduzir emissões de carbono em 50% até 2030**. Casa Civil, Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2021/novembro/brasil-se-compromete-a-reduzir-emissoes-de-carbono-em-50-ate-2030>>. Acesso em: 10 dez. 2023.
- CHANDER, Subhash et al. A study on photovoltaic parameters of mono-crystalline silicon solar cell with cell temperature. **Energy Reports**, v. 1, p. 104-109, 2015.
- CHENLO, F.; CID, M. A linear concentrator photovoltaic module: analysis of non-uniform illumination and temperature effects on efficiency. **Solar Cells**, v. 20, n. 1, p. 27-39, 1987.
- DAHAL, Lila R. et al. Correlations between mapping spectroscopic ellipsometry results and solar cell performance for evaluations of nonuniformity in thin-film silicon photovoltaics. **IEEE Journal of Photovoltaics**, v. 3, n. 1, p. 387-393, 2012.
- DE CARVALHO, André Luiz Costa. Metodologia para análise, caracterização e simulação de células fotovoltaicas. 2014.
- EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balço Energético Nacional (BEN) 2016: Ano base 2015, 2016**. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em: 12 dez. 2023.
- ENERGÊS. **SOL E A RADIAÇÃO SOLAR**. 28 abr. 2020. Disponível em: <<https://energes.com.br/sol-e-a-radiacao-solar/>>. Acesso em: 10 dez. 2023.
- FANTINI, D.G. **Estudo teórico de um sistema híbrido fotovoltaico térmico com concentrador refletor linear Fresnel**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.
- FRANKLIN, E. et al. Effects of highly non-uniform illumination distribution on electrical performance of solar cells. 2002.
- GOMAA, MOHAMED R.; MUSTAFA, RAMADAN J.; REZK, HEGAZY. An experimental implementation and testing of a concentrated hybrid photovoltaic/thermal system with monocrystalline solar cells using linear Fresnel reflected mirrors. **International Journal of Energy Research**, v. 43, n. 14, p. 8660-8673. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewables 2017: Analysis and Forecasts to 2022**. IEA, [2017]. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/renewables-2017>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy & CO2 Status Report 2019**. IEA, [2019]. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

JURAITIS, Klememas R.; DOMICIANO, João B. Introdução ao Laboratório de Física Experimental: Métodos e Obtenção, Registro e Análise de Dados Experimentais. **Editora Livraria da Física**, 2009.

LECŒUVRE, B.; FAGGIANELLI, G. A.; CANALETTI, J. L.; CRISTOFARI, C. Assessment of a flexible solar hybrid thermal and electrical prototype. **Renewable Energy**, v. 146, p. 1354-1363. 2020.

LEWIS, N. S. Toward cost-effective solar energy use. **Science**. 09 abr. 2007. Disponível em: <<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1137014>>. Acesso em: 12 dez. 2023.

LOPES, RAPHAEL M. **Construção e teste de sistema fotovoltaico-térmico com concentração solar por refletor linear Fresnel**. Projeto de Graduação – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2023.

MATEOS-CANSECO, Alejandro et al. Time-Resolved Temperature Map Prediction of Concentration Photovoltaics Systems by Means of Coupled Ray Tracing Flux Analysis and Thermal Quadrupoles Modelling. **Energies**, v. 11, n. 8, p. 2042, 2018.

MENG, Fanchao et al. Improved photovoltaic performance of monocrystalline silicon solar cell through luminescent down-converting Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S: Tb<sup>3+</sup> phosphor. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 27, n. 7, p. 640-651, 2019.

OSÓRIO, Tiago et al. Ray-tracing software comparison for linear focusing solar collectors. In: **AIP conference proceedings**. AIP Publishing, 2016.

PEREIRA, Enio Bueno et al. Atlas brasileiro de energia solar. **São José dos Campos: Inpe**, v. 1, 2017.

PHILIPPS, Simon P. et al. **Current status of concentrator photovoltaic (CPV) technology**. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2015.

PIGOZZO FILHO, Victor César et al. Desenvolvimento e análise experimental de um concentrador solar Fresnel linear para geração direta de vapor. 2019.

QUASCHNING, V. Technology fundamentals – The sun as an energy resource. **Renewable Energy World**, 2003, p. 90-93.

SHANKS, Katie et al. A > 3000 suns high concentrator photovoltaic design based on multiple Fresnel lens primaries focusing to one central solar cell. **Solar Energy**, v. 169, p. 457-467, 2018.

SHARMA, Manoj Kumar; BHATTACHARYA, Jishnu. Deciding between concentrated and non-concentrated photovoltaic systems via direct comparison of experiment with opto-thermal computation. **Renewable Energy**, v. 178, p. 1084-1096, 2021.

SOCIEDADE DO SOL. **Sociedade do Sol**. [s.d.]. Disponível em: <<https://www.sociedadedosol.org.br/>>. Acesso em: 10 dez. 2023.

SOLARINNOVA. Monocrystalline Solar Cells - 125x125mm. Disponível em: <<http://www.solarinnova.net/en/products/photovoltaic/cells/monocrystalline/125x125mm>>. Acesso em: 21 dez. 2023.

VIAN, Ângelo et al. **Energia Solar: Fundamentos Tecnologia e Aplicações**. Editora Blucher, 2021.

VUOLO, José Henrique. **Fundamentos da teoria de erros**. Editora Blucher, 1996.

WU, Yuhua et al. Experimental study on active cooling for concentrating photovoltaic cells working at high concentration ratios. **International Journal of Energy Research**, v. 45, n. 7, p. 10682-10695, 2021.

WU, Yupeng et al. Experimental characterisation of a Fresnel lens photovoltaic concentrating system. **Solar Energy**, v. 86, n. 1, p. 430-440, 2012.

## APÊNDICES

### Apêndice A – Cálculo da irradiância incidente na placa fotovoltaica

Script: código\_R

Linguagem: *Python*

```

from __future__ import division
import numpy as np
import string
import os
import glob
from time import gmtime, strftime

# Tratando os arquivos como único
def main():
    studentname = 'stats_maior'
    outputdir = 'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
SIMULAÇÃO/tonatiuh_python/' + studentname + '/'

    # Rotina
    for i in range(61,71,1): # Mudança para range(1) para ter um loop
executado uma vez
        photonfile = 'cell_' + str(i)
        surfIDs, surfnames = treat_photons(photonfile, outputdir)
        get_statistics(surfIDs, surfnames, photonfile, outputdir,
delphotons=True, delcoords=True)

        print('FINISHED TONATIUH OUTPUT TREATMENT AT: ', end=' ')
        print(strftime('%H: %M: %S', gmtime()))

# Tratar arrays de photons no formato A#
# e transformá-los em matrizes de hit e absorção para cada superfície
def treat_photons(photonfile, outputdir):
    # Photon and parameters files
    photons = outputdir + photonfile + '_1.dat'
    params = outputdir + photonfile + '_parameters.txt'

    # Surf IDs and names
    surfIDs = []
    surfnames = []
    readfile = open(params, 'r')
    lines = readfile.readlines()
    readfile.close()
    for line in lines: # Correção do loop
        try:
            treat_fields = line.split('/') # Correção da função split
            surfIDs.append(int(treat_fields[0]))
            surfname = treat_fields[-1].split('\n')[0] # Correção da
função split
            surfnames.append(surfname)
        except:
            pass

```

```

# Get photons array
P = np.fromfile(photons, dtype='>d')
P = np.reshape(P, (-1, 8)) # 1 photon por linha da matriz
print('photons loaded: ', P.shape[0], end=' ')
print(strftime('%H: %M: %S', gmtime()))

# Get WFgos matrix
WFgos = get_WFgos(P)
np.save(outputdir + 'WFgos', WFgos)

# Get Hits and Abs matrices for surfaces
for surfID in surfIDs:
    A, H = get_Ms_4_surf(surfID, P)
    if A.size > 0:
        np.save(outputdir + 'abss_srfID_%i' % (surfID), A) # Correção
do nome do arquivo
    if H.size > 0:
        np.save(outputdir + 'hits_srfID_%i' % (surfID), H) # Correção
do nome do arquivo

print('photons sorted: ', end=' ')
print(strftime(' %H: %M: %S', gmtime()))

return surfIDs, surfnames

def get_statistics(surfIDs, surfnames, photonfile, outputdir,
delphotons=False, delcoords=False):
    photons = outputdir + photonfile + '_1.dat'
    params = outputdir + photonfile + '_parameters.txt'

    readfile = open(params, 'r')
    lines = readfile.readlines()
    readfile.close()

    # Overall stats
    totalphotons = np.fromfile(photons, dtype='>d')
    totalphotons = np.reshape(totalphotons, (-1, 8))
    totalphotons = totalphotons.shape[0]
    s = '-----'
-\\n'
    s += 'photons file: ' + photons + '\\n'
    s += 'parameters file: ' + params + '\\n'
    s += '-----'
--\\n'
    s += 'total photons: %i \\n' % totalphotons
    WFfile = outputdir + 'WFgos.npy'
    WFrays = np.load(WFfile)
    WFrays = WFrays.shape[0]
    s += 'total rays from Wfront (hiting the system): %i \\n' % WFrays
    photonpower = float(lines[-1])
    s += 'photon power: %0.4f [W/photon] \\n' % photonpower
    totalpowerKW = photonpower * WFrays / 1000
    s += 'total power hitting the system: %0.3f [kW] \\n' % totalpowerKW
    s += '-----'
--\\n'

```

```

# Surf statistics
s += '\n SURFACE STATISTICS'
s += '-----'
--\n'

for i in range(len(surfIDs)):
    surfID = surfIDs[i]
    surfname = surfnames[i]
    try:
        Mfile = outputdir + 'abss_srfID_%i.npy' % (surfID)
        A = np.load(Mfile)
        abss = A.shape[0]
    except:
        abss = 0
    try:
        Mfile = outputdir + 'hits_srfID_%i.npy' % (surfID)
        H = np.load(Mfile)
        hits = H.shape[0]
    except:
        hits = 0

    # OPTICAL EFFICIENCY: ABSORBED PHOTONS/PHOTONS HITING THE SYSTEM
    opteffic = float(abss) / float(WFrays)
    abspowerKW = float(abss) * photonpower / 1000
    irr_sur = abspowerKW/(0.12*0.078)
    # Surfines
    s += 'surfID: %i | surfname: ' % surfID
    s += surfname + '\n'
    s += 'total photon hits: %i \n: ' % hits
    s += 'total absorbed photon: %i \n ' % abss
    s += '>>> total absorbed power: %0.3f [kW] \n' % abspowerKW
    s += '>>> irradiance_cell: %0.3f [kW/m^2] \n' % irr_sur
    s += '>>> optical efficiency: %0.6f \n \n' % opteffic

statsfile = outputdir + photonfile + '_stats.txt'
writefile = open(statsfile, 'w')
writefile.write(s)
writefile.close()

# Delete photonfile
if delphotons:
    os.remove(photons)
    os.remove(params)

# Delete hits and abss coord matrices
if delcoords:
    files = glob.glob(outputdir + '*.npy') # Correção do padrão do
arquivo
    for f in files:
        os.remove(f)

return

def get_WFgos(photonsM):
    # prevID == 0 and nextID != 0
    M = photonsM[photonsM[:, 5] == 0]
    M = M[M[:, 6] != 0]

```

```

# delete columns 0, 4, 5, 6, 7
M = np.delete(M, np.s_[4:8], axis=1)
M = np.delete(M, np.s_[0:1], axis=1)
return M

def get_Ms_4_surf(surfID, photonsM):
    # hits (surfID == surfID)
    H = photonsM[photonsM[:, 7] == surfID]
    # abss (prevID != 0 and nextID == 0)
    if H.size > 0:
        A = H[H[:, 6] == 0]
        if A.size > 0:
            A = A[A[:, 5] != 0]
            # delete columns 0, 4, 5, 6, 7
            A = np.delete(A, np.s_[4:8], axis=1)
            A = np.delete(A, np.s_[0:1], axis=1)
        else:
            A = H
    return A, H

# Startup routine
if __name__ == "__main__":
    main()

```

## Apêndice B – Cálculo do Fator de Concentração em função do posicionamento da placa fotovoltaica

**Script: irradiância x altura**

**Linguagem: Python**

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.optimize import curve_fit

# Caminho da pasta
caminho_pasta = "C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
SIMULAÇÃO/tonatiuh_python/stats_maior/"

# Inicializando altura(i) e irradiância
valores_i = []
valores_irradiance_cell = []

# Loop para 70 arquivos txt
for i in range(1, 71, 1):
    final = 'cell_' + str(i) + '_stats.txt'
    c_arquivo = caminho_pasta + final
    irradiance_cell = None
    surfname_encontrada = False

    # Abrindo o arquivo em modo de leitura
    with open(c_arquivo, 'r') as arquivo:
        linhas = arquivo.readlines() # Lê todas as linhas do arquivo

    # Buscando a informação desejada
    for linha in linhas:
        if "surfname: cell_2" in linha:
            # Se encontrar a linha correspondente a "cell", procura a linha
            seguinte que contém irradiance_cell
            indice = linhas.index(linha)
            linha_irradiance = linhas[indice + 4] # A linha seguinte
            contém irradiance_cell
            irradiance_cell_str = linha_irradiance.split(":")[1].strip() #
            Extrai o valor após os dois pontos e remove espaços em branco

            # Dividir a string da irradiance_cell usando espaços como
            separadores
            parts = irradiance_cell_str.split()

            # Extrai o número
            try:
                irradiance_cell = float(parts[0])
                surfname_encontrada = True
            except ValueError:
                print("Não foi possível converter o valor de
                irradiance_cell em um número float.")
                break
```

```

# Verifica se a surfname "cell" foi encontrada e se o valor de
irradiance_cell foi extraído como um número float
if surfname_encontrada:
    valores_i.append(i)
    valores_irradiance_cell.append(irradiance_cell)
else:
    print("Não foi possível encontrar a surfname 'cell' no arquivo ou
converter o valor de irradiance_cell em um número float.")

# Armazena os valores de irradiância e altura na matriz
valores_i_np = np.array(valores_i)
valores_irradiance_cell_np = np.array(valores_irradiance_cell)

# Define a função exponencial para a regressão
def funcao_exponencial(x, a, b):
    return a * np.exp(-b * x)

# Realiza a regressão exponencial com parâmetros positivos
params, covariance = curve_fit(funcao_exponencial, valores_i_np,
valores_irradiance_cell_np, bounds=(0, [np.inf, np.inf]))

# Parâmetros ajustados
a, b = params

# Plota o gráfico dos pontos
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.plot(valores_i_np, valores_irradiance_cell_np,color='black')
plt.scatter(valores_i_np, valores_irradiance_cell_np, label='Dados',
color='black', marker='o', s=30)
x_fit = np.linspace(valores_i_np.min(), valores_i_np.max(), 100)
y_fit = funcao_exponencial(x_fit, a, b)
plt.plot(x_fit, y_fit, label=f'Regressão Exponencial: $y = {a:.3f}*\exp(-
{b:.4f}x) $', color='r')
plt.xlabel('Altura relativa ao foco (cm)')
plt.ylabel('Fator de Concentração Solar')
#plt.title('Fator de Concentração Solar x Altura relativa ao foco (h)')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

```

## Apêndice C – Mapas de cores da distribuição da irradiância na placa fotovoltaica em diferentes alturas

**Script: distribuição do fluxo**

**Linguagem: Python**

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.colors import LinearSegmentedColormap
from scipy.interpolate import griddata

# Defina as coordenadas do retângulo desejado
x_min, x_max = -0.039, 0.039
y_min, y_max = -0.06, 0.06
lista = [7,14,26,40]

for i in lista:
    # Leitura dos dados do arquivo
    caminho_pasta = "C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
SIMULAÇÃO/tonatiuh_python/SIMULAÇÃO/cell_maior/"
    final = 'cell_' + str(i) + '.txt'
    c_arquivo = caminho_pasta + final

    # Extração das colunas
    x = []
    y = []
    fluxo = []

    try:
        # Tenta abrir o arquivo
        with open(c_arquivo, 'r') as arquivo:
            for linha in arquivo:
                # Divide a linha em valores separados por espaço
                valores = linha.strip().split()

                # Verifica se há três valores na linha (x, y e fluxo)
                if len(valores) == 3:
                    try:
                        # Converte os valores de x, y e fluxo para float
                        x.append(float(valores[0]))
                        y.append(float(valores[1]))
                        fluxo.append(float(valores[2]))
                    except ValueError:
                        # Ignora linhas com valores inválidos
                        pass

    # Converte as listas para arrays do NumPy
    x = np.array(x)
    y = np.array(y)
    fluxo = np.array(fluxo)
    fluxo_médio = np.mean(fluxo)
    índice_de_dispersão = (np.sum((fluxo - fluxo_médio) ** 2) / (50 *
50)) ** (1/2)
    IU = índice_de_dispersão/fluxo_médio
```

```

#índice_de_dispersão = (max(fluxo) - min(fluxo)) / 1000
#IU = 1 / índice_de_dispersão

# Filtragem dos dados dentro do retângulo
mask = (x >= x_min) & (x <= x_max) & (y >= y_min) & (y <= y_max)
x_filtered = x[mask]
y_filtered = y[mask]
fluxo_filtered = fluxo[mask]

# Defina a paleta de cores personalizada (azul, amarelo, vermelho)
colors = [(0, 0, 1), (1, 1, 0), (1, 0, 0)] # Cores RGB
cmap = LinearSegmentedColormap.from_list('custom_colormap', colors,
N=256)

# Aplique a interpolação
new_X = np.linspace(x_min, x_max, num=100)
new_Y = np.linspace(y_min, y_max, num=100)
new_Z = griddata((x_filtered, y_filtered), fluxo_filtered,
(new_X[None, :], new_Y[:, None]), method='cubic')

plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.gca().set_aspect('equal', adjustable='box')
plt.pcolormesh(new_X, new_Y, new_Z, cmap=cmap, shading='auto')
plt.colorbar(label='Fluxo ($W/m^2$)')

# Inclua o valor do índice de dispersão e a altura em relação ao
foco no título
plt.title(f' (I.U: {IU:.3f}, h: {i} cm)')

# Defina a escala do gráfico para os valores desejados
plt.xlim(x_min, x_max)
plt.ylim(y_min, y_max)

# Mostre o gráfico
plt.show()

except FileNotFoundError:
    print(f"O arquivo {c_arquivo} não foi encontrado.")

```

## Apêndice D – Modificador de arquivo .dat do CR1000 para um .txt

### Script: modify\_dat\_to\_txt

#### Linguagem: Python

```
import os
import pandas as pd

# Caminho do arquivo .dat
caminho_arquivo_dat = r'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
EXPERIMENTAL/dados experimentais/dia_28_11_2023_dados_brutos.dat'

# Lê o arquivo .dat e pula as primeiras 4 linhas
df = pd.read_csv(caminho_arquivo_dat, skiprows=4)

# Remove a segunda coluna
df = df.drop(df.columns[1], axis=1)

# Converte a primeira coluna para o formato de hora do dia apenas nas
linhas desejadas
df.loc[:, df.columns[0]] =
pd.to_datetime(df[df.columns[0]]).dt.strftime('%H:%M:%S')

# Obtém o diretório do arquivo .dat
diretorio_dat = os.path.dirname(caminho_arquivo_dat)

# Define o caminho do arquivo .txt no mesmo diretório
caminho_arquivo_txt = os.path.join(diretorio_dat,
'dia_28_11_2023_dados(1).txt')

# Salva o novo DataFrame em um novo arquivo .txt no mesmo diretório,
separado por vírgula
df.to_csv(caminho_arquivo_txt, sep=',', index=False)
```

## Apêndice E – Gera os gráficos iniciais do experimento completo

**Script: exp\_total**

**Linguagem: Python**

```
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.dates as mdates
import numpy as np
from datetime import datetime, timedelta

# Nome do arquivo .txt de entrada
input_file = 'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
EXPERIMENTAL/dados experimentais/dia_28_11_2023_dados(1).txt'

# Abrir o arquivo de entrada para leitura
with open(input_file, 'r') as infile:
    # Ler linhas do arquivo
    lines = infile.readlines()

# Criar listas para armazenar os valores das colunas
tempo = []
corrente = [] # Agora armazenando a corrente
tensao = [] # Adicionando para armazenar a tensão
temperatura = []
ghi = []
T_in = [] # Adicionando para armazenar T_in
T_out = [] # Adicionando para armazenar T_out

# Iterar sobre as linhas do arquivo
for line in lines:
    # Dividir a linha em colunas usando vírgula como separador
    columns = line.split(',')

    # Adicionar valores às listas
    tempo.append(datetime.strptime(columns[0], '%H:%M:%S')) # Converter
para formato datetime
    corrente.append(float(columns[2])) # Armazenar a segunda coluna
(corrente)
    tensao.append(float(columns[3])) # Adicionando para armazenar a
terceira coluna (tensão)
    temperatura.append(float(columns[5])) # Adiciona os valores da sétima
coluna (temperatura)
    ghi.append(float(columns[6])) # Adiciona os valores da quarta coluna
(GHI)
    T_in.append(float(columns[8])) # Adiciona os valores da nona coluna
(T_in)
    T_out.append(float(columns[9])) # Adiciona os valores da décima coluna
(T_out)

# Calcular os valores médios
media_corrente = np.mean(corrente)
media_tensao = np.mean(tensao)
media_temperatura = np.mean(temperatura)
media_ghi = np.mean(ghi)
media_T_in = np.mean(T_in)
```

```

media_T_out = np.mean(T_out)

# Define pontos de inicio e fim do experimento
inicio = tempo[0]
fim = tempo[-1]

# Calcular sete pontos igualmente espaçados entre o início e o fim
delta_t = (fim - inicio) / 6
pontos_x = [inicio + i * delta_t for i in range(7)]

# Função para calcular a média móvel
def moving_average(data, window_size):
    return np.convolve(data, np.ones(window_size)/window_size,
mode='valid')

# Janela da média móvel
window_size = 9

# Calcular média móvel para cada conjunto de dados
ma_corrente = moving_average(corrente, window_size)
ma_tensao = moving_average(tensao, window_size)
ma_T_in = moving_average(T_in, window_size)
ma_T_out = moving_average(T_out, window_size)
ma_ghi = moving_average(ghi, window_size)
ma_temperatura = moving_average(temperatura, window_size)

# Gerar gráficos
fig, (ax1, ax2, ax3) = plt.subplots(3, 1, sharex=True, figsize=(10, 8))

# Gráfico de Corrente
ax1.plot(tempo, corrente, color='b', label='Corrente')
ax1.plot(tempo[window_size-1:], ma_corrente, color='b')
ax1.set_ylabel('Corrente (A)', color='k')
ax1.tick_params('y', colors='k')
ax1.set_xticks(pontos_x)
ax1.legend()

# Gráfico de Temperatura
ax2.plot(tempo, temperatura, color='r', label='Temperatura')
ax2.plot(tempo[window_size-1:], moving_average(temperatura, window_size),
color='r')
ax2.set_ylabel('$T_{célula}$ (°C)', color='k')
ax2.tick_params('y', colors='k')
ax2.set_xticks(pontos_x)
ax2.legend()

# Gráfico de GHI
ax3.plot(tempo, ghi, color='k', label='GHI')
ax3.plot(tempo[window_size-1:], ma_ghi, color='k')
ax3.set_xlabel('Hora do Dia 30/11/2023')
ax3.set_ylabel('GHI (W/m^2)', color='k')
ax3.tick_params('y', colors='k')
ax3.set_xticks(pontos_x)
ax3.legend()

# Ajustar formato do eixo x para mostrar apenas HH:MM:SS
ax3.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))

```

```

# plt.suptitle()
ax1.grid(True)
ax2.grid(True)
ax3.grid(True)

# Criar uma segunda figura para os gráficos de tensão, temperatura e GHI
fig2, (ax4, ax5, ax6) = plt.subplots(3, 1, sharex=True, figsize=(10, 8))

# Gráfico de Tensão
#ax4.plot(tempo, tensao, color='b', label='Tensão')
ax4.plot(tempo[window_size-1:], moving_average(tensao, window_size),
color='g')
ax4.set_ylabel('Tensão (V)', color='k')
ax4.tick_params('y', colors='k')
ax4.set_xticks(pontos_x)
#ax4.legend()

# Gráfico de Temperatura
#ax5.plot(tempo, temperatura, color='r', label='Temperatura')
ax5.plot(tempo[window_size-1:], moving_average(temperatura, window_size),
color='r')
ax5.set_ylabel('$T_{célula}$ (°C)', color='k')
ax5.tick_params('y', colors='k')
ax5.set_xticks(pontos_x)
#ax5.legend()

# Gráfico de GHI
#ax6.plot(tempo, ghi, color='k', label='GHI')
ax6.plot(tempo[window_size-1:], moving_average(ghi, window_size),
color='k')
ax6.set_xlabel('Hora do Dia 30/11/2023')
ax6.set_ylabel('GHI (W/m^2)', color='k')
ax6.tick_params('y', colors='k')
ax6.set_xticks(pontos_x)
#ax6.legend()

# Ajustar formato do eixo x para mostrar apenas HH:MM:SS
ax6.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))

#plt.suptitle()
ax4.grid(True)
ax5.grid(True)
ax6.grid(True)

# Criar terceira figura para os gráficos de T_in, T_out e Temperatura
fig3, (ax7, ax8, ax9) = plt.subplots(3, 1, sharex=True, figsize=(10, 8))

# Gráfico de T_in
#ax7.plot(tempo, T_in, color='g', label='$T_{in}$')
ax7.plot(tempo[window_size-1:], ma_T_in, color='gray', label='Média Móvel')
ax7.set_ylabel('$T_{entrada}$ (°C)', color='k')
ax7.tick_params('y', colors='k')
ax7.set_xticks(pontos_x)
#ax7.legend()

# Gráfico de T_out

```

```
#ax8.plot(tempo, T_out, color='b', label='$T_{out}$')
ax8.plot(tempo[window_size-1:], ma_T_out, color='purple', label='Média
Móvel')
ax8.set_ylabel('$T_{saida}$ (°C) $', color='k')
ax8.tick_params('y', colors='k')
ax8.set_xticks(pontos_x)
#ax8.legend()

# Gráfico de Temperatura
#ax9.plot(tempo, temperatura, color='r', label='Temperatura')
ax9.plot(tempo[window_size-1:], ma_temperatura, color='r', label='Média
Móvel')
ax9.set_xlabel('Hora do Dia 30/11/2023')
ax9.set_ylabel('$T_{célula}$ (°C$)', color='k')
ax9.tick_params('y', colors='k')
ax9.set_xticks(pontos_x)
#ax9.legend()

#Ajustar formato do eixo x para mostrar apenas HH:MM:SS
ax9.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))

#plt.suptitle()
ax7.grid(True)
ax8.grid(True)
ax9.grid(True)

plt.show()
```

## Apêndice F – Gera os gráficos de corrente para os experimentos CPV e NCPV

### Script: I\_CPV\_NCPV

#### Linguagem: Python

```

import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.dates as mdates
import numpy as np
from datetime import datetime, timedelta

# Nome do arquivo .txt de entrada
input_file = 'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
EXPERIMENTAL/dados experimentais/CPV/corrente_CPV_dados.txt'

# Abrir o arquivo de entrada para leitura
with open(input_file, 'r') as infile:
    # Ler linhas do arquivo
    lines = infile.readlines()

# Criar listas para armazenar os valores das colunas
tempo = []
corrente = [] # Agora armazenando a corrente
temperatura = []
ghi = []

# Iterar sobre as linhas do arquivo
for line in lines:
    # Dividir a linha em colunas usando vírgula como separador
    columns = line.split(',')

    # Adicionar valores às listas
    tempo.append(datetime.strptime(columns[0], '%H:%M:%S')) # Converter
para formato datetime
    corrente.append(float(columns[1])) # Armazenar a segunda coluna
(corrente)
    temperatura.append(float(columns[6])) # Adiciona os valores da sétima
coluna (temperatura)
    ghi.append(float(columns[3])) # Adiciona os valores da quarta coluna
(GHI)

    #Calcular erros
    erro_corrente = (1.5/100)*float(columns[1])
    erro_ghi = (5/100)*float(columns[3])
    erro_temperatura = 1.1

# Criar listas para armazenar os erros
erro_corrente_list = [erro_corrente] * len(lines)
erro_temperatura_list = [erro_temperatura] * len(lines)
erro_ghi_list = [erro_ghi] * len(lines)

# Calcular os valores médios
media_corrente = np.mean(corrente)
media_temperatura = np.mean(temperatura)
media_ghi = np.mean(ghi)

```

```

# Define pontos de inicio e fim do experimento
inicio = tempo[0]
fim = tempo[-1]

# Calcular sete pontos igualmente espaçados entre o início e o fim
delta_t = (fim - inicio) / 6
pontos_x = [inicio + i * delta_t for i in range(7)]

# Função para calcular a média móvel
def moving_average(data, window_size):
    return np.convolve(data, np.ones(window_size)/window_size,
mode='valid')

# Janela da média móvel
window_size = 3

# Calcular média móvel para cada conjunto de dados
ma_corrente = moving_average(corrente, window_size)
ma_temperatura = moving_average(temperatura, window_size)
ma_ghi = moving_average(ghi, window_size)

# Gerar gráficos
fig, (ax1, ax2, ax3) = plt.subplots(3, 1, sharex=True, figsize=(10, 8))

# Gráfico de Corrente
#ax1.plot(tempo, corrente, color='b', label='Corrente')
#ax1.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_corrente,
yerr=erro_corrente_list[window_size-1:], color='b', capsize=3)
ax1.plot(tempo[window_size-1:], ma_corrente, color='b')
ax1.axhline(y=media_corrente, color='b', linestyle='--', label=f'Média
({media_corrente:.3f} $A$)')
ax1.set_ylabel('Corrente ($A$)', color='k')
ax1.tick_params('y', colors='k')
ax1.set_xticks(pontos_x)
ax1.legend()

# Gráfico de Temperatura
#ax2.plot(tempo, temperatura, color='r', label='Temperatura')
#ax2.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_temperatura,
yerr=erro_temperatura_list[window_size-1:], color='r', capsize=3)
ax2.plot(tempo[window_size-1:], ma_temperatura, color='r')
ax2.axhline(y=media_temperatura, color='r', linestyle='--', label=f'Média
({media_temperatura:.0f} $°C$)')
ax2.set_ylabel('$T_{célula}$ ($°C$)', color='k')
ax2.tick_params('y', colors='k')
ax2.set_xticks(pontos_x)
ax2.legend()

# Gráfico de GHI
#ax3.plot(tempo, ghi, color='k', label='GHI')
#ax3.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_ghi,
yerr=erro_ghi_list[window_size-1:], color='k', capsize=3)
ax3.plot(tempo[window_size-1:], ma_ghi, color='k')

```

```

ax3.axhline(y=media_ghi, color='k', linestyle='--', label=f'Média
({media_ghi:.0f} $W/m^2$)')
ax3.set_xlabel('Hora do Dia 24/11/2023')
ax3.set_ylabel('GHI ($W/m^2$)', color='k')
ax3.tick_params('y', colors='k')
ax3.set_xticks(pontos_x)
ax3.legend()

# Ajustar formato do eixo x para mostrar apenas HH:MM:SS
ax3.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))

plt.suptitle("CPV")
ax1.grid(True)
ax2.grid(True)
ax3.grid(True)
plt.show()

#Gráfico corrente isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, corrente, color='b', label='Corrente')
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_corrente,
yerr=erro_corrente_list[window_size-1:], color='b', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_corrente, color='b')
plt.axhline(y=media_corrente, color='b', linestyle='--', label=f'Média
({media_corrente:.3f} $A$)')
plt.ylabel('Corrente ($A$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 24/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("CORRENTE CPV")
plt.show()

#Gráfico temperatura isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, temperatura, color='r', label='Temperatura')
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_temperatura,
yerr=erro_temperatura_list[window_size-1:], color='r', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_temperatura, color='r')
plt.axhline(y=media_temperatura, color='r', linestyle='--', label=f'Média
({media_temperatura:.0f} $°C$)')
plt.ylabel('$T_{célula}$ ($°C$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 24/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("TEMPERATURA DA CÉLULA (CPV)")
plt.show()

#Gráfico corrente isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, ghi, color='k', label='GHI')

```

```
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_ghi, yerr=erro_ghi_list[window_size-1:], color='k', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_ghi, color='k')
plt.axhline(y=media_ghi, color='k', linestyle='--', label=f'Média
({media_ghi:.0f} $W/m^2$)')
plt.ylabel('GHI ($W/m^2$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 24/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("GHI CPV")
plt.show()
```

## Apêndice G – Gera os gráficos de corrente e temperatura para o experimento CPVT

### Script: I\_T\_CPVT

#### Linguagem: *Python*

```

import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.dates as mdates
import numpy as np
from datetime import datetime, timedelta

# Nome do arquivo .txt de entrada
input_file = 'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
EXPERIMENTAL/dados experimentais/CPVT/corrente_CPVT_dados.txt'

# Abrir o arquivo de entrada para leitura
with open(input_file, 'r') as infile:
    # Ler linhas do arquivo
    lines = infile.readlines()

# Criar listas para armazenar os valores das colunas
tempo = []
corrente = [] # Agora armazenando a corrente
temperatura = []
ghi = []
T_in = []
T_out = []

# Iterar sobre as linhas do arquivo
for line in lines:
    # Dividir a linha em colunas usando vírgula como separador
    columns = line.split(',')

    # Adicionar valores às listas
    tempo.append(datetime.strptime(columns[0], '%H:%M:%S')) # Converter
para formato datetime
    corrente.append(float(columns[2])) # Armazenar a terceira coluna
(corrente)
    temperatura.append(float(columns[5])) # Adiciona os valores da sétima
coluna (temperatura)
    ghi.append(float(columns[6])) # Adiciona os valores da quarta coluna
(GHI)
    T_in.append(float(columns[10])) # Adiciona os valores da nona coluna
(T_in)
    T_out.append(float(columns[9])) # Adiciona os valores da décima coluna
(T_out)

    # Calcular erros
    erro_corrente = 0.02
    erro_ghi = (5/100) * float(columns[6])
    erro_T_in = 1.1
    erro_T_out = 1.1
    erro_temperatura = 1.1

# Criar listas para armazenar os erros
erro_corrente_list = [erro_corrente] * len(lines)
erro_temperatura_list = [erro_temperatura] * len(lines)

```

```

erro_ghi_list = [erro_ghi] * len(lines)
erro_T_in_list = [erro_T_in] * len(lines)
erro_T_out_list = [erro_T_out] * len(lines)

# Calcular os valores médios
media_corrente = np.mean(corrente)
media_temperatura = np.mean(temperatura)
media_ghi = np.mean(ghi)
media_T_in = np.mean(T_in)
media_T_out = np.mean(T_out)

# Define pontos de inicio e fim do experimento
inicio = tempo[0]
fim = tempo[-1]

# Calcular sete pontos igualmente espaçados entre o início e o fim
delta_t = (fim - inicio) / 6
pontos_x = [inicio + i * delta_t for i in range(7)]

# Função para calcular a média móvel
def moving_average(data, window_size):
    return np.convolve(data, np.ones(window_size)/window_size,
mode='valid')

# Janela da média móvel
window_size = 9

# Calcular média móvel para cada conjunto de dados
ma_corrente = moving_average(corrente, window_size)
ma_temperatura = moving_average(temperatura, window_size)
ma_ghi = moving_average(ghi, window_size)
ma_T_in = moving_average(T_in, window_size)
ma_T_out = moving_average(T_out, window_size)

# Gerar gráficos
fig, (ax1, ax2, ax3) = plt.subplots(3, 1, sharex=True, figsize=(10, 8))

# Gráfico de Corrente
ax1.plot(tempo[window_size-1:], ma_corrente, color='b')
ax1.axhline(y=media_corrente, color='b', linestyle='--', label=f'Média
({media_corrente:.2f} $A$)')
ax1.set_ylabel('Corrente ($A$)', color='k')
ax1.tick_params('y', colors='k')
ax1.set_xticks(pontos_x)
ax1.legend()

# Gráfico de Temperatura
ax2.plot(tempo[window_size-1:], ma_temperatura, color='r')
ax2.axhline(y=media_temperatura, color='r', linestyle='--', label=f'Média
({media_temperatura:.0f} $°C$)')
ax2.set_ylabel('$T_{célula}$ ($°C$)', color='k')
ax2.tick_params('y', colors='k')
ax2.set_xticks(pontos_x)
ax2.legend()

# Gráfico de GHI
ax3.plot(tempo[window_size-1:], ma_ghi, color='k')

```

```

ax3.axhline(y=media_ghi, color='k', linestyle='--', label=f'Média
({media_ghi:.0f} $W/m^2$)')
ax3.set_xlabel('Hora do Dia 30/11/2023')
ax3.set_ylabel('GHI ($W/m^2$)', color='k')
ax3.tick_params('y', colors='k')
ax3.set_xticks(pontos_x)
ax3.legend()

# Ajustar formato do eixo x para mostrar apenas HH:MM:SS
ax3.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))

plt.suptitle("CPVT")
ax1.grid(True)
ax2.grid(True)
ax3.grid(True)
plt.show()

# Gerar gráficos
fig, (ax4, ax5, ax6) = plt.subplots(3, 1, sharex=True, figsize=(10, 8))

# Gráfico de T_in
ax4.plot(tempo[window_size-1:], ma_T_in, color='gray')
ax4.axhline(y=media_T_in, color='gray', linestyle='--', label=f'Média
({media_T_in:.2f} $°C$)')
ax4.set_ylabel('$T_{entrada}$ ($°C$)', color='k')
ax4.tick_params('y', colors='k')
ax4.set_xticks(pontos_x)
ax4.legend()

# Gráfico de T_out
ax5.plot(tempo[window_size-1:], ma_T_out, color='purple')
ax5.axhline(y=media_T_out, color='purple', linestyle='--', label=f'Média
({media_T_out:.0f} $°C$)')
ax5.set_ylabel('$T_{saida}$ ($°C$)', color='k')
ax5.tick_params('y', colors='k')
ax5.set_xticks(pontos_x)
ax5.legend()

# Gráfico de Temperatura
ax6.plot(tempo[window_size-1:], ma_temperatura, color='r')
ax6.axhline(y=media_temperatura, color='r', linestyle='--', label=f'Média
({media_temperatura:.0f} $°C$)')
ax6.set_ylabel('$T_{célula}$ ($°C$)', color='k')
ax6.set_xlabel('Hora do Dia 30/11/2023')
ax6.tick_params('y', colors='k')
ax6.set_xticks(pontos_x)
ax6.legend()

# Ajustar formato do eixo x para mostrar apenas HH:MM:SS
ax6.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))

plt.suptitle("CPVT")
ax4.grid(True)
ax5.grid(True)
ax6.grid(True)
plt.show()

```

```

# Gráfico de Corrente Isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_corrente,
yerr=erro_corrente_list[window_size-1:], color='b', capsize=3)
plt.axhline(y=media_corrente, color='b', linestyle='--', label=f'Média
({media_corrente:.2f} $A$)')
plt.ylabel('Corrente ($A$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 30/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("CORRENTE CPVT")
plt.show()

# Gráfico de Temperatura Isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, temperatura, color='r', label='Temperatura')
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_temperatura,
yerr=erro_temperatura_list[window_size-1:], color='r', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_temperatura, color='r')
plt.axhline(y=media_temperatura, color='r', linestyle='--', label=f'Média
({media_temperatura:.0f} $°C$)')
plt.ylabel('$T_{célula}$ ($°C$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 30/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("TEMPERATURA DA CÉLULA CPVT")
plt.show()

# Gráfico de GHI Isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, ghi, color='k', label='GHI')
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_ghi, yerr=erro_ghi_list[window_size-
1:], color='k', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_ghi, color='k')
plt.axhline(y=media_ghi, color='k', linestyle='--', label=f'Média
({media_ghi:.0f} $W/m^2$)')
plt.ylabel('GHI ($W/m^2$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 30/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("GHI CPVT")
plt.show()

# Gráfico de Temperatura de entrada isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, T_in, color='gray', label='')

```

```

plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_T_in,
yerr=erro_T_in_list[window_size-1:], color='gray', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_T_in, color='gray')
plt.axhline(y=media_T_in, color='gray', linestyle='--', label=f'Média
({media_T_in:.0f} $°C$)')
plt.ylabel('$T_{entrada}$ ($°C$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 30/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("TEMPERATURA DE ENTRADA CPVT")
plt.show()

# Gráfico de T_out Isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, T_out, color='r', label='')
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_T_out,
yerr=erro_T_out_list[window_size-1:], color='purple', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_T_out, color='r')
plt.axhline(y=media_T_out, color='purple', linestyle='--', label=f'Média
({media_T_out:.0f} $°C$)')
plt.ylabel('$T_{saida}$ ($°C$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 30/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("TEMPERATURA DE SAIDA CPVT")
plt.show()

```

## Apêndice H – Gera o gráfico de tensão para o experimento NCPV

**Script: V\_NCPV**

**Linguagem: Python**

```
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.dates as mdates
import numpy as np
from datetime import datetime, timedelta

# Nome do arquivo .txt de entrada
input_file = 'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
EXPERIMENTAL/dados experimentais/NCPV/tensao_NCPV_dados.txt'

# Abrir o arquivo de entrada para leitura
with open(input_file, 'r') as infile:
    # Ler linhas do arquivo
    lines = infile.readlines()

# Criar listas para armazenar os valores das colunas
tempo = []
tensao = [] # Agora armazenando a tensão
temperatura = []
ghi = []

# Iterar sobre as linhas do arquivo
for line in lines:
    # Dividir a linha em colunas usando vírgula como separador
    columns = line.split(',')

    # Adicionar valores às listas
    tempo.append(datetime.strptime(columns[0], '%H:%M:%S')) # Converter
para formato datetime
    tensao.append(float(columns[2])) # Armazenar a terceira coluna
(tensão)
    temperatura.append(float(columns[6])) # Adiciona os valores da sétima
coluna (temperatura)
    ghi.append(float(columns[3])) # Adiciona os valores da quarta coluna
(GHI)

    #Calcular erros
    erro_tensao = 0.02
    erro_ghi = (5/100)*float(columns[3])
    erro_temperatura = 1.1

# Criar listas para armazenar os erros
erro_tensao_list = [erro_tensao] * len(lines)
erro_temperatura_list = [erro_temperatura] * len(lines)
erro_ghi_list = [erro_ghi] * len(lines)

# Calcular os valores médios
media_tensao = np.mean(tensao)
media_temperatura = np.mean(temperatura)
media_ghi = np.mean(ghi)
```

```

# Define pontos de inicio e fim do experimento
inicio = tempo[0]
fim = tempo[-1]

# Calcular sete pontos igualmente espaçados entre o início e o fim
delta_t = (fim - inicio) / 6
pontos_x = [inicio + i * delta_t for i in range(7)]

# Função para calcular a média móvel
def moving_average(data, window_size):
    return np.convolve(data, np.ones(window_size)/window_size,
mode='valid')

# Janela da média móvel
window_size = 3

# Calcular média móvel para cada conjunto de dados
ma_tensao = moving_average(tensao, window_size)
ma_temperatura = moving_average(temperatura, window_size)
ma_ghi = moving_average(ghi, window_size)

# Gerar gráficos
fig, (ax1, ax2, ax3) = plt.subplots(3, 1, sharex=True, figsize=(10, 8))

# Gráfico de Tensão
#ax1.plot(tempo, tensao, color='b', label='Tensão')
#ax1.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_tensao,
yerr=erro_tensao_list[window_size-1:], color='b', capsize=3)
ax1.plot(tempo[window_size-1:], ma_tensao, color='g')
ax1.axhline(y=media_tensao, color='g', linestyle='--', label=f'Média
({media_tensao:.2f} $V$)')
ax1.set_ylabel('Tensão ($V$)', color='k')
ax1.tick_params('y', colors='k')
ax1.set_xticks(pontos_x)
ax1.legend()

# Gráfico de Temperatura
#ax2.plot(tempo, temperatura, color='r', label='Temperatura')
#ax2.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_temperatura,
yerr=erro_temperatura_list[window_size-1:], color='r', capsize=3)
ax2.plot(tempo[window_size-1:], ma_temperatura, color='r')
ax2.axhline(y=media_temperatura, color='r', linestyle='--', label=f'Média
({media_temperatura:.0f} $°C$)')
ax2.set_ylabel('$T_{célula}$ ($°C$)', color='k')
ax2.tick_params('y', colors='k')
ax2.set_xticks(pontos_x)
ax2.legend()

# Gráfico de GHI
#ax3.plot(tempo, ghi, color='k', label='GHI')
#ax3.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_ghi,
yerr=erro_ghi_list[window_size-1:], color='k', capsize=3)
ax3.plot(tempo[window_size-1:], ma_ghi, color='k')

```

```

ax3.axhline(y=media_ghi, color='k', linestyle='--', label=f'Média
({media_ghi:.0f} $W/m^2$)')
ax3.set_xlabel('Hora do Dia 27/11/2023')
ax3.set_ylabel('GHI ($W/m^2$)', color='k')
ax3.tick_params('y', colors='k')
ax3.set_xticks(pontos_x)
ax3.legend()

# Ajustar formato do eixo x para mostrar apenas HH:MM:SS
ax3.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))

plt.suptitle("NCPV")
ax1.grid(True)
ax2.grid(True)
ax3.grid(True)
plt.show()

# Gráfico de Tensão Isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, tensao, color='b', label='Tensão')
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_tensao,
yerr=erro_tensao_list[window_size-1:], color='g', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_tensao, color='b')
plt.axhline(y=media_tensao, color='g', linestyle='--', label=f'Média
({media_tensao:.2f} $V$)')
plt.ylabel('Tensão ($V$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 27/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("TENSÃO NCPV")
plt.show()

# Gráfico de Temperatura Isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, temperatura, color='r', label='Temperatura')
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_temperatura,
yerr=erro_temperatura_list[window_size-1:], color='r', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_temperatura, color='r')
plt.axhline(y=media_temperatura, color='r', linestyle='--', label=f'Média
({media_temperatura:.0f} $°C$)')
plt.ylabel('$T_{célula}$ ($°C$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 27/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("TEMPERATURA NCPV")
plt.show()

# Gráfico de GHI Isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, ghi, color='k', label='GHI')

```

```
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_ghi, yerr=erro_ghi_list[window_size-1:], color='k', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_ghi, color='k')
plt.axhline(y=media_ghi, color='k', linestyle='--', label=f'Média
({media_ghi:.0f} $W/m^2$)')
plt.ylabel('GHI ($W/m^2$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 27/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("GHI NCPV")
plt.show()
```

## Apêndice I – Gera os gráficos de tensão e temperatura para o experimento CPVT

### Script: V\_T\_CPVT

#### Linguagem: *Python*

```

import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.dates as mdates
import numpy as np
from datetime import datetime, timedelta

# Nome do arquivo .txt de entrada
input_file = 'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
EXPERIMENTAL/dados experimentais/CPVT/tensao_CPVT_dados.txt'

# Abrir o arquivo de entrada para leitura
with open(input_file, 'r') as infile:
    # Ler linhas do arquivo
    lines = infile.readlines()

# Criar listas para armazenar os valores das colunas
tempo = []
tensao = [] # Agora armazenando a tensão
temperatura = []
ghi = []
T_in = []
T_out = []

# Iterar sobre as linhas do arquivo
for line in lines:
    # Dividir a linha em colunas usando vírgula como separador
    columns = line.split(',')

    # Adicionar valores às listas
    tempo.append(datetime.strptime(columns[0], '%H:%M:%S')) # Converter
para formato datetime
    tensao.append(float(columns[3])) # Armazenar a terceira coluna
(tensão)
    temperatura.append(float(columns[5])) # Adiciona os valores da sétima
coluna (temperatura)
    ghi.append(float(columns[6])) # Adiciona os valores da quarta coluna
(GHI)
    T_in.append(float(columns[8])) # Adiciona os valores da nona coluna
(T_in)
    T_out.append(float(columns[9])) # Adiciona os valores da décima coluna
(T_out)

    #Calcular erros
    erro_tensao = 0.02
    erro_ghi = (5/100)*float(columns[6])
    erro_T_in = 1.1
    erro_T_out = 1.1
    erro_temperatura = 1.1

# Criar listas para armazenar os erros

```

```

erro_tensao_list = [erro_tensao] * len(lines)
erro_temperatura_list = [erro_temperatura] * len(lines)
erro_ghi_list = [erro_ghi] * len(lines)
erro_T_in_list = [erro_T_in] * len(lines)
erro_T_out_list = [erro_T_out] * len(lines)

# Calcular os valores médios
media_tensao = np.mean(tensao)
media_temperatura = np.mean(temperatura)
media_ghi = np.mean(ghi)
media_T_in = np.mean(T_in)
media_T_out = np.mean(T_out)

# Define pontos de inicio e fim do experimento
inicio = tempo[0]
fim = tempo[-1]

# Calcular sete pontos igualmente espaçados entre o início e o fim
delta_t = (fim - inicio) / 6
pontos_x = [inicio + i * delta_t for i in range(7)]

# Função para calcular a média móvel
def moving_average(data, window_size):
    return np.convolve(data, np.ones(window_size)/window_size,
mode='valid')

# Janela da média móvel
window_size = 9

# Calcular média móvel para cada conjunto de dados
ma_tensao = moving_average(tensao, window_size)
ma_temperatura = moving_average(temperatura, window_size)
ma_ghi = moving_average(ghi, window_size)
ma_T_in = moving_average(T_in, window_size)
ma_T_out = moving_average(T_out, window_size)

# Gerar gráficos
fig, (ax1, ax2, ax3) = plt.subplots(3, 1, sharex=True, figsize=(10, 8))

# Gráfico de Tensão
#ax1.plot(tempo, tensao, color='b', label='Tensão')
#ax1.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_tensao,
yerr=erro_tensao_list[window_size-1:], color='b', capsized=3)
ax1.plot(tempo[window_size-1:], ma_tensao, color='g')
ax1.axhline(y=media_tensao, color='g', linestyle='--', label=f'Média
({media_tensao:.2f} $V$)')
ax1.set_ylabel('Tensão ($V$)', color='k')
ax1.tick_params('y', colors='k')
ax1.set_xticks(pontos_x)
ax1.legend()

# Gráfico de Temperatura
#ax2.plot(tempo, temperatura, color='r', label='Temperatura')
#ax2.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_temperatura,
yerr=erro_temperatura_list[window_size-1:], color='r', capsized=3)
ax2.plot(tempo[window_size-1:], ma_temperatura, color='r')

```

```

ax2.axhline(y=media_temperatura, color='r', linestyle='--', label=f'Média
({media_temperatura:.0f} $°C$)')
ax2.set_ylabel('$T_{célula}$ ($°C$)', color='k')
ax2.tick_params('y', colors='k')
ax2.set_xticks(pontos_x)
ax2.legend()

# Gráfico de GHI
#ax3.plot(tempo, ghi, color='k', label='GHI')
#ax3.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_ghi,
yerr=erro_ghi_list[window_size-1:], color='k', capsize=3)
ax3.plot(tempo[window_size-1:], ma_ghi, color='k')
ax3.axhline(y=media_ghi, color='k', linestyle='--', label=f'Média
({media_ghi:.0f} $W/m^2$)')
ax3.set_xlabel('Hora do Dia 28/11/2023')
ax3.set_ylabel('GHI ($W/m^2$)', color='k')
ax3.tick_params('y', colors='k')
ax3.set_xticks(pontos_x)
ax3.legend()

# Ajustar formato do eixo x para mostrar apenas HH:MM:SS
ax3.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))

plt.suptitle("CPVT")
ax1.grid(True)
ax2.grid(True)
ax3.grid(True)
plt.show()

# Gerar gráficos
fig, (ax4, ax5, ax6) = plt.subplots(3, 1, sharex=True, figsize=(10, 8))

# Gráfico de T_in
#ax4.plot(tempo, T_in, color='b', label='$Temperatura_{entrada}$')
#ax4.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_T_in,
yerr=erro_T_in_list[window_size-1:], color='gray', capsize=3)
ax4.plot(tempo[window_size-1:], ma_T_in, color='gray')
ax4.axhline(y=media_T_in, color='gray', linestyle='--', label=f'Média
({media_T_in:.2f} $°C$)')
ax4.set_ylabel('$T_{entrada}$ ($°C$)', color='k')
ax4.tick_params('y', colors='k')
ax4.set_xticks(pontos_x)
ax4.legend()

# Gráfico de T_out
#ax5.plot(tempo, T_out, color='r', label='')
#ax5.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_T_out,
yerr=erro_temperatura_list[window_size-1:], color='purple', capsize=3)
ax5.plot(tempo[window_size-1:], ma_T_out, color='purple')
ax5.axhline(y=media_T_out, color='purple', linestyle='--', label=f'Média
({media_T_out:.0f} $°C$)')
ax5.set_ylabel('$T_{saida}$ ($°C$)', color='k')
ax5.tick_params('y', colors='k')
ax5.set_xticks(pontos_x)
ax5.legend()

# Gráfico de Temperatura

```

```

#ax6.plot(tempo, temperatura, color='r', label='Temperatura')
#ax6.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_temperatura,
yerr=erro_temperatura_list[window_size-1:], color='r', capsize=3)
ax6.plot(tempo[window_size-1:], ma_temperatura, color='r')
ax6.axhline(y=media_temperatura, color='r', linestyle='--', label=f'Média
({media_temperatura:.0f} °C)')
ax6.set_ylabel('$T_{célula}$ (°C)', color='k')
ax3.set_xlabel('Hora do Dia 28/11/2023')
ax6.tick_params('y', colors='k')
ax6.set_xticks(pontos_x)
ax6.legend()

# Ajustar formato do eixo x para mostrar apenas HH:MM:SS
ax6.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))

plt.suptitle("CPVT")
ax4.grid(True)
ax5.grid(True)
ax6.grid(True)
plt.show()

# Gráfico de Tensão Isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, tensao, color='b', label='Tensão')
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_tensao,
yerr=erro_tensao_list[window_size-1:], color='g', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_tensao, color='b')
plt.axhline(y=media_tensao, color='g', linestyle='--', label=f'Média
({media_tensao:.2f} V)')
plt.ylabel('Tensão (V)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 28/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("TENSÃO CPVT")
plt.show()

# Gráfico de Temperatura Isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, temperatura, color='r', label='Temperatura')
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_temperatura,
yerr=erro_temperatura_list[window_size-1:], color='r', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_temperatura, color='r')
plt.axhline(y=media_temperatura, color='r', linestyle='--', label=f'Média
({media_temperatura:.0f} °C)')
plt.ylabel('$T_{célula}$ (°C)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 28/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("TEMPERATURA DA CÉLULA CPVT")

```

```

plt.show()

# Gráfico de GHI Isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, ghi, color='k', label='GHI')
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_ghi, yerr=erro_ghi_list[window_size-1:], color='k', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_ghi, color='k')
plt.axhline(y=media_ghi, color='k', linestyle='--', label=f'Média ({media_ghi:.0f} $W/m^2$)')
plt.ylabel('GHI ($W/m^2$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 28/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("GHI CPVT")
plt.show()

# Gráfico de Temperatura de entrada isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, T_in, color='gray', label='')
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_T_in, yerr=erro_T_in_list[window_size-1:], color='gray', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_T_in, color='gray')
plt.axhline(y=media_T_in, color='gray', linestyle='--', label=f'Média ({media_T_in:.0f} $°C$)')
plt.ylabel('$T_{entrada}$ ($°C$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 28/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("TEMPERATURA DE ENTRADA CPVT")
plt.show()

# Gráfico de T_out Isolado
plt.figure(figsize=(10, 4))
#plt.plot(tempo, T_out, color='r', label='')
plt.errorbar(tempo[window_size-1:], ma_T_out, yerr=erro_T_out_list[window_size-1:], color='purple', capsize=3)
#plt.plot(tempo[window_size-1:], ma_T_out, color='r')
plt.axhline(y=media_T_out, color='purple', linestyle='--', label=f'Média ({media_T_out:.0f} $°C$)')
plt.ylabel('$T_{saida}$ ($°C$)', color='k')
plt.xlabel('Hora do Dia 28/11/2023', color='k')
plt.tick_params('y', colors='k')
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%H:%M:%S'))
plt.xticks(pontos_x)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.title("TEMPERATURA DE SAIDA CPVT")
plt.show()

```

## Apêndice J – Gera os gráficos da tensão em função da temperatura para o teste NCPV

### Script: VXT\_NCPV

#### Linguagem: Python

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from datetime import datetime

# Nome do arquivo .txt de entrada
input_file = 'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
EXPERIMENTAL/dados experimentais/NCPV/tensao_temperatura_NCPV_dados.txt'

# Abrir o arquivo de entrada para leitura
with open(input_file, 'r') as infile:
    # Ler linhas do arquivo
    lines = infile.readlines()

# Criar listas para armazenar os valores das colunas
tempo = []
tensao = []
temperatura = []

# Criar listas para armazenar os erros
erro_tensao_list = []
erro_temperatura_list = []
erro_ghi_list = []

# Criar listas para armazenar médias
media_tensao_list = []
media_temperatura_list = []

# Definir o tamanho da janela para média
window_size = 6

# Iterar sobre as linhas do arquivo
for i, line in enumerate(lines):
    # Dividir a linha em colunas usando vírgula como separador
    columns = line.split(',')

    # Adicionar valores às listas
    tempo.append(datetime.strptime(columns[0], '%H:%M:%S'))
    tensao.append(float(columns[2]))
    temperatura.append(float(columns[6]))

    # Calcular erros
    erro_tensao = 0.02
    erro_ghi = (5/100) * float(columns[3])
    erro_temperatura = 1.1

    # Adicionar erros às listas
    erro_tensao_list.append(erro_tensao)
    erro_temperatura_list.append(erro_temperatura)
    erro_ghi_list.append(erro_ghi)

```

```
# Calcular médias a cada 25 pontos
if (i + 1) % window_size == 0:
    media_tensao_list.append(np.mean(tensao[i - window_size + 1:i +
1]))
    media_temperatura_list.append(np.mean(temperatura[i - window_size +
1:i + 1]))

# Gerar gráfico de Média de Corrente em função da Média de Temperatura com
barras de erro
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(media_temperatura_list, media_tensao_list, '-', color='black')
#plt.errorbar(media_temperatura_list, media_tensao_list,
xerr=erro_temperatura_list[-len(media_temperatura_list):],
yerr=erro_tensao_list[-len(media_tensao_list):], fmt='-', color='black',
capsize=3)
plt.xlabel('$T_{célula}$ ($^{\circ}C$)', fontsize=14)
plt.ylabel('Tensão ($V$)', fontsize=14)
#plt.legend()
plt.grid(True)
plt.title('NCPV - DIA 27/11/2023 as 13:21 ')
plt.show()
```

## Apêndice K – Gera os gráficos da tensão em função da temperatura para o teste CPV

### Script: VXT\_CPV

#### Linguagem: Python

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from datetime import datetime

# Nome do arquivo .txt de entrada
input_file = 'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
EXPERIMENTAL/dados experimentais/CPV/tensao_temperatura_CPV_dados.txt'

# Abrir o arquivo de entrada para leitura
with open(input_file, 'r') as infile:
    # Ler linhas do arquivo
    lines = infile.readlines()

# Criar listas para armazenar os valores das colunas
tempo = []
tensao = [] # Alteração de corrente para tensao
temperatura = []

# Criar listas para armazenar os erros
erro_tensao_list = [] # Alteração de erro_corrente para erro_tensao
erro_temperatura_list = []
erro_ghi_list = []

# Criar listas para armazenar médias
media_tensao_list = [] # Alteração de media_corrente para media_tensao
media_temperatura_list = []

# Definir o tamanho da janela para média
window_size = 10

# Iterar sobre as linhas do arquivo
for i, line in enumerate(lines):
    # Dividir a linha em colunas usando vírgula como separador
    columns = line.split(',')

    # Adicionar valores às listas
    tempo.append(datetime.strptime(columns[0], '%H:%M:%S'))
    tensao.append(float(columns[3])) # Alteração de corrente para tensao
    temperatura.append(float(columns[5]))

    # Calcular erros
    erro_tensao = 0.02
    erro_ghi = (5/100) * float(columns[3])
    erro_temperatura = 1.1

    # Adicionar erros às listas
    erro_tensao_list.append(erro_tensao)
    erro_temperatura_list.append(erro_temperatura)
    erro_ghi_list.append(erro_ghi)

```

```
# Calcular médias a cada 25 pontos
if (i + 1) % window_size == 0:
    media_tensao_list.append(np.mean(tensao[i - window_size + 1:i +
1])) # Alteração de media_corrente para media_tensao
    media_temperatura_list.append(np.mean(temperatura[i - window_size +
1:i + 1]))

# Gerar gráfico de Média de Tensão em função da Média de Temperatura com
barras de erro
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.errorbar(media_temperatura_list, media_tensao_list,
xerr=erro_temperatura_list[-len(media_temperatura_list):],
yerr=erro_tensao_list[-len(media_tensao_list):], fmt='-', color='black',
capsize=3)
plt.xlabel('$T_{célula}$ ($^{\circ}C$)')
plt.ylabel('Tensão ($V$)') # Alteração de Corrente para Tensão
#plt.legend()
plt.grid(True)
plt.title('CPV - DIA 28/11/2023 12:30 AS 12:32 ')
plt.show()
```

## Apêndice L – Gera os gráficos da tensão em função da temperatura para o teste CPVT

### Script: VXT\_CPVT

### Linguagem: Python

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from datetime import datetime

# Nome do arquivo .txt de entrada
input_file = 'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
EXPERIMENTAL/dados experimentais/CPVT/tensao_temperatura_CPVT_dados.txt'

# Abrir o arquivo de entrada para leitura
with open(input_file, 'r') as infile:
    # Ler linhas do arquivo
    lines = infile.readlines()

# Criar listas para armazenar os valores das colunas
tempo = []
tensao = []
temperatura = []

# Criar listas para armazenar os erros
erro_tensao_list = []
erro_temperatura_list = []
erro_ghi_list = []

# Criar listas para armazenar médias
media_tensao_list = []
media_temperatura_list = []

# Definir o tamanho da janela para média
window_size = 22

# Iterar sobre as linhas do arquivo
for i, line in enumerate(lines):
    # Dividir a linha em colunas usando vírgula como separador
    columns = line.split(',')

    # Adicionar valores às listas
    tempo.append(datetime.strptime(columns[0], '%H:%M:%S'))
    tensao.append(float(columns[3]))
    temperatura.append(float(columns[5]))

    # Calcular erros
    erro_tensao = 0.02
    erro_ghi = (5/100) * float(columns[3])
    erro_temperatura = 1.1

    # Adicionar erros às listas
    erro_tensao_list.append(erro_tensao)
    erro_temperatura_list.append(erro_temperatura)
    erro_ghi_list.append(erro_ghi)

```

```
# Calcular médias a cada 25 pontos
if (i + 1) % window_size == 0:
    media_tensao_list.append(np.mean(tensao[i - window_size + 1:i +
1]))
    media_temperatura_list.append(np.mean(temperatura[i - window_size +
1:i + 1]))

# Gerar gráfico de Média de Corrente em função da Média de Temperatura com
barras de erro
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(media_temperatura_list, media_tensao_list, '-', color='black')
#plt.errorbar(media_temperatura_list, media_tensao_list,
xerr=erro_temperatura_list[-len(media_temperatura_list):],
yerr=erro_tensao_list[-len(media_tensao_list):], fmt='-', color='black',
capsize=3)
plt.xlabel('$T_{célula}$ ($°C$)')
plt.ylabel('Tensão ($V$)')
#plt.legend()
plt.grid(True)
plt.title('CPVT- DIA 28/11/2023 12:54')
plt.show()
```

## Apêndice M – Gera os gráficos da corrente em função da temperatura para o teste NCPV

**Script: IXT\_NCPV**

**Linguagem: Python**

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from datetime import datetime

# Nome do arquivo .txt de entrada
input_file = 'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
EXPERIMENTAL/dados experimentais/NCPV/corrente_temperatura_NCPV_dados.txt'

# Abrir o arquivo de entrada para leitura
with open(input_file, 'r') as infile:
    # Ler linhas do arquivo
    lines = infile.readlines()

# Criar listas para armazenar os valores das colunas
tempo = []
corrente = []
temperatura = []

# Criar listas para armazenar os erros
erro_corrente_list = []
erro_temperatura_list = []
erro_ghi_list = []

# Criar listas para armazenar médias
media_corrente_list = []
media_temperatura_list = []

# Definir o tamanho da janela para média
window_size = 10

# Iterar sobre as linhas do arquivo
for i, line in enumerate(lines):
    # Dividir a linha em colunas usando vírgula como separador
    columns = line.split(',')

    # Adicionar valores às listas
    tempo.append(datetime.strptime(columns[0], '%H:%M:%S'))
    corrente.append(float(columns[1]))
    temperatura.append(float(columns[6]))

    # Calcular erros
    erro_corrente = (1.5/100) * float(columns[1])
    erro_ghi = (5/100) * float(columns[3])
    erro_temperatura = 1.1

    # Adicionar erros às listas
    erro_corrente_list.append(erro_corrente)
    erro_temperatura_list.append(erro_temperatura)
    erro_ghi_list.append(erro_ghi)
```

```
# Calcular médias a cada 25 pontos
if (i + 1) % window_size == 0:
    media_corrente_list.append(np.mean(corrente[i - window_size + 1:i +
1]))
    media_temperatura_list.append(np.mean(temperatura[i - window_size +
1:i + 1]))

# Gerar gráfico de Média de Corrente em função da Média de Temperatura com
barras de erro
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(media_temperatura_list, media_corrente_list, '-', color='black')
#plt.errorbar(media_temperatura_list, media_corrente_list,
xerr=erro_temperatura_list[-len(media_temperatura_list):],
yerr=erro_corrente_list[-len(media_corrente_list):], fmt='-',
color='black', capsize=3)
plt.xlabel('$T_{célula}$ ($°C$)', fontsize=14)
plt.ylabel('Corrente ($A$)', fontsize=14)
#plt.legend()
plt.grid(True)
plt.title('NCPV - DIA 24/11/2023 12:37')
plt.show()
```

## Apêndice N – Gera os gráficos da corrente em função da temperatura para o teste CPV

### Script: IXT\_CPV

#### Linguagem: Python

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from datetime import datetime

# Nome do arquivo .txt de entrada
input_file = 'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
EXPERIMENTAL/dados experimentais/CPV/corrente_temperatura_CPV_dados.txt'

# Abrir o arquivo de entrada para leitura
with open(input_file, 'r') as infile:
    # Ler linhas do arquivo
    lines = infile.readlines()

# Criar listas para armazenar os valores das colunas
tempo = []
corrente = []
temperatura = []

# Criar listas para armazenar os erros
erro_corrente_list = []
erro_temperatura_list = []
erro_ghi_list = []

# Criar listas para armazenar médias
media_corrente_list = []
media_temperatura_list = []

# Definir o tamanho da janela para média
window_size = 4

# Iterar sobre as linhas do arquivo
for i, line in enumerate(lines):
    # Dividir a linha em colunas usando vírgula como separador
    columns = line.split(',')

    # Adicionar valores às listas
    tempo.append(datetime.strptime(columns[0], '%H:%M:%S'))
    corrente.append(float(columns[1]))
    temperatura.append(float(columns[6]))

    # Calcular erros
    erro_corrente = (1.5/100) * float(columns[1])
    erro_ghi = (5/100) * float(columns[3])
    erro_temperatura = 1.1

    # Adicionar erros às listas
    erro_corrente_list.append(erro_corrente)
    erro_temperatura_list.append(erro_temperatura)
    erro_ghi_list.append(erro_ghi)

```

```
# Calcular médias a cada 25 pontos
if (i + 1) % window_size == 0:
    media_corrente_list.append(np.mean(corrente[i - window_size + 1:i +
1]))
    media_temperatura_list.append(np.mean(temperatura[i - window_size +
1:i + 1]))

# Gerar gráfico de Média de Corrente em função da Média de Temperatura com
barras de erro
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.errorbar(media_temperatura_list, media_corrente_list,
xerr=erro_temperatura_list[-len(media_temperatura_list):],
yerr=erro_corrente_list[-len(media_corrente_list):], fmt='-',
color='black', capsize=3)
plt.xlabel('$T_{célula}$ ($°C$)')
plt.ylabel('Corrente ($A$)')
#plt.legend()
plt.grid(True)
plt.title('CPV - DIA 24/11/2023 12:27 AS 12:30 ')
plt.show()
```

## Apêndice O – Gera os gráficos da corrente em função da temperatura para o teste CPVT

### Script: IXT\_CPVT

#### Linguagem: Python

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from datetime import datetime

# Nome do arquivo .txt de entrada
input_file = 'C:/Users/pedop/OneDrive/Anexos/Desktop/PG/PG2 -
EXPERIMENTAL/dados experimentais/CPVT/corrente_temperatura_CPVT_dados.txt'

# Abrir o arquivo de entrada para leitura
with open(input_file, 'r') as infile:
    # Ler linhas do arquivo
    lines = infile.readlines()

# Criar listas para armazenar os valores das colunas
tempo = []
corrente = []
temperatura = []

# Criar listas para armazenar os erros
erro_corrente_list = []
erro_temperatura_list = []
erro_ghi_list = []

# Criar listas para armazenar médias
media_corrente_list = []
media_temperatura_list = []

# Definir o tamanho da janela para média
window_size = 13

# Iterar sobre as linhas do arquivo
for i, line in enumerate(lines):
    # Dividir a linha em colunas usando vírgula como separador
    columns = line.split(',')

    # Adicionar valores às listas
    tempo.append(datetime.strptime(columns[0], '%H:%M:%S'))
    corrente.append(float(columns[2]))
    temperatura.append(float(columns[5]))

    # Calcular erros
    erro_corrente = (1.5/100) * float(columns[2])
    erro_ghi = (5/100) * float(columns[3])
    erro_temperatura = 1.1

    # Adicionar erros às listas
    erro_corrente_list.append(erro_corrente)
    erro_temperatura_list.append(erro_temperatura)
    erro_ghi_list.append(erro_ghi)

```

```
# Calcular médias a cada 25 pontos
if (i + 1) % window_size == 0:
    media_corrente_list.append(np.mean(corrente[i - window_size + 1:i +
1]))
    media_temperatura_list.append(np.mean(temperatura[i - window_size +
1:i + 1]))

# Gerar gráfico de Média de Corrente em função da Média de Temperatura com
barras de erro
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(media_temperatura_list, media_corrente_list, '-', color='black')
#plt.errorbar(media_temperatura_list, media_corrente_list,
xerr=erro_temperatura_list[-len(media_temperatura_list):],
yerr=erro_corrente_list[-len(media_corrente_list):], fmt='-',
color='black', capsize=3)
plt.xlabel('$T_{célula}$ ($°C$)')
plt.ylabel('Corrente ($A$)')
#plt.legend()
plt.grid(True)
plt.title('CPVT - DIA 30/11/2023 12:31 ')
plt.show()
```

## Apêndice P – Calcula as eficiências elétrica e térmica dos sistemas CPV, NCPV e CPVT

**Script: eff**

**Linguagem: Python**

```
import numpy as np

#erros_experimentais
erro_T_in = 1.1
erro_T_out = 1.1
erro_V_oc = 0.02
erro_Q = (0.17/1000)/60
erro_h = (0.5/1000)
erro_b = (0.5/1000)
erro_w = (0.5/1000)

#Fator de concentração para h=26cm (CPV E CPVT)
FC = 46.741*(np.exp(-6.93*0.26))
erro_FC = FC*erro_h

#Células Fotovoltaicas
a = -0.0013
b = 0.7951

# Sistema NCPV
NCPV_I_sc = 0.102
erro_NCPV_I_sc = (1.5/100)*NCPV_I_sc
NCPV_V_oc = 7.42
NCPV_T_cell = 27
NCPV_FF = (a*(NCPV_T_cell - 25)) + 0.7951
NCPV_GHI = (1068 + 1130)/2
erro_NCPV_GHI = (5/100)*NCPV_GHI
NCPV_b = 0.12
NCPV_w = 0.078

NCPV_ETA_ELE = (NCPV_V_oc*NCPV_I_sc*NCPV_FF) / (NCPV_GHI*NCPV_b*NCPV_w)
NCPV_erro_ETA_ELE =
NCPV_ETA_ELE*(((erro_V_oc/NCPV_V_oc)**2)+((erro_NCPV_I_sc/NCPV_I_sc)**2)+
(erro_NCPV_GHI/NCPV_GHI)**2)+((erro_b/NCPV_b)**2)+((erro_w/NCPV_w)**2))**(1
/2))
NCPV_P = NCPV_V_oc*NCPV_I_sc*NCPV_FF
NCPV_erro_P =
NCPV_P*(((erro_V_oc/NCPV_V_oc)**2)+((erro_NCPV_I_sc/NCPV_I_sc)**2)))

print ("FF NCPV: {:.3f}".format(NCPV_FF))
print ("A potência elétrica do sistema NCPV é: {:.7f} +- {:.7f}
".format(NCPV_P,NCPV_erro_P ))
print ("A eficiência elétrica do sistema NCPV é: {:.2f} +- {:.2f} %
".format(NCPV_ETA_ELE*100,NCPV_erro_ETA_ELE*100 ))

#Sistema CPV
CPV_I_sc = 1.06
erro_CPV_I_sc = (1.5/100)*CPV_I_sc
CPV_V_oc = 6.36
CPV_T_cell = 126
```

```

CPV_FF = (a*(CPV_T_cell - 25)) + 0.7951
CPV_GHI = (1083+1038)/2
erro_CPV_GHI = (5/100)*CPV_GHI
CPV_b = 0.12
CPV_w = 0.078

CPV_ETA_ELE = (CPV_V_oc * CPV_I_sc * CPV_FF) /
(((FC*0.7*CPV_GHI)+(0.3*CPV_GHI)) * CPV_b * CPV_w)
CPV_erro_ETA_ELE = CPV_ETA_ELE * (((erro_V_oc/CPV_V_oc)**2) +
((erro_CPV_I_sc/CPV_I_sc)**2) + ((erro_CPV_GHI/CPV_GHI)**2) +
((erro_b/CPV_b)**2)+((erro_FC/FC)**2) + ((erro_w/CPV_w)**2))**(1/2))
CPV_P = CPV_V_oc*CPV_I_sc*CPV_FF
CPV_erro_P =
NCPV_P*(((erro_V_oc/CPV_V_oc)**2)+((erro_CPV_I_sc/NCPV_I_sc)**2))

print ("FF CPV: {:.3f}".format(CPV_FF))
print ("A potência elétrica do sistema CPV é: {:.3f} +- {:.3f}
".format(CPV_P,CPV_erro_P ))
print("A eficiência elétrica do sistema CPV é: {:.2f} +- {:.2f} %
".format(CPV_ETA_ELE * 100, CPV_erro_ETA_ELE * 100))

#Sistema CPVT
CPVT_I_sc = 1.24
erro_CPVT_I_sc = (1.5/100) * CPVT_I_sc
CPVT_V_oc = 6.86
CPVT_T_cell = 59
CPVT_FF = (a*(CPVT_T_cell - 25)) + 0.7951
CPVT_GHI = (970+1048) / 2
erro_CPVT_GHI = (5/100) * CPVT_GHI
CPVT_b = 0.12
CPVT_w = 0.078

CPVT_ETA_ELE = (CPVT_V_oc * CPVT_I_sc * CPVT_FF) /
(((FC*0.7*CPVT_GHI)+(0.3*CPVT_GHI)) * CPVT_b * CPVT_w)
CPVT_erro_ETA_ELE = CPVT_ETA_ELE * (((erro_V_oc/CPVT_V_oc)**2) +
((erro_CPVT_I_sc/CPVT_I_sc)**2) + ((erro_CPVT_GHI/CPVT_GHI)**2) +
((erro_b/CPVT_b)**2) + ((erro_FC/FC)**2) + ((erro_w/CPVT_w)**2))**(1/2))
CPVT_P = CPVT_V_oc*CPVT_I_sc*CPVT_FF
CPVT_erro_P =
CPVT_P*(((erro_V_oc/CPVT_V_oc)**2)+((erro_CPVT_I_sc/CPVT_I_sc)**2))

print ("FF CPVT: {:.3f}".format(CPVT_FF))
print ("A potência elétrica do sistema CPVT é: {:.3f} +- {:.3f}
".format(CPVT_P,CPVT_erro_P ))
print("A eficiência elétrica do sistema CPVT é: {:.2f} +- {:.2f} %
".format(CPVT_ETA_ELE * 100, CPVT_erro_ETA_ELE * 100))

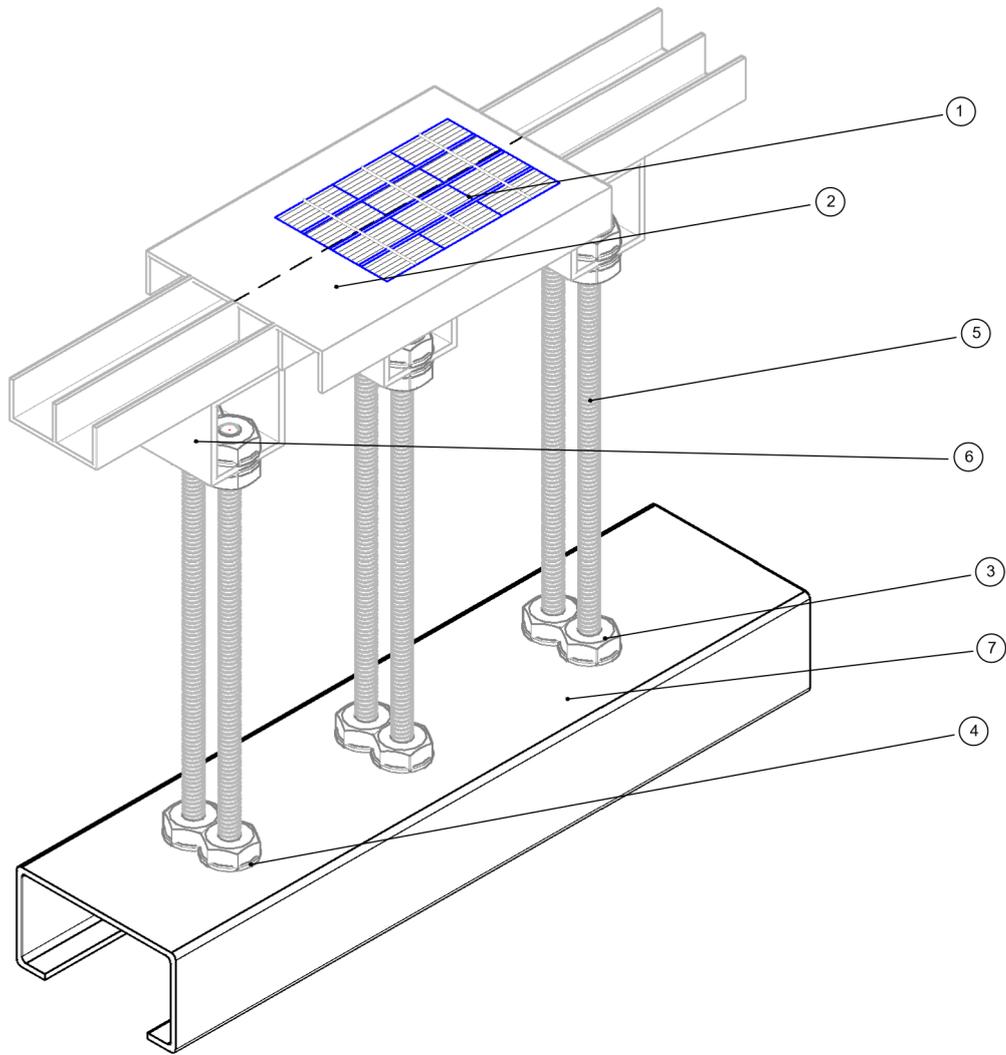
CPVT_rho = 1000
CPVT_Q = (3.7/1000)/60
CPVT_c_agua = 4180
CPVT_T_out = 32
CPVT_T_in = 31.76
erro_dT = np.sqrt(2)*erro_T_in

CPVT_ETA_TER = (CPVT_rho*CPVT_Q*CPVT_c_agua*(CPVT_T_out - CPVT_T_in)) / (FC
* 0.7 * 1009 * 0.2 * 0.06)

```

```
CPVT_erro_ETA_TER = CPVT_ETA_TER*  
(((erro_Q/CPVT_Q)**2)+((0)**2)+((erro_FC/FC)**2)+((erro_CPVT_GHI/1009)**2)  
+((erro_b/0.24)**2)+((erro_w/0.06)**2))**(1/2)  
  
print("A eficiência TÉRMICA do sistema CPVT é: {:.2f} +- {:.2f} %"  
      ".format(CPVT_ETA_TER * 100, CPVT_erro_ETA_TER * 100))
```

**Apêndice Q – Desenhos para fabricação**



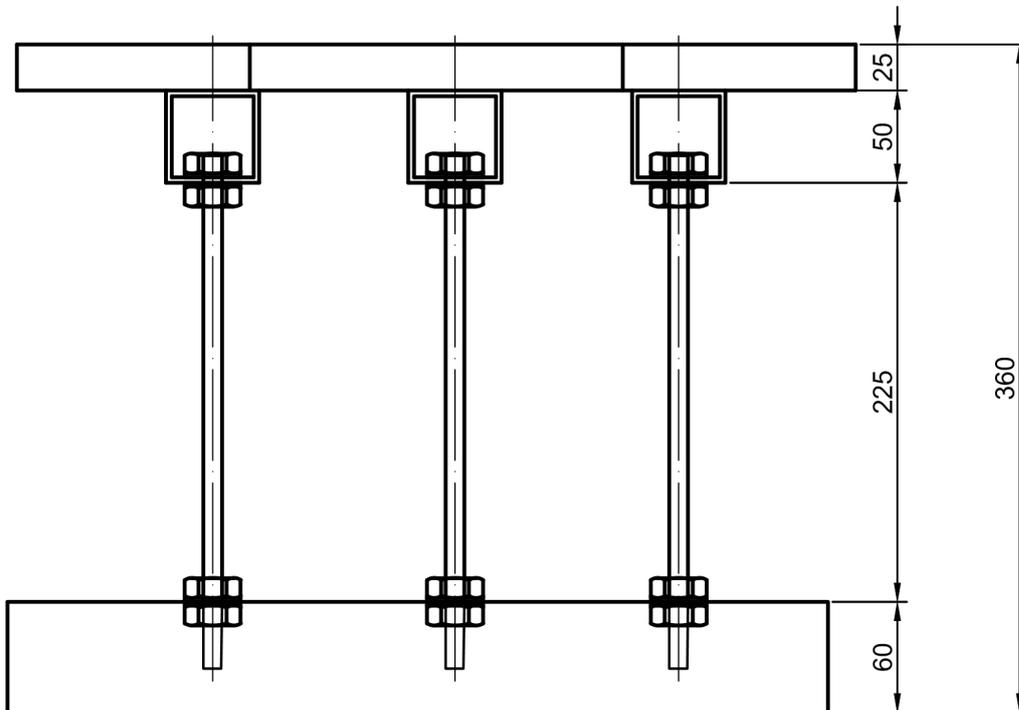
7	Perfil U enrijecido.	1	Aço 110x60
6	Peça cúbica	3	Alumínio 50x50x50
5	Barra roscada	6	Aço carbono Ø10
4	Arruela	24	Aço carbono Ø10
3	Porca sextavada	24	Aço carbono Ø10
2	Duto absorvedor	1	Alumínio Anodizado 450x120
1	Placa Fotovoltaica	1	Silício monocristalino 120x78
Peça	Denominação e observações	Quant.	Material e dimensões



Unb - Faculdade de Tecnologia

Projeto de Graduação 2

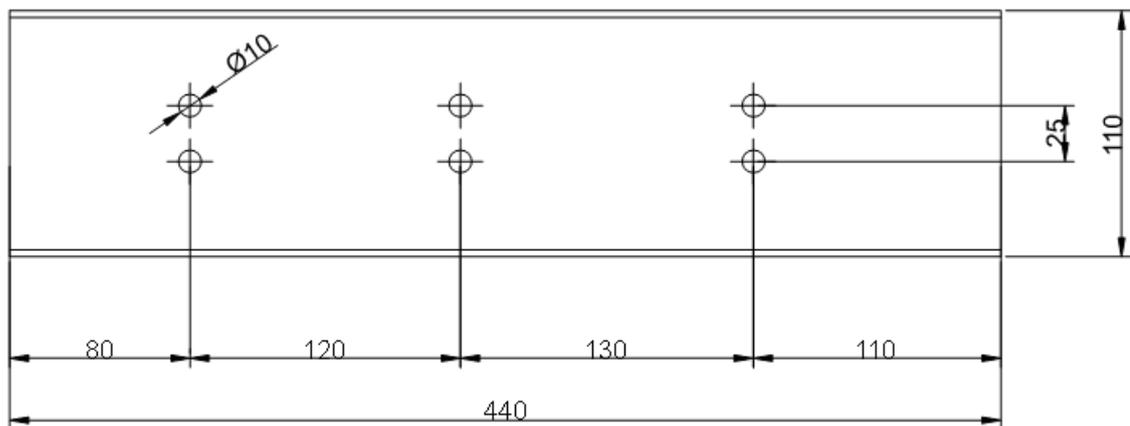
Aluno	Pedro Moreira da Silva Neto	Data: 27/12/2023
Matrícula	180036726	
Orientador	Mário Benjamin Baptista de Siqueira	
Semestre	2023/2	Unidade: -
Escala: -	Conjunto (duto e estrutura - 3D)	
Nº da folha: 1/5		



Unb - Faculdade de Tecnologia

Projeto de Graduação 2

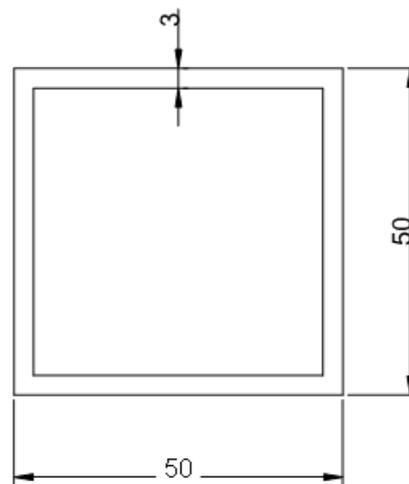
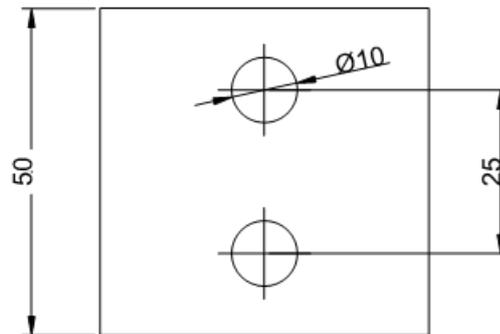
Aluno	Pedro Moreira da Silva Neto	Data: 27/12/2023
Matrícula	180036726	
Orientador	Mário Benjamin Baptista de Siqueira	
Semestre	2023/2	Unidade: mm
Escala: 1:1	Conjunto (frontal - 2D)	
Nº da folha: 2/5		



Unb - Faculdade de Tecnologia

Projeto de Graduação 2

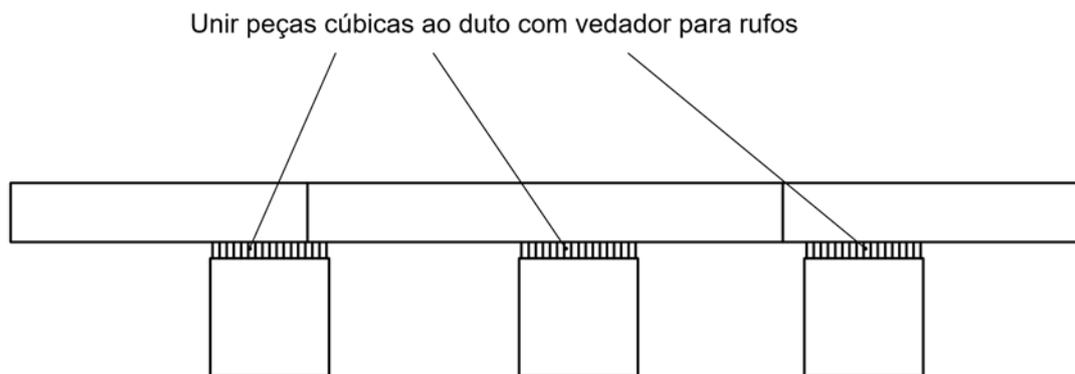
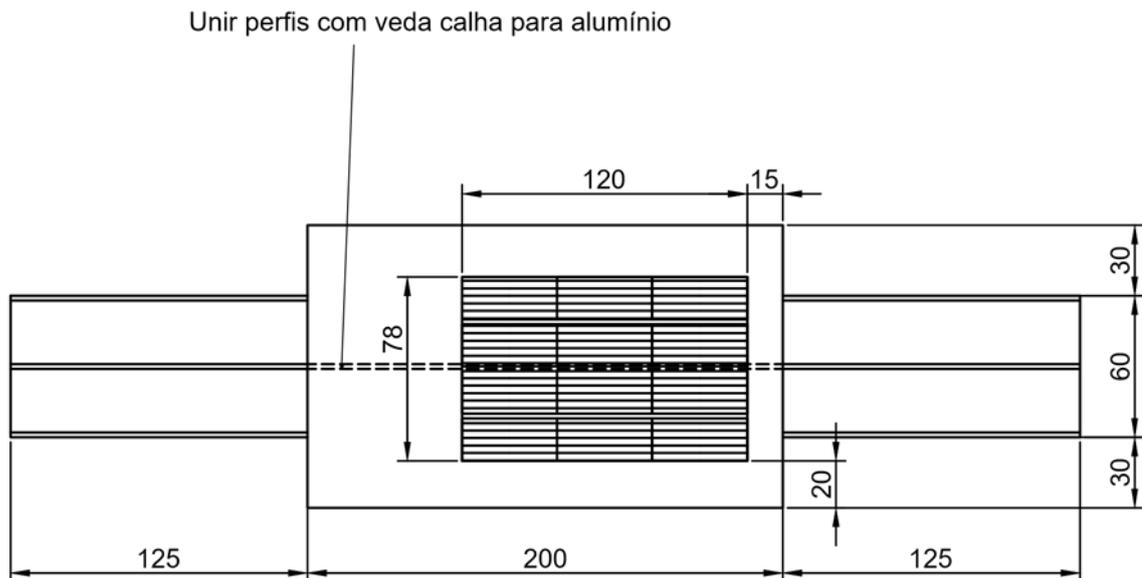
Aluno	Pedro Moreira da Silva Neto	Data: 27/12/2023
Matrícula	180036726	
Orientador	Mário Benjamin Baptista de Siqueira	



Unb - Faculdade de Tecnologia

Projeto de Graduação 2

Aluno	Pedro Moreira da Silva Neto	Data: 27/12/2023
Matrícula	180036726	
Orientador	Mário Benjamin Baptista de Siqueira	



Unb - Faculdade de Tecnologia

Projeto de Graduação 2

Aluno	Pedro Moreira da Silva Neto	Data: 27/12/2023
Matrícula	180036726	
Orientador	Mário Benjamin Baptista de Siqueira	

## ANEXOS

## ANEXO A – PIRANÔMETRO LI-COR 200R

**Absolute Calibration:** Calibrated against an Eppley Precision Spectral Pyranometer (PSP) under natural daylight conditions. Absolute uncertainty under these conditions is  $\pm 3\%$  typical;  $\pm 5\%$  maximum

**Sensitivity:** Typically  $75 \mu\text{A}$  per  $1000 \text{ W m}^{-2}$

**Linearity:** Maximum deviation of  $1\%$  up to  $3000 \text{ W m}^{-2}$

**Stability:**  $< \pm 2\%$  change over one year

**Response Time:** Less than  $1 \mu\text{s}$  (2 m cable terminated into a  $147 \Omega$  load)

**Temperature Dependence:**  $\pm 0.15\%$  per  $^{\circ}\text{C}$  maximum

**Cosine Correction:** Cosine corrected up to  $82^{\circ}$  angle of incidence

**Azimuth:**  $< \pm 1\%$  error over  $360^{\circ}$  at  $45^{\circ}$  elevation

**Tilt:** No error induced from orientation

**Operating Temperature Range:**  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $65^{\circ}\text{C}$

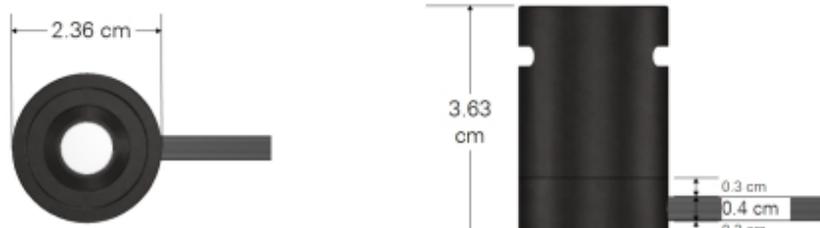
**Detector:** High stability silicon photovoltaic detector (blue enhanced)

**Sensor Housing:** Weatherproof anodized aluminum case with acrylic diffuser and stainless steel hardware; O-ring seal on the sensor base

**Size:** 2.36 cm Diameter x 3.63 cm (0.93" x 1.43")

**Weight:** 24 g head; 60 g base and cable (2 m) with screws

**Cable Length:** 2 m, 5 m, 15 m, 50 m (6.5', 16.4', 49.2', 164')



**ANEXO B – TERMOPARES TIPO K E J (OMEGA)**

## ANSI and IEC Color Codes for Thermocouples, Wire and Connectors

ANSI MC 96.1 Color Coding					IEC 584-3 Color Coding					
ANSI Code	Thermocouple Grade	Extension Grade	+ Lead Alloy Combination	- Lead	Comments Environment Bare Wire	Max T/C Temp Grade Range	EMF (mV) Over Max Temp Range	IEC Code	Thermocouple Grade	Intrinsically Safe
<b>J</b>			IRON, Fe (magnetic)	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni	Reducing, Vacuum, Inert. Limited Use in Oxidizing at High Temperatures. Not Recommended for Low Temperatures.	-210 to 1200 °C -346 to 2193 °F	-8.095 to 69.553	<b>J</b>		
<b>K</b>			CHROMEGA® NICKEL-CHROMIUM Ni-Cr	ALOMEGA® NICKEL-ALUMINUM Ni-Al (magnetic)	Clean Oxidizing and Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Wide Temperature Range, Most Popular Calibration.	-270 to 1372 °C -454 to 2501 °F	-6.458 to 54.886	<b>K</b>		
<b>T</b>			COPPER Cu	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni	Mild Oxidizing, Reducing Vacuum or Inert. Good Where Moisture Is Present. Low Temperature & Cryogenic Applications.	-270 to 400 °C -454 to 752 °F	-6.258 to 20.872	<b>T</b>		
<b>E</b>			CHROMEGA® NICKEL-CHROMIUM Ni-Cr	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni	Oxidizing or Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Highest EMF Change Per Degree.	-270 to 1000 °C -454 to 1832 °F	-9.835 to 76.373	<b>E</b>		
<b>N</b>			OMEGA-P® NICROSIL Ni-Cr-Si	OMEGA-N® NISIL Ni-Si-Mg	Alternative to Type K. More Stable at High Temperatures.	-270 to 1300 °C -450 to 2372 °F	-4.345 to 47.513	<b>N</b>		
<b>R</b>	NONE		PLATINUM-13 % RHODIUM Pt-13 % Rh	PLATINUM Pt	Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature.	-50 to 1768 °C -58 to 3214 °F	-0.226 to 21.101	<b>R</b>		
<b>S</b>	NONE		PLATINUM-10 % RHODIUM Pt-10 % Rh	PLATINUM Pt	Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature.	-50 to 1768 °C -58 to 3214 °F	-0.236 to 18.693	<b>S</b>		
<b>U</b>	NONE		COPPER Cu	COPPER-LOW NICKEL Cu-Ni	Extension Grade Connecting Wire for R & S Thermocouples, also Known as RX & SX Extension Wire.			<b>U</b>		
<b>B</b>	NONE		PLATINUM-30 % RHODIUM Pt-30 % Rh	PLATINUM-6 % RHODIUM Pt-6 % Rh	Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature. Common Use in Glass Industry.	0 to 1820 °C 32 to 3308 °F	0 to 13.820	<b>B</b>		
<b>G*</b> <small>(W3)</small>	NONE		TUNGSTEN W	TUNGSTEN-26 % RHENIUM W-26 % Re	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399 °C (750 °F). Not for Oxidizing Atmosphere.	0 to 2320 °C 32 to 4208 °F	0 to 38.564	<b>G</b> <small>(W)</small>	NO STANDARD USE ANSI COLOR CODE	
<b>C*</b> <small>(W5)</small>	NONE		TUNGSTEN-5 % RHENIUM W-5 % Re	TUNGSTEN-26 % RHENIUM W-26 % Re	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399 °C (750 °F). Not for Oxidizing Atmosphere.	0 to 2320 °C 32 to 4208 °F	0 to 37.066	<b>C</b> <small>(W5)</small>	NO STANDARD USE ANSI COLOR CODE	
<b>D*</b> <small>(W3)</small>	NONE		TUNGSTEN-3 % RHENIUM W-3 % Re	TUNGSTEN-25 % RHENIUM W-25 % Re	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399 °C (750 °F). Not for Oxidizing Atmosphere.	0 to 2320 °C 32 to 4208 °F	0 to 39.506	<b>D</b> <small>(W3)</small>	NO STANDARD USE ANSI COLOR CODE	

\* Not official symbol or standard designation

## Thermocouples Tolerances (reference Junction at 0° C)

American Limits of Error ASTM E230-ANSI MC 96.1

ANSI Code		Standard Limits <sup>†</sup>		Special Limits <sup>†</sup>	
<b>J</b>	Temp Range Tolerance Value	> 0 to 750 °C 2.2 °C or 0.75 %	> 32 to 1382 °F 4.0 °F or 0.75 %	0 to 750 °C 1.1 °C or 0.4 %	32 to 1382 °F 2.0 °F or 0.4 %
<b>K</b>	Temp Range Tolerance Value Temp Range* Tolerance Value	> 0 to 1250 °C 2.2 °C or 0.75 % -200 to 0 °C 2.2 °C or 2.0 %	> 32 to 2282 °F 4.0 °F or 0.75 % -328 to 32 °C 4.0 °C or 2.0 %	0 to 1250 °C 1.1 °C or 0.4 %	32 to 2282 °F 2.0 °F or 0.4 %
<b>T</b>	Temp Range Tolerance Value Temp Range* Tolerance Value	> 0 to 350 °C 1.0 °C or 0.75 % -200 to 0 °C 1.0 °C or 1.5 %	> 32 to 662 °F 1.8 °F or 0.75 % -328 to 32 °C 1.8 °C or 1.5 %	0 to 350 °C 0.5 °C or 0.4 %	32 to 662 °F 1 °F or 0.4 %
<b>E</b>	Temp Range Tolerance Value Temp Range* Tolerance Value	> 0 to 900 °C 1.7 °C or 0.5 % -200 to 0 °C 1.7 °C or 1.0 %	> 32 to 1652 °F 3 °F or 0.5 % -328 to 32 °C 3 °C or 1.0 %	0 to 900 °C 1.0 °C or 0.4 %	32 to 1652 °F 1.8 °F or 0.4 %
<b>N</b>	Temp Range Tolerance Value Temp Range* Tolerance Value	> 0 to 1300 °C 2.2 °C or 0.75 % -270 to 0 °C 2.2 °C or 2.0 %	> 32 to 2372 °F 4.0 °F or 0.75 % -454 to 32 °C 4.0 °C or 2.0 %	0 to 1300 °C 1.1 °C or 0.4 %	32 to 2372 °F 2.0 °F or 0.4 %
<b>R S</b>	Temp Range Tolerance Value	0 to 1450 °C 1.5 °C or 0.25 %	32 to 2642 °F 2.7 °F or 0.25 %	0 to 1450 °C 0.6 °C or 0.1 %	32 to 2642 °F 1 °F or 0.1 %
<b>B</b>	Temp Range Tolerance Value	800 to 1700 °C 0.5 %	1472 to 3092 °F 0.9 °F	Not established	
<b>G* C* D*</b>	Temp Range Tolerance Value	0 to 2320 °C 4.5 °C or 1.0 %	32 to 4208 °F 0.9 °F	Not established	

\* Not official symbol or standard designation

<sup>†</sup> Whichever value is greater.

Note: Material is normally selected to meet tolerances above 0 °C. If thermocouples are needed to meet tolerances below 0 °C, the purchaser shall state this as selection of material is usually required.



## IEC Tolerance Class EN 60584-2; JIS C 1602

IEC Code		Class 1	Class 2	Class 3'
<b>J</b>	Temp Range Tolerance Value Temp Range Tolerance Value	-40 to 375 °C ± 1.5 °C 375 to 750 °C ± 0.4 % Reading	-40 to 333 °C ± 2.5 °C 333 to 750 °C ± 0.75 % Reading	Not established
<b>K N</b>	Temp Range Tolerance Value Temp Range Tolerance Value	-40 to 375 °C ± 1.5 °C 375 to 1000 °C ± 0.4 %	-40 to 333 °C ± 2.5 °C 333 to 1200 °C ± 0.75 % Reading	-167 to 40 °C ± 2.5 °C -200 to -167 °C ± 1.5 % Reading
<b>T</b>	Temp Range Tolerance Value Temp Range Tolerance Value	-40 to 125 °C ± 1.5 °C 125 to 350 °C ± 0.4 % Reading	-40 to 133 °C ± 1 °C 133 to 350 °C ± 0.75 % Reading	-67 to 40 °C ± 1 °C -200 to -67 °C ± 1.5 % Reading
<b>E</b>	Temp Range Tolerance Value Temp Range Tolerance Value	-40 to 375 °C ± 1.5 °C 375 to 800 °C ± 0.4 % Reading	-40 to 333 °C ± 2.5 °C 333 to 900 °C ± 0.75 % Reading	-167 to 40 °C ± 2.5 °C -200 to -167 °C ± 1.5 % Reading
<b>R S</b>	Temp Range Tolerance Value Temp Range Tolerance Value	0 to 1100 °C ± 1 °C 1100 to 1600 °C ± [1 + 0.3 % x (Rdg -1100)] °C	0 to 600 °C ± 1.5 °C 600 to 1600 °C ± 0.25 % Reading	Not established
<b>B</b>	Temp Range Tolerance Value Temp Range Tolerance Value	Not established	600 to 1700 °C ± 0.25 % Reading	600 to 800 °C + 4 °C 800 to 1700 °C ± 0.5 % Reading

\* Material is normally selected to meet tolerances above -40 °C. If thermocouples are needed to meet limits of Class 3, as well as those of Class 1 or 2, the purchaser shall state this, as selection of material is usually required.

## Wire Insulation Identification and Application Guide



Insulation Code	Insulation		Appearance of TC Grade Wire	Temp Range, Insulation	Abrasion Resistance	Flexibility	Water Submersion	Resistance to					Comments
	Overall	Conductors						Solvent	Acid	Base	Flame	Humidity	
<b>PP</b> (Extension Grade EXPP)	Polyvinyl Chloride (PVC)	Polyvinyl Chloride (PVC)		-40 to 105 °C -40 to 221 °F	Good	Excellent	Good	Fair	Good	Good	Good	Good	Color Coded PVC Extruded Over Each Bare Wire. PVC Applied Over Insulated Primaries. Affected by Ketones, Esters
<b>FF</b> (Extension Grade EXFF)	FEP or Neoflon	FEP or Neoflon		-200 to 200 °C -338 to 392 °F	Excellent	Good	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Color Coded PVC Extruded Over Each Bare Wire. PVC Applied Over Insulated Primaries. Affected by Ketones, Esters
<b>TT</b> (Extension Grade EXTT)	PFA or Neoflon	PFA or Neoflon		-267 to 260 °C -450 to 500 °F	Excellent	Good	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Color Coded PFA Extruded Over Each Bare Wire. PFA Jacket Extruded Over Insulated Primaries. Superior Abrasion and Moisture Resistance. Same Basic Characteristics as FEP but Higher Temperature Rating
<b>KK</b>	Kapton	Kapton		-267 to 316 °C -450 to 600 °F	Excellent	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Excellent	Fused Kapton Tape Approx. 0.15 mm Applied to Conductors. A 0.10 mm Jacket is Then Applied to Both. Excellent Moisture and Abrasion Resistance. High Dielectric Strength (7 kV/mil) Retains Much Physical Integrity After Gamma Radiation. FEP is Used as Adhesive Binding Agent (Melts at approx 260 °C [500 °F])
<b>TG</b>	Glass Braid	PFA or Neoflon		-73 to 260 °C -100 to 500 °F	Good	Good	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	PFA Extruded Over Each Bare Wire and a Glass Braid on the Jacket. May Be Used for Single Measurement to 343 °C (650 °F)
<b>GG</b> (Extension Grade EXGG)	Glass Braid	Glass Braid		-73 to 482 °C -100 to 900 °F	Poor	Good	Poor	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Fair	0.12 mm Glass Braid Over Each Conductor, and Binder Impregnated. Overall Glass Braid Applied and Binded. Binder Improves Moisture and Abrasion Resistance but is Destroyed Above 204 °C (400 °F)
<b>HH</b>	High Temp Glass Braid	High Temp Glass Braid		-73 to 871 °C -100 to 1300 °F	Poor	Good	Poor	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Fair	High Temp. Glass Braid Over Each Conductor, and Binder Impregnated. Overall High Temp Glass Braid Applied and Binded. Binder Improves Moisture and Abrasion Resistance but is Destroyed Above 400 °F
<b>XR</b>	Refrasil Braid	Refrasil Braid		-73 to 871 °C -100 to 1600 °F	Poor	Good to 315 °C (600 °F)	Poor to 315 °C (600 °F)	Excellent	Good to 315 °C (600 °F)	Good to 315 °C (600 °F)	Excellent	Poor	Braid of Vitreous Silica Fiber Applied to Each Bare Wire. Then Over Both. Suitable to 982 °C (1800 °F) if Not Subjected to Flexure or Abrasion
<b>XC</b> Standard braid XL-Loose braid XTight braid	Nextel Braid	Nextel Braid		-73 to 1204 °C -100 to 2200 °F	Poor	Good	Poor	Excellent	Good	Good	Excellent	Fair	High Temp. Alumina-Boria-Silica Ceramic Fiber Braided Over Each Conductor Then Over Both. Not Recommended for Platinum Thermocouples or Exposure to Molten Tin and Copper, Hydrofluoric or Phosphoric Acids, or Strong Alkalies
<b>XS</b>	Silica	Silica		-73 to 1038 °C -100 to 1990 °F	Poor	Good	Poor	Excellent	Good	Poor	Excellent	Fair	Silica is a Very High Purity, Chemically Stable Yarn. (SiO2 Content 99 %)
<b>TFE</b>	TFE	TFE		-267 to 260 °C -450 to 500 °F	Excellent	Good	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Color Coded TFE Tape Applied to Conductors and Jacket. Superior Abrasion, Moisture, and Chemical Resistance

## Reference Guide

Properties of the sheath material diameter and construction of thermocouple assembly

### Temperature Range

OMEGA CLAD™ is a three-part system composed of compacted MgO insulation, thermocouple wire and metal sheath. Four factors determine the useful service temperature for OMEGA CLAD™ assemblies.

- Range for the thermocouple wire (see table of error)
- Maximum service temperature of insulation. In the case of MgO, this is in excess of 1650 °C (3000 °F)

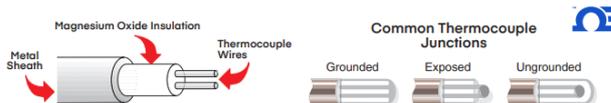
### Sheath Material Specifications

Material	Melting Point (°C/°F)	Continuous Max Temp (°C/°F)	Tensile (PSI) Strength	
			@ 93 °C (200 °F)	@ 537 °C (1000 °F)
304 SS	1405/2560	900/1650	68,000	15,000
310 SS	1405/2560	1150/2100	75,000	27,500
316 SS	1370/2500	925/1700	75,000	23,000
321 SS	1400/2550	870/1600	70,000	17,000
Hastelloy X	1260/2300	1200/2200	55,100	35,500
Inconel*	1400/2550	1150/2100	39,000	5,000
SUPER XL	1400/2550	1204/2200	70,000	17,000

\* Oxidizing, Vacuum or inert atmosphere only.

### Upper Temperature Limit in °C (°F) of Protected Bare Wire Thermocouples vs. Wire Diameter

T/C Type	Wire Size						
	8 AWG 0.128"	14 AWG 0.064"	20 AWG 0.032"	24 AWG 0.020"	28 AWG 0.013"	30 AWG 0.010"	36 AWG 0.005"
J	760 (1400)	590 (1100)	480 (900)	370 (700)	370 (700)	320 (600)	315 (590)
K	1260 (2300)	1090 (2000)	980 (1800)	870 (1600)	870 (1600)	760 (1400)	590 (1100)
E	870 (1600)	650 (1200)	540 (1000)	430 (800)	430 (800)	370 (700)	320 (600)
T	370 (700)	370 (700)	260 (500)	200 (400)	200 (400)	150 (300)	
RX/SX	200 (400)	200 (400)	200 (400)	200 (400)	200 (400)	150 (300)	
N	1260 (2300)	1090 (2000)	980 (1800)	980 (1800)	980 (1800)	870 (1600)	
CX	472 (800)	472 (800)	472 (800)	472 (800)	472 (800)	400 (752)	



### Conductor Size Equivalents

Gage No.	AWG		SWG		Gage No.	AWG		SWG	
	inches	mm	inches	mm		inches	mm	inches	mm
0	0.3249	8.25	0.324	8.23	23	0.0226	0.574	0.024	0.610
1	0.2893	7.35	0.300	7.62	24	0.0201	0.511	0.022	0.559
2	0.2576	6.54	0.276	7.01	25	0.0179	0.455	0.020	0.508
3	0.2294	5.83	0.252	6.40	26	0.0159	0.404	0.0180	0.457
4	0.2043	5.19	0.232	5.89	27	0.0142	0.361	0.0164	0.417
5	0.1819	4.62	0.212	5.38	28	0.0126	0.320	0.0148	0.376
6	0.1620	4.11	0.192	4.88	29	0.0113	0.287	0.0136	0.345
7	0.1443	3.67	0.176	4.47	30	0.0100	0.254	0.0124	0.315
8	0.1285	3.26	0.160	4.06	31	0.0089	0.226	0.0116	0.295
9	0.1144	2.91	0.144	3.66	32	0.0080	0.203	0.0108	0.274
10	0.1019	2.59	0.128	3.25	33	0.0071	0.180	0.0100	0.254
11	0.0907	2.30	0.116	2.95	34	0.0063	0.160	0.0092	0.234
12	0.0808	2.05	0.104	2.64	35	0.0056	0.142	0.0084	0.213
13	0.0720	1.83	0.092	2.34	36	0.0050	0.127	0.0076	0.193
14	0.0641	1.63	0.080	2.03	37	0.0045	0.114	0.0068	0.173
15	0.0571	1.45	0.072	1.83	38	0.0040	0.102	0.0060	0.152
16	0.0508	1.29	0.064	1.62	39	0.0035	0.089	0.0052	0.132
17	0.0453	1.15	0.056	1.42	40	0.0031	0.079	0.0048	0.122
18	0.0403	1.02	0.048	1.22	41	0.0028	0.071	0.0044	0.112
19	0.0359	0.912	0.040	1.02	42	0.0025	0.064	0.0040	0.102
20	0.0320	0.813	0.036	0.914	43	0.0022	0.056	0.0036	0.091
21	0.0285	0.724	0.032	0.813	44	0.0020	0.051	0.0032	0.081
22	0.0253	0.643	0.028	0.711	45	0.0018	0.046	0.0028	0.071

AWG = American Wire Gage. To convert from AWG to SWG: Determine wire diameter in inches (mm) from appropriate AWG. SWG = (British) Standard Wire Gage. To convert 30 AWG to SWG, determine that 30 AWG is 0.0100", which is equivalent to 33 SWG.

### Upper Temperature Limit in °C (°F) of OMEGA CLAD™ vs. Sheath Diameter

Sheath T/C Dia.	0.020" 0.5 mm	0.032" 0.8 mm	0.040" 1.0 mm	0.062" 1.6 mm	0.093" 2.4 mm	0.125" 3.2 mm	0.188" 4.8 mm	0.250" 6.3 mm
J	260 (500)	260 (500)	260 (500)	440 (825)	480 (900)	520 (970)	620 (1150)	720 (1300)
K & N	700 (1290)	700 (1290)	700 (1290)	920 (1690)	1000 (1830)	1070 (1960)	1150 (2100)	1150 (2100)
E	300 (570)	300 (570)	300 (570)	510 (950)	580 (1075)	650 (1200)	730 (1350)	820 (1510)
T	260 (500)	260 (500)	260 (500)	260 (500)	260 (500)	315 (600)	370 (700)	370 (700)

## Properties of PFA and FEP Insulation

### General Properties of Neoflon, FEP and PFA

The combination of chemical and physical properties of FEP, PFA and Neoflon is a result of its true fluorocarbon structure. This unusual structure leads to a material which has an almost universal chemical inertness; complete insolubility in all known solvents below 300 °C (572 °F); excellent thermal stability; and unsurpassed electrical properties including low dielectric loss, low dielectric constant and high dielectric strength. Furthermore, FEP, PFA and Neoflon does not embrittle at very low temperatures.

	Neoflon FEP	Neoflon PFA
Chemical Resistance: hydrocarbons, ethylene glycol, battery acid, brake fluid, other chemicals	NO EFFECT	NO EFFECT
Resistance to weathering	NO EFFECT	NO EFFECT
Water absorption (ASTM D570)	0.1 %	0.1 %
Flammability (UL 83, Vertical Wire Flame Test)*	NO AFTER BURN	NO AFTER BURN
Melting Point °F	518 °F	590 °F
Melting Point °C	270 °C	300 °C
Upper Service Temperature °C (°F) 1500 to 2000 hrs. estimated 20,000 hrs. Cold bend @ -65 °C 2.5 K V for 5 min.	200 °C (392 °F) 177 °C (350 °F) PASS	288 °C (550 °F) 260 °C (500 °F) PASS
Specific gravity	2.15	2.15

\* Increase the resistance by 19 % for nickel plated, Type RTD wire.

### Mechanical and Electrical Properties

	Neoflon FEP	Neoflon PFA
Tensile strength, psi 23 °C (73 °F) ASTM D638	3,000	4,000
Elongation, % 23 °C (73 °F) ASTM D638	300	400
Flexural modulus, psi 23 °C (73 °F) ASTM D790	95,000	95,000
Flex life, MIT (7 to 9 mils) 82 °C (180 °F) Flexes	100,000	200,000
Impact Strength, ft.lb/in.: ASTM D256 Room temperature -54 °C (-65 °F)	NO BREAK 10	NO BREAK 10
Coefficient of friction, 10 fpm, 100 psi	0.3	0.2
Dynamic cut-through (lb) Instron 1/16" radius blade moving at 0.2"/min. (0.0031" insulation thickness) 23 °C 75 °F	118 73	
Dielectric constant, ASTM D50	2.1	2.1
Volume resistivity, ohm-cm ASTM D257	10 <sup>18</sup>	10 <sup>18</sup>
Dissipation Factor, ASTM D150.10 <sup>2</sup> - 10 <sup>6</sup> Hz	0.001	0.0004



# Resistance vs. Wire Diameter

Resistance in ohms per double foot @ 20 °C (68 °F)

AWG No.	Dia.		Type K <sup>1</sup> CHROME <sup>GA</sup> */ALOME <sup>GA</sup> *	Type J Iron/Constantan	Type T Copper/Constantan	Type E CHROME <sup>GA</sup> */Constantan	Type S Pt/Pt13 % Rh	Type R Pt/Pt13 % Rh	Type RX/SX Copper Alloy 11*	Type C <sup>1</sup> W5 % Re/W26 % Re	Type CX Alloy 405/Alloy 426	Type G <sup>1</sup> W/W26% Re	Type D <sup>1</sup> W3 % Re/W25 % Re	Type BX Copper/Copper*
	Inch	mm												
6	0.162	4.11	0.023	0.014	0.012	0.027	0.007	0.007	0.003	0.009	0.014	0.008	0.009	0.000790
8	0.128	3.25	0.037	0.022	0.019	0.044	0.011	0.011	0.004	0.015	0.023	0.012	0.015	0.001998
10	0.102	2.59	0.058	0.034	0.029	0.069	0.018	0.018	0.007	0.023	0.037	0.020	0.022	0.001998
12	0.081	2.06	0.091	0.054	0.046	0.109	0.028	0.029	0.011	0.037	0.058	0.031	0.035	0.00318
14	0.064	1.63	0.146	0.087	0.074	0.175	0.045	0.047	0.018	0.058	0.093	0.049	0.055	0.00505
16	0.051	1.30	0.230	0.137	0.117	0.276	0.071	0.073	0.028	0.092	0.146	0.078	0.088	0.00803
18	0.040	1.02	0.374	0.222	0.190	0.448	0.116	0.119	0.045	0.148	0.238	0.126	0.138	0.01277
20	0.032	0.81	0.586	0.357	0.298	0.707	0.185	0.190	0.071	0.235	0.371	0.200	0.220	0.02030
24	0.0201	0.51	1.490	0.878	0.7526	1.78	0.464	0.478	0.180	0.594	0.941	0.560	0.560	0.05134
26	0.0159	0.40	2.381	1.405	1.204	2.836	0.740	0.760	0.288	0.945	1.503	0.803	0.890	0.08162
30	0.0100	0.25	5.984	3.551	3.043	7.169	1.85	1.91	0.727	2.38	3.800	2.03	2.26	0.2064
32	0.0080	0.20	9.524	5.599	4.758	11.31	1.96	3.04	1.136	3.8	5.94	3.22	3.60	0.3282
34	0.0063	0.16	15.17	8.946	7.66	18.09	4.66	4.82	1.832	6.04	9.57	5.10	5.70	0.5218
36	0.0050	0.13	24.08	14.20	12.17	28.76	7.40	7.64	2.908	9.6	15.20	8.16	9.10	0.8296
38	0.0039	0.10	38.20	23.35	19.99	45.41	11.6	11.65	4.780	15.3	24.98	12.9	15.3	1.3192
40	0.00315	0.08	60.88	37.01	31.64	73.57	18.6	19.3	7.327	24.4	38.30	20.6	23.0	2.098
44	0.0020	0.051	149.6	88.78	76.09	179.20	74.0	76.5	18.18	60.2	95.00	51.1	56.9	5.134
50	0.0010	0.025	598.4	355.1	304.3	716.9	185	191	72.7	240	380.0	204	227	20.64
56	0.00049	0.012	2408	1420	1217	2816	740	764	302.8	1000	1583	850	945	86.38

\* Maximum Resistance of reviewed wire. <sup>1</sup> Not ANSI symbol. <sup>2</sup> Resistivity for N is 1.324 times Type K values.

## How to Specify Wire, Connectors and Probes with ANSI or IEC Color Codes

<p><b>Thermocouple Wire</b> To order IEC color coded wire, add the suffix "I" after the thermocouple type letter.</p> <p><b>Examples:</b> TT-K-20-50M : PFA over PFA Insulation, Type K, ANSI color code, 20 gage wire, 50 meters long TT-KI-20-50M : PFA over PFA Insulation, Type K, IEC color code, 20 gage wire, 50 meters long</p>	<p><b>Connectors</b> To order IEC color coded connectors, add the suffix "I" after the thermocouple calibration letter.</p> <p><b>Examples:</b> OSTW-K-MF : OST write-on connector, Type K, ANSI color code, male/female* pair OSTW-KI-MF : OST write-on connector, Type K, IEC color code, male/female* pair * Supplied with the exclusive universal write-on female connector.</p>
<p><b>OMEGA<sup>CLAD</sup>® Probes</b> To order IEC color coded OMEGA<sup>CLAD</sup>® probes, add the suffix "I" before the "M" in the model number*</p> <p><b>Examples:</b> KQIN-M30G-300 : Type J, Inconel sheath, 3 mm diameter ANSI color code, 300 mm length KQIN-IM30G-300 : Type J, Inconel sheath, 3 mm diameter, IEC color code, 300 mm length</p>	<p><b>Insulated Wire T/Cs</b> To order IEC color coded wire, add the suffix "I" after the thermocouple calibration letter.</p> <p><b>Examples:</b> 5TC-GG-K-20-1M : Glass over glass insulated thermocouples, Type K, ANSI color code, 20 gage wire, 1 meter (1000 mm) long 5TC-GG-KI-20-1M : Glass over glass insulated thermocouples, Type K, IEC color code, 20 gage wire, 1 meter (1000 mm) long</p>

## ANEXO C – SENSOR DE VAZÃO YF-S201

### MODEL: YF-S201

#### Description:

Water flow sensor consists of a plastic valve body, a water rotor, and a hall-effect sensor. When water flows through the rotor, rotor rolls. Its speed changes with different rate of flow. The hall-effect sensor outputs the corresponding pulse signal. This one is suitable to detect flow in water dispenser or coffee machine. We have a comprehensive line of water flow sensors in different diameters. Check them out to find the one that meets your need most.

#### Features:

- Compact, Easy to Install
- High Sealing Performance
- High Quality Hall Effect Sensor
- RoHS Compliant

#### Specifications:

- Working Voltage: DC 4.5V~24V
- Normal Voltage: DC 5V~18V
- Max. Working Current: 15mA (DC 5V)
- Load capacity: ≤ 10 mA (DC 5V)
- Flow Rate Range: 1~30L/min
- Load Capacity: ≤10mA (DC 5V)
- Operating Temperature: ≤80°C
- Liquid Temperature: ≤120°C
- Operating Humidity: 35%~90%RH
- Allowing Pressure: ≤1.75MPa
- Storage Temperature: -25~+ 80°C
- Storage Humidity: 25%~95%RH
- Electric strength 1250V/min
- Insulation resistance ≥ 100MΩ
- External threads: 1/2"
- Outer diameter: 20mm
- Intake diameter: 9mm
- Outlet diameter: 12mm



#### Application:

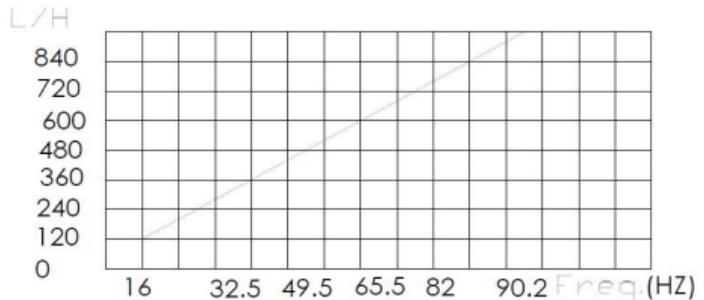
Water heaters, credit card machines, water vending machine, flow measurement device!

#### Cercuit:

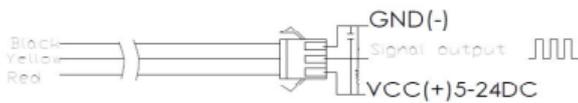
- Red: Positive
- Black: GND
- Yellow: Output signal

Flow Range: 100L/H-1800H-L/H

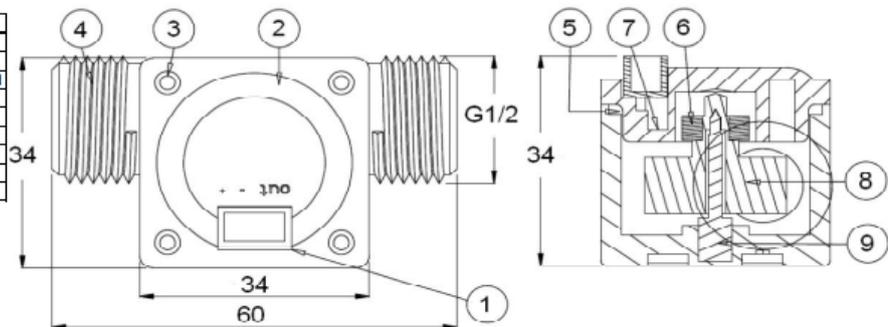
Flow (L/H)	Frezq.(Hz)	Erro range
120	16	±10 5%
240	32.5	
360	49.3	
480	65.5	
600	82	
720	90.2	



#### Connection method:



N°	Item	Material
1	Wire	PVC
2	Bonnet	PA
3	Screw	Zinc Plated
4	Valve Body	PA
5	Press Valve	
6	Magnet	
7	Hall	
8	Impeller	POM
9	Steel Sharft	SUS304



Closed

**ANEXO D – SENSOR DE CORRENTE ACS712**



## ACS712

### Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kV<sub>RMS</sub> Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

#### Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5  $\mu$ s output rise time in response to step input current
- 50 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , and 4% at  $-40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m $\Omega$  internal conductor resistance
- 2.1 kV<sub>RMS</sub> minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

#### Package: 8 pin SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1 

#### Description

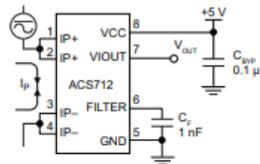
The Allegro<sup>®</sup> ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ( $>V_{IOUT(Q)}$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m $\Omega$  typical, providing low power

*Continued on the next page...*

#### Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal,  $V_{OUT}$ , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current,  $I_p$ , within the range specified.  $C_F$  is recommended for noise management, with values that depend on the application.

## ACS712

### Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

#### Description (continued)

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

#### Selection Guide

Part Number	Packing*	T <sub>OP</sub> (°C)	Optimized Range, I <sub>p</sub> (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

\*Contact Allegro for additional packing options.

#### Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		8	V
Reverse Supply Voltage	V <sub>RCC</sub>		-0.1	V
Output Voltage	V <sub>IOUT</sub>		8	V
Reverse Output Voltage	V <sub>RIOUT</sub>		-0.1	V
Output Current Source	I <sub>IOUT(SOURCE)</sub>		3	mA
Output Current Sink	I <sub>IOUT(SINK)</sub>		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I <sub>p</sub>	100 total pulses, 250 ms duration each, applied at a rate of 1 pulse every 100 seconds.	60	A
Maximum Transient Sensed Current	I <sub>R(max)</sub>	Junction Temperature, T <sub>J</sub> < T <sub>J(max)</sub>	60	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction	T <sub>J(max)</sub>		165	°C
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>		-65 to 170	°C



TÜV America  
Certificate Number:  
U8V 06 05 54214 010

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



Allegro MicroSystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff, Box 15036  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000  
www.allegromicro.com

**ANEXO E – SENSOR DE TENSÃO DC 0-25V**

## Arduino 25V Voltage Sensor Module

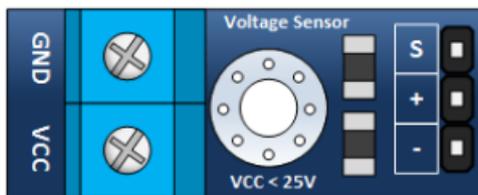
### The Basics

The Arduino analog input is limited to a 5 VDC input. If you wish to measure higher voltages, you will need to resort to another means. One way is to use a voltage divider. The one discussed here is found all over Amazon and eBay.

It is fundamentally a 5:1 voltage divider using a 30K and a 7.5K Ohm resistor.

Keep in mind, you are restricted to voltages that are less than 25 volts. More than that and you will exceed the voltage limit of your Arduino input.

### Basic Connection



### Inputs

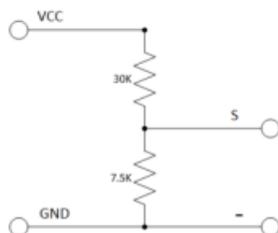
- **GND** – This is where you connect the low side of the voltage you are measuring. Caution! : This is the same electrical point as your Arduino ground.
- **VCC**: This is where you connect the high side of the voltage you are measuring

### Outputs

- **S**: This connects to your Arduino analog input.
- **- (or minus)**: This connects to your Arduino ground.
- **+**: This is not connected. It does absolutely nothing... zilch... nada... jack diddly doo doo.

### Schematic

The schematic for this is pretty straight forward. As previously mentioned, its just a couple of resistors. In fact, you could build your own in a pinch.



## Tutorial

### The Connections

Find yourself a 9 volt battery and connect it, your voltage sensor module and Arduino as shown below.



### The Sketch

Enter the following sketch, upload it and go to town. If you open your Arduino serial monitor you will be able to see the voltage.

```

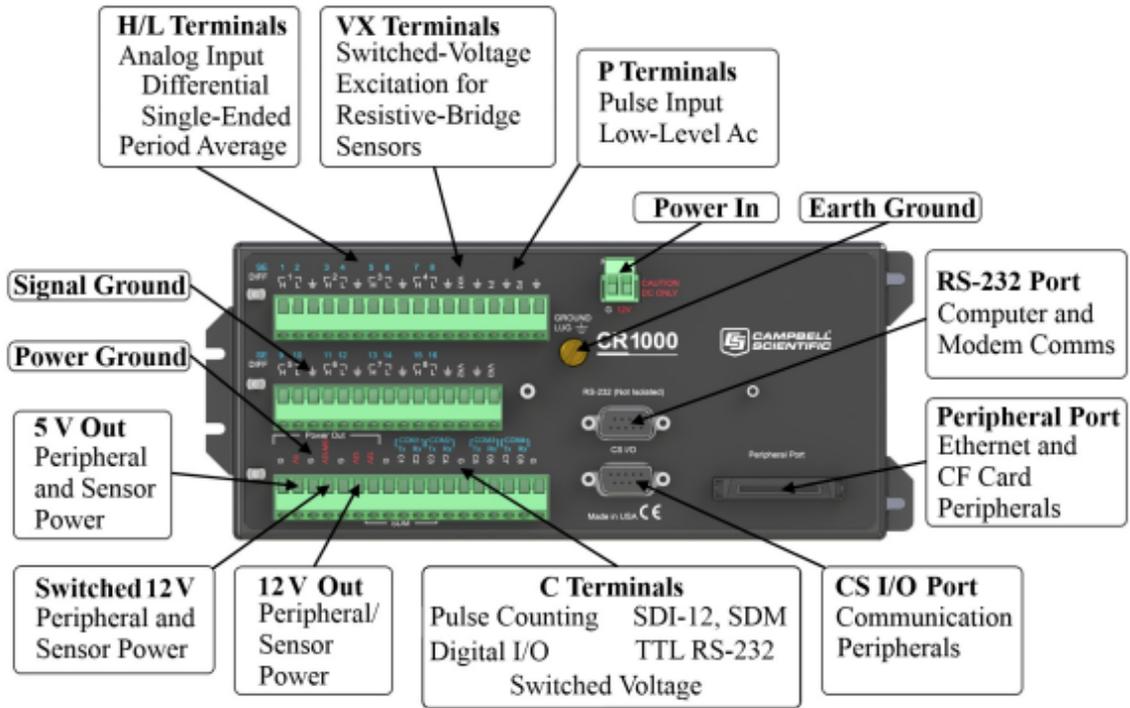
/*
DC Voltmeter Using a Voltage Divider
Based on Code Created By
T.K.Hareendran
*/

int analogInput = A1;
float vout = 0.0;
float vin = 0.0;
float R1 = 30000.0; //
float R2 = 7500.0; //
int value = 0;
void setup() {
  pinMode(analogInput, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("DC VOLTMETER");
}
void loop() {
  // read the value at analog input
  value = analogRead(analogInput);
  vout = (value * 5.0) / 1024.0; // see text
  vin = vout / (R2/(R1+R2));

  Serial.print("INPUT V= ");
  Serial.println(vin, 2);
  delay(500);
}

```

**ANEXO F – DATALOGGER CR 1000**



**ANEXO G – BOMBA PERIFÉRICA KSB P500 TNG**

Nº A2748/49.8P/6

## INSTRUÇÕES DE USO E MANUTENÇÃO

BOMBAS PERIFÉRICAS MODELOS KSB HYDROBLOC P 500 - P 1000  
BOMBAS CENTRÍFUGAS COM ROTOR ABERTO MODELOS KSB HYDROBLOC C 700 - C 1010

### Parabéns!!

Você acaba de adquirir o que há de melhor em termos de bomba hidráulica no mercado, uma **KSB HYDROBLOC**.

A **KSB HYDROBLOC** foi desenvolvida com a mais alta tecnologia internacional, o que lhe garante mais água pelo valor aplicado.

Desde o seu acabamento interno, passando pelos projetos da carcaça e do rotor e pelo seu avançado design, tudo é projetado para o máximo de vazão com o mínimo de consumo de energia elétrica.

**Afim de obter melhor rendimento e maior duração, siga atentamente estas instruções.  
Para resolução de qualquer problema, contate nosso Distribuidor Autorizado ou a KSB Service.**

### 1. Aplicação

São recomendadas para abastecimento de água limpa e de líquidos quimicamente não agressivos. Pela sua simplicidade de uso e economia, são particularmente indicadas para uso doméstico, distribuição automática de água, pequenas instalações rurais e industriais.

### 2. Ligação Elétrica

Para a ligação elétrica é importante seguir as recomendações abaixo:

- Verificar a tensão da rede e especificações da plaqueta de identificação.
- A instalação elétrica deve ser executada com o máximo de segurança respeitando-se as normas vigentes.
- O motor deve ser protegido por um relê térmico com compensação de temperatura ambiente de 20°C a 40°C, regulado conforme a corrente indicada na plaqueta de identificação. O bimetálico deverá atuar dentro de 10s, com uma amperagem de 500% da nominal.
- As ligações elétricas devem ser efetuadas conforme indicado nas figuras A e B.

### 3. Instalação

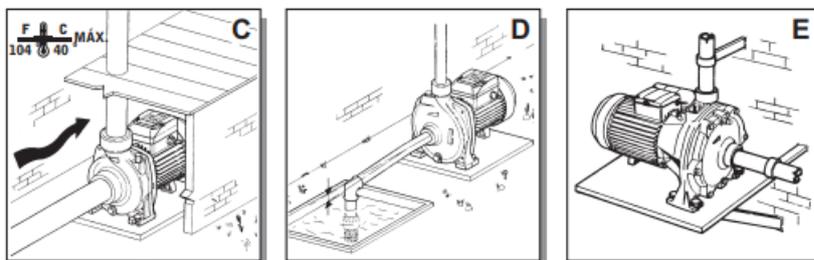
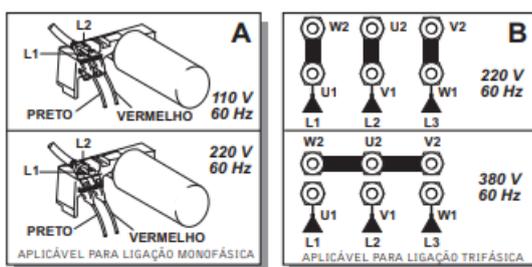
Deve ser feita em lugares fechados, ou de qualquer modo, protegida das intempéries. Instalar a bomba o mais próximo possível da fonte do líquido a ser bombeado. Prever espaço suficiente para a desmontagem, inspeção e levantamento. A bomba deve ser fixada em uma base através de parafusos adequados. A base deve ser rígida o suficiente para absorver todas as vibrações da bomba (vide fig. C). A temperatura ambiente não deve exceder 40°C.

### 4. Tubulação

O diâmetro da tubulação de sucção deve ser igual ou maior que o diâmetro da conexão da bomba. A tubulação deve ser tão curta e reta quanto possível, com o mínimo de curvas. Recomendamos o máximo cuidado com a vedação da tubulação de sucção, afim de evitar entrada de ar prejudicial à performance da bomba. A tubulação deve ser fixada em suportes independentes evitando causar esforços sobre a carcaça da bomba. A tubulação deve ser posicionada com a inclinação ascendente na direção da bomba. Isto elimina a possibilidade de formação de bolsas de ar (vide fig. D).

No caso de sucção negativa, recomendamos a instalação de uma válvula de pé na tubulação de sucção. Para instalações de bombeamento de água suja, recomendamos a instalação de um crivo na tubulação de sucção.

Caso a bomba seja utilizada para a alimentação de caldeiras, o reservatório de sucção deve ser instalado a uma altura maior ou no mínimo igual a da sucção da bomba. A tubulação de recalque deve ser fixada adequadamente com suportes (vide fig. E).



**KSB**

### 5. Verificação antes da partida

Verificar se a alimentação de energia elétrica está de acordo com a especificação da plaqueta de identificação (vide fig. F), e que as fases de alimentação estejam perfeitamente conectadas aos bornes na caixa de ligação.

### 6. Partida de funcionamento

Primeiramente a bomba deve ser escorvada. Esta operação é efetuada enchendo-se o corpo da bomba através do orifício de escorva localizado ao lado da saída de recalque (vide fig. G). Após completar a escorva assegure-se que o bujão do orifício de escorva foi recolocado. A operação de escorvar, deve ser repetida cada vez que a bomba ficar parada por longos períodos ou quando existirem bolsões de ar no sistema.

**ATENÇÃO:** O funcionamento a seco deve ser evitado. Se isto ocorrer, desligue imediatamente a bomba e aguarde esfriar, repita então a operação de escorva.

O sentido de rotação deve ser conforme indicado pela seta no corpo da bomba. Por exemplo: horário visto do lado do acionamento (vide fig. H).

A bomba deve ser desligada imediatamente, e os problemas corrigidos, se durante seu funcionamento ocorrerem os seguintes problemas:

- Não há descarga de líquido;
- Descarga de líquido insuficiente;
- Vibração;
- Superaquecimento do motor.

### 7. Manutenção

Esta bomba não necessita nenhuma manutenção em particular, desde que sejam seguidas as seguintes orientações:

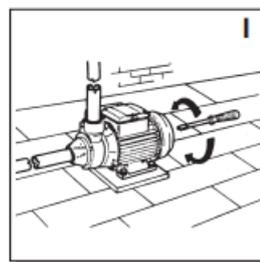
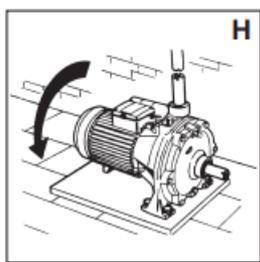
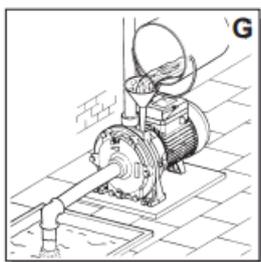
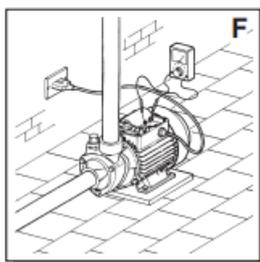
- Drenar totalmente a bomba em caso de temperaturas baixas que possam causar o congelamento do produto bombeado.
- Verificar periodicamente a válvula de pé e o crivo, caso existam na tubulação.
- Se a bomba não for operada por um longo período, é recomendável que a mesma seja lavada com água limpa e drenada antes de armazená-la em local seco.
- Se a bomba travar após muito tempo parada, usar uma chave de fenda para girá-la manualmente através da fenda existente na ponta do eixo do lado do acionador (vide fig. I).

Caso não seja possível destravá-la com a chave de fenda conforme descrito acima, será necessário desmontá-la totalmente.

Assegure-se que o motor esteja desconectado da rede elétrica. Remova os parafusos do corpo e retire o rotor.

Normalmente a montagem é operação inversa da desmontagem.

PROBLEMAS OPERACIONAIS	CAUSAS PROVÁVEIS	SOLUÇÕES POSSÍVEIS
A bomba não bombeia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bomba não escorvada</li> <li>Baixa rotação</li> <li>Entrada de ar na tubulação de sucção</li> <li>Rotor bloqueado</li> <li>Sentido de rotação errado</li> <li>Altura de sucção excessiva</li> <li>Crivo ou válvula de pé entupido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>É necessário escorvar a bomba novamente</li> <li>Veja o item 5</li> <li>Verifique a vedação do tubo de aspiração</li> <li>Veja o item 7</li> <li>Veja o item 6</li> <li>Aproxime a bomba ao nível de sucção</li> <li>Limpe o crivo ou a válvula de pé</li> </ul>
Baixa Vazão	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entrada de ar na tubulação de sucção</li> <li>Baixa rotação</li> <li>Oscilação de tensão ou frequência</li> <li>Altura de sucção maior que a especificada</li> <li>Corpo ou rotor danificado</li> <li>Pressão de recalque muito alta</li> <li>Crivo ou válvula de pé parcialmente entupido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Certifique-se de que a válvula de pé está mergulhada por pelo menos 60 cm.</li> <li>Veja o item 5</li> <li>Veja o item 5</li> <li>Aproxime a bomba ao nível de sucção</li> <li>Veja o item 7</li> <li>Limpe o crivo ou a válvula de pé e, se necessário, a tubulação de sucção</li> <li>Desmonte a bomba e limpe com cuidado o corpo da bomba e o rotor</li> </ul>
Motor não parte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tensão ou frequência errada</li> <li>Motor ou bomba travado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Veja o item 5</li> <li>Veja o item 7</li> </ul>
Perdas na sucção	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tubulação de sucção com vazamentos</li> <li>Líquido bombeado contendo ar</li> <li>Entrada de ar na tubulação de sucção</li> <li>Altura de sucção acima da especificada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verifique a vedação do tubo de aspiração</li> <li>Aproxime a bomba ao nível de sucção e preferivelmente instale a bomba afogada</li> <li>Certifique-se de que a válvula de pé está mergulhada por pelo menos 60 cm.</li> <li>Aproxime a bomba ao nível de sucção</li> </ul>
Intervenção da proteção	<ul style="list-style-type: none"> <li>Superaquecimento do motor</li> <li>Rotor bloqueado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verifique a voltagem e a ventilação</li> <li>Veja o item 7</li> </ul>



A KSB reserva-se o direito de alterar, sem aviso prévio, as informações contidas neste folheto.

#### KSB BOMBAS HIDRÁULICAS S. A.

Rua José Rabelo Portella, 400 - Várzea Paulista/SP - CEP 13220-540

Tel. (11) 4596-8500 - Fax (11) 4596-8747 - Linha Direta Housing KSB 0800 55-9500

E-mail: housing@ksb.com.br



Maio/07

## INFORMAÇÕES ADICIONAIS

### DADOS DE OPERAÇÃO:

	BOMBA MODELO	
	KSB HYDROBLOC P 500 / P 1000	KSB HYDROBLOC C 700 / C 1010
VAZÕES	até 45 l/min.	até 290 l/min.
	até 2,7 m³/h	até 17,4 m³/h
ELEVAÇÕES	até 70 m	até 19,5 m
ALTURA MÁXIMA DE SUÇÃO	7 m	7 m
ALTURA MÁXIMA DE ESCORVA	--	--
MOTOR (Monofásico) - 60 Hz	110 V ou 220 V	110 V / 220 V
(Trifásico) - 60 Hz	220 / 380 V	220 / 380 V
TEMPERATURA MÁXIMA DO LÍQUIDO	80 °C	80 °C
TEMPERATURA MÁXIMA DO AMBIENTE	40 °C	40 °C

### DADOS DO MOTOR:

			BOMBA MODELO			
			P 500	P 1000	C 700	C 1010
Frequência: 60 Hz						
GRAU DE PROTEÇÃO			IP 44	IP 44	IP 44	IP 44
CLASSE DE ISOLAÇÃO			B	B	B	B
MONOFÁSICO	110 V	CORRENTE (A)	5,5	10,4	9,8	11,5
	220 V	CORRENTE (A)	2,8	5,2	4,9	5,7
TRIFÁSICO	220 V	CORRENTE (A)	2,25	3,8	3,3	4,2
	380 V	CORRENTE (A)	1,3	2,2	1,9	2,4

## GARANTIA



### CARTÃO DE GARANTIA

A KSB Bombas Hidráulicas S. A. garante este produto nas condições expressas no "Termo de Garantia" anexo.

Nome: \_\_\_\_\_

End.: \_\_\_\_\_

Cidade: \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_\_

N. Fiscal: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

#### PRODUTO

Modelo: \_\_\_\_\_

Série: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Carimbo e assinatura do revendedor

**Cartão do Cliente**

### CARTÃO DE GARANTIA

A KSB Bombas Hidráulicas S. A. garante este produto nas condições expressas no "Termo de Garantia" anexo.

Nome: \_\_\_\_\_

End.: \_\_\_\_\_

Cidade: \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_\_

N. Fiscal: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

#### PRODUTO

Modelo: \_\_\_\_\_

Série: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Carimbo e assinatura do revendedor

**Revendedor**

### CARTÃO DE GARANTIA

A KSB Bombas Hidráulicas S. A. garante este produto nas condições expressas no "Termo de Garantia" anexo.

Nome: \_\_\_\_\_

End.: \_\_\_\_\_

Cidade: \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_\_

N. Fiscal: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

#### PRODUTO

Modelo: \_\_\_\_\_

Série: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Carimbo e assinatura do revendedor

**Fabricante**

## TERMO DE GARANTIA

O presente "Termo de Garantia" aplica-se a todos equipamentos da Linha **HYDROBLOC** fabricados pela **KSB Bombas Hidráulicas S. A.**

1. Os equipamentos fabricados pela KSB serão garantidos contra defeitos de materiais de fabricação pelo prazo de 12 (doze) meses a contar da data de sua efetiva aquisição pelo primeiro usuário.

2. Selo e Cartão de Garantia:

Destaque o selo de garantia que você encontrará fixado na carcaça da bomba e cole-o no corpo de sua Nota Fiscal, guardando-o, juntamente com o cartão devidamente preenchido.



Selo de Garantia

Caso haja necessidade do uso da garantia, apresente no Revendedor KSB a Nota Fiscal de compra com o devido selo de garantia acompanhado de seu cartão de garantia.

3. Correrão por conta do comprador as despesas de transporte e seguro do material defeituoso até o Revendedor KSB.

4. Para equipamentos e componentes fabricados por terceiros, a garantia KSB ou do Revendedor KSB, limita-se a dos respectivos fabricantes, que será transferida integralmente ao comprador.

5. Todo Material substituído a título de garantia passa a ser de propriedade da KSB.

6. A substituição a título de garantia não prorroga o prazo original.

7. Não serão cobertos por garantia:

- Condições de operação diferentes das negociadas.
- Desgaste normal decorrente do uso provocado por abrasão, erosão ou corrosão.
- Mau uso, emprego indevido, armazenagem inadequada, montagem ou operação fora do que recomenda a boa técnica.
- Danos provocados por golpe de ariete, cavitações, intempéries, bem como de vibrações e tensões mecânicas oriundas do sistema, de outras máquinas ou equipamentos.
- Instalação dos equipamentos em terrenos com fundações não apropriadas.
- Se o equipamento tiver sofrido reparo ou alteração fora das oficinas KSB ou do Revendedor KSB ou respectivo fornecedor.
- Anão observação das recomendações contidas no Folheto de Uso e Manutenção.
- A responsabilidade da KSB limita-se a substituição do fluxostato com defeito de fabricação e não inclui perdas por interrupção de processo produtivo ou outros.

## REDE NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO AUTORIZADA E ASSISTÊNCIA TÉCNICA

**VILA VELHA - ES**  
BOMBESA EQUIP. HIDR. LTDA.  
Av. Carlos Lindenberg, 3125  
CEP 29110-000 - Vila Velha  
Fone: (27) 3139-9266  
Fax: (27) 3139-9265  
bombesa@bombesa.com.br

**GOIÂNIA - GO**  
HIDRODINÂMICA COM. TÉCN. LTDA.  
Av. Vereador José Monteiro, 2388  
CEP 74850-300 - Goiânia  
Fone: (62) 4005-4666  
Fax: (62) 4005-4660  
hdvendas@hidrobombas.com.br

**BELO HORIZONTE - MG**  
HIDROTECNICA LTDA.  
Rua Domingos Vieira, 587 - Sta Efigênia  
Salas 1805/07/09/11  
CEP 30410-580 - Belo Horizonte  
Fone: (31) 3295-2144  
Fax: (31) 3295-4011  
hidrovendas@hidrotecnicaltda.com.br

**CAMPO GRANDE - MS**  
AMADOSAN TUBOS E CON. LTDA.  
R. Gal. Paulo Xavier, 4665  
Gleba D-3 / Fundos - Tiradentes  
CEP 79040-670 - Campo Grande  
Fone: (67) 3348-1881  
Fax: (67) 3348-1856  
sidnei@vtubos.com.br

**CURITIBA - PR**  
C. O. MUELLER COMÉRCIO DE  
MOTORES E BOMBAS LTDA.  
Av. Marechal Floriano Peixoto, 5491  
CEP 81610-000 - Curitiba  
Fone: (41) 3376-1825  
Fax: (41) 3276-1064  
ksb.apoio@comueller.com.br

**MARINGÁ - PR**  
C. O. MUELLER COMÉRCIO DE  
MOTORES E BOMBAS LTDA.  
Avenida Maia, 2543  
CEP 87050-020 - Maringá  
Fone: (44) 3226-5446  
Fax: (44) 3226-5446  
vendas.maringa@comueller.com.br

**NITERÓI - RJ**  
BRAUMAT EQUIP. HIDR. LTDA.  
Est. Francisco da Cruz Nunes, 495  
CEP 24310-340 - Niterói  
Fone: (21) 2616-1148/3124  
Fax: (21) 2616-3124  
bombas@braumat.com.br

**PORTO ALEGRE - RS**  
MAQUIMOTOR SOC. TÉCN. LTDA.  
Av. Sertório, 5.500 - Jardim Lindóia  
CEP 91050-370 - Porto Alegre  
Fone: (51) 2121-5500  
Fax: (51) 2121-5501  
maquimotor@maquimotor.com.br

**BLUMENAU - SC**  
N. B. FALCE & CIA. LTDA.  
Rua 2 de Setembro, 605  
CEP 89052-000 - Blumenau  
Fone: (47) 323-9800  
Fax: (47) 323-9801  
nbfalce@nbfalce.com.br

**CAMPINAS - SP**  
VANGUARDIA COML. HIDRO  
ELÉTRICA LTDA.  
Av. Papa Paulo XI, 170  
CEP 13030-000 - Campinas  
Fone: (19) 3778-3633  
Fax: (19) 3778-3630  
vanguardafilial@mpc.com.br

**PIRACICABA - SP**  
PRÓ-INT REP. E COM. LTDA.  
Av. 31 de Março, 1.735  
CEP 13424-305 - Piracicaba  
Fone: (19) 3434-2544  
Fax: (19) 3434-1669  
proint@proint.com.br

**RIBEIRÃO PRETO - SP**  
ZEPPONNI  
Av. Presidente Kennedy, 2676  
CEP 114092-220 - Ribeirão Preto  
Fone: (16) 2102-0300  
Fax: (16) 2102-0300  
zepponi@zepponi.com.br

**SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SP**  
SIGNARTEC COML. TÉCN. LTDA.  
Av. Nossa Senhora da Paz, 1.455  
CEP 15055-500 - S. J. do Rio Preto  
Fone: (17) 3215-9555  
Fax: (17) 3215-9550  
vendas@signartec.com.br

**SÃO PAULO - SP**  
WATERTEC BOMBAS E  
MOTORES LTDA.  
Rua Brasileira, 255 - Itapegica  
CEP 07043-010 - Guarulhos  
Fone: (11) 6421-9001  
Fax: (11) 6421-7172  
watertec@watertec.com.br

**SÃO PAULO - SP**  
ELÉTRO BUSCARIOLI LTDA.  
Rua São Leopoldo, 243/269 - Belém  
CEP 03055-000 - São Paulo  
Fone: (11) 8618-3611  
Fax: (11) 8692-3873  
buscarioli@uol.com.br

**SOROCABA - SP**  
BOMBAS PAULO DE SOROCABA  
Rua Pe. Luiz, 436  
CEP 18035-011 - Sorocaba  
Fone: (15) 3231-5613 / 3233-9755  
Fax: (15) 3233-2332  
bombaspaulo@uol.com.br



PARA REVENDEDORES E/OU ASSISTENTES TÉCNICOS MAIS PRÓXIMOS DE SUA CIDADE CONSULTE NOSSOS DISTRIBUIDORES AUTORIZADOS OU A KSB.

REMETER ESTE CARTÃO PARA



**KSB BOMBAS HIDRÁULICAS S. A.**  
Rua José Rabelo Portella, 400  
Caixa Postal 06  
Tel.: 4596-8500 - Fax.: 4596-8747  
13220-540 - Várzea Paulista  
São Paulo - Brasil

Sr. Revendedor:  
Favor remeter este cartão para a fábrica

CONTROLE DO REVENDEDOR



**KSB BOMBAS HIDRÁULICAS S. A.**  
Rua José Rabelo Portella, 400  
Caixa Postal 06  
Tel.: 4596-8500 - Fax.: 4596-8747  
13220-540 - Várzea Paulista  
São Paulo - Brasil

Sr. Revendedor:  
Guarde este cartão para seu controle

CARTÃO DO CLIENTE



**KSB BOMBAS HIDRÁULICAS S. A.**  
Rua José Rabelo Portella, 400  
Caixa Postal 06  
Tel.: 4596-8500 - Fax.: 4596-8747  
13220-540 - Várzea Paulista  
São Paulo - Brasil

Prezado Cliente,

Guarde este cartão, faz parte de sua garantia.