

**CENTRO UNIVERSITÁRIO INTERNACIONAL UNINTER  
ESCOLA SUPERIOR POLITÉCNICA  
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**VAGNER MARTINS**

**SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA  
FOTOVOLTAICA E TERMOSOLAR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA**

**2021**

**VAGNER MARTINS**

**SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO ENERGIA  
FOTOVOLTAICA E TERMOSOLAR**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito para obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Elétrica pela  
Escola Superior Politécnica do Centro  
Universitário Internacional Uninter.

Orientador: Prof. Me. Charles Way Hun Fung.

Co-orientador: Prof. Me. Samuel Polato Ribas

**CURITIBA**

**2021**

Dedico este trabalho aos meus professores e especialmente a minha esposa Solange por todo apoio incondicional durante os anos de faculdade.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por me permitir realizar um sonho que é me formar, me dando esperança de dias melhores, me fortalecendo em tempos difíceis e abençoando meus passos até aqui. Também saliento a importância dos meus pais, Moacir Martins e Helena Ribeiro Martins, que durante toda minha vida foram minha base, são eles que me formaram primeiramente como cidadão. Sou grato também a cada professor que dedicou tempo a me ensinar tantas coisas em ramos tão diferentes da ciência, os quais alguns nem imaginava existir, abrindo dessa forma meus olhos para o conhecimento. Agradeço especialmente ao Prof. Me. Charles Way Hun Fung, que me orientou neste trabalho sempre de forma tão solícita, ao coorientador deste trabalho Prof. Me. Samuel Polato Ribas, assim como Prof. Me. Eliane Silva Custodio e Prof. Dr. Ana Carolina Tedeschi Gomes Abrantes pelas contribuições.

Especialmente à minha, doce e amável, esposa Prof. Dr. Solange de Carvalho Martins, que me deu todo o suporte e incentivo para que eu chegasse até esta etapa, realizando com tranquilidade e foco os estudos necessários, por ter se mantido ao meu lado durante todo este tempo, entendendo as ausências e sendo o meu Sol mesmo em dias cinzas. Igualmente agradeço aos meus filhos Noah de Carvalho Martins e Naomi de Carvalho Martins, tão pequenos e com uma relevância tão grande, vocês foram um dos grandes incentivos para que eu nunca desistisse, sem dúvidas, esta família foi o pilar desta conquista.

“É melhor tentar e falhar que preocupar-se  
e ver a vida passar.  
É melhor tentar, ainda que em vão, que sentar-se  
fazendo nada até o final.  
Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias frios em  
casa me esconder.  
Prefiro ser feliz, embora louco, que em  
conformidade viver.” (Martin Luther King)

## RESUMO

Este estudo faz parte de uma pesquisa cujo objetivo é apresentar um sistema híbrido de aquecimento de água utilizando painéis solares atuando off gride, ou seja, sem ligação com a rede elétrica ou concessionária de energia. Como parte do estudo houve a avaliação do comportamento térmico da água dois tanques. Um deles, com volume de 500 litros, isolado termicamente e aquecido por meio de uma resistência ligada eletricamente aos painéis. Enquanto o outro, com volume de 1000 litros, mantinha água em temperatura ambiente. Além disso, realizou-se o monitoramento das temperaturas na parte inferior dos painéis. As medições foram realizadas através de um microprocessador do tipo "*Raspberry*". Os dados de temperatura foram coletados através de programa escrito em linguagem python, responsável por controlar o sistema, mantendo a temperatura a 39°C.

**Palavras-chave:** *Água, Aquecimento, Solar, Híbrido.*

## ABSTRACT

This study is part of a research whose objective is to present a hybrid water heating system using solar panels acting off gride, that is, without connection with the electricity grid or power utility. As part of the study there was the evaluation of the thermal behavior of two water tanks. One of them, with a volume of 500 liters, thermally insulated and heated by means of an electrically connected resistance to the panels. While the other, with a volume of 1000 liters, kept water at room temperature. In addition, temperatures were monitoring at the bottom of the panels. Measurements were performed using a "*Raspberry*" microprocessor. Temperature data were collected through a program written in python language, responsible for controlling the system, maintaining the temperature at 39°C.

**Keywords:** *Water, Heating, Solar, Hybrid.*

## Sumário

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>temodinâmica .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Aquecimento da água .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>OPÇÕES DE AQUECIMENTO DE ÁGUA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>CHUVEIRO ELÉTRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5</b>	<b>AQUECIMENTO TERMICO SOLAR.....</b>	<b>17</b>
<b>2.6</b>	<b>PAINÉIS FOTOVOLTAICOS .....</b>	<b>19</b>
<b>2.7</b>	<b>Conversor analógico digital .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>TESTE PRELIMINAR FASE I – IMPLANTAÇÃO E MONITORAMENTO DAS TEMPERATURAS NOS PAINÉIS.....</b>	<b>21</b>
3.1.1	Volume de água a ser aquecido.....	23
3.1.2	Escolha e instalação dos PV.....	24
3.1.3	Medições de temperatura abaixo dos PVs.....	24
<b>3.2</b>	<b>TESTES PRELIMINARES FASE II – CONTROLE E ISOLAMENTO TÉRMICO. ....</b>	<b>28</b>
3.2.1	Sistema de aquecimento do teste preliminar.....	30
3.2.2	Acionamento e aquisição de dados do teste preliminar fase II.....	31
3.2.3	Isolamento térmico do teste / ligação do sistema de teste. ....	32
<b>3.3</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA FINAL .....</b>	<b>34</b>
3.3.1	Painéis fotovoltaicos em série .....	35

3.3.2	Sensores ntc .....	35
3.3.3	Disjuntor .....	36
3.3.4	Resistência.....	36
3.3.5	Micro boia.....	38
3.3.6	Placa principal .....	38
3.3.7	Software de aquisição e controle .....	39
3.3.8	Sistema de armazenamento de água.....	39
3.3.9	Aquecimento térmico por circulação forçada PV.....	40
<b>4.1</b>	<b>Resultados dos testes de desenvolvimento fase I.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2</b>	<b>Resultados dos testes de desenvolvimento fase II.....</b>	<b>43</b>
<b>4.3</b>	<b>RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO FINAL DO SISTEMA .....</b>	<b>47</b>
4.3.1	Temperaturas médias nos tanques de armazenamento .....	47
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b>PRINCIPAIS DIFICULDADES .....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>MELHORIAS FUTURAS.....</b>	<b>53</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sistemas de aquecimento de água termosolar ou termosolar. ....	19
Figura 2 - Fluxograma referente ao software da FASE I.....	22
Figura 3 - Setup do teste FASE I. ....	22
Figura 4 - Relação potência necessária para atingir 43°C.....	23
Figura 5 - Painéis instalados.....	24
Figura 6 - Desenho da estrutura para fixação dos painéis.....	24
Figura 7 - Posicionamento dos sensores de temperatura.....	25
Figura 8 - Placa protótipo I para leitura dos dados. ....	26
Figura 9 - Raspberry Pi B .....	27
Figura 10 - Circuito de referência.....	27
Figura 11 - Local de instalação do sistema de controle e leitura. ....	28
Figura 12 - Fluxograma do software desenvolvido para FASE II. ....	29
Figura 13 - Diagrama em blocos do teste preliminar fase 2.....	29
Figura 14 - Placa de acionamento. ....	32
Figura 15 - Disposição dos elementos de teste. ....	33
Figura 16 - Setup de teste acima da tampa do freezer. ....	33
Figura 17 - Teste de aquecimento com a .....	33
Figura 18 - Ensaio utilizando um tapume de poliuretano. ....	33
Figura 19 - Visão Geral do sistema.....	34
Figura 20 - Simulação realizada no programa EveryCircuit.....	36
Figura 21 - Polinômio interpolador calculado no Excel. ....	36
Figura 22 - Especificação da resistência. ....	37
Figura 23 - Resistência e micro boia montada no CX1.....	37
Figura 24 - Especificações da Micro boia .....	38
Figura 25 - "A" visão 3D da placa protótipo III.....	39
Figura 26 - Projeção do local para montagem da estrutura. ....	40
Figura 27 - CX1 isolada com poliuretano.....	40
Figura 28 - Serpentina que foi instalada abaixo do PV 1. ....	41
Figura 29 – Painel Solar após o acoplamento da serpentina.....	41
Figura 30 - Leitura da temperatura durante o período estudado. ....	42

Figura 31 - Média das temperaturas: ambiente, P1, P2 e P3. ....	43
Figura 32 - Médias de temperatura após reposicionamento do sensor P3. ....	43
Figura 33 - Controle de temperatura atuando no ensaio de porta fechada. ....	44
Figura 34 - Ensaio com tapume e na sequência sem. ....	45
Figura 35 - Consumo durante ensaio de porta fechada. ....	46
Figura 36 - Consumo durante ensaio com porta aberta (primeiras 25 horas) e com tapume após 25 horas. ....	46
Figura 37 - Temperaturas registradas no período estudado. ....	48
Figura 38 - Produção de energia diária durante o período. ....	49
Figura 39 - Comparação entre as temperaturas médias nos Painéis 1 e 2. ....	50
Figura 40 - Atuação da refrigeração do Painel e aquecimento da água. ....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS

PV – Paineis Solares

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das nações unidas.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia Elétrica.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

AC – Antes de Cristo.

I2C – Inter Integrated Circuit.

NTC – Negative Temperature Coefficient.

GPIO – General Purpose Input Output.

A/D – Analógico/Digital.

CX1 – Caixa um.

CX2 – Caixa dois.

P01 - Painel fotovoltaico com serpentina

P02 - Segundo painel Fotovoltaico

P03 - Terceiro painel fotovoltaico.

W/h - Watts/ hora

Amb Tmax - Representa a máxima temperatura ambiente medida

CX1 Tmax - Representa a temperatura máxima medida no tanque isolado termicamente (CX1).

CX2 Tmax: Representa a temperatura máxima no tanque de armazenamento sem isolamento térmico.

Gmáx: Representa a diferenças entra as temperaturas máximas de CX1 e CX2.

## 1. INTRODUÇÃO

A cidade de Curitiba, localizada no estado do Paraná, apresenta tendência a temperaturas mais baixas com a chegada do inverno. Curitiba apresenta média histórica de temperaturas mínimas abaixo dos 10°C nos meses de junho, julho e agosto (Climatempo, 2021). Nesse cenário, o conforto de um banho quente ou até mesmo a utilização de água em uma temperatura mais agradável para atividades rotineiras, tais como lavar as mãos e rosto, bem como a utilização para afazeres domésticos, como lavar os utensílios da cozinha, passam a ter uma importância significativa na vida das pessoas. Na tendência de aumentar o conforto sem maiores danos ambientais e econômicos, essa pesquisa visou contribuir com estes aspectos, sem onerar ainda mais o consumo de energia elétrica, assim apresentando uma opção complementar para os modelos de aquecimento de água existentes atualmente. Entre esses modelos pode-se destacar os modelos de aquecimento de passagem a gás, aquecimento térmico e o chuveiro elétrico (Lafay 2005). Para atingir os objetivos propostos, o trabalho apresenta uma solução híbrida (energia térmica e elétrica) para o aquecimento de água em residências, utilizando painéis fotovoltaicos (PV). Adicionalmente desenvolve modelamento desse sistema, equacionando o controle do sistema e entregando o modelo matemático e sistêmico.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A humanidade vivencia uma crise global sentida em vários aspectos, crise econômica, pobreza extrema e crise ambiental são exemplos, e estes se encontram intimamente relacionados. O desenvolvimento sustentável, que busca satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades (*Relatório Brundtland* - comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento, 1988, p. 49) e sem comprometer o planeta como um todo, é um desafio urgente. Nesse sentido, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu uma agenda, a agenda ONU 2030 que segundo a própria instituição é: um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade. Ela também busca fortalecer a paz universal com mais liberdade. Reconhecemos que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, incluindo a pobreza extrema, é o maior desafio global e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2020). O plano indica 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, os ODS, e 169 metas, para erradicar a pobreza e promover vida digna para todos, dentro dos limites do planeta.

Entre os objetivos, pode-se destacar o objetivo 7, que busca até 2030 garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos. Uma das metas para o ODS 7 pode ser lida no item 7.2, que estabelece aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.

Outro ODS é o objetivo 15, que busca proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade, dentro desse objetivo pode-se mencionar a meta 15.5 - tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitat naturais, deter a perda de biodiversidade e, até 2030, proteger e evitar a extinção de espécies ameaçadas.

Desta forma, este trabalho visa contribuir para o alcance de tais objetivos, uma vez que propõe a redução de consumo de energia elétrica, contribuindo para o aumento de produção de energia distribuída. Conseqüentemente, proporcionando uma diminuição dos impactos e custos ambientais presentes no processo de produção de energia elétrica, contribuindo para diminuição do pico de energia. De acordo com Companhia Paranaense de Energia Elétrica (Copel) o horário de maior consumo é de

segunda a sexta feira das 18:00 às 21:00 e para horário de verão das 19:00 às 22:00. Sendo o chuveiro o principal responsável por este pico, contribuindo com aproximadamente 30% no consumo de energia elétrica de uma residência em meses de inverno (PROCEL).

Além disso, existem poucas pesquisas relacionadas à temática proposta no presente projeto. Portanto, busca-se contribuir também com o estado da pesquisa para o ambiente acadêmico.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema de aquecimento de água, o qual será permeado pelo comparativo entre o monitoramento da temperatura da água no ambiente e o aquecimento promovido por dois modelos que se complementam. Um dos modelos, realiza o aquecimento por meio de uma resistência alimentada por três painéis fotovoltaicos, e o outro por meio do aproveitamento do calor promovido pelo aquecimento térmico gerado por esses painéis e a transferência de calor ocorre por meio de condução.

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados, como temperatura, corrente, e tensão ao longo de um período;
- Monitoramento remoto dos dados adquiridos;
- Controle de temperatura em duas caixas d'água sendo uma isolada termicamente e outra não;
- Acionamento do sistema de aquecimento através de resistência alimentada por painéis fotovoltaicos;
- Desenvolvimento de software específico para implementação da malha de controle de um sistema térmico híbrido.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 TERMODINÂMICA

As leis da termodinâmica a tempos são amplamente estudadas, neste trabalho serão utilizados alguns conceitos bastante difundidos, tais como, transferência de calor e equalização térmica. Estes conceitos mencionados são estudados através da Lei zero da termodinâmica, também conhecida e difundida como princípios da temperatura e conservação. Para isso, é necessário adicionar o conceito de equilíbrio térmico nesta formulação, neste caso, a temperatura é considerada em equilíbrio quando não se encontra mais variação térmica. O conceito de temperatura, apesar de ser bastante conhecido é uma propriedade com definição não muito simples, sendo a sensação térmica, uma percepção não mensurável desta propriedade, por exemplo, quando tocamos em um objeto e percebemos se está frio ou quente, esta percepção não é mensurável, apenas percebível. Soma-se a isto, a utilização do conceito de transferência de calor que na prática pode ser observado através de pequenas experiências. Por exemplo, quando o gelo é colocado em um copo de água e após algum tempo a água fica mais gelada, enquanto o gelo derrete e ainda, algum tempo depois a água se equaliza termicamente com a temperatura ambiente. Neste caso, temos o processo de transferência de calor objetivando o equilíbrio térmico ou equalização térmica. O processo de transferência de calor pode ser atrasado se usarmos materiais como isolante térmicos entre dois corpos ou ambientes com temperaturas distintas. Para o estudo deste trabalho será utilizado o processo de transferência de calor entre um PV e uma serpentina de Polímero, assim como, a conservação da temperatura gerada pelo sistema estudado através de uma caixa isolado com Poliuretano. (WYLEN, 1995).

## 2.2 AQUECIMENTO DA ÁGUA

Em posse dos conceitos da termodinâmica visto anteriormente, pode ser utilizado a equação fundamental da calorimetria (*Equação 1*) e com isso é possível calcular a potência em Watts necessária para elevar a água para uma determinada temperatura. Sendo assim, é preciso ampliar os conceitos da Lei zero, entre eles a diferença entre calor e temperatura. A temperatura é a percepção externa de energia criada através da agitação das moléculas de um corpo e medida termicamente, enquanto o calor é a transferência desta energia passada de um corpo para outro, quando e somente quando houver uma diferença térmica entre eles. LIMA, 2012 descreveu este processo da seguinte forma “Calor é a energia em trânsito de um corpo (quente) com temperatura mais alta para outro corpo (frio) de temperatura mais baixa”. A unidade no sistema internacional de medidas é dada em Joule (J), sendo, a quantidade de calor necessária para elevar 1°C a temperatura de 1 grama de água é dada por 1 Caloria (1 cal), que é igual a 4,1868 J, utiliza-se para este cálculo a equação fundamental da calorimetria.

$$Q_s = m \cdot c \cdot \Delta \quad (1)$$

Onde:

$Q_s$  = quantidade de calor sensível (cal ou J).

$c$  = calor específico da substância que constitui o corpo (cal/g°C ou J/kg°C).

$m$  = massa do corpo (g ou kg).

$\Delta t$  = variação de temperatura (°C).

Adicionalmente para os próximos passos é necessário a transformação do volume de água inicialmente em litros para  $m^3$ , para isto podemos utilizar Equação da densidade (Equação 2).

$$m^3 = \frac{L}{1000} \quad (2)$$



Onde:

$m^3$  = Massa da substância em metros cúbicos.

L = Volume da substância em litros

1000 = Constante utilizada na divisão da equação para encontrar o volume em metros cúbicos.

Sendo a energia, o produto da potência pelo tempo, potência é dada em Joule ou Watts, correlacionando matematicamente a Equação 1 temos a Equação 3:

$$P = \frac{Qs}{t} = \frac{m*c*\Delta T}{t} \quad (3)$$

Onde:

P = potência

t = tempo em segundos

Utilizando os fundamentos da lei de Ohm e suas relações demonstrados na equação 4, pode ser calculado, entre outros parâmetros, a potência necessária para o aquecimento desejado, valor da Resistência de aquecimento e Correntes que passarão pelo sistema.

$$P = V * I \quad (4)$$

Onde:

P = Potência

V = Tensão nominal

I = Corrente nominal

## 2.3 OPÇÕES DE AQUECIMENTO DE ÁGUA

A busca por conforto faz parte da vida e cotidiano das pessoas há milhares de anos, existem evidências desta busca mesmo 1.000 AC (Almeida, 2015). Especificamente quando se fala em banho, uma das necessidades básicas do ser humano, em alguns lugares com temperaturas mais elevadas o aquecimento de água para esta finalidade pode ser considerado como um conforto. No entanto, em locais com temperaturas extremamente baixas, isso toma status de item essencial e a humanidade vem buscando e desenvolvendo formas e produtos que atuem neste sentido. Existem diversos sistemas que proporcionam o aquecimento da água. Na sequência são descritos alguns.

## 2.4 CHUVEIRO ELÉTRICO

O chuveiro elétrico é um modelo de dispositivo que tem por finalidade aquecer água através da passagem dela por uma resistência ligada eletricamente à alguma fonte de energia. Este modelo de aquecimento é responsável por cerca de 23% do consumo de energia elétrica no setor residencial, estando presente em mais de 67% dos lares brasileiros. Na região sul e sudeste, o chuveiro é responsável por volta de 40% do consumo em horários de picos (Zoellner, 2005). Nesse cenário, torna-se evidente o desenvolvimento de sistemas que ajudem a diminuir ou até mesmo eliminar este consumo. Como já mencionado, a produção de energia elétrica traz um custo ambiental e econômico, tendo em vista a análise da matriz energética no Brasil fica evidente a importância do tema no cotidiano das pessoas.

## 2.5 AQUECIMENTO TERMICO SOLAR

O Sol é uma estrela de 5° grandeza, e a mais próxima da terra, sua temperatura média de superfície é equivalente a 6000°C, por este motivo que se tem no Sol uma fonte de calor, localizada a uma distância precisa para vida.(Silva 2006). Esta temperatura e luminosidade, aproveitada naturalmente pelas plantas e outros organismos fotossintetizantes, também pode ser aproveitada para outras aplicações, como por exemplo, o aquecimento de água para o banho. Dentre os modelos existentes, podemos citar os modelos com circulação natural ou termossifão e circulação forçada.

Segundo (Souza 2014), em processos de circulação térmica como ar e água, a tendência natural das partículas mais refrigeradas é ficarem mais densas, com isso há uma troca natural de posicionamento dentro do ambiente ou sistema que está ocorrendo esta mudança térmica. O processo de aquecimento por termossifão utiliza esta tendência para realizar a circulação natural da água. A Figura 1 mostra a água armazenada em temperatura ambiente item 3, que deve ser localizada mais alta que os painéis de aquecimento por acumulação aproveitando a equalização de pressão. A água aquecida através de captação térmica tende a subir pela tubulação sendo armazenada no reservatório térmico dando lugar à água mais fria, com isso, há uma circulação natural entre o reservatório térmico, caixa de água fria e os coletores. O resultado deste processo é a obtenção de água aquecida, que posteriormente será utilizada para banho.

Para os sistemas de circulação forçada o princípio é o mesmo. No entanto, por problemas de equalização da pressão entre os reservatórios quando não há diferença entre a caixa de água fria e reservatório térmico, ou tamanho excessivo do sistema de captação como na Figura 1. Nestes casos para a circulação são utilizados alguns componentes, como bomba hidráulica, controlador de temperatura e sensores acoplados tanto no reservatório quanto nos coletores. O sensor acoplado aos coletores tem como objetivo indicar o momento em que a bomba hidráulica será ligada realizando a circulação forçada. O sensor no reservatório térmico complementa a lógica de circulação sendo um indicador importante ao limitar a circulação se a água armazenada passar do limite estabelecido. Este processo é controlado através do item 5 mencionado.

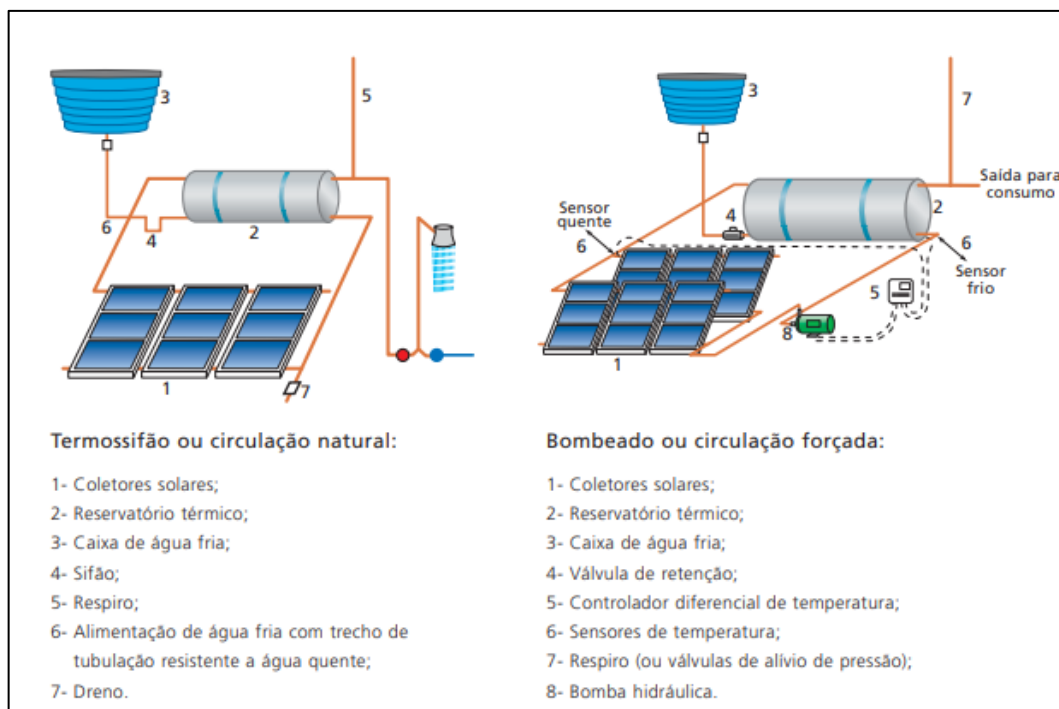


Figura 1 Sistemas de aquecimento de água termosolar ou termosolar.

Fonte: Andrade,2009

## 2.6 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

O sol que sempre foi uma fonte essencial de energia térmica, também pode ser utilizado para obtenção de energia elétrica. Para entender esse processo é necessário compreender que a luz é uma onda eletromagnética cuja velocidade é uma das constantes da física (Silva, 2006) (Gonzáles, 2017). Uma das primeiras experiências que se tem conhecimento sobre a utilização da energia do sol para obtenção de energia elétrica foi realizada em 1839, pelo físico francês Edmond Becquerel's. Edmond submergiu em água acidificada duas placas de platina conectadas à um galvanômetro, estas placas foram submersas em dois compartimentos distintos e isolados da luz, usando uma escotilha onde era possível deixar a luz entrar em um compartimento específico, enquanto o outro continuava na obscuridade. Inicialmente ele percebeu que com a entrada da luminosidade, foi observado através do galvanômetro a medição de corrente, e esta observação permeou algum de seus trabalhos (FATET, 2005). Albert Einstein descreveu este fenômeno em 1904. Porém, a primeira célula solar monocristalina de silício foi construída em 1941. Em 1951, as

primeiras células solares de germânio foram feitas. Os laboratórios da *Bell Telephone Laboratories* publicaram os resultados da operação de células solares com 4,5% de eficiência. A eficiência foi aumentada para 6% dentro de alguns meses. Em 1957, a *Hoffman Electronics*, introduziu uma célula solar com 8% de eficiência. Um ano depois, em 1958, a mesma empresa introduziu outra célula solar com 9% de eficiência. A primeira célula solar de silício à prova de radiação foi produzida para fins de tecnologia espacial no mesmo ano (Zaidi, 2018). Especialmente quando são utilizados os semicondutores tipo silício, que possuem uma banda de valência totalmente preenchida por elétrons, e um espaço vazio chamado de banda de condução comporta-se como isolante à 0 graus Kelvin (Galdino, 2014). Desta forma, quando este material recebe irradiação solar, há movimento dos elétrons utilizando-se destas bandas vazias, e com isto, nota-se um fluxo de corrente e este fluxo torna-se uma fonte de corrente temporária, fornecendo assim eletricidade.

A abundância do silício ao redor do globo terrestre, também favorece a produção de matéria prima para a construções de PV. “A maioria dos painéis solares tem como matéria-prima o silício, que é obtido através dos cristais de quartzo. O Brasil é o maior produtor mundial de quartzo, sendo ainda o único produtor de blocos de quartzo natural com propriedades piezelétricas”. (Oliveira, 2013), No entanto a produção de PV no Brasil ainda é um ramo a ser explorado.

## 2.7 CONVERSOR ANALÓGICO DIGITAL

A empresa *Texas Instruments* localizada no estado americano do Texas que tem como uma de suas finalidades o desenvolvimento e manufatura de semicondutores e circuitos integrados, desenvolveu a família ADS111X com o objetivo de realizar uma conversão de analógica para digital. Segundo Vasconsellos (2011), a conversão Analógica para digital é a transformação de uma medida analógica para uma quantidade de bit também chamada de informação digital. Para este projeto foi definido o componente ADS1115 devido a quantidade de canais disponíveis para esta transformação, no caso do componente escolhido são quatro canais e seu endereçamento. Segundo o fabricante através do *datasheet* do componente, as principais características são, o baixo consumo de energia, 16 bits para melhorar a

precisão, assim como um amplificador de ganho programável somado a um comparador digital. A comunicação é realizada através do protocolo I2C.

### **3 METODOLOGIA**

O presente tópico visa apresentar informações relativas aos materiais e métodos utilizados para construção desta pesquisa, também será mostrado as funcionalidades e etapas deste desenvolvimento.

#### **3.1 TESTE PRELIMINAR FASE I – IMPLANTAÇÃO E MONITORAMENTO DAS TEMPERATURAS NOS PAINÉIS.**

Esta etapa do projeto teve o objetivo verificar as temperaturas embaixo dos painéis fotovoltaicos. Para essa finalidade foi desenvolvido um “*setup*” de teste e um programa em linguagem python, na Figura 2 é mostrado o fluxograma referente a lógica utilizada. Também foi desenvolvido uma placa protótipo versão I para realizar as medições de temperatura Figura 8. A configuração para esta etapa do projeto está disposta na Figura 3. Nela é possível visualizar 3 painéis ligados em série, PV1, PV2 e PV3, cada um deles com um sensor de temperatura (NTC) acoplado abaixo como objetivo de monitorar as temperaturas, enquanto um quarto NTC mede a temperatura ambiente. Estas medições foram realizadas utilizando a placa protótipo versão I, utilizando uma placa de interface I2C transformando as leituras de temperaturas realizadas analogicamente em digitais, as informações foram registradas através de um Raspberry pi. Ressalta-se que os testes da Fase 1 serviram como base para as etapas posteriores dessa pesquisa, foi por meio dos resultados obtidos que se validou a possibilidade da utilização das temperaturas abaixo dos painéis para realizar o pré-aquecimento da água. Os resultados obtidos são informados no capítulo “Resultados e Discussões”.

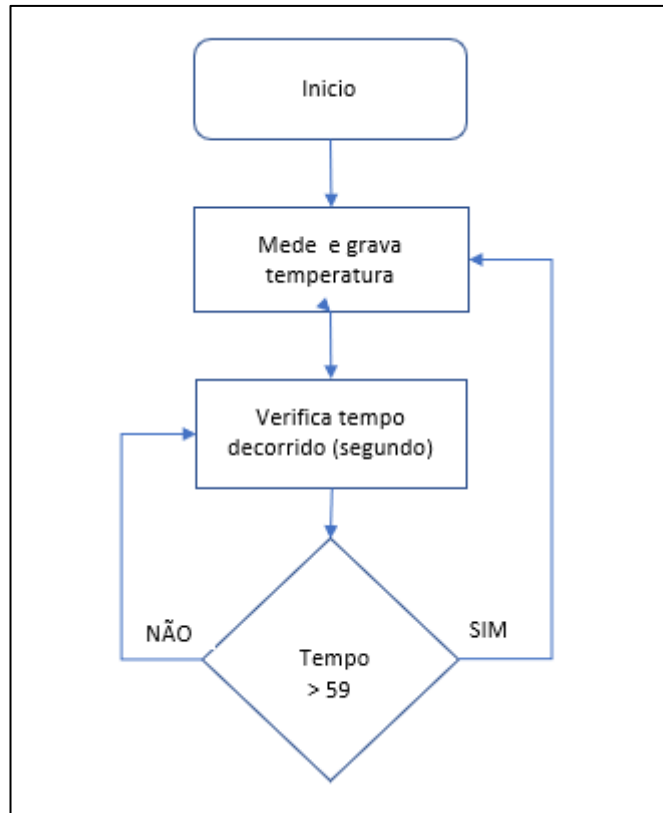


Figura 2 - Fluxograma referente ao software da FASE I.

Fonte: o autor.

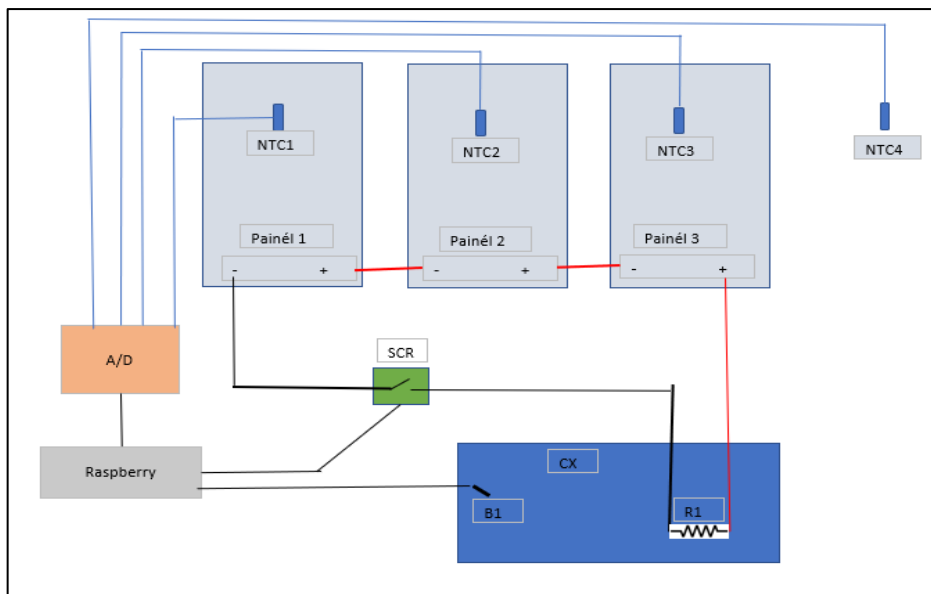


Figura 3 - Setup do teste FASE I.

Fonte: o autor.

### 3.1.1 Volume de água a ser aquecido

Utilizando a equação fundamental (Equação 1) para cálculo de aquecimento, foi estipulado três cenários distintos relacionando a potência necessária para aquecer volumes de água diferentes ao longo do tempo e, com isto, escolher o que melhor se adequa a necessidade deste projeto. Esta relação é mostrada na Figura 4 sendo oito horas (pontilhada em vermelho) a faixa escolhida para este projeto. Optou se nesse trabalho por um tempo baseado na estimativa de radiação solar diária. Combinando esta relação temos que a potência necessária para aquecer 500 litros de água no tempo definido é 1963 Watts, tendo a potência dos painéis fixada em 990 Watts fica claro que apenas a potência dos painéis não seria suficiente para a temperatura da água chegar ao patamar desejado, definida como 39° C para a presente pesquisa. Portanto, foi necessário complementar com o pré-aquecimento da água passando por uma serpentina fixada abaixo de um dos painéis, sustentando a proposta inicial de um modelo híbrido.

Vale ressaltar que se a opção fosse aquecer 250 litros de água em 8 horas, apenas a potência fornecida pelos painéis seria suficiente. Desde que os painéis passassem as 8 horas diárias produzindo seu máximo, o que não é possível devido ao ângulo do Sol em relação ao painel ser mutável e sua incidência diretamente no painel ser de extrema relevância para aproveitamento da energia solar.

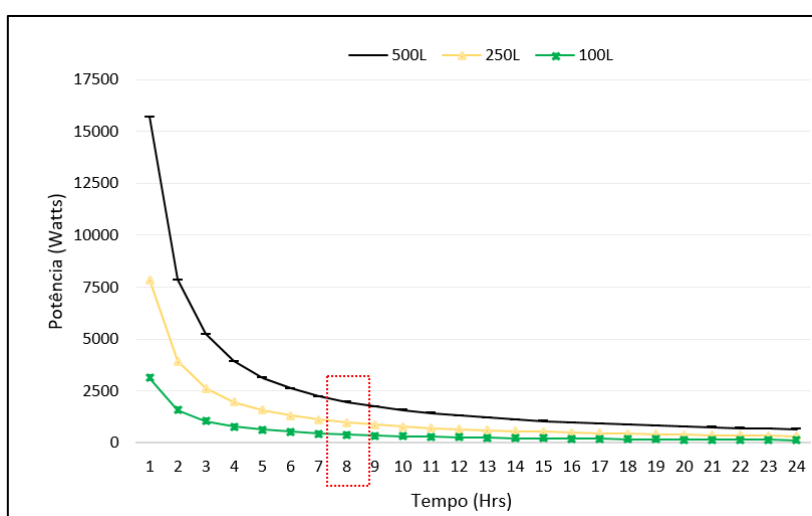


Figura 4 - Relação potência necessária para atingir 43°C.

Fonte: o autor



### 3.1.2 Escolha e instalação dos PV.

A escolha dos painéis fotovoltaicos foi baseada em três critérios específicos: espaço para instalação, disponibilidade de modelos na região e potência pré-definida (990W). Sendo o fator, potência preponderante na escolha, devido à necessidade de aquecimento estipulada. Após a medição do local de instalação e combinando com o modelo disponível nas distribuidoras de painéis fotovoltaicos da região, e atendendo o requisito básico - potência necessária optou-se pelo modelo ZXP672-330/P do fabricante ZNSHINE SOLAR contendo 72 células policristalina, com eficiência informada de 17%, e potência de 330 Watts cada, cujo *datasheet* pode ser visto com mais detalhes no Anexo E. Cada modulo tem 2 metros de comprimento por 1 metro de largura. A montagem dos painéis e o desenho da estrutura são mostrados, respectivamente, nas Figuras 5 e 6.



Figura 5 - Painéis instalados

Fonte: o autor

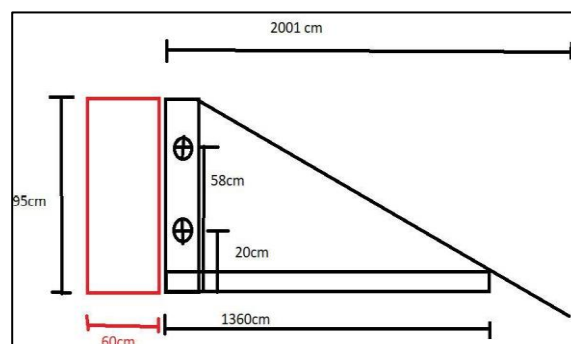


Figura 6 - Desenho da estrutura para fixação dos painéis.

Fonte: o autor

### 3.1.3 Medições de temperatura abaixo dos PVs.

Após a instalação dos painéis, foram fixados 3 sensores de temperatura, logo abaixo dos painéis (P1 – Painel 1; P2 – Painel 2; P3 - Painel 3) e um quarto sensor na proximidade da parede da edificação, com intuito de medir a temperatura ambiente (T1). Essas fixações são vistas na Figura 7.

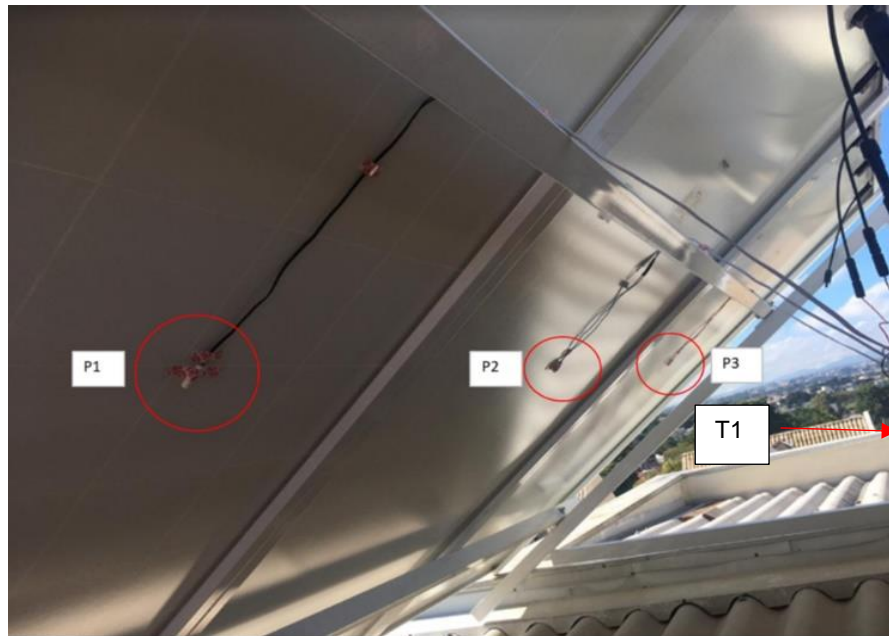


Figura 7 - Posicionamento dos sensores de temperatura

Fonte: o autor

Para o sistema de medição foi desenvolvendo uma placa protótipo nomeada como placa protótipo I, para isso foi utilizando alguns divisores de tensão para informar ao software as tensões correspondentes a cada medida de grandeza estipulada, neste caso os quatro sensores de temperatura, assim como, medidores de tensão. Os medidores de tensão foram implementados somente na fase final deste projeto. O circuito, como o modelo 3D da placa, podem ser visualizados na Figura 8.

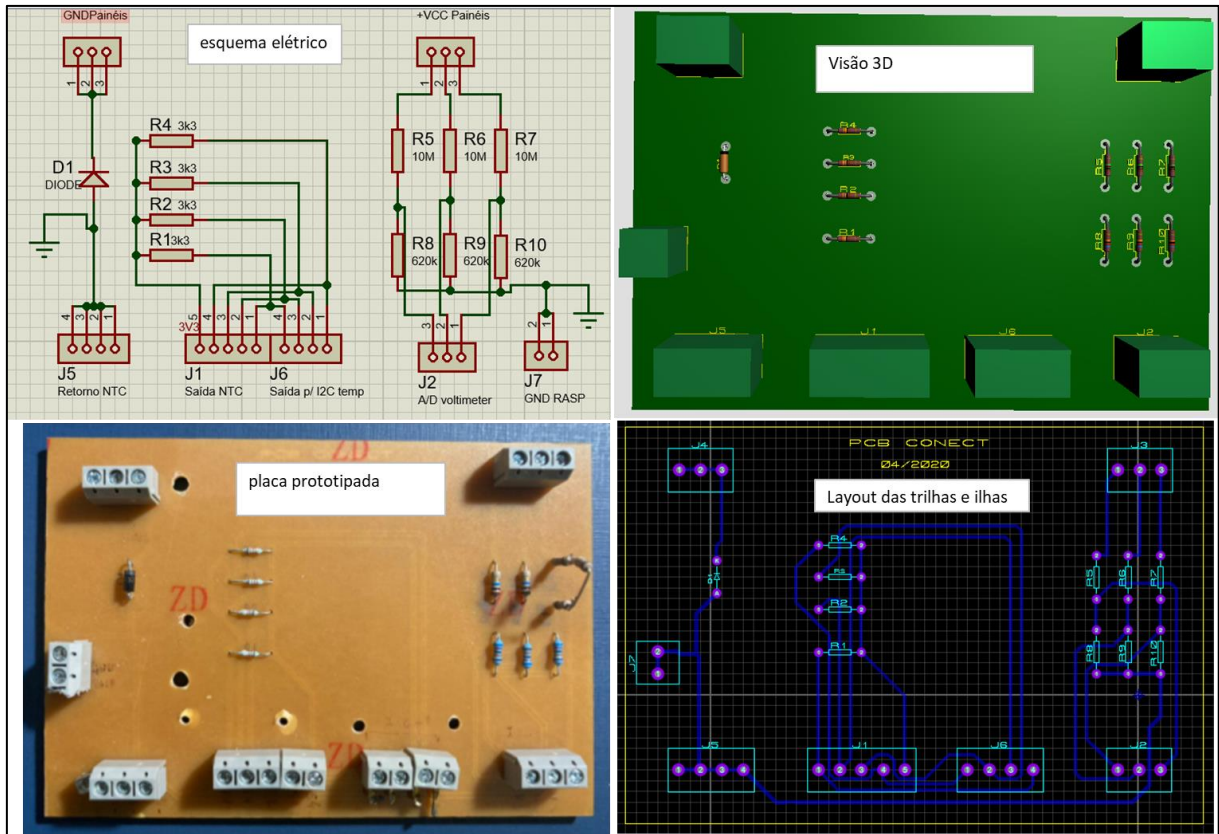


Figura 8 - Placa protótipo I para leitura dos dados.

Fonte: o autor.

A conversão das medidas nos divisores de tensão de analógica para digital foram realizadas através do componente ADS1115. O circuito de referência Figura 10 foi extraído do *datasheet* do componente.

O controlador utilizado para aquisição de dados e controle do sistema, foi o Raspberry pi 3, modelo B, versão 1.2 de 2015 Figura 9. Esta escolha ocorreu em virtude da capacidade de processamento da placa, assim como a facilidade de encontrar materiais de apoio, tanto para a construção dos acionamentos quanto para desenvolvimento do software de controle. O microcontrolador foi o responsável por todo o processamento dos dados e acionamento das cargas. As leituras de dados são realizadas através de uma placa com comunicação I2C com código comercial ADS1115, (circuito de referência Figura 10) em conjunto com a placa protótipo I construída especificamente para este projeto. A placa ADS1115 realiza o papel de transformar as aquisições de leituras analógicas, fornecidas pelos sensores,

medidores de tensão e corrente, em sinais digitais que são os tipos de entrada legível para o Raspberry.

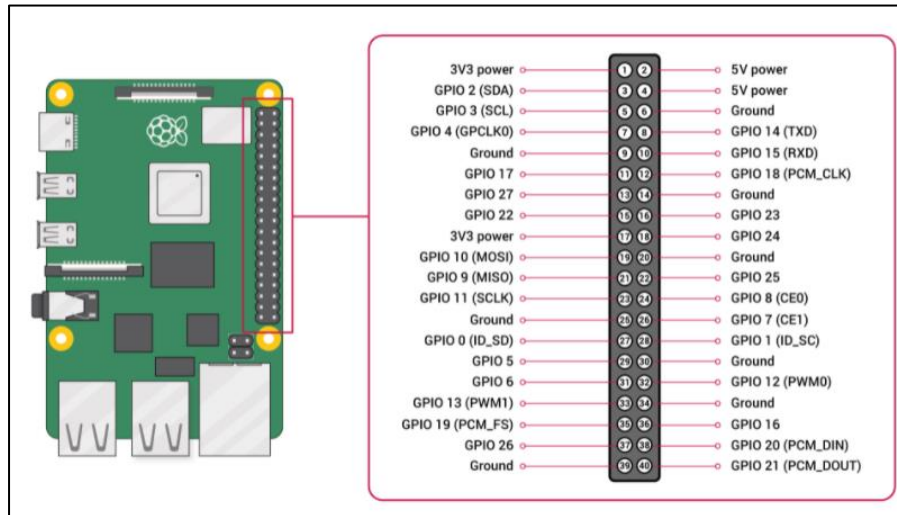


Figura 9 - Raspberry Pi B

Fonte: <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/>

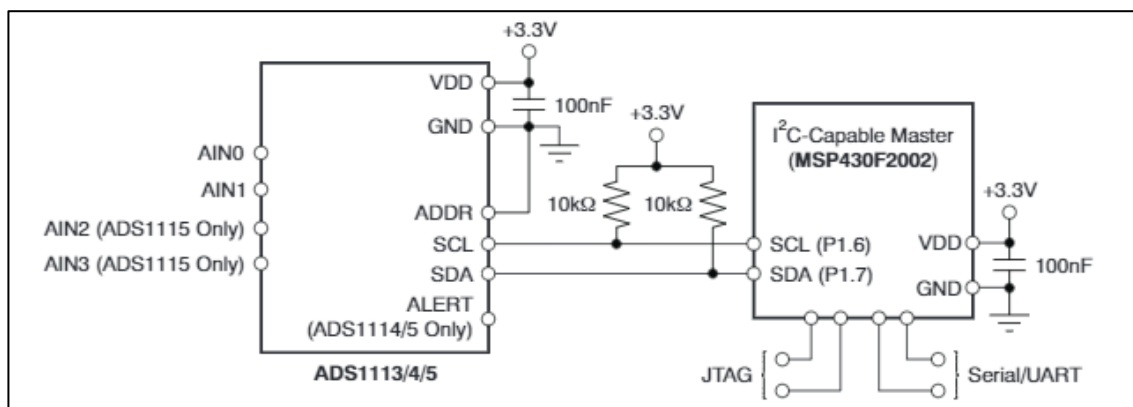


Figura 10 - Circuito de referência

Fonte: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/292735/TI/ADS1115.html>

Para o monitoramento foi desenvolvido uma versão teste do software, em linguagem python. Esse serviu como base na fase de implementação final do sistema. O local de instalação do controlador pode ser visto na Figura 11.

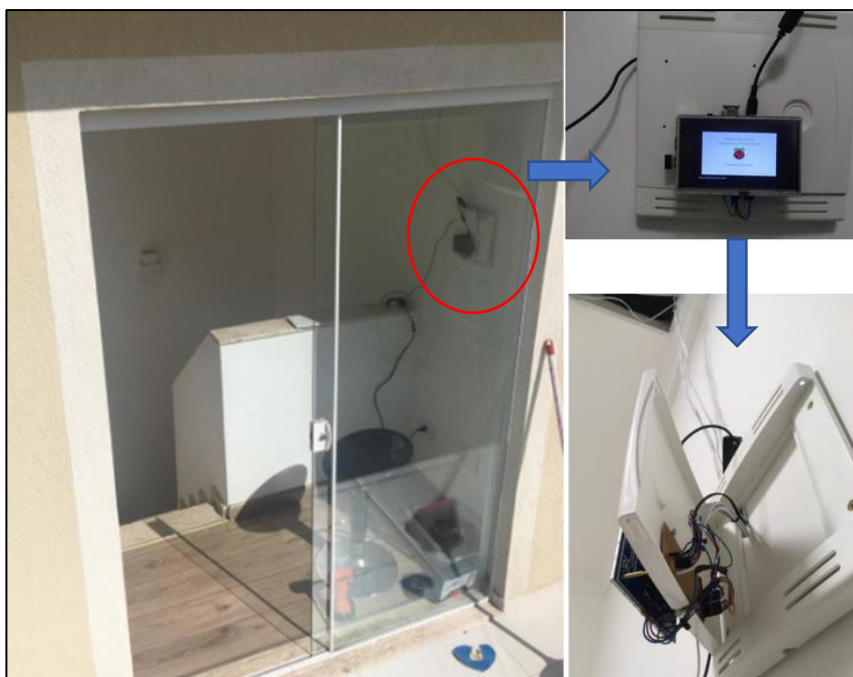


Figura 11 - Local de instalação do sistema de controle e leitura.

Fonte: o autor.

### 3.2 TESTES PRELIMINARES FASE II – CONTROLE E ISOLAMENTO TÉRMICO.

Os testes preliminares da fase 2 foram desenvolvidos com o intuito de realizar um comparativo entre os cálculos realizados no item 2.2 e mostrados através da Figura 4. Realizando assim uma análise do comportamento térmico do sistema em um ambiente controlado.

Na Figura 13, pode se observar o diagrama em blocos que define o modelo de funcionamento do teste preliminar. Sendo assim, foi acoplado submerso o sensor de temperatura em um tanque isolado de 220 litros, contendo uma resistência acionada através de um relé de estado sólido de 40 Ampere. O acionamento da resistência é realizado por meio de uma placa amplificadora alimentada com 12 volts contínuos, este acionamento foi realizado através do Raspberry utilizando a evolução do programa Utilizado na Fase I. O fluxograma de funcionamento pode ser visto através da Figura 12. Na sequência são detalhadas as etapas dessa fase.

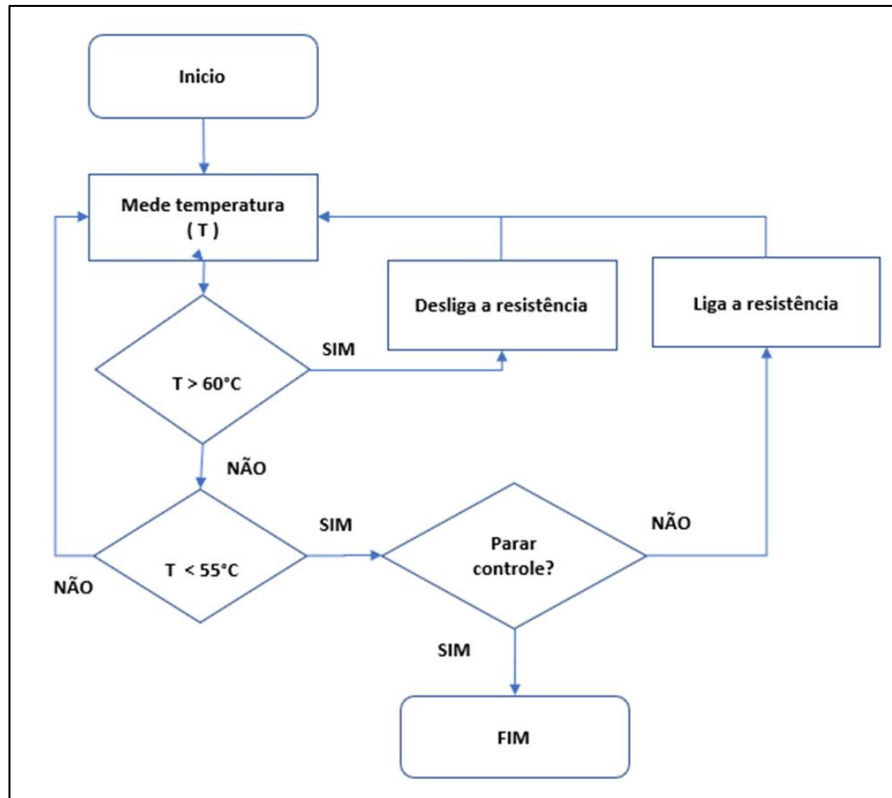


Figura 12 - Fluxograma do software desenvolvido para FASE II.

Fonte: o autor.

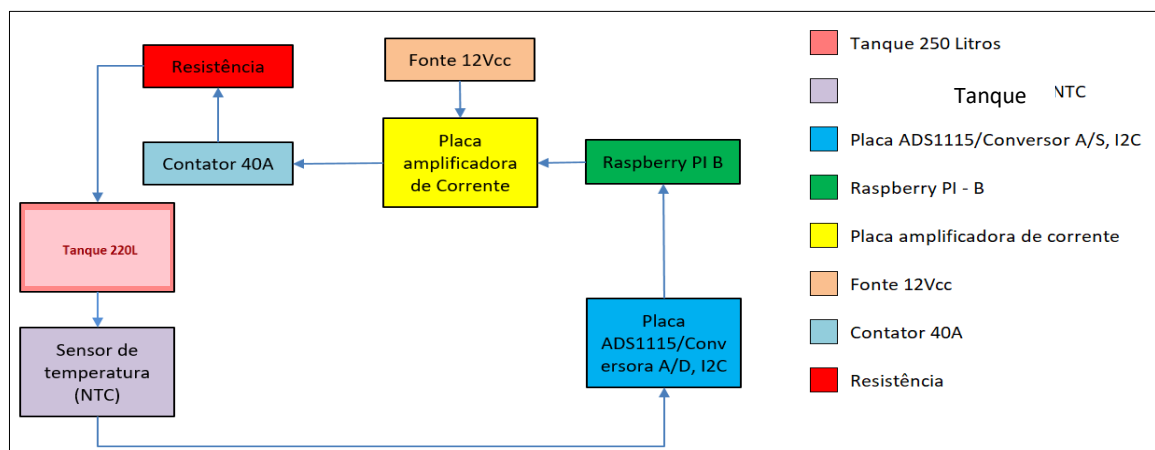


Figura 13 - Diagrama em blocos do teste preliminar fase 2

Fonte: o autor

### 3.2.1 Sistema de aquecimento do teste preliminar

Utilizando como base a necessidade de se elevar a temperatura da água à 60°C e calcular a quantidade de calor necessária para esta elevação, utilizou-se como padrão a temperatura ambiente de 25°C, então, a diferença de elevação dada pelo  $\Delta t$  (delta de temperatura) é de 35°C. A equação 1 foi utilizada para o cálculo da energia necessária para aquecer um reservatório de 222 litros de água. Desta forma é possível simular a potência necessária para aquecer o sistema. Então foi utilizado 25°C como temperatura inicial da água em ambiente climatizado e 60°C como sendo a temperatura desejada. Usando o valor 4,1868 J/g °C que é o calor específico da água tabelado (Moreira 2017). Adicionalmente foi necessário saber a massa do volume estudado e para isto consideramos que 1m<sup>3</sup> de água é igual a 1000 kg. Sendo assim, a massa é de 0,222 m<sup>3</sup> calculada através da equação 1 dada anteriormente, podendo ser representada também como 222 litros de água ou 222 quilos, ou ainda 222000 gramas. O tempo adotado para que o sistema chegue à temperatura desejada foi de 24 horas, os dados foram calculados através da equação 3, de modo que foi possível verificar a potência necessária para aquecer este volume em teste.

$$P = \frac{222000 * 4,1868 * (60 - 25)}{86400} = 376W \quad (5)$$

Porém, no intuito de diminuir o tempo necessário para o aquecimento do líquido no interior do tanque e com isto obter uma resposta mais rápida dos resultados, optou-se por utilizar 3 resistências de 200 Watts ligadas em paralelo somando 600 Watts, reduzindo o tempo necessário para aquecimento em aproximadamente 2/3. Em posse do valor da potência necessária para aquecer o volume estudado e utilizando a lei de Ohm (Equação 4), que é amplamente difundida para cálculos de circuitos e sistemas elétricos, temos que ao fixar a potência e a tensão é possível relacionar a corrente que passará por um condutor ou sistema. Em posse desta relação e fixando a tensão do sistema em 127 V, é possível definir a corrente necessária e a capacidade do relé de estado sólido utilizado como chave de liga e desliga do sistema.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{376}{127} = 2,96A \quad (6)$$

### 3.2.2 Acionamento e aquisição de dados do teste preliminar fase II.

A corrente calculada foi de 2,96 Ampere, no entanto, foi utilizando um relé de estado sólido que estava disponível, cujo modelo adotado foi o SSR3F40A de 40 amperes, assegurando que a corrente iria ultrapassar os limites da chave. Para este modelo a tensão de acionamento é de 4 a 32 Volts, sabendo que a placa escolhida para o controle do sistema tem os pinos de GPIO de apenas 3,3 Volts sendo necessário amplificar este sinal para acionamento do relê de estado sólido e com isto, o controle de liga e desliga da resistência que é o responsável pelo aquecimento da água dentro do tanque. Para isto foi adquirida uma placa amplificadora da empresa curitibana Synctec conforme Figura 14. O objetivo desta placa é aumentar a corrente de acionamento do relê de estado sólido emitida pelo Raspberry. A partir disso, utilizar o sinal da placa controladora, atendendo as especificações do relé que necessita de no mínimo 50 mA para seu acionamento, e consequentemente acionando a carga através de uma corrente baixa fornecida pelo Raspberry. O Software foi desenvolvido utilizando as entradas de sinais coletadas pelo NTC comunicando-se com o Raspberry através do conversor analógico digital ADS1115. Foi definida a temperatura desejada em 60°C sendo a menor temperatura 55°C, ou seja, quando a temperatura lida pelo software através do NTC for maior que 60°C o sistema desliga e assim que a temperatura abaixar de 55°C o sistema liga até alcançar a temperatura desejada. Com o sistema em funcionamento foi possível verificar as características funcionais permitindo uma análise do comportamento térmico e elétrico do controle estabelecido, sendo possível planejar de forma mais adequada o método utilizado na Etapa final.



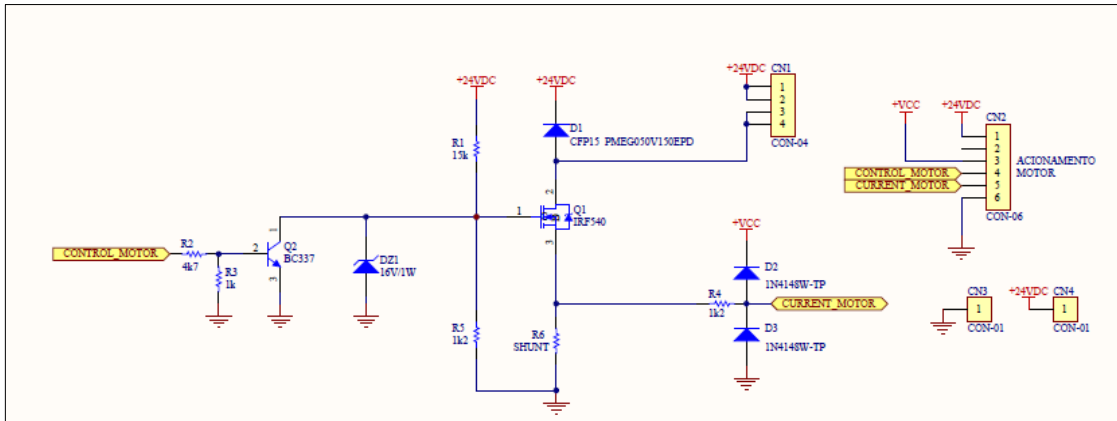


Figura 14 - Placa de acionamento.

Fonte: Synctech.

### 3.2.3 Isolamento térmico do teste / ligação do sistema de teste.

Para o armazenamento de água foi utilizado como tanque, um freezer vertical da marca Electrolux modelo H222, A escolha foi baseada priorizando o isolamento térmico. Nesse caso, ao invés de conservar temperaturas abaixo de zero, foi utilizado para manter mais altas. As resistências foram montadas internamente em um lado do freezer, enquanto o sensor de temperatura foi fixado na outra extremidade, a fim de ter uma leitura mais fiel em todo o tanque Figura 15.

Para a análise do teste foi adotado a seguinte sequência: 1. Medições tanto de temperatura quanto de potência utilizando o tanque com tampa fechada, com o objetivo de evitar ao máximo a troca térmica com o meio externo e com isto priorizar a conservação das temperaturas Figura 16; 2. Após foi realizado o mesmo teste, mudando o estado da porta para aberto Figura 17; 3. Para complementar a análise foi realizado o último teste, com a porta aberta e utilizando um material de poliuretano cobrindo a superfície. Isso para diminuir a evaporação e conseqüentemente a permanência do sistema aquecido Figura 18.

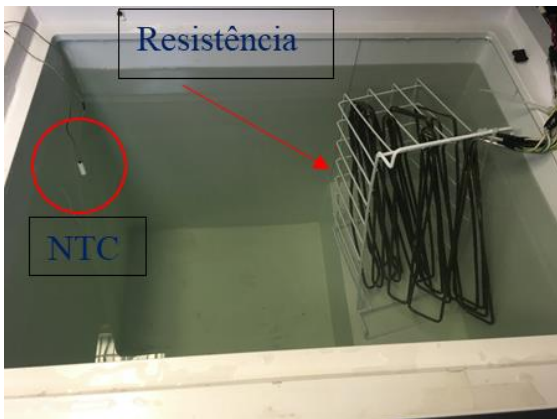


Figura 15 - Disposição dos elementos de teste.

Fonte: o autor



Figura 16 - Setup de teste acima da tampa do freezer.

Fonte: o autor



Figura 17 - Teste de aquecimento com a porta aberta.

Fonte: o autor



Figura 18 - Ensaio utilizando um tapume de poliuretano.

Fonte: o autor

### 3.3 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA FINAL

Para melhor compreensão do sistema utilizado no presente trabalho foi criada ilustração Figura 19. Onde é possível ver três painéis fotovoltaicos ligados em série, sendo Painel 1 acoplado à uma serpentina por onde será realizado o pré-aquecimento da água por meio de transferência de calor, os monitoramentos de temperatura e acionamentos de cargas foram realizados através de uma placa desenvolvida e denominada como Placa protótipo III, a interface e conversão das medidas realizadas analogicamente foram realizadas por meio da placa ADS1115. Também pode ser visualizado dois tanques, A e B, sendo o tanque A isolado termicamente e com uma micro boia com o intuito de verificar a falta de água e com isto não permitir que a resistência seja ligada sem água para refrigera-la. Para controlar este sistema foi desenvolvido um software em linguagem Python. O detalhamento e descrição dos componentes do sistema bem como suas funções são apresentadas na sequência.

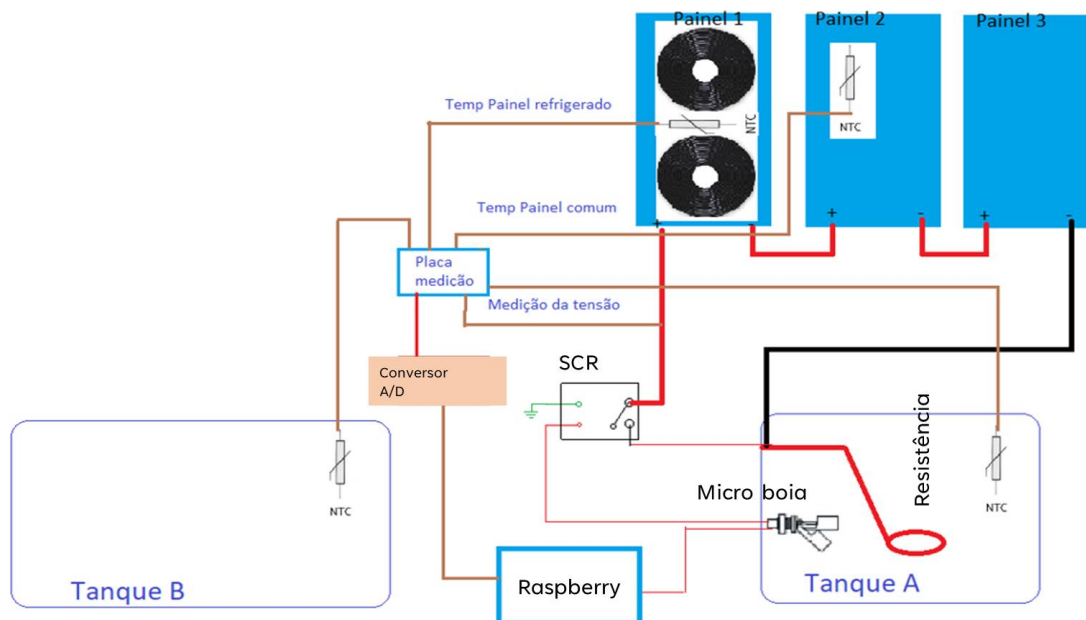


Figura 19 - Visão Geral do sistema.

Fonte: o autor.

### 3.3.1 Painéis fotovoltaicos em série

Como mostrado na figura 19, os três PV foram configurados em série, aumentando a tensão do sistema e diminuindo a corrente que será necessária passar pelos condutores, acionadores, fusíveis/disjuntores. Essa disposição dos painéis resulta em uma diminuição dos custos do projeto e implementação do sistema, tendo em vista que o custo dos itens como cabos, relês de acionamentos, disjuntores aumenta juntamente com o aumento da corrente. Após a montagem do sistema foi possível medir e controlar os parâmetros propostos neste projeto.

### 3.3.2 Sensores ntc

Sensores NTC (*negative temperature coefficient*) foram escolhidos devido ao conhecimento prévio acerca de seu uso. Este componente tem o papel de medir as temperaturas em diferentes locais, sendo essencial para visualização dos acontecimentos durante o funcionamento do projeto. Um exemplo é a medição de temperatura dentro dos tanques de armazenamento e painéis. NTCs mudam sua resistência de acordo com a variação de temperatura no sensor. Esta relação que pode ser vista no *datasheet* do fornecedor é apresentada no ANEXO A. Para desenvolver o monitoramento da temperatura foi utilizado um simulador de circuito elétrico web chamado EveryCircuit<sup>1</sup>. O programa foi utilizado para simular a relação tensão-resistência Figura 20. A partir dos dados obtidos com a simulação definiu-se a tensão que o conversor A/D (analógico/Digital) deve receber. A tabela com os dados simulados pode ser observada no ANEXO B. Utilizando-se desta simulação foi escolhido para ajuste da curva o polinômio de quarta ordem, devido ao fato da melhor aproximação da curva obtida em comparação com a curva de temperatura especificada pelo fabricante. Esse polinômio é fundamental, uma vez que o software necessita desta correlação de entrada, transformando sinal analógico para digital, e ao realizar estes processos informa a temperatura mais aproximada da realidade. O polinômio pode ser visto na Figura 21.

---

<sup>1</sup> Everycircuit - <https://everycircuit.com/>

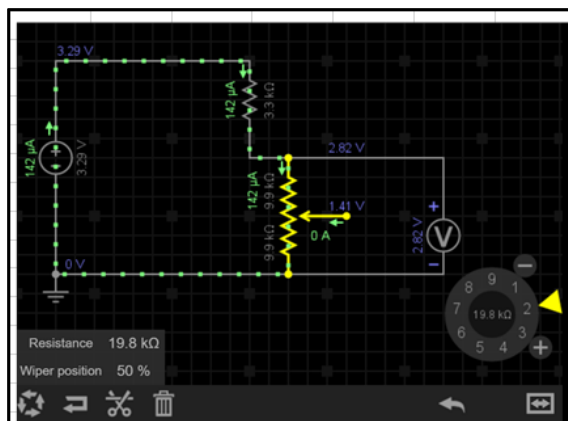


Figura 20 - Simulação realizada no programa EveryCircuit.

Fonte: o autor.

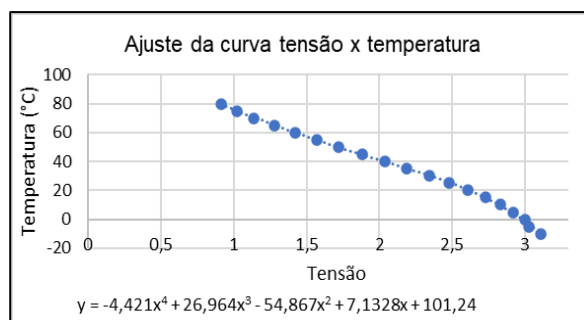


Figura 21 - Polinômio interpolador calculado no Excel.

Fonte: o autor.

### 3.3.3 Disjuntor

O disjuntor escolhido foi de 10 Ampere, sendo a mesma corrente de curto-circuito indicada pelo fabricante do painel. O mais importante para esta etapa foi a escolha de um disjuntor de corrente contínua que é a mesma fornecida pelos painéis.

### 3.3.4 Resistência

A resistência utilizada no sistema foi fabricada em aço inoxidável garantindo que a sua utilização, imersa em água clorada, não resultasse em qualquer contaminação na água. Tendo em vista a importância de não se deixar aquecer a resistência demasiadamente e como consequência sua queima, foi desenvolvida respeitando um espaço chamado de zona fria, ou zona sem aquecimento (Figura 22). Desta forma o

limitador de acionamento da resistência chamado de micro boia foi posicionado respeitando este dimensionamento. A potência da resistência foi definida baseada na tensão de trabalho dos painéis, relacionando com a potência máxima fornecida por estes nos momentos de pico de produção de energia. Após a fabricação a resistência foi montada na CX1 próximo ao ponto de consumo. (Figura 23).

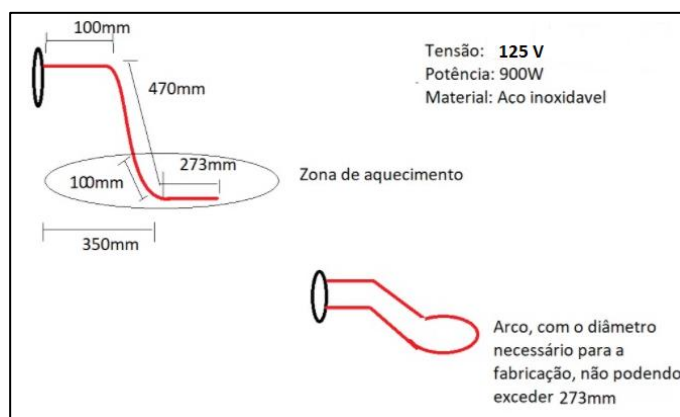


Figura 22 - Especificação da resistência.

Fonte: o autor.



Figura 23 - Resistência e micro boia montada no CX1.

Fonte: o autor.

### 3.3.5 Micro boia

Este dispositivo tem o papel de atuar como limitante no acionar o relê de estado sólido e o acionamento deve estar em série com o comando vindo do controlador. Além disso, a micro boia funciona como uma chave normalmente aberta atuando através do volume de água, empurrando a haste para cima e fechando o circuito ou descendo gradativamente com o baixo volume de água e indicando a falta da mesma (Figura 24).

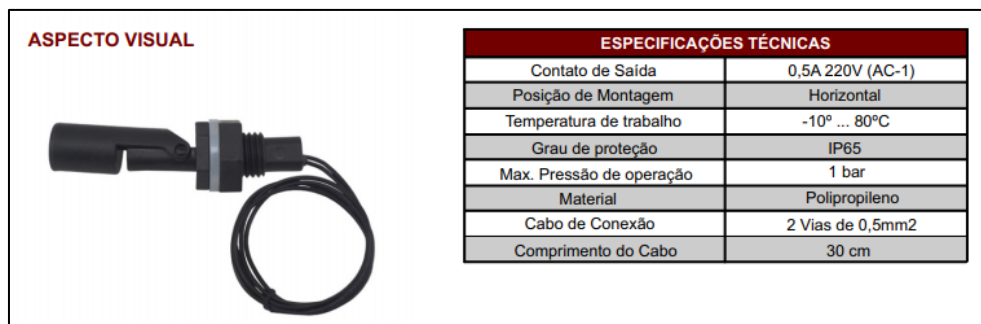


Figura 24 - Especificações da Micro boia

Fonte: Datasheet do desenvolvedor

### 3.3.6 Placa principal

A placa principal tem por objetivo obter uma interface analógica entre os acionamentos, leituras de temperatura, tensão e corrente. A placa principal foi desenvolvida em software próprio para modelagem e simulação de circuitos eletrônicos. No ANEXO D e Figura 25 são apresentados, respectivamente, o circuito e modelagem 3D. A placa principal é composta por:

1. Um medidor de corrente contínua.
2. Quatro medidores de temperatura.
3. Três medidores de tensão contínua.
4. Cinco acionamentos de carga através de reles.

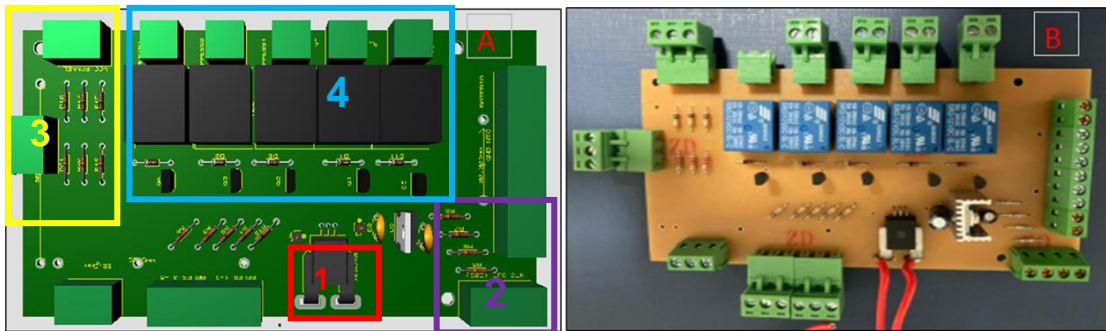


Figura 25 - “A” visão 3D da placa protótipo III.  
 “B” placa prototipada. Fonte: o autor.

### 3.3.7 Software de aquisição e controle

A partir do hardware definido, foi possível desenvolver um software para realizar o controle do processamento e garantir a aquisição dos dados relacionados ao projeto. Tais medidas são de suma importância no monitoramento das grandezas mencionadas anteriormente. O Software foi desenvolvido utilizando as entradas de sinais coletadas pelo NTC comunicando-se com o Raspberry, através da placa ADS1115. Definiu-se como 39°C a máxima temperatura desejada e a menor temperatura como 38°C. Em termos práticos, quando a temperatura lida pelo software através do NTC no ponto de medição estipulado for maior que 39°C, o sistema desliga e quando diminuir de 38°C o sistema liga novamente, até alcançar a temperatura desejada (39°C). No ANEXO C é apresentado um fluxograma referente ao processo de controle via software.

### 3.3.8 Sistema de armazenamento de água

O armazenamento de água foi projetado respeitando os espaços encontrados na edificação em que o sistema foi instalado, realizando o estudo do espaço de forma a adequar o projeto a estrutura já existente. Sendo assim, foram realizadas medições e simulado a composição do local de armazenamento e lotação da estrutura metálica para os PV e posição para o tanque de armazenamento. A Figura 26 apresenta a localização de alguns dos componentes deste sistema: o tanque “A” (CX1), que é revestido com uma camada projetada de poliuretano para isolar termicamente do ambiente o fluido aquecido. (foto da caixa na Figura 27) e o tanque “B” (CX2) responsável por armazenar água em temperatura ambiente.



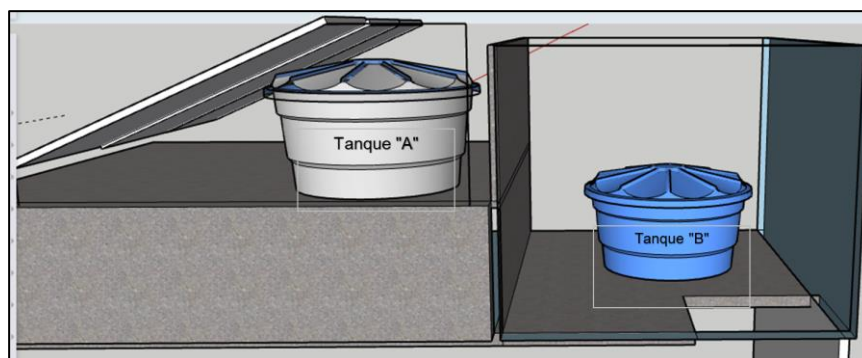


Figura 26 - Projeção do local para montagem da estrutura.

Fonte: o autor.



Figura 27 - CX1 isolada com poliuretano.

Fonte: o autor.

### 3.3.9 Aquecimento térmico por circulação forçada PV

Como já mencionado anteriormente, existem dois modelos de circulação para aquecimento solar térmico. Ressalta-se que estes modelos não são normalmente utilizados em PV. No entanto, para este projeto optou-se por aproveitar a energia térmica gerada pelos painéis fotovoltaicos quando produzindo energia elétrica e o modelo de circulação escolhido foi do tipo forçada. Esta circulação foi controlada via software, comandando a quantidade de vezes em que este processo ocorreu. A partir disto, foi projetada uma serpentina em polietileno preto com diâmetro externo de 15,3mm instalada abaixo do PV1 (Figura 28). Esta serpentina foi acoplada à um pressurizador, este por sua vez, também ligado a CX1. A água armazenada no tanque isolado realizava a passagem pelos painéis em momentos preestabelecidos. Nesse

processo a água acumulada na serpentina voltava à CX1, enquanto a água enviada pelo tanque isolado substituí a água que estava acumulada na serpentina, lá permanecendo por uma hora. Este tempo foi definido a partir de monitoramento realizado manual realizado através de sensor de temperatura acoplado a um multímetro, realizando medições de hora em hora. O tempo de circulação estipulado em 1 minuto foi definido por meio de medições realizadas manualmente, nesse caso após a permanência da água na serpentina pelo período estabelecido foi acionado o pressurizador e controlado o tempo enquanto a temperatura de saída da água era medida, após um minuto a temperatura medida que era de 39°C diminuiu para 25°C, nesse caso, a mesma coletada na CX1 para aquele momento.



Figura 28 - Serpentina que foi instalada abaixo do PV 1.

Fonte: o autor.

Após a instalação da serpentina, o painel foi sobreposto de forma que a serpentina ficou mecanicamente ajustada a superfície inferior do painel Figura 29.



Figura 29 – Painel Solar após o acoplamento da serpentina.

Fonte: o autor.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 RESULTADOS DOS TESTES DE DESENVOLVIMENTO FASE I

Os resultados obtidos nessa etapa são apresentados graficamente, contendo informações já compiladas e extraídas das leituras de temperatura realizadas a cada 60 segundos. Os dados referem-se ao período de 26/03/2020 às 12:20 minutos até 01/06/2020 às 19:43 minutos. Os resultados apresentando as temperaturas ambiente máximas, mínimas e médias para o período definido, podem ser visualizados no gráfico abaixo Figura 30.

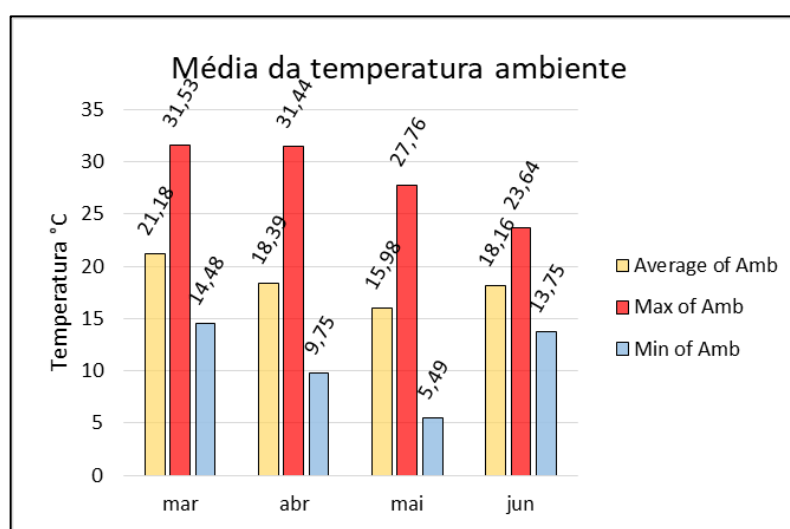


Figura 30 - Leitura da temperatura durante o período estudado.

Fonte: o autor.

Além das leituras de temperatura ambiente que no primeiro momento baseava a pesquisa, o comportamento térmico da água na CX2 era uma incógnita. Após um período de leitura compreendido de Março/2020 à Junho/2020 o sensor P3, inicialmente localizado abaixo do Painel 3, teve sua posição mudada para a caixa de água de 1000 litros (CX2), disponível na residência onde o estudo aconteceu. A mudança do local de instalação do sensor P3 baseou-se no fato das temperaturas nos 3 painéis não apresentarem diferença maior que 5,15°C, durante o período de leitura Figura 31. Sendo que essas diferenças algumas vezes foram causadas pela interferência do sistema de fixação dos sensores nos painéis. Diante disso, percebeu-se que quanto melhor a fixação menor a diferença de medição entre eles. Com a mudança de localização obteve-se a informação desejada. A Figura 32 demonstra que

mesmo diante da amplitude térmica ambiente registrada, a temperatura da água na caixa não acompanhou a variação. Quando a temperatura média ambiente atingiu  $8,7^{\circ}\text{C}$ , a temperatura da água da caixa estava  $16,6^{\circ}\text{C}$  e quando a temperatura ambiente chegou à  $25^{\circ}\text{C}$  a água da caixa se manteve próxima de  $21^{\circ}\text{C}$ .

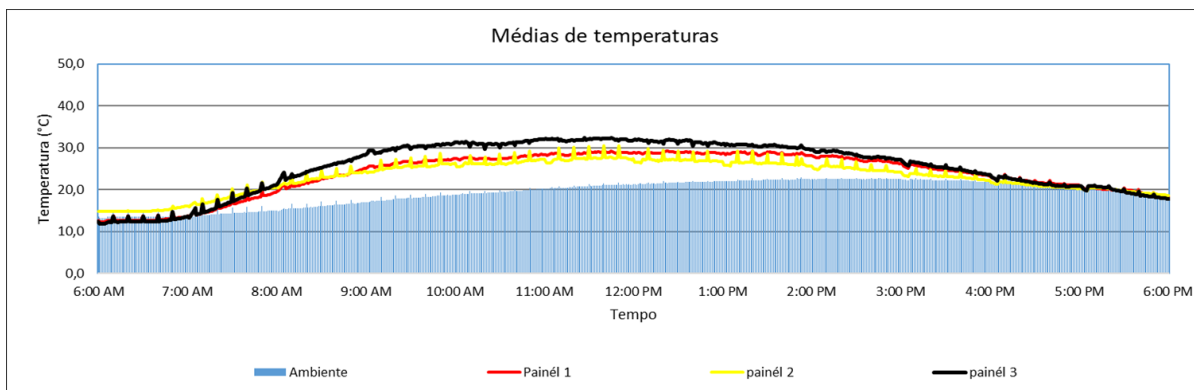


Figura 31 - Média das temperaturas: ambiente, P1, P2 e P3.

Fonte: o autor.

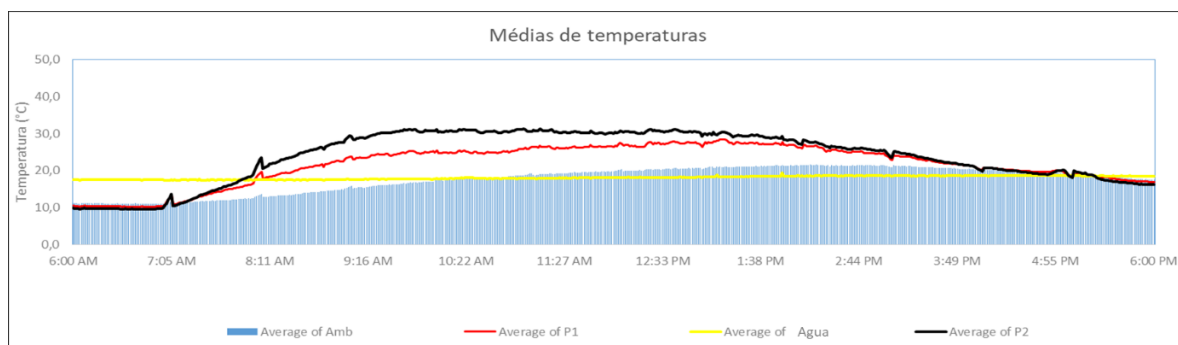


Figura 32 - Médias de temperatura após reposicionamento do sensor P3.

Fonte: o autor.

## 4.2 RESULTADOS DOS TESTES DE DESENVOLVIMENTO FASE II

Na fase II o sistema foi tensão nominal das cargas, neste caso as resistências. O monitoramento foi realizado através de um sistema de aquisição de dados do próprio laboratório onde foram realizados os ensaios. As grandezas como tensão em (Volts), corrente (Amper) e potência (Watts) eram medidas a cada 1 minuto, e os testes foram realizados em temperatura ambiente de  $25^{\circ}\text{C}$ . Foi possível analisar o comportamento do sistema ao longo de um período de 46 horas. Os resultados são

mostrados na Figura 33, onde percebe-se a malha de controle de temperatura funcionando de 55°C à 60°C. Para facilitar a compreensão, o tempo foi dividido em duas linhas mostradas no eixo horizontal. Na segunda linha é apresentado o tempo rampa e patamar, tanto na elevação (resistência ligada) quanto na queda (resistência desligada). Na sequência foi avaliado a troca térmica entre o sistema e temperatura ambiente e seu comportamento ao longo do tempo. Na primeira linha do eixo horizontal é mostrado o tempo total da análise. As temperaturas foram monitoradas através do Raspberry armazenando os dados em arquivo CSV (coma separated value). O tempo para 220 Litros de água atingir 60°C foi de 9 horas e 38 minutos, nesse momento a resistência foi desligada. O tempo em que o sistema ficou desligado foi média 10 horas e 30 minutos, período no qual a temperatura diminuiu para 55°C, fato este que fez a resistência ligar novamente. Após a 1 hora e 24 minutos a temperatura voltou ao patamar de 60°C.

O sistema sem o isolamento térmico adequado ficou por 24 horas ligado sem atingir em nenhum momento o patamar estipulado de 60°C. Após 25 horas foi colocado um tapume de plástico rígido para verificar o comportamento deste isolante no sistema Figura 33. Nesta etapa o sistema levou em média 4 horas e 30 minutos para ativar, enquanto o tempo de sistema ligado foi na média 1 hora e 30 minutos para atingir o valor estipulado.

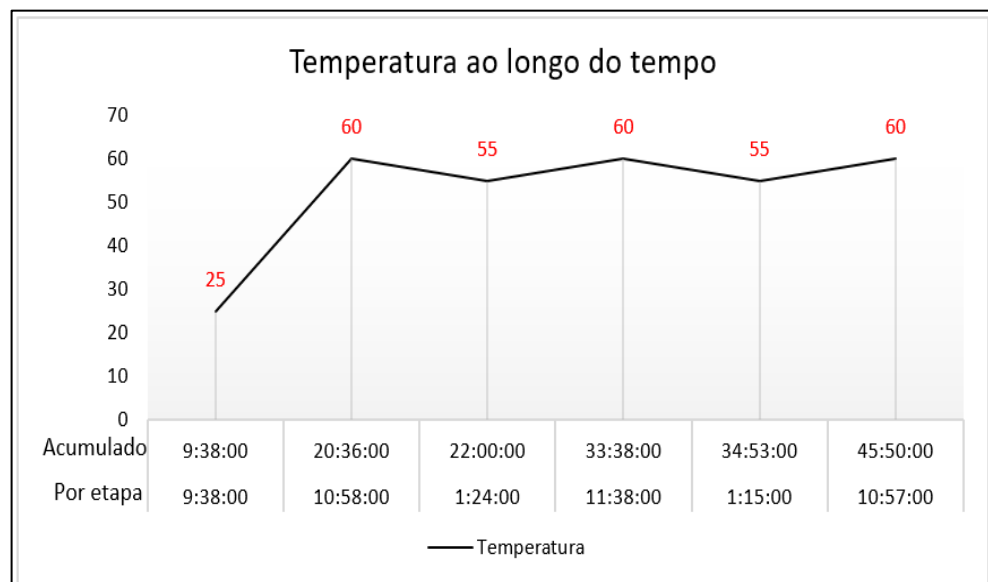


Figura 33 - Controle de temperatura atuando no ensaio de porta fechada.

Fonte: o autor.

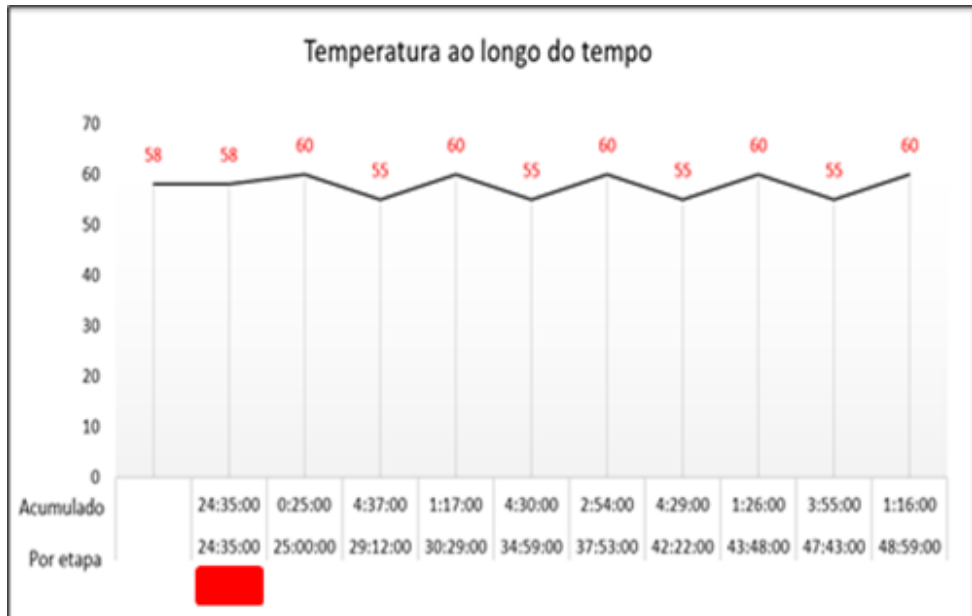


Figura 34 - Ensaio com tapume e na sequência sem.

Fonte: o autor.

Analisando o consumo de energia do sistema durante o período de teste, que é dado através da equação para cálculo de consumo mostrada abaixo:

$$\text{consumo} = \frac{P * T}{1000} \quad (5)$$

Onde:

P = potência consumida (watts)

T = tempo de utilização do sistema (horas)

1000 = constante

Com a equação acima pôde ser calculado o consumo do sistema e a resposta é dado em W/h. Ao analisar os resultados fica evidente a diferença de consumo total entre os testes. O teste com o sistema isolado termicamente apresentou o melhor resultado, ou seja, menor consumo (Figura 35). Por outro lado, o teste de porta aberta não atingiu a temperatura desejada, atingindo o maior consumo (Figura 36). Ao inserir o tapume, o consumo de energia para atingir o patamar desejado foi semelhante ao

teste com porta fechada. No entanto, acionando mais vezes as resistências, quando comparado ao teste com porta fechada. Este resultado deve-se ao fato de ocorrer troca térmica com o ambiente, uma vez que as condições de isolamento nesse teste eram menores, devido ao fato do material utilizado como tapume não ter as propriedades de isolamentos adequadas, com isso ao longo do período o consumo no teste com o tapume foi maior que o dobro.

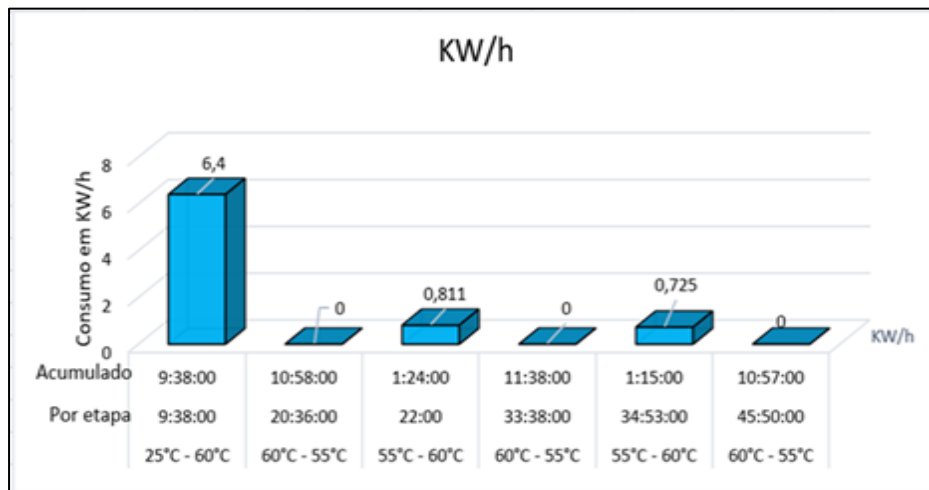


Figura 35 - Consumo durante ensaio de porta fechada.

Fonte: o autor

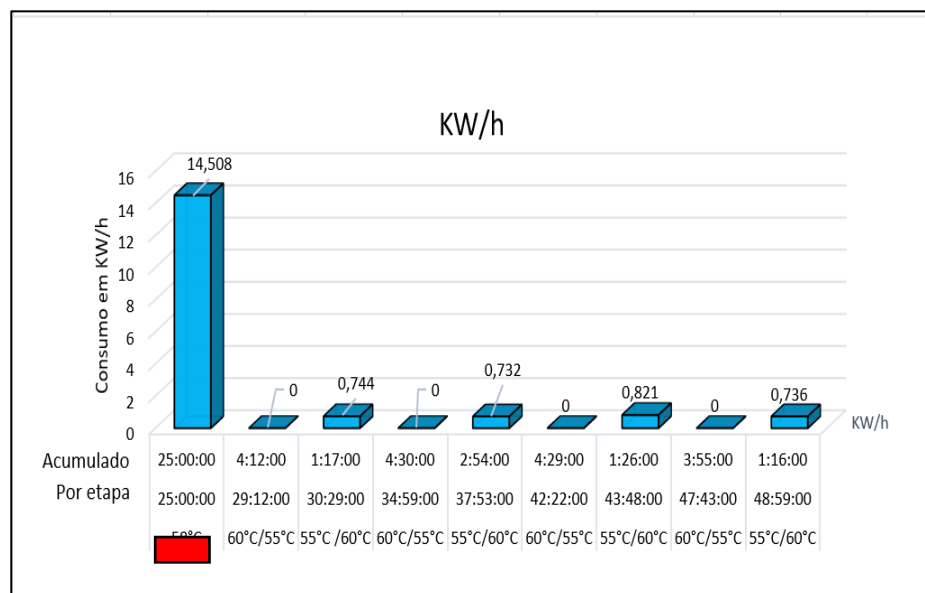


Figura 36 - Consumo durante ensaio com porta aberta (primeiras 25 horas) e com tapume após 25 horas.

Fonte: o autor.

Com essa etapa do projeto concluída foi possível compreender o comportamento da temperatura em vários cenários e delinear com maior clareza e objetividade o funcionamento final do projeto. A análise dos dados coletados permitiu inferir a necessidade não só de aquecer a água, mas igualmente conservar a energia/temperatura. Também foi possível indicar que o estudo poderia evoluir para a próxima etapa.

### 4.3 RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO FINAL DO SISTEMA

#### 4.3.1 Temperaturas médias nos tanques de armazenamento

Os dados apresentados foram coletados entre os dias 15 de junho de 2021 a 03 de julho do mesmo ano. Na Figura 37 são comparadas graficamente as temperaturas máximas no período. Os dados estão dispostos da seguinte forma.

- Amb Tmax: Representa a máxima temperatura ambiente medida. Essa informação foi obtida por meio do site: <https://www.tempo.com/curitiba-sactual.htm> que monitora e grava as informações de temperatura referentes a estação meteorológica Aeroporto Curitiba Bacacheri, localizada a 15Km do ponto de medição dos outros dados mencionados.
- CX1 Tmax : Representa a temperatura máxima medida no tanque isolado termicamente (CX1).
- CX2 Tmax: Representa a temperatura máxima no tanque de armazenamento sem isolamento térmico.
- Gmáx: Representa a diferenças entra as temperaturas máximas de CX1 e CX2.

A média de ganho (GMáx) calculada para o período foi de 5,97°C, vale ressaltar que o período analisado apresentou temperatura ambiente média de 15°C, enquanto a média mínima registrada foi de 9,10°C. Se o período analisado fosse estipulado entre 30/06/2021 a 03/07/2021 o valor médio de Gmáx seria 10,71°C. Sendo os últimos dois dias os que apresentaram maior ganho, acima dos 12°C.



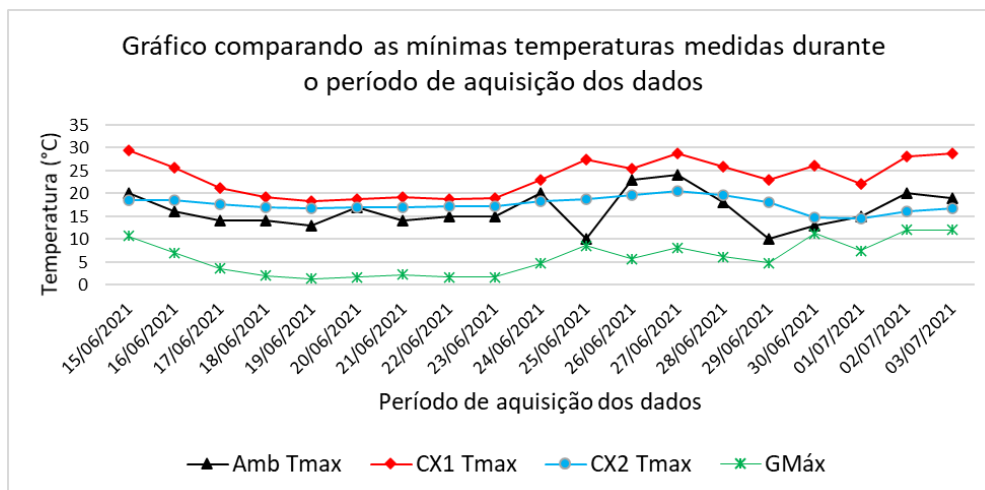


Figura 37 - Temperaturas registradas no período estudado.

Fonte: o autor.

Analisando os dados de produção de energia (Figura 37) pode ser observado a falta de produção em vários períodos, isto se deve à ausência parcial ou total de incidência solar. Vários fatores podem contribuir para isso, entre eles pode-se destacar chuva, nuvens densas ou neblina. Além disso, no dia 03 de julho foram realizados alguns testes no sistema de aquisição de potência o que acabou prejudicando o cálculo de potência nesta data específica. Ao relacionar as duas informações contidas nas Figuras 36 e 37, as maiores temperaturas na CX1 estão diretamente relacionadas à produção elétrica dos PV.

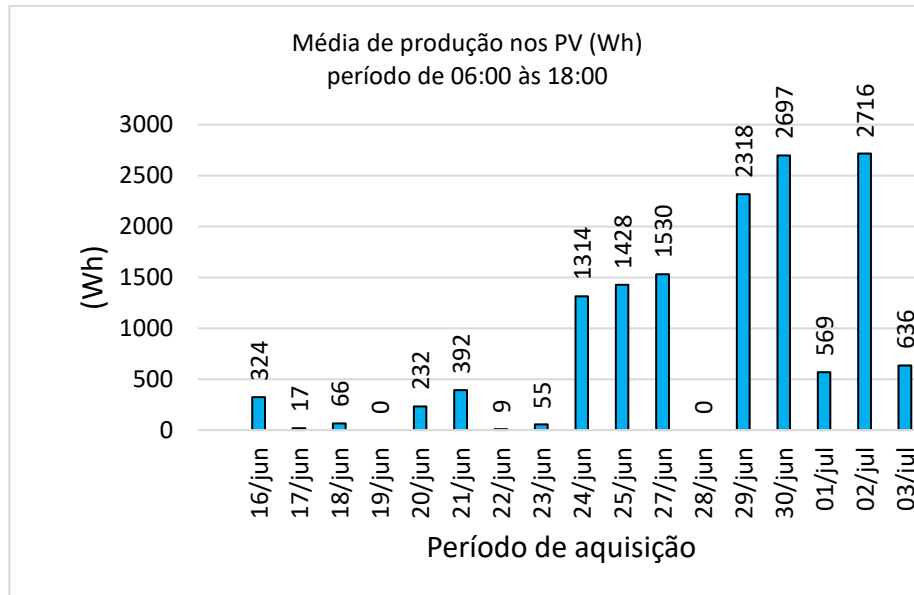


Figura 38 - Produção de energia diária durante o período.

Fonte: o autor.

Ao analisar comparativamente as médias diárias entre as temperaturas medidas nos painéis (Figura 39), não é possível verificar uma variação entre eles. Resultados similares foram encontrados por Marques (2016). Contudo, quando se aproxima a análise, selecionando um dia de medição, por exemplo, dia 02/07/2021 (Figura 40) é possível perceber que o circulador, quando ativado, tende à uma diminuição da temperatura do P01 (painel com serpentina), sendo o contrário também verdadeiro. Portanto, pode-se concluir que estava ocorrendo troca térmica, refrigerando os painéis e aquecendo a água.

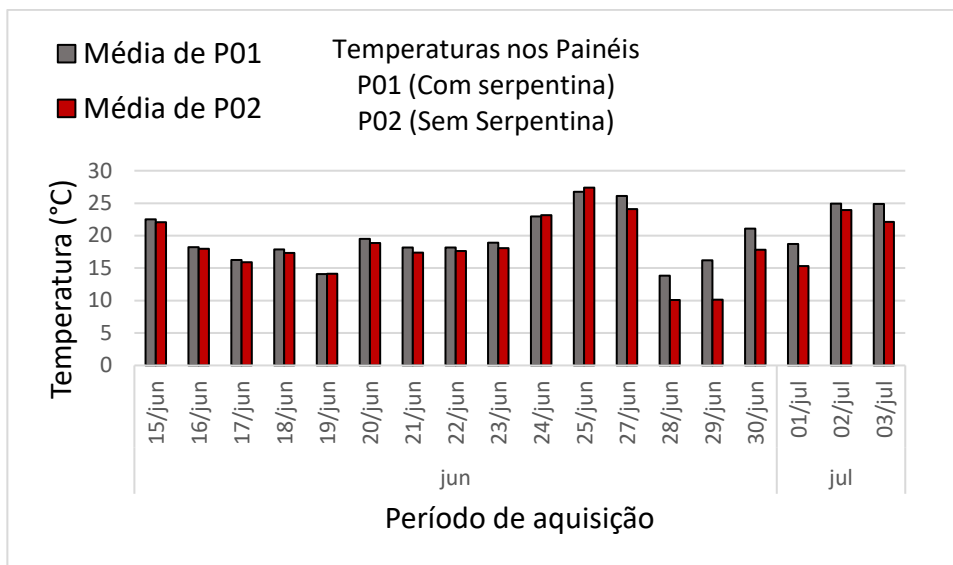


Figura 39 - Comparação entre as temperaturas médias nos Painéis 1 e 2.

Fonte: o autor.

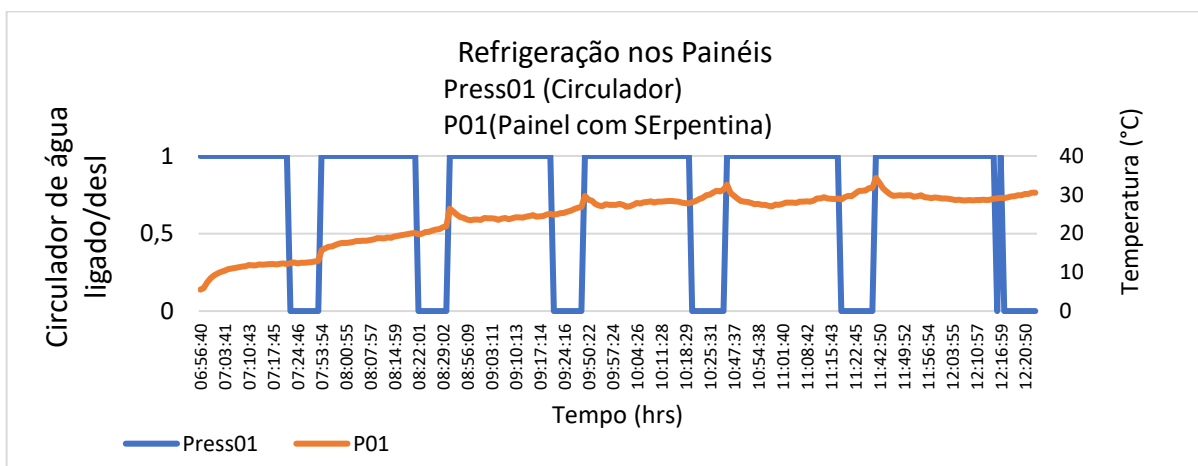


Figura 40 - Atuação da refrigeração do Painel e aquecimento da água.

Fonte: o autor.

Para analisar o comportamento da CX1 com relação à perda de temperatura para o ambiente, foram realizadas medições de temperatura em dois horários distintos: às 21:00:00 e no dia seguinte às 06:00:00. Este período foi estabelecido devido à necessidade de realizar a medição antes dos painéis começarem a produzir e após a utilização da água aquecida para o banho. Esta relação é mostrada através da Tabela 1. O revestimento isolante da CX1 apresentou perda térmica média de

1,20°C em 9 horas, sendo índice horário de 0,13 °C por hora. Costa (2007) em um trabalho sobre viabilidade térmica de um sistema solar de aquecimento de água, obteve média de perda térmica de 0,34°C por hora. O índice de perda térmica do presente trabalho mostrou-se 38% mais eficaz, o que valida o sistema de isolamento térmico.

Data	Perda térmica das 21:00 às 06:00	Temperatura ambiente mínima
15-jun		7
16-jun	1,92	9
17-jun	1,27	10
18-jun	0,7	10
19-jun	0,75	12
20-jun	0,45	12
21-jun	0,82	11
22-jun	0,01	12
23-jun	0,74	12
24-jun	0,76	12
25-jun	N/A	9
26-jun	N/A	14
27-jun	N/A	17
28-jun	1,37	6
29-jun	2,42	1
30-jun	1,94	1
1-jul	2,64	5
2-jul	1,07	6
Média	1,20	9,35

Tabela 1. diminuição da temperatura em CX1 a durante período inativo.

autor: o autor.

## **5 CONCLUSÃO**

No trabalho apresentado definiu-se como parte dos objetivos alcançar a temperatura de 39°C, utilizando o sistema híbrido de aquecimento de água. Entretanto, durante o período de coleta de dados não foi possível alcançar tal meta. A aferição da malha de controle foi testada através da fase II de teste. No projeto final, a malha de controle, embora presente no software, não foi acionada justamente porque a temperatura inicialmente proposta não foi alcançada. Entre os motivos mais relevantes, estão a baixa incidência de luz solar durante parte do período. Ao analisar os dados de temperatura é possível observar que o modelo de isolamento térmico se mostrou eficiente, assim como o conjunto de software mais hardware desenvolvido para monitoramento dos dados.

Apesar da temperatura inicialmente proposta não ter sido alcançada, o sistema mostrou que ao selecionarmos períodos com temperatura ambiente mais elevadas, o ganho de temperatura na água atingiu níveis relativamente satisfatórios.

Extrapolando os dados de leitura, pode-se supor que a utilização de seis painéis, o projeto alcançaria níveis bem mais elevados de temperatura, chegando bem perto do desejado.

## **6 PRINCIPAIS DIFICULDADES**

As dificuldades em um projeto como este foram inúmeras, desde o aprendizado de uma linguagem de programação nova, passando pelo aprendizado de hidráulica, termodinâmica e utilização de programa para desenho de circuitos eletrônicos.

Na parte de hidráulica, os tanques são localizados em alturas diferentes e a equalização das pressões realizavam o transbordamento do tanque de armazenamento no nível mais baixo. A solução encontrada foi a instalação de válvulas eletrônicas e realização do controle da abertura via software. Para isso, foi necessário desenvolver uma nova versão da placa principal.

No arranjo físico desenvolvido para fixação dos painéis fotovoltaicos da primeira fase de teste, não foi previsto a necessidade futura de acoplar o tanque isolado termicamente abaixo dos painéis. Ao chegar na etapa de implantação final do sistema foi necessário projetar um espaçador para estrutura.

A princípio o modelo de circulação de água escolhido foi condução natural. No entanto ao instalar a serpentina, foi notado que a circulação não ocorreu. Neste caso foi necessário realizar a instalação de um pressurizador para realizar a circulação forçada.

Com relação ao desenvolvimento da placa principal, vale ressaltar a dificuldade de desenvolver e simular os circuitos envolvidos, sem conhecimento prévio do software utilizado. Além das modificações necessárias mencionadas anteriormente, ao instalar a segunda versão da placa principal, percebeu-se a necessidade de desassociar a fonte de alimentação do Raspberry, dos sensores e das placas ADS1115, uma vez que quando ligadas na mesma fonte, o sistema operacional acusava falta de energia. Portanto, foi atualizada a placa principal inserindo um circuito regulador de tensão. Para isso foi fabricado uma nova versão da placa principal, e essa foi utilizada para este projeto.

## **7 MELHORIAS FUTURAS**

Pode ser considerado como melhorias futuras a implementação de 6 painéis fotovoltaicos, assim como as medições de ganho realizando as medições diretamente no ponto de consumo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Média histórica do clima em Curitiba** Disponível em: <  
<https://www.climatempo.com.br/climatologia/271/curitiba-pr> > Acesso em: 15/06/2021.

**Horário de Maior Consumo** Disponível em: <  
<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fb2f4a2f0687eb6cf03257488005939b9> > acessado em 15/06/2021.

**Consumo do chuveiro em residências** Disponível em: <  
<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?ViewID=%7BF5EAADD6-CCB0-4E29-A0C4-482D3D66BB65%7D&params=itemID%3D%7BF239209A-0B03-4B4D-A8D3-0B4CCABF709A%7D%3B&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D> > acessado em 15/06/2021.

**Qualidade em instalações de aquecimento solar** disponível em: <  
[https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Qualidade em Instalacoes de Aquecimento Solar.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/manuais/Qualidade%20em%20Instalacoes%20de%20Aquecimento%20Solar.pdf) > Acessado em 15/06/2021

WYLEN,G.; SONNTAG,R.; BORGNACKE,C.; Fundamentals of classical thermodynamics : 4. ed. americana São São Paulo: Blucher, 1995

Vasconlsellos.R.D; Projeto de um conversor analógico/digital por aproximações sucessivas de 12 bits.(2011). Tese de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

Lafay,J.S. *Análise energética de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás.* (2005). Tese de Doutorado – Escola de engenharia da universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

Moreira, J.R.S; Aplicações da termodinâmica, notas de aula de PME3240 – Termodinâmica I (2017). Escola politécnica da USP (2017).

Zoellner, Klaus, *A Incidência da utilização do chuveiro elétrico na geração de águas quentes nas edificações*. 2005. 4f. Dissertação de Mestrado – instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

Tomé, Mauricio de Castro, *Análise do impacto do chuveiro elétrico em redes de distribuição no contexto da tarifa horo sazonal*. 2014. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

Souza, A.L. *Convecção natural e radiação em cavidade aberta preenchida com meio poroso heterogêneo*. 2014. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Paraná, 2014.

Silva, A. V. (2006). *Nossa estrela: O Sol*. 1º Ed. São Paulo: Livraria da Física. 1 de janeiro de 2006

Almeida, A. d. (2015). *As thermae e balnea nas hispaniae romanae II a.C - III d.C*. p. 378.

Gonzáles, P. G. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

FATET, J. (2005). Recreating Edmond Becquerel's electrochemical actinometer. *ARCHIVES DES SCIENCES*.

Zaidi, B. (2018). *Solar Panels and Photovoltaic Materials*. IntechOpen.



Galdino, J. T. (2014). Manual de Engenharia para Sistemas fotovoltaicos. *CEPEL - CRESCESB*, 53.

**ANEXO A - Tabela de temperatura vs resistência, referente ao fornecedor Hypersense.**

HST	SPECIFICATION					NTC THERMISTOR			
<b>RESISTANCE-TEMPERATURE CHARACTERISTICS</b>									
<b>PART NO.: 109QH Series</b>					R	10,000	ohms ±	2.0%	
					B	3977	K ±	1.5%	
Temperature (°C)	Resistance (Ω)			Temperature Coef. (%/°C)	Resist. Tolerance (%)		Temp. Tolerance (°C)		
	MIN.	CENTER	MAX.		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
-40	323814	348500	374918	-7.03	-7.08	7.58	-1.08	1.01	
-39	302255	324956	349223	-6.96	-6.99	7.47	-1.07	1.00	
-38	282317	303205	325509	-6.90	-6.89	7.36	-1.07	1.00	
-37	263864	283095	303607	-6.83	-6.79	7.25	-1.06	0.99	
-36	246773	264489	283363	-6.77	-6.70	7.14	-1.05	0.99	
-35	230932	247261	264639	-6.70	-6.60	7.03	-1.05	0.99	
-34	216240	231298	247306	-6.64	-6.51	6.92	-1.04	0.98	
-33	202603	216497	231252	-6.58	-6.42	6.81	-1.04	0.97	
-32	189938	202764	216370	-6.52	-6.33	6.71	-1.03	0.97	
-31	178167	190013	202566	-6.47	-6.23	6.61	-1.02	0.96	
-30	167220	178166	189753	-6.41	-6.14	6.50	-1.01	0.96	
-29	157033	167152	177852	-6.35	-6.05	6.40	-1.01	0.95	
-28	147547	156906	166792	-6.30	-5.96	6.30	-1.00	0.95	
-27	138708	147368	156505	-6.24	-5.88	6.20	-0.99	0.94	
-26	130468	138483	146933	-6.19	-5.79	6.10	-0.99	0.93	
-25	122780	130203	138019	-6.14	-5.70	6.00	-0.98	0.93	
-24	115604	122481	129715	-6.09	-5.61	5.91	-0.97	0.92	
-23	108902	115275	121972	-6.04	-5.53	5.81	-0.96	0.92	
-22	102639	108547	114750	-5.99	-5.44	5.71	-0.95	0.91	
-21	96782	102262	108009	-5.94	-5.36	5.62	-0.95	0.90	
-20	91303	96388	101714	-5.89	-5.27	5.53	-0.94	0.90	
-19	86175	90893	95832	-5.85	-5.19	5.43	-0.93	0.89	
-18	81372	85752	90333	-5.80	-5.11	5.34	-0.92	0.88	
-17	76871	80939	85189	-5.75	-5.03	5.25	-0.91	0.87	
-16	72651	76431	80374	-5.71	-4.94	5.16	-0.90	0.87	
-15	68694	72205	75866	-5.67	-4.86	5.07	-0.89	0.86	
-14	64979	68243	71642	-5.62	-4.78	4.98	-0.89	0.85	
-13	61492	64526	67684	-5.58	-4.70	4.89	-0.88	0.84	
-12	58216	61038	63971	-5.54	-4.62	4.81	-0.87	0.83	
-11	55137	57762	60487	-5.50	-4.54	4.72	-0.86	0.83	
-10	52242	54684	57217	-5.46	-4.47	4.63	-0.85	0.82	
-9	49518	51791	54146	-5.42	-4.39	4.55	-0.84	0.81	
-8	46956	49071	51261	-5.38	-4.31	4.46	-0.83	0.80	
-7	44542	46512	48548	-5.34	-4.23	4.38	-0.82	0.79	
-6	42269	44103	45997	-5.30	-4.16	4.30	-0.81	0.78	
-5	40127	41835	43597	-5.26	-4.08	4.21	-0.80	0.78	
-4	38108	39698	41338	-5.22	-4.01	4.13	-0.79	0.77	
-3	36203	37684	39211	-5.19	-3.93	4.05	-0.78	0.76	
-2	34406	35786	37207	-5.15	-3.86	3.97	-0.77	0.75	
-1	32710	33995	35318	-5.12	-3.78	3.89	-0.76	0.74	
0	31108	32306	33537	-5.08	-3.71	3.81	-0.75	0.73	

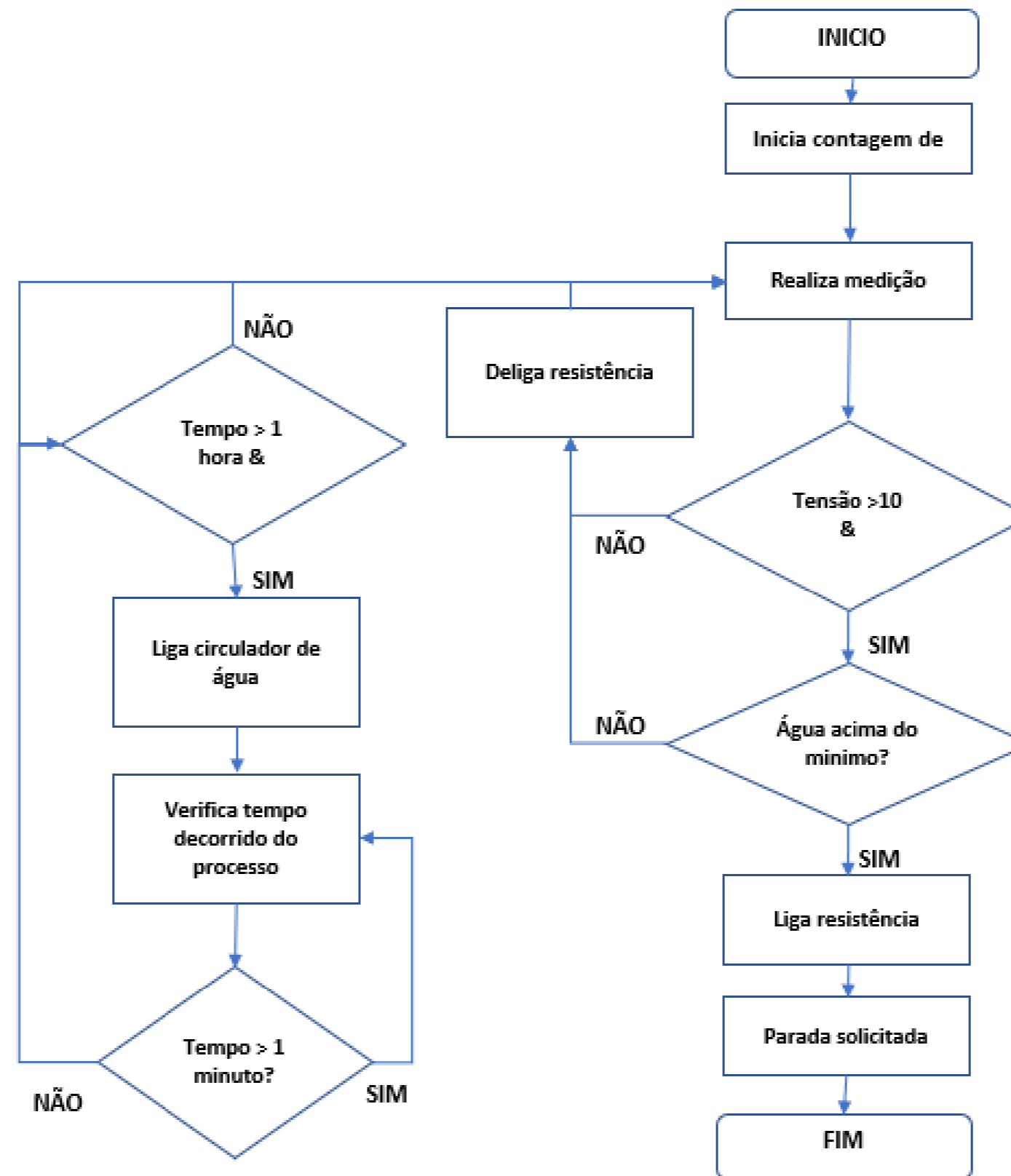
1	29594	30711	31857	-5.05	-3.64	3.73	-0.74	0.72
2	28164	29205	30271	-5.01	-3.56	3.65	-0.73	0.71
3	26812	27782	28775	-4.98	-3.49	3.58	-0.72	0.70
4	25533	26437	27362	-4.95	-3.42	3.50	-0.71	0.69
5	24323	25165	26027	-4.91	-3.35	3.42	-0.70	0.68
6	23178	23963	24765	-4.88	-3.28	3.35	-0.69	0.67
7	22094	22825	23572	-4.85	-3.21	3.27	-0.67	0.66
8	21067	21748	22443	-4.82	-3.14	3.20	-0.66	0.65
9	20093	20729	21376	-4.79	-3.07	3.12	-0.65	0.64
10	19171	19763	20366	-4.76	-3.00	3.05	-0.64	0.63
11	18296	18848	19409	-4.73	-2.93	2.97	-0.63	0.62
12	17467	17981	18503	-4.70	-2.86	2.90	-0.62	0.61
13	16680	17159	17644	-4.67	-2.79	2.83	-0.61	0.60
14	15933	16379	16831	-4.64	-2.72	2.76	-0.59	0.59
15	15224	15639	16059	-4.61	-2.66	2.69	-0.58	0.58
16	14550	14937	15327	-4.58	-2.59	2.62	-0.57	0.57
17	13910	14270	14633	-4.55	-2.52	2.55	-0.56	0.55
18	13302	13637	13974	-4.52	-2.45	2.48	-0.55	0.54
19	12724	13035	13349	-4.50	-2.39	2.41	-0.54	0.53
20	12174	12464	12755	-4.47	-2.32	2.34	-0.52	0.52
21	11651	11920	12191	-4.44	-2.26	2.27	-0.51	0.51
22	11154	11404	11655	-4.42	-2.19	2.20	-0.50	0.50
23	10680	10912	11145	-4.39	-2.13	2.13	-0.49	0.48
24	10229	10445	10661	-4.37	-2.06	2.07	-0.47	0.47
25	9800	10000	10200	-4.34	-2.00	2.00	-0.46	0.46
26	9379	9576	9774	-4.32	-2.06	2.07	-0.48	0.48
27	8978	9173	9369	-4.29	-2.13	2.13	-0.50	0.50
28	8596	8789	8982	-4.27	-2.19	2.20	-0.52	0.51
29	8233	8423	8613	-4.24	-2.25	2.26	-0.53	0.53
30	7887	8074	8262	-4.22	-2.31	2.33	-0.55	0.55
31	7557	7741	7927	-4.19	-2.38	2.39	-0.57	0.57
32	7243	7424	7607	-4.17	-2.44	2.46	-0.59	0.58
33	6944	7122	7301	-4.15	-2.50	2.52	-0.61	0.60
34	6658	6833	7010	-4.13	-2.56	2.58	-0.63	0.62
35	6386	6558	6731	-4.10	-2.62	2.65	-0.65	0.64
36	6126	6295	6466	-4.08	-2.68	2.71	-0.66	0.66
37	5878	6044	6211	-4.06	-2.74	2.77	-0.68	0.67
38	5642	5804	5969	-4.04	-2.80	2.84	-0.70	0.69
39	5416	5575	5737	-4.01	-2.86	2.90	-0.72	0.71
40	5200	5356	5515	-3.99	-2.91	2.96	-0.74	0.73
41	4994	5147	5303	-3.97	-2.97	3.02	-0.76	0.75

42	4797	4947	5100	-3.95	-3.03	3.08	-0.78	0.77
43	4609	4756	4906	-3.93	-3.09	3.14	-0.80	0.79
44	4430	4573	4720	-3.91	-3.14	3.20	-0.82	0.80
45	4258	4398	4542	-3.89	-3.20	3.26	-0.84	0.82
46	4093	4231	4372	-3.87	-3.26	3.32	-0.86	0.84
47	3936	4071	4209	-3.85	-3.31	3.38	-0.88	0.86
48	3786	3918	4052	-3.83	-3.37	3.44	-0.90	0.88
49	3642	3771	3903	-3.81	-3.42	3.50	-0.92	0.90
50	3504	3630	3759	-3.79	-3.48	3.56	-0.94	0.92
51	3372	3495	3622	-3.77	-3.53	3.62	-0.96	0.94
52	3246	3366	3490	-3.75	-3.59	3.68	-0.98	0.96
53	3125	3243	3364	-3.73	-3.64	3.74	-1.00	0.98
54	3009	3124	3243	-3.72	-3.70	3.80	-1.02	0.99
55	2898	3011	3127	-3.70	-3.75	3.85	-1.04	1.01
56	2791	2902	3015	-3.68	-3.80	3.91	-1.06	1.03
57	2689	2797	2908	-3.66	-3.86	3.97	-1.08	1.05
58	2591	2697	2805	-3.64	-3.91	4.02	-1.11	1.07
59	2498	2600	2707	-3.62	-3.96	4.08	-1.13	1.09
60	2408	2508	2612	-3.61	-4.01	4.14	-1.15	1.11
61	2321	2419	2521	-3.59	-4.06	4.19	-1.17	1.13
62	2238	2334	2434	-3.57	-4.12	4.25	-1.19	1.15
63	2159	2253	2350	-3.56	-4.17	4.31	-1.21	1.17
64	2082	2174	2269	-3.54	-4.22	4.36	-1.23	1.19
65	2009	2099	2191	-3.52	-4.27	4.42	-1.25	1.21
66	1939	2026	2117	-3.50	-4.32	4.47	-1.28	1.23
67	1871	1957	2045	-3.49	-4.37	4.53	-1.30	1.25
68	1806	1890	1976	-3.47	-4.42	4.58	-1.32	1.27
69	1744	1825	1910	-3.46	-4.47	4.64	-1.34	1.29
70	1684	1764	1846	-3.44	-4.52	4.69	-1.36	1.31
71	1626	1704	1785	-3.42	-4.57	4.74	-1.39	1.33
72	1571	1647	1726	-3.41	-4.62	4.80	-1.41	1.35
73	1518	1592	1669	-3.39	-4.66	4.85	-1.43	1.37
74	1466	1539	1614	-3.38	-4.71	4.90	-1.45	1.40
75	1417	1488	1562	-3.36	-4.76	4.96	-1.47	1.42
76	1370	1439	1511	-3.35	-4.81	5.01	-1.50	1.44
77	1324	1391	1462	-3.33	-4.86	5.06	-1.52	1.46
78	1280	1346	1415	-3.32	-4.90	5.11	-1.54	1.48
79	1238	1302	1369	-3.30	-4.95	5.17	-1.57	1.50
80	1197	1260	1326	-3.29	-5.00	5.22	-1.59	1.52

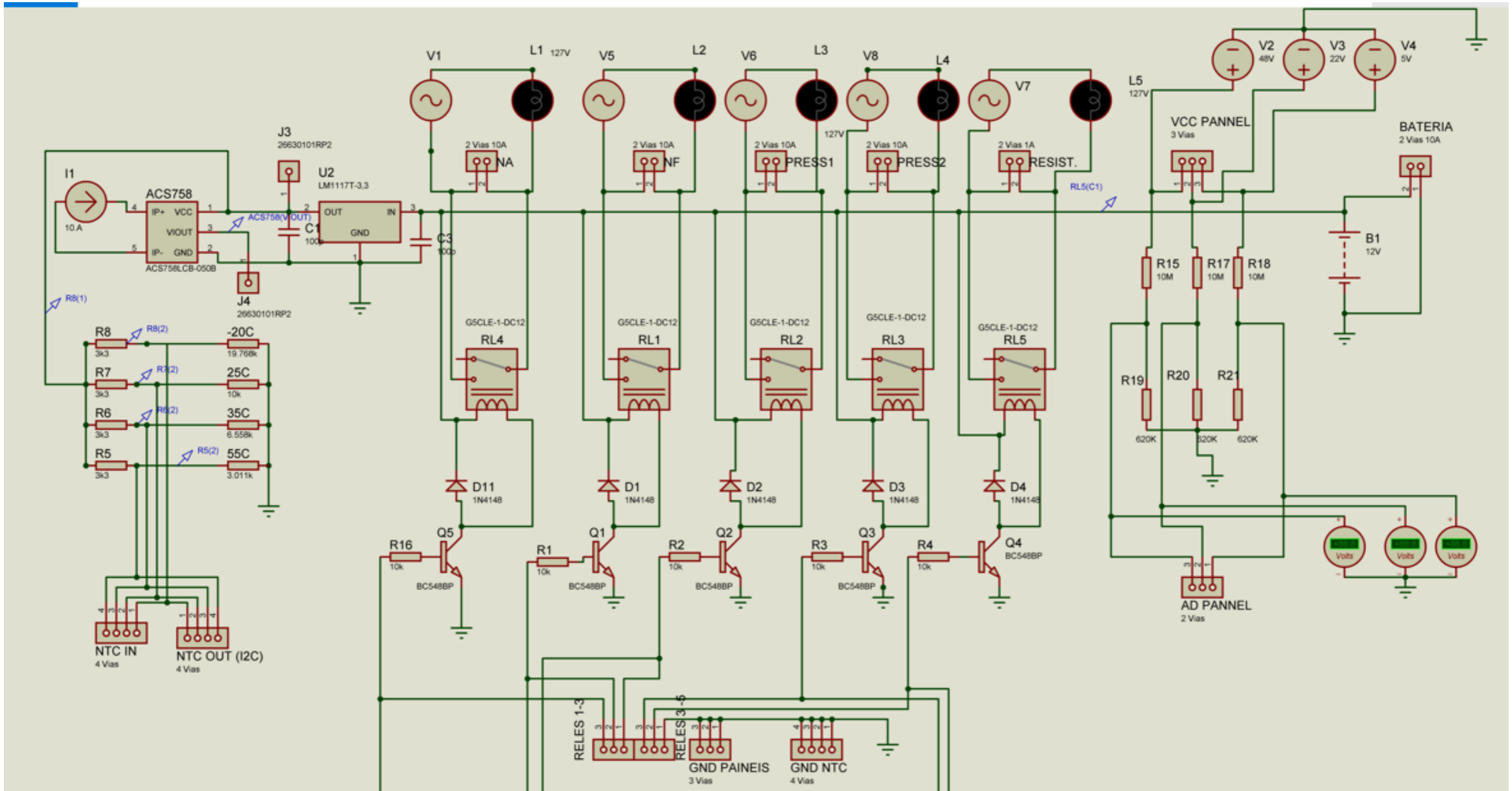
ANEXO B - Tabela comparativa entre os polinômios obtidos.

Dados de referência				Polinômios calculados pelo Matlab usando pontos a partir de -10°C			
R1	R2	Temp. de Referência	Vout Calculado	Pol 1° Ordem	Pol 2° Ordem	Pol 3° Ordem	Pol 4° Ordem
3330	54684	-10	3,111	-2	-5	-8	-9
3331	51791	-9	3,101	-2	-5	-7	-8
3332	49071	-8	3,090	-1	-4	-7	-7
3333	46512	-7	3,079	-1	-4	-6	-7
3334	44103	-6	3,068	-1	-3	-5	-6
3335	41835	-5	3,056	0	-2	-5	-5
3336	39698	-4	3,044	0	-2	-4	-4
3337	37684	-3	3,032	1	-1	-3	-3
3338	35786	-2	3,018	1	-1	-2	-2
3339	33995	-1	3,005	2	0	-1	-1
3340	32306	0	2,991	2	1	0	0
3341	30711	1	2,976	3	1	0	1
3342	29205	2	2,961	3	2	1	2
3343	27782	3	2,946	4	3	2	3
3344	26437	4	2,929	5	3	3	4
3345	25165	5	2,913	5	4	4	5
3346	23963	6	2,896	6	5	5	6
3347	22825	7	2,878	7	6	6	7
3348	21748	8	2,860	7	6	7	8
3349	20729	9	2,841	8	7	8	9
3350	19763	10	2,822	9	8	9	10
3351	18848	11	2,802	9	9	10	11
3352	17981	12	2,781	10	10	11	12
3353	17159	13	2,761	11	11	12	13
3354	16379	14	2,739	12	12	13	14
3355	15639	15	2,717	13	13	14	15
3356	14937	16	2,695	13	14	16	16
3357	14270	17	2,672	14	15	17	17
3358	13637	18	2,648	15	16	18	18
3359	13035	19	2,624	16	17	19	19
3360	12464	20	2,599	17	18	20	20
3361	11920	21	2,574	18	19	21	21
3362	11404	22	2,549	19	20	22	22
3363	10912	23	2,523	20	21	23	23
3364	10445	24	2,496	21	22	24	24
3365	10000	25	2,469	22	23	25	25
3366	9576	26	2,442	23	24	26	26
3367	9173	27	2,414	24	25	27	27
3368	8789	28	2,386	25	27	28	28
3369	8423	29	2,357	26	28	29	29
3370	8074	30	2,328	27	29	31	30
3371	7741	31	2,299	28	30	32	31
3372	7424	32	2,269	29	31	33	32
3373	7122	33	2,239	30	32	34	33
3374	6833	34	2,209	31	34	35	34
3375	6558	35	2,179	32	35	36	35
3376	6295	36	2,148	34	36	37	36
3377	6044	37	2,117	35	37	38	37
3378	5804	38	2,086	36	38	39	38
3379	5575	39	2,055	37	39	39	39
3380	5356	40	2,023	38	41	40	40
3381	5147	41	1,992	39	42	41	41
3382	4947	42	1,960	41	43	42	42
3383	4756	43	1,928	42	44	43	43
3384	4573	44	1,897	43	45	44	44
3385	4398	45	1,865	44	46	45	45
3386	4231	46	1,833	45	47	46	46
3387	4071	47	1,801	46	49	47	47
3388	3918	48	1,770	48	50	48	48
3389	3771	49	1,738	49	51	49	49
3390	3630	50	1,706	50	52	50	50
3391	3495	51	1,675	51	53	51	51
3392	3366	52	1,644	52	54	52	52
3393	3243	53	1,613	53	55	53	53
3394	3124	54	1,582	55	56	54	54
3395	3011	55	1,551	56	57	55	55
3396	2902	56	1,521	57	58	56	56
3397	2797	57	1,490	58	59	57	57
3398	2697	58	1,460	59	60	58	58
3399	2600	59	1,430	60	61	59	59
3400	2508	60	1,401	61	62	60	60
3401	2419	61	1,372	62	63	61	61
3402	2334	62	1,343	63	64	62	62
3403	2253	63	1,315	65	64	63	63
3404	2174	64	1,286	66	65	64	64
3405	2099	65	1,258	67	66	65	65
3406	2026	66	1,231	68	67	66	66
3407	1957	67	1,204	69	68	67	67
3408	1890	68	1,177	70	68	68	68
3409	1825	69	1,151	71	69	69	69
3410	1764	70	1,125	72	70	70	70
3411	1704	71	1,099	72	71	71	71
3412	1647	72	1,074	73	71	72	72
3413	1592	73	1,050	74	72	73	73
3414	1539	74	1,025	75	73	74	74
3415	1488	75	1,002	76	73	75	75
3416	1439	76	0,978	77	74	76	76
3417	1391	77	0,955	78	75	77	77
3418	1346	78	0,932	79	75	78	78
3419	1302	79	0,910	79	76	80	79
3420	1260	80	0,888	80	76	81	79

ANEXO C - Fluxograma do software principal (Fonte: o autor)



ANEXO D - Esquema elétrico da placa protótipo III (Fonte: o autor)





## ZXP6 | 72 Cells

### Polycrystalline PV module 305-340 Watt



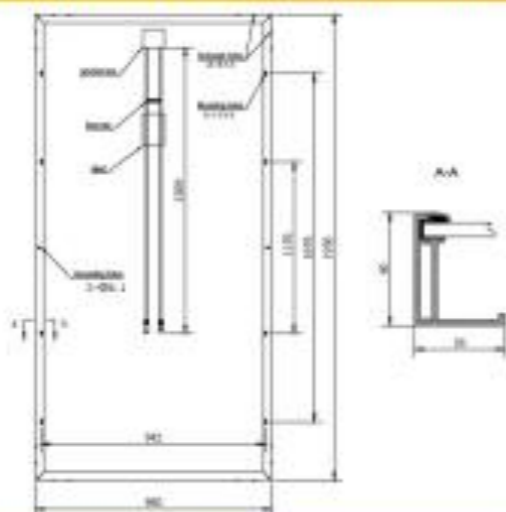
Made with selected materials and components to grant quality, duration, efficiency and through outputs, the 72-cell polycrystalline modules by ZNSHINE SOLAR( power output 305 up to 340Wp, black modules up to 340Wp) represent a highly flexible solution for diverse installation types, from industrial rooftop plants to small home PV systems or large ground surfaces. This allows you to produce clean energy whilst reducing your energy bill.

ZNSHINE SOLAR'S 72-cell polycrystalline solar modules are tested and approved by international acknowledged laboratories, so that we can offer our customers a reliable and price-quality optimized product. The linear warranty on product outputs further ensures increased security and return on investments over time.

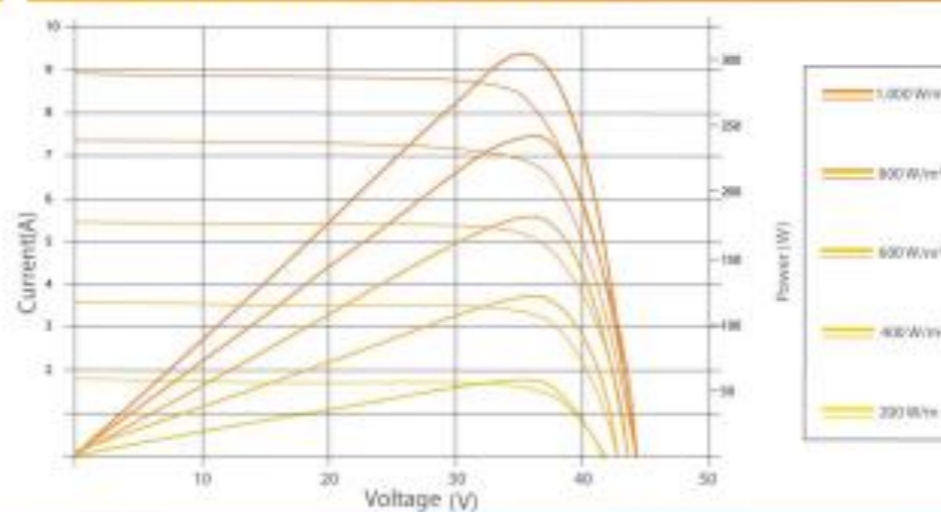
 High Efficiency	High module efficiency up to 17.52%	 Linear Warranty	25-year-linear warranty on outputs
 5400 Pa	Certified to withstand extreme static loads of 5400 Pa	 PID free	Free from PID (Potential Induced Degradation)
 Extensive green certificates		 System Certification	ISO 9001 ISO 14001 OHSAS 18001



### Dimension of the PV module



### I-V Curves of the PV module



### Electrical data

Model	ZXP6 72-305/P	ZXP6 72-310/P	ZXP6 72-315/P	ZXP6 72-320/P	ZXP6 72-325/P	ZXP6 72-330/P	ZXP6 72-335/P	ZXP6 72-340/P
Nominal Power Watt $P_{max}(W_p)$	305	310	315	320	325	330	335	340
Power Output Tolerance $P_{max}(\%)$	0--+3	0--+3	0--+3	0--+3	0--+3	0--+3	0--+3	0--+3
Maximum Power Voltage $V_{mp}(V)$	37.10	37.19	37.28	37.47	37.66	37.88	38.07	38.29
Maximum Power Current $I_{mp}(A)$	8.22	8.34	8.45	8.54	8.63	8.71	8.80	8.88
Open Circuit Voltage $V_{oc}(V)$	45.30	45.45	45.60	45.77	45.95	46.11	46.26	46.43
Short Circuit Current $I_{sc}(A)$	8.78	8.87	8.96	9.04	9.12	9.20	9.29	9.37
Module Efficiency $\eta_m(\%)$	15.72	15.98	16.23	16.49	16.75	17.00	17.27	17.52

### Mechanical data

Solar cells	Poly 156×156 / 156.75×156.75 mm
Cells orientation	72 ( 6×12 )
Module dimension	1956 ×992×40 mm
Weight	22.5 kg
Glass	High transparency,low iron,tempered glass 3.2mm (AR-coating)
Junction box	IP 67 , 3 diodes
Cables	4 mm <sup>2</sup> ,1200 mm
Connectors	MC4-compatible

### Temperature ratings

Nominal Operating Cell Temperature	45°C ±2°C
Temperature coefficient of $P_{max}$	-0.42%/K
Temperature coefficient of $V_{oc}$	-0.33%/K
Temperature coefficient of $I_{sc}$	0.06%/K

### Working conditions

Maximum system voltage	1000 / 1500 V DC
Operating temperature	-40°C -- +85°C
Maximum series fuse	15 A
Maximum load ( snow/wind )	5400 Pa / 2400 Pa