



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA - EST

THIAGO GODINHO ALMEIDA

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO MICROCONTROLADO PARA
AUTOMAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE UMA RESIDÊNCIA COM GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA OFF GRID**

Manaus

2023

THIAGO GODINHO ALMEIDA

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO MICROCONTROLADO PARA
AUTOMAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE UMA RESIDÊNCIA COM GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA OFF GRID**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, apresentado à banca avaliadora do curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador Prof. Victor Enrique Vermehren Valenzuela

Manaus

2023

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

André Luiz Nunes Zodaib

Vice-Reitor:

Kátia do Nascimento Coureiro

Diretora da Escola Superior de Tecnologia:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:

Israel Gondres Torné

Banca Avaliadora composta por:

Data da defesa: 14/03/2023.

Prof. Victor Enrique Vermehren Valenzuela, Dr.

Prof. Antonio Luiz Alencar Pantoja, Dr.

Prof. Israel Gondres Torné, Dr.

Revisão Ortográfica: Prof. Victor Enrique Vermehren Valenzuela, Dr.

CIP – Catalogação na Publicação

Almeida, Thiago Godinho

Desenvolvimento de um dispositivo microcontrolado para automação e otimização de uma residência com geração fotovoltaica offgrid / Thiago Godinho Almeida; [orientado por] Victor Enrique Vermehren Valenzuela, Dr. – Manaus: 2023.

69 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica).
Universidade do Estado do Amazonas, 2023.

1. Sistema fotovoltaico Off Grid. 2. Dispositivo Microcontrolado. 3. Automação Residencial. I. Valenzuela, Victor Enrique Vermehren Valenzuela.

THIAGO GODINHO ALMEIDA

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO MICROCONTROLADO
PARAAUTOMAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE UMA RESIDÊNCIA COM
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA OFF GRID

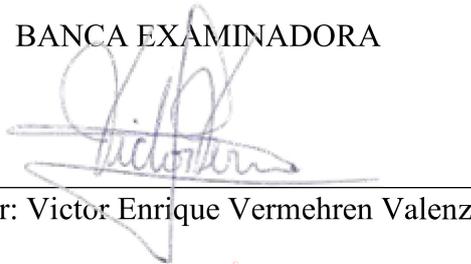
Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Nota obtida: 9,8 (nove, oito)

Aprovada em 14/03/2023.

Área de concentração: Sistemas Embarcados

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Victor Enrique Vermehren Valenzuela, Dr.

Antonio Luiz Alencar Pantoja

Assinado de forma digital por
Antonio Luiz Alencar Pantoja
Dados: 2023.03.15 13:33:23 -04'00'

Avaliador: Antonio Luiz Alencar Pantoja, Dr.



Avaliador: Israel Gondres Torné, Dr.

Manaus 2023

RESUMO

Nos últimos anos, o setor de sistemas fotovoltaicos cresceu massivamente, por diversos fatores, mas o principal deles foi a redução dos custos da tecnologia. Pequenos sistemas começaram a ser vendidos para pessoas do interior que buscam alternativa para usufruir de eletricidade mesmo distantes das redes elétricas. A maior parte dessas pessoas não tem a instrução necessária para gerenciar o funcionamento desses sistemas, levando em consideração suas limitações. Com base nesse problema, e nas tecnologias existentes, desenvolveu-se um circuito baseado no microcontrolador Atmega 328P, para gerenciar o funcionamento de um sistema fotovoltaico off grid, o dispositivo é capaz de analisar a tensão da bateria e o horário para definir qual equipamento deve funcionar. O sistema otimiza o funcionamento dos equipamentos, evitando desperdícios e protege as baterias de sobrecarga, além de dar maior liberdade aos usuários que deixam de se preocupar com esse controle, e podem se ausentar da residência por longos períodos de tempo.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico Off Grid. Dispositivo Microcontrolado. Automação Residencial.

ABSTRACT

In recent years, the photovoltaic systems sector has grown massively, due to several factors, but the main one has been the reduction in technology costs. Small systems can be sold to people in the countryside who are looking for an alternative to enjoy electricity even far from the power grid. Most of these people do not have the necessary technical knowledge to manage the functioning of these systems, taking into account their restrictions. Based on this problem, and on existing technologies, a circuit based on the Atmega 328P microcontroller was developed to manage the of an off grid photovoltaic system operation, the device is able to analyze the battery voltage and the time to define which equipment should work. The system optimizes the operation of the equipment, avoiding waste and protecting the batteries from over-discharging, in addition to giving greater freedom to users who are no longer concerned with this control, and can be away from home for long periods of time.

Keywords: Off Grid photovoltaic system. Microcontrolled device. Home automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	Painel Fotovoltaico	15
2	Controlador Epever PWM	16
3	Controlador Epever MPPT	17
4	Relação Temperatura x Vida útil	18
5	Ciclo de Vida	18
6	Percentual Carga	19
7	Bateria Estacionária Heliar Freedom	19
8	Bateria de Lítio	20
9	Inversor Epever	21
10	Arduino Nano	22
11	Display LCD I2C	22
12	Módulo RTC DS3231	23
13	Módulo Step Down MP2307	23
14	Optoacoplador 4N25	24
15	Módulo Relé 4 Canais	25
16	Arduino IDE	25
17	KiCad	26
18	Potência do freezer	28
19	Potência da bomba d'água	28
20	Circuito divisor de tensão	30
21	Circuito de feedback	31
22	Circuito Step Down	32
23	Circuito DS3231	32
24	Conexão Display LCD	32
25	Conexão Relés	32
26	Circuito do Arduino Nano	33
27	Circuito completo no software Kicad	33
28	Camadas da PCB	34
29	Vista 3D da PCB	34
30	Placa prototipada	36
31	Placas montadas no case	36
32	Fluxograma do Firmware	37
33	Medição de tensão Ultra Low Voltage	39
34	Medição de tensão Low Voltage	40
35	Medição de tensão OK	40
36	Medição de tensão High Voltage	41

37	Modo Ultra Low Voltage	42
38	Modo Low Voltage	42
39	Modo OK	43
40	Modo High Voltage	43
41	Tela de inicialização	44
42	Tela modo e tensão	44
43	Tela data e hora	44
44	Tela estado das cargas	44
45	Tela medias de tensão	44
46	Tela Ultra Low Voltage	45
47	Tela warning Ultra Low Voltage	45
48	Tela High Voltage	45
49	Tela warning High Voltage	45
50	Tela tentativa de ligar inversor	45
51	Tela inversor ligado	45
52	Tela freezer ligado	45
53	Tela tomadas ligadas	45
54	Tela bomba ligada	46
55	Tela inversor desligado	46
56	Tela freezer desligado	46
57	Tela bomba desligada	46
58	Tela tomadas desligadas	46
59	Tela falha inversor	46
60	Dispositivo instalado	47
61	Diagrama básico da instalação	48
62	Consumo de corrente AC	48
63	Freezer em funcionamento	49
64	Sistema de bombeamento	50
65	Caixa d'água enchendo	50
66	Registro de erros	50

LISTA DE TABELAS

1	Horário e Potência dos equipamentos	29
2	Modos de operação × Tensão	30
3	Modos de funcionamento	37
4	Erro na medição de tensão do dispositivo	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	<i>Alternating Current</i>
AVR	<i>Advanced Virtual RISC</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
CI	<i>Circuito Integrado</i>
DC	<i>Direct Current</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
GPIO	<i>General Purpose Input-Output</i>
I2C	<i>Inter Integrated Circuit</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LED	<i>Light Emiting Diode</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
SCL	<i>Serial Clock</i>
SDA	<i>Serial Data</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
Tema	13
Problema de pesquisa	13
Hipótese	13
Justificativa	13
Objetivos	14
Objetivo geral	14
Objetivos específicos	14
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
1.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF GRID	15
1.1.1 Painel Fotovoltaico Off Grid	15
1.1.2 Controlador de Carga	15
1.1.2.1 Controlador de Carga PWM	16
1.1.2.2 Controlador de Carga MPPT	16
1.1.3 Bateria	17
1.1.3.1 Bateria Estacionária	17
1.1.3.2 Bateria de Lítio	19
1.1.4 Inversor	20
1.2 AQUISIÇÃO DE SINAIS ELÉTRICOS	21
1.2.1 Conversor Analógico Digital	21
1.3 HARDWARE PARA CONTROLE DAS CARGAS	21
1.3.1 Arduino Nano	21
1.3.2 Display LCD I2C	22
1.3.3 Real Time Clock	22
1.3.4 Conversor DC-DC Step Down	23
1.3.5 Optoacoplador	24
1.3.6 Módulo Relé	24
1.4 SOFTWARES	25
1.4.1 Arduino IDE	25
1.4.2 KiCad	26
2 MATERIAIS E MÉTODOS	27
2.1 Pesquisa bibliográfica e estudo dos equipamentos	27
2.1.1 Estudo do sistema off grid e cargas da residência	27
2.2 Desenvolvimento do Hardware	30
2.2.1 Prototipação do Hardware em placa	35
2.3 Desenvolvimento do Firmware	35

3	TESTES E RESULTADOS	39
3.1	Validação do circuito medidor de tensão	39
3.2	Validação dos modos de funcionamento	41
3.3	Validação das telas	44
3.4	Instalação do dispositivo	47
3.5	Validação pós-instalação	47
4	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	52
	APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE UTILIZADO	54

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, os seres humanos procuram maneiras de facilitar sua vida, primeiramente usando ferramentas de pedra lascada, posteriormente de pedra polida e evoluindo continuamente com o passar do tempo. A eletricidade passou a fazer parte da vida dos seres humanos no século XIX com a batalha das correntes protagonizada por Thomas Edison e Nikola Tesla. A batalha foi vencida por Tesla com sua corrente alternada que se mostrou mais eficiente para transmissão em longas distâncias. (SOLARSUL, 2022).

O homem tornou-se cada vez mais dependente de eletricidade, e nos dias atuais parece impossível viver sem ela. Por esse motivo todos os dias buscam-se novas formas de captar energia elétrica do meio ambiente. Uma das tecnologias desenvolvidas foi a captação de energia solar fotovoltaica, uma tecnologia promissora, mas com um custo muito elevado. Dessa forma as aplicações de painéis fotovoltaicos eram muito restritas, sendo utilizados majoritariamente em projetos de satélites.

Com o aumento do valor dos combustíveis fósseis, houve uma intensificação na busca por alternativas na geração de energia, vários países começaram a desenvolver a tecnologia para geração de energia por meio dos raios solares. Com o domínio técnico da produção de painéis fotovoltaicos pela China, esses equipamentos passaram a custar um preço cada vez menor, tornando a tecnologia mais acessível para pequenos projetos (PORTALSOLAR, 2022).

Na última década essa tecnologia sofreu um *Boom* no Brasil, impulsionado principalmente pelas dimensões continentais do país, o que causa uma dificuldade de distribuir energia elétrica em todo o território, e pela diminuição do preço dos componentes do sistema. Moradores de áreas isoladas começaram a investir nesse tipo de geração, com os sistemas fotovoltaicos *off grid* (desligados da rede), e posteriormente, os moradores de grandes centros urbanos também começaram a investir em sistemas ligados na rede, conhecidos como sistemas fotovoltaicos *on grid*, (ligados na rede elétrica), para reduzir o valor da fatura de energia elétrica.

Um enorme número de lojas de energia solar surgiram e com elas muitos kits prontos, para atender moradores isolados da rede elétrica. Esse tipo de geração ainda possui um valor elevado, devido a necessidade de armazenar a energia. Esses kits simples compostos por uma placa, um controlador de carga, uma bateria e um inversor, não são suficientes para funcionar todos os equipamentos de uma residência 24 horas por dia, isso causa um problema de gestão energética, principalmente por falta de esclarecimento dos moradores e má fé de parte dos vendedores.

Portanto esse trabalho se propõe a realizar uma abordagem prática, desenvolvendo um dispositivo baseado em um microcontrolador para gerenciar um sistema *off grid* e torná-lo independente dos seus usuários, implementando sistemas de monitoramento, controle e proteção para os componentes.

TEMA

Desenvolvimento de um dispositivo microcontrolado para automação e otimização de uma residência com geração fotovoltaica *off grid*.

PROBLEMA DE PESQUISA

Os sistemas de geração fotovoltaica *off grid* possuem um custo elevado, principalmente devido a necessidade de armazenar a energia. E em geral o público-alvo, principalmente moradores de residências às margens dos rios, ou de outros locais isolados geograficamente, não possuem conhecimento sobre gestão energética. Isso gera um grande problema de mau funcionamento de pequenos sistemas de geração *off grid* praticados no mercado, kits vendidos com um melhor custo-benefício. Os problemas variam desde redução da vida útil das baterias até a inutilização de equipamentos. Esses problemas causam transtorno para esses moradores e geram um custo mais elevado ainda, devido a necessidade de troca de componentes do sistema.

HIPÓTESE

A utilização de um dispositivo microcontrolado para gerenciar de forma inteligente o funcionamento das cargas elétricas de uma residência com sistema fotovoltaico *off grid*, permite uma melhor otimização das cargas em relação ao horário e uma maior independência do sistema. Elimina a necessidade de pessoas para ligar e desligar o sistema, e conseqüentemente, diminui a dependência de conhecimento técnico quanto a gestão energética por parte dos proprietários. Por esse motivo o dispositivo deve ser capaz de reduzir significativamente os problemas com pequenos sistemas de geração fotovoltaica vendidos no mercado, e melhorar a vida útil dos componentes do sistema.

JUSTIFICATIVA

A utilização de um dispositivo microcontrolado em uma residência dotada de geração fotovoltaica *off grid* pode permitir uma maior independência em relação a gestão do horário de funcionamento do inversor, dos eletrodomésticos e em relação a profundidade de descarga das baterias. Dessa forma é possível obter um sistema otimizado e conseqüentemente com um melhor custo-benefício. O dispositivo microcontrolado também permite que os moradores se ausentem da residência, sem preocupação com a conservação de alimentos, disponibilidade de água na caixa d'água e controle de profundidade de descarga das baterias.

O projeto utilizará conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia Elétrica, principalmente das disciplinas: Circuito Elétricos I, Eletrônica Analógica I, II e III, Eletrônica

Digital I, Sistemas Microprocessados, Microcontroladores, Eletrônica de Potência, Conversão de Energia, Energias renováveis.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Por meio de um dispositivo microcontrolado gerenciar cargas de uma residência com geração fotovoltaica desligada da rede, baseado no horário e nível de tensão das baterias do sistema. Controlar o funcionamento de um inversor, um freezer, de uma bomba d'água e de tomadas com cargas variáveis.

Objetivos específicos

- a) Desenvolver um *hardware* com microcontrolador capaz de controlar as cargas da residência;
- b) Desenvolver o *firmware* adequado para o funcionamento do *hardware*;
- c) Definir e avaliar o horário de acionamento do inversor e das cargas
- d) Avaliar a tensão das baterias e os modos de funcionamento do dispositivo.
- e) Analisar possíveis erros no sistema e capacidade do dispositivo de contorna-los.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

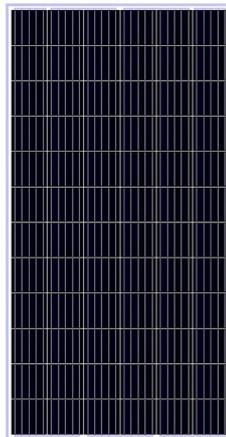
1.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF GRID

O sistema fotovoltaico *off grid* funciona recebendo a energia dos raios solares, convertendo-a em energia elétrica e armazenando o excedente em baterias para uso posterior, em períodos de baixa irradiação solar. Esse sistema opera desligado da rede elétrica das concessionárias.

1.1.1 Painel Fotovoltaico Off Grid

O painel fotovoltaico exemplificado na figura 1, nada mais é do que a interligação de células fotovoltaicas, ligadas geralmente em série para se obter uma tensão conveniente na saída. As células fotovoltaicas são dispositivos capazes de transformar a radiação eletromagnética proveniente do sol em energia elétrica. Essas células são compostas por camadas de materiais semicondutores P e N sendo o principal deles o silício. As células mais comuns são as de silício monocristalino e de silício policristalino (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Figura 1 – Painel Fotovoltaico



Fonte: (NEOSOLAR, 2022)

1.1.2 Controlador de Carga

O Controlador de Carga é um componente de extrema importância nos sistemas desligados da rede, ele é responsável por ajustar a tensão para o carregamento adequado das baterias, além de protegê-las contra sobrecarga e descarga total. Atualmente os controladores possuem configurações quanto ao tipo de bateria, já que cada tipo de bateria possui tensões de carregamento, flutuação e equalização distintas. Existem também controladores específicos para determinado tipo de bateria, com tensão de saída ajustada para tal. Os controladores de carga se

dividem em duas categorias, referentes a tecnologia que utilizam. (LIMA; MONTEIRO; DOMINGOS, 2018).

1.1.2.1 Controlador de Carga PWM

O tipo mais simples e mais barato de Controlador de Carga utilizado atualmente é o que trabalha com modulação de largura de pulso. Esse controle de largura de pulso varia de acordo com a tensão de entrada e de saída. Apesar de mais barato esse tipo de controlador possui uma eficiência inferior. Ele se torna mais adequado quando a diferença de tensão entre o painel fotovoltaico e a tensão do banco de baterias é menor. A corrente que é inserida no controlador, gerada pelas placas, é a mesma corrente de saída do controlador, que vai para as baterias, porém com uma tensão menor, e dessa forma conseqüentemente tem uma redução da eficiência no processo de conversão (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Um exemplo de controlador de carga PWM da marca Epever pode ser visto abaixo na figura 2.

Figura 2 – Controlador Epever PWM



Fonte: (EPEVER, 2022)

1.1.2.2 Controlador de Carga MPPT

Os Controladores de Carga MPPT, exemplificado na figura 3, possuem um custo mais elevado, mas também são muito utilizados atualmente pela sua eficiência, esse tipo de controlador mapeia o ponto de máxima potência. Em termos gerais, esse controlador consegue reduzir a tensão, mas em contrapartida elevar a corrente na saída, dessa forma a potência de entrada

é praticamente a mesma de saída. A eficiência desses controladores de carga chega a 98% (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Figura 3 – Controlador Epever MPPT



Fonte: (EPEVER, 2022)

1.1.3 Bateria

A Bateria é um dispositivo de armazenamento de energia, por meio dela é possível guardar energia quando esta estiver em excesso ou utilizá-la quando a geração reduzir. Dessa forma é possível utilizar cargas no sistema *off grid* mesmo quando não houver irradiação solar. Existem diversos modelos de baterias, mas dois tipos são mais aplicados em geração fotovoltaica desligada da rede. Variando alguns parâmetros de uma para outra, como profundidade de descarga, vida útil, pico de corrente.

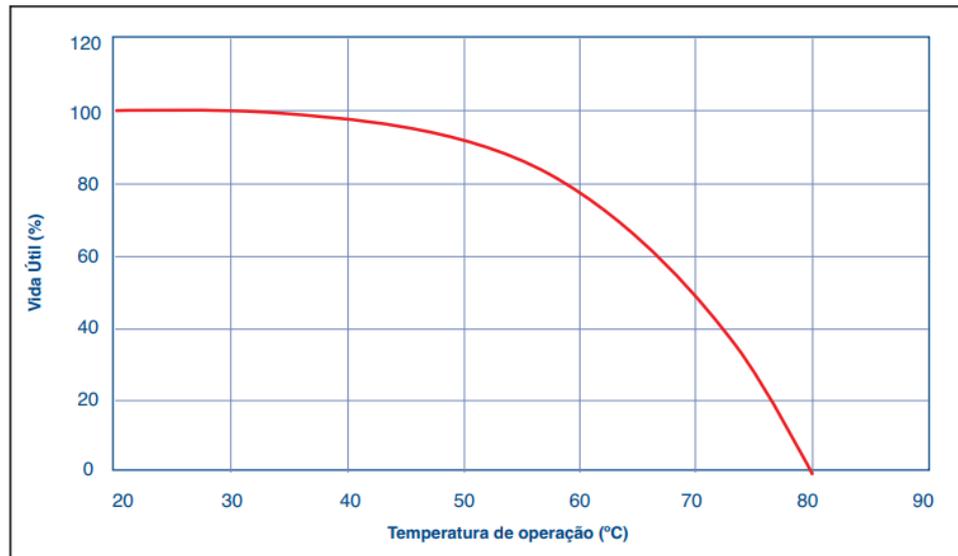
1.1.3.1 Bateria Estacionária

As baterias estacionárias são as mais difundidas nos sistemas fotovoltaicos independentes, elas são compostas por chumbo e ácido sulfúrico, mas diferentemente das baterias de carro que são projetadas para picos de corrente elevados por um curto intervalo de tempo, ela foi projetada para fornecer uma corrente menor por um longo período (SKTEC, 2022).

As baterias estacionárias possuem dois principais fatores que definem sua vida útil, a temperatura de operação e a profundidade de descarga.

A melhor temperatura de operação de uma bateria estacionária é de 25 °C, com um decréscimo de 2% da vida útil, a cada 10°C considerando o intervalo de 25 °C até 45 °C. A figura 4 mostra o gráfico da redução da vida útil em função da temperatura.

Figura 4 – Relação Temperatura x Vida útil

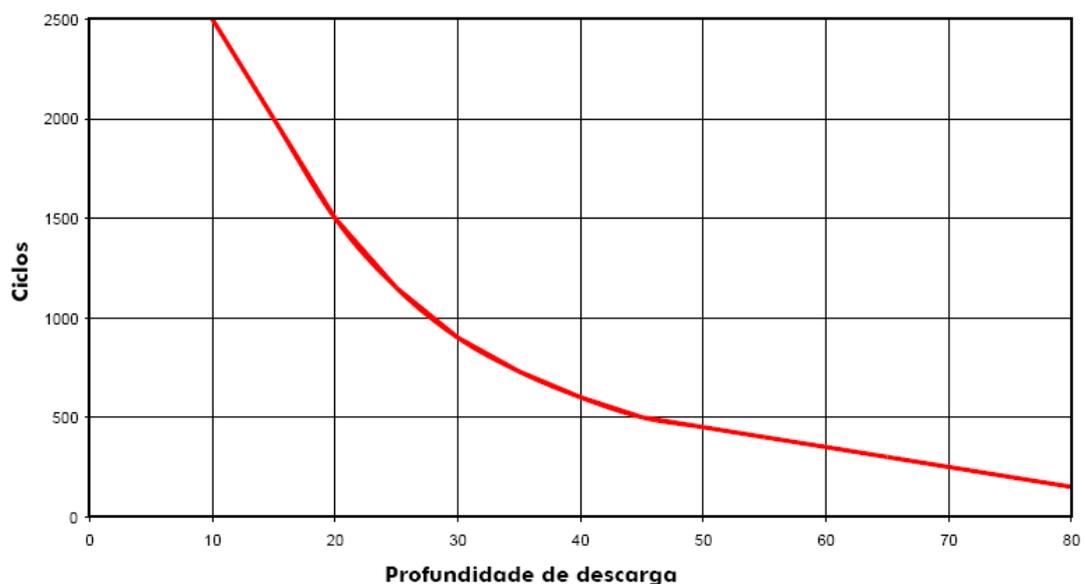


Fonte: (MARELLI, 2023)

O segundo fator é a profundidade de descarga, quanto maior a profundidade de descargas das baterias, menor sua vida útil como pode ser visto no gráfico da figura 5.

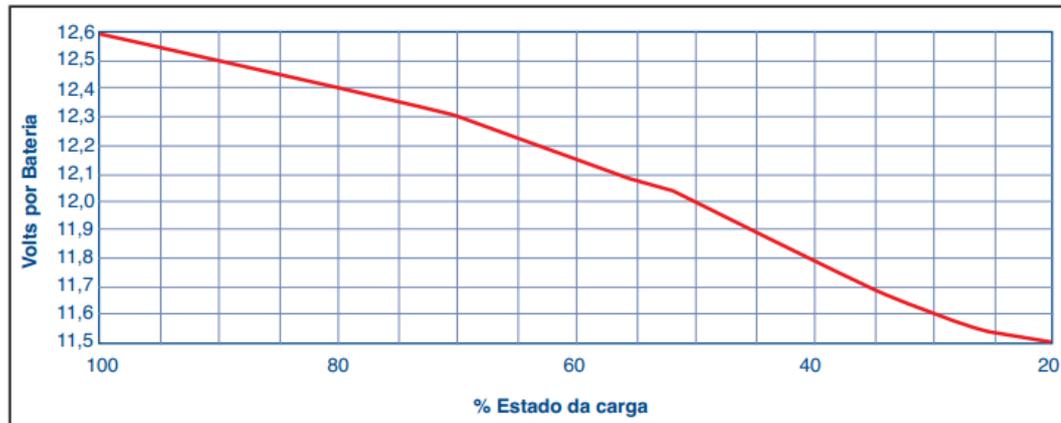
Para definir melhor a carga da bateria existe um gráfico fornecido pelo fabricante da bateria relacionando a tensão da bateria com o nível de carga da mesma. Esse gráfico pode ser visto na figura 6 e por meio dele é possível controlar com que percentual de profundidade de descarga se irá trabalhar no sistema (MARELLI, 2023).

Figura 5 – Ciclo de Vida



Fonte: (MARELLI, 2023)

Figura 6 – Percentual Carga



Fonte: (MARELLI, 2023)

Uma das marcas de baterias mais utilizadas é a Heliar com sua linha Freedom, como pode ser visto na figura 7, exemplificada pelo modelo DF2000 de 115 Ah.

Figura 7 – Bateria Estacionária Heliar Freedom



Fonte: (FREEDOM, 2022)

1.1.3.2 Bateria de Lítio

Existem diversos tipos de bateria de lítio no mercado, mas as baterias utilizadas em sistemas *off grid* são do tipo LiFePO4 (Fosfato de Lítio Ferro), essas células de lítio possuem maior eficiência e maior profundidade de descarga, cerca de 80% com uma vida útil de 4000 ciclos. Essas baterias são mais compactas e possuem alta densidade de energia. Cada célula possui tensão de 3.2 V, ou seja, ao ligar-se 4 células em série obtém-se 12.8 V, tensão muito próxima das baterias estacionárias que trabalham com 12.6 V de tensão nominal.

As baterias de lítio presentes no mercado são geralmente de 48 V, como a bateria Growatt da figura 8, em um conjunto com 16 células ligadas em série. Para que não haja uma diferença de tensão entre cada célula, se utiliza um BMS, responsável por equalizar a carga entre cada célula, além de monitorar corrente de carga e descarga, protegendo as células internas da bateria.

Essas baterias possuem um custo elevado, mas a médio prazo se tornam uma opção viável devido a profundidade de descarga e vida útil de 4000 ciclos se utilizada de forma correta (STA, 2022).

Figura 8 – Bateria de Lítio



Fonte: (GROWATT, 2022)

1.1.4 Inversor

O inversor é o componente que realiza a conversão do tipo de corrente, de corrente contínua para corrente alternada. Existem diversos modelos com tensões de entrada que variam de 12 V a 48 V e saída de 127 V ou 220 V. Existe também uma variação no formato de onda de saída, podendo ser quadrada, senoidal modificada, ou senoidal pura.

Os inversores de onda quadrada ou senoidal modificada, são utilizados apenas para cargas eletrônicas ou puramente resistivas, como fontes chaveadas e lâmpadas incandescentes. Os de onda senoidal pura não tem restrições quanto ao tipo de carga, sendo ideais para equipamentos com motores. Os inversores *off grid* de onda senoidal pura possuem uma eficiência de até 95% (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A figura 9 apresenta um modelo de inversor da marca Epever com onda senoidal pura, entrada 12 V DC e saída 127 V AC e potência nominal de 2000W.

Figura 9 – Inversor Epever



Fonte: (EPEVER, 2022)

1.2 AQUISIÇÃO DE SINAIS ELÉTRICOS

1.2.1 Conversor Analógico Digital

Os conversores analógicos digitais são utilizados para realizar uma interface entre um dispositivo analógico que pode ser um sensor ou um sinal de áudio, e um circuito digital, geralmente um microcontrolador. Esse tipo de dispositivo tem a capacidade de compactar esses dados, economizando espaço ou processamento. O processo ocorre de forma a transformar um sinal contínuo geralmente no tempo para um sinal discretizado por meio de amostras e quantização em amplitude para uma representação digital (OPPENHEIM; SCHAFER, 2012).

1.3 HARDWARE PARA CONTROLE DAS CARGAS

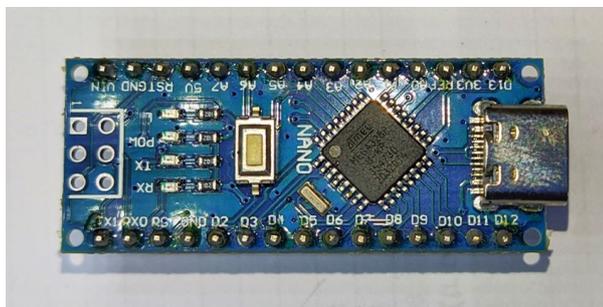
1.3.1 Arduino Nano

O Arduino Nano da figura 10 é uma placa da família Arduino, compacta, mas com o circuito de comunicação serial, que facilita a atualização do *firmware*. A placa é composta por um microcontrolador ATmega328, que trabalha com a arquitetura AVR, possui um *clock* de 16 MHz, com 32 kB de memória *Flash*, sendo 2 kB utilizados para o *bootloader* e uma EEPROM de 1 kB. A placa recebe a alimentação de 7 V a 12 V, possui 8 entradas analógicas, com 10 bits de resolução cada, e 22 digitais, das quais 6 possuem possibilidade de operar como PWM com 8 bits de resolução.

O nível lógico de trabalho é de 5 V e a corrente máxima de cada GPIO é de 40 mA, o

consumo de corrente da placa é de aproximadamente 20 mA. A placa conta com uma atualização na interface de comunicação, trabalhando agora com o padrão USB C (ARDUINOSTORE, 2022).

Figura 10 – Arduino Nano



Fonte: (Autor)

1.3.2 Display LCD I2C

O display LCD visto na figura 11 é um display muito utilizado em equipamentos industriais, impressoras 3D e projetos com microcontroladores. Possui um custo baixo, adequado para projetos simples. Trabalha com 16 colunas e 2 linhas que podem ser preenchidas com números, letras e alguns caracteres especiais.

O Display LCD possui um módulo em sua parte inferior que realiza uma conversão de interface para o protocolo de comunicação I2C e também permite o ajuste de iluminação, contraste e configuração do endereço do dispositivo (MCROBERTS, 2011).

Figura 11 – Display LCD I2C



Fonte: (Autor)

1.3.3 Real Time Clock

O *Real Time Clock* DS3231 da figura 12 é um relógio de tempo real, também conhecido como RTC, que funciona com o protocolo de comunicação I2C. Com esse protocolo é possível

conectar dezenas de equipamentos por meio das mesmas portas lógicas (SCL e SDA), e monitorá-los por meio de endereços. O I2C é ideal para minimizar a quantidade de GPIO's necessárias no microcontrolador e simplificar o diagrama eletrônico.

O RTC permite a leitura do ano, mês, dia, dia da semana, hora, minutos e segundos com alta precisão. A hora do RTC é ajustada uma única vez por meio do código, e a partir daí a hora não é perdida, já que o módulo possui uma bateria própria. Salvo em caso de esgotamento da bateria (THOMSEN, 2015).

Figura 12 – Módulo RTC DS3231



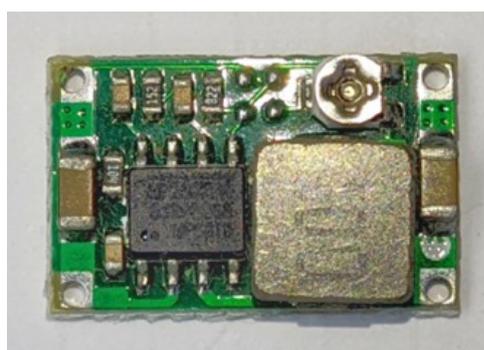
Fonte: (Autor)

1.3.4 Conversor DC-DC Step Down

Um conversor DC–DC *Step Down* é um conversor cuja tensão em sua saída é menor que a tensão de entrada, funciona chaveando um transistor ou mosfet via PWM, e se utiliza de componentes passivos, como capacitores, resistores, um diodo e um indutor (ANICETO, 2010).

O módulo contendo o circuito integrado MP 2307 tem a capacidade de trabalho de 3 A de pico e 1.8 A constante, com a tensão de entrada de 4.75 V a 23 V e saída de 1 V a 17 V. A potência máxima é de 10 W e a eficiência de 85% a 95% . A figura 13 mostra um módulo de conversão DC-DC *Step Down* utilizando o CI MP2307, o módulo possui um trimpot para ajuste da tensão de saída.

Figura 13 – Módulo Step Down MP2307



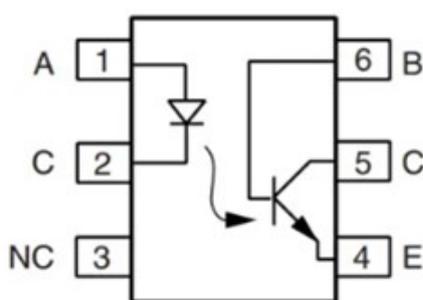
Fonte: (Autor)

1.3.5 Optoacoplador

O optoacoplador é um componente eletrônico utilizado em circuitos digitais para proteger os microcontroladores de distúrbios causados pelo chaveamento de cargas indutivas ligadas no mesmo circuito de alimentação.

Os optoacopladores consistem em um encapsulamento contendo um LED infravermelho que por meio do seu acionamento é capaz de chavear um foto transistor NPN, gerando um sinal de saída referente a entrada, sem que haja um contato entre os terminais de entrada e saída. Um dos modelos mais utilizados é o 4N25 que pode ser visto na figura 14, possui 6 terminais, sendo dois referentes ao LED, três referentes ao fototransistor e um vazio (AUTOCORE, 2022).

Figura 14 – Optoacoplador 4N25



Fonte: (AUTOCORE, 2022)

1.3.6 Módulo Relé

O módulo relé de 4 Canais, visto na figura 15, é composto por 4 circuitos individuais de chaveamento de relés, que permitem controlar cargas AC e DC de potência significativamente alta. Cada canal possui um optoacoplador para isolar o circuito do microcontrolador, um diodo para proteger contra tensão reversa do circuito da bobina, e um LED para indicar o estado do relé. É alimentado com 12 V e opera com sinal de entrada de 3.3 V ou 5V do microcontrolador. Cada canal possui capacidade de 15 A em 125 V AC.

O módulo permite configurar o nível lógico que aciona os relés, sendo possível acionar os relés com nível lógico ALTO ou BAIXO, dependendo da configuração inserida pelo usuário em jumpers disponíveis na placa (MATERWALKER, 2022).

Figura 15 – Módulo Relé 4 Canais



Fonte: (Autor)

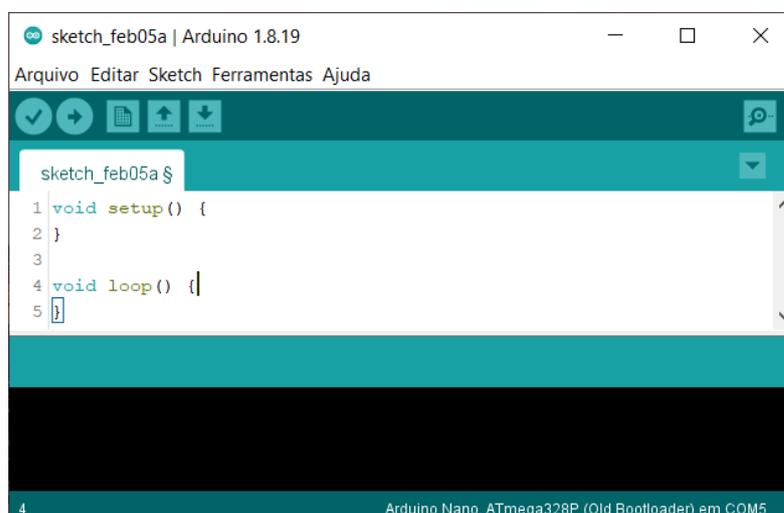
1.4 SOFTWARES

1.4.1 Arduino IDE

A Arduino IDE que pode ser vista na figura 16 é um ambiente de desenvolvimento integrado criado pela própria empresa Arduino, visando a utilização de todas as suas placas, o ambiente é totalmente adaptado para seus produtos, contendo várias bibliotecas prontas, para funcionamento de diversos módulos e sensores.

A IDE ficou tão popular no meio acadêmico que é utilizada para programar diversas outras placas, como os ESP32, ESP8266, STM32 e outras. O ambiente é bem limpo e simples, possui serial integrada e a possibilidade de visualizar gráficos em tempo real, referentes a serial(MCROBERTS, 2011).

Figura 16 – Arduino IDE



Fonte: (Autor)

1.4.2 KiCad

KiCad é um *software* gratuito para elaboração de diagramas elétricos e placas de circuito impresso, está em sua versão 7.0 e se tornou uma ferramenta muito utilizada no ambiente acadêmico e até empresarial. O programa também possui verificação de erros no circuito e possui uma ferramenta para visualização em 3D da PCB desenvolvida, com diversos componentes de sua biblioteca, ou adicionados externamente. O logo do *software* pode ser visto na figura 17.

Figura 17 – KiCad



Fonte: (KICAD, 2022)

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O Trabalho a ser apresentado foi uma Pesquisa Aplicada, com o objetivo de realizar uma Pesquisa exploratória sobre o material bibliográfico e de laboratório. Foram utilizados os procedimentos técnicos de pesquisa bibliográfica e experimental. Foi utilizado o método de abordagem hipotético-dedutivo e o método de procedimento monográfico em sua elaboração. Para coleta de dados foi utilizada documentação indireta e a análise e interpretação de seus dados, qualitativos, ocorrerá globalmente.

O projeto foi dividido em três principais etapas, com uma sequência lógica, mas com a mesma ordem de importância e prioridade em cada uma delas.

A primeira etapa foi a pesquisa bibliográfica de projetos semelhantes e um estudo mais aprofundado sobre os equipamentos da residência e necessidades do usuário. Nesta etapa definiu-se o horário de funcionamento ideal para cada equipamento juntamente com o morador.

A segunda etapa foi a parte do projeto de *hardware*. Nesta etapa englobou-se todo o processo de desenvolvimento dos circuitos auxiliares, do circuito completo, prototipação e escolha de um case para acondicionamento da placa desenvolvida.

A terceira etapa foi a parte de programação do *firmware*, onde são instaladas as bibliotecas necessárias para funcionamento dos periféricos, e desenvolvido toda a lógica de funcionamento do dispositivo.

2.1 PESQUISA BIBLIGRÁFICA E ESTUDO DOS EQUIPAMENTOS

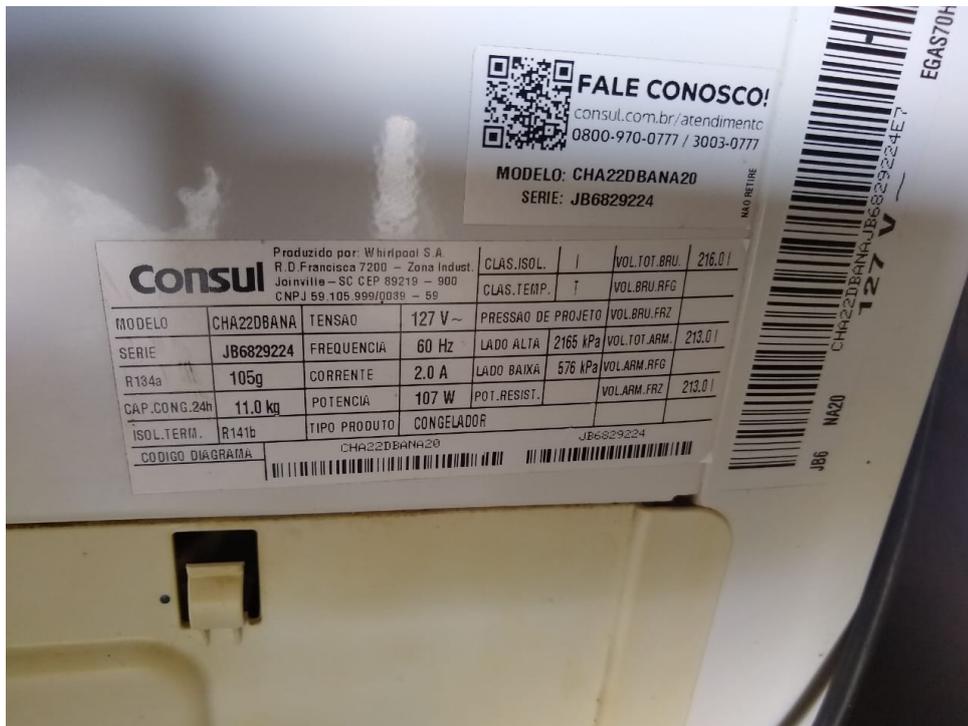
Para realização do projeto foi necessário estudar a bibliografia existente sobre automação residencial, sistemas fotovoltaicos *off grid*, além de um estudo amplo sobre eletrônica. Referente aos circuitos auxiliares e módulos eletrônicos para o *hardware*.

2.1.1 Estudo do sistema off grid e cargas da residência

O sistema fotovoltaico *off grid*, conta com dois painéis, sendo um de 330 Wp e outro de 250 Wp. Para cada um existe um controlador MPPT, sendo um deles da marca Unitron e o outro da Marca Epever. O inversor é de uma marca desconhecida, com potência nominal de 1000 W e formato de onda senoidal pura de 127 V. As duas baterias são da marca Heliar, linha Freedom, modelo DF2000, com capacidade de 115Ah em regime de descarga C100.

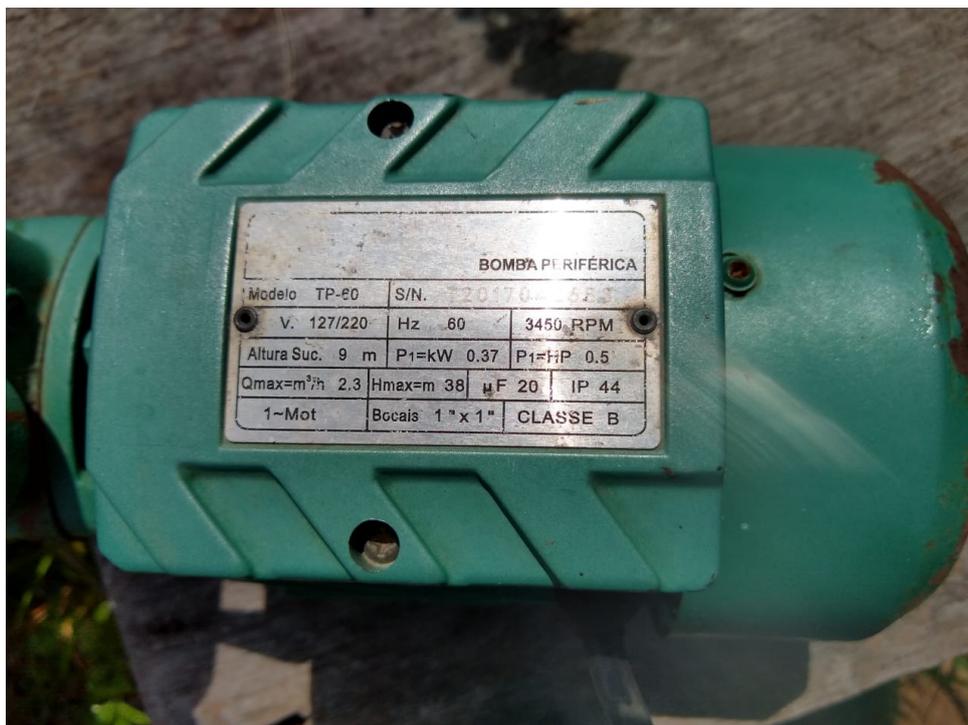
A casa utiliza um sistema de iluminação que não será automatizado, pois funciona em 12 V, com lâmpadas específicas para essa tensão, dessa forma é possível obter iluminação a qualquer hora sem utilização do inversor. As outras cargas que funcionam com corrente alternada são um freezer de 107 W visto na figura 18, uma bomba d'água de 370 W, vista na figura 19 e algumas cargas variáveis, geralmente carregadores de celular e de parafusadeira.

Figura 18 – Potência do freezer



Fonte: Própria Autoria

Figura 19 – Potência da bomba d'água



Fonte: Própria Autoria

O sistema funciona de forma manual com o morador da residência controlando o horário de ligar e desligar do inversor. Ligando o equipamento as 9 h e desligando às 20 h. O freezer fica ligado das 9 h às 17 h aproximadamente, a bomba d'água apenas quando há necessidade, mas geralmente final da tarde, e os carregadores de bateria durante o dia também. Obedecendo esse intervalo em que o inversor permanece ligado.

Alguns problemas foram identificados:

Aos finais de semana o morador não fica na residência, então não tem quem ligue o inversor e o freezer, dessa forma, toda a comida excedente tem que ser transportada para a cidade. O mesmo motivo faz com que na segunda feira ele necessite levar água gelada e as comidas necessárias para a semana.

Outro problema identificado foi o horário de funcionamento da bomba d'água que geralmente ocorre final da tarde ou começo da noite. Nesse horário a produção de energia pelos painéis fotovoltaicos é quase zero. Dessa forma toda energia gasta no processo de bombeamento para caixa d'água vem das baterias, aumentando a profundidade de descarga das mesmas.

O terceiro problema e mais comum é que as vezes o morador esquece de desligar os equipamentos, ou simplesmente fica impossibilitado, realizando outras atividades no sítio.

Em posse dessas informações foi possível construir a tabela 1, definindo a potência e horário de funcionamento dos equipamentos, visando melhorar os problemas detectados, foi sugerido a mudança do horário de funcionamento da bomba d'água. O morador definiu o freezer como a carga prioritária do sistema.

Tabela 1 – Horário e Potência dos equipamentos

EQUIPAMENTO	HORÁRIO LIGAR	HORÁRIO DESLIGAR	POTÊNCIA
Inversor	9:00	20:00	1000W
Freezer	9:00	17:00	107W
Bomba d'água	11:00	13:00	370W
Tomadas	9:00	20:00	40W

Para proteção das baterias foi estudado o manual técnico da mesma, modelo Heliar Freedom DF2000, com o estudo definiu-se valores de tensão para funcionamento do dispositivo, presentes na tabela 2. Lembrando que quanto menor a profundidade de descarga das baterias maior sua vida útil.

Tabela 2 – Modos de operação × Tensão

MODO	TENSÃO
Ultra Low Voltage	< 11.5 V
Low Voltage	11.5 V a 12.0 V
OK	12.0 V a 15.0 V
High Voltage	> 15.0 V

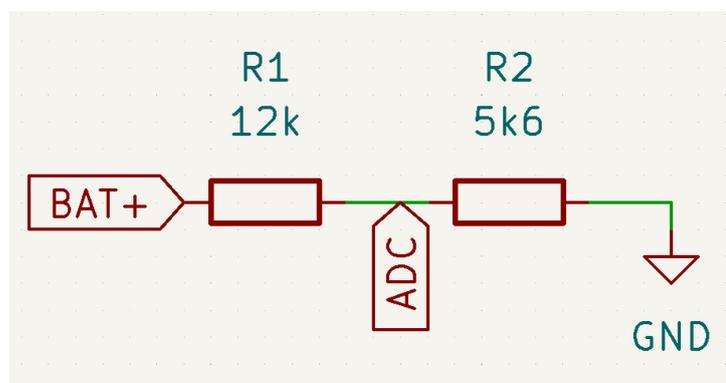
2.2 DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE

Devido a necessidade de monitorar a tensão das baterias para proteção das mesmas, desenhou-se um circuito para realizar a medição da tensão da bateria que funciona por volta de 12.6 V, essa tensão não é suportada pelo conversor ADC do Arduino que trabalha de 0 a 5 V com 10 bits de resolução, sendo o nível 0 V equivalente ao valor 0 e a tensão 5 V equivalente ao valor 1023. Dessa forma o uso de um divisor de tensão é indispensável. Desenhou-se um divisor de tensão com uma relação de 7 para 15, dessa forma é possível ler valores de tensão maiores que os 5 V suportados pelo arduino. Essa relação de resistores deve ser considerada no *firmware*, para que uma leitura precisa seja realizada. A equação 1 representa a tensão que vai para o ADC do Arduino Nano.

$$V_{ADC} = V_{BAT} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

Passando a relação do divisor de tensão, para valores comerciais, utilizou-se resistores de 5.6 k Ω e 12 k Ω . Dessa forma é possível ler tensões de até 15.7 V. Para escolha dos valores também foi levado em consideração a impedância interna do ADC do Arduino que é por volta de 20 k Ω .

Figura 20 – Circuito divisor de tensão

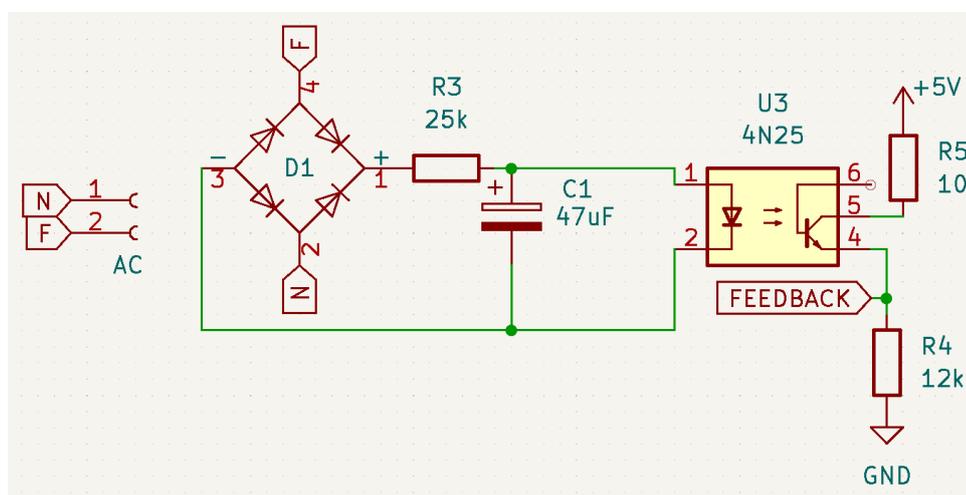


Fonte: Própria Autoria

Outro circuito necessário no *hardware* é um circuito para realizar o *feedback*. Identificando se o inversor ligou ou não. Esse circuito deve ser capaz de transformar 127 VAC em 5 VDC. Para isso foi utilizado uma ponte retificadora, um resistor de potência, um optoacoplador, um capacitor e mais dois resistores. O optoacoplador é utilizado para isolar completamente o microcontrolador do circuito AC.

A tensão AC entra pelo conector, é retificada pela ponte de diodos, passa por um resistor para limitar a corrente do led do optoacoplador e por um capacitor para diminuir o *ripple* da tensão no LED. Esse LED por sua vez, aciona o fototransistor do optoacoplador e gera uma diferença de potencial de aproximadamente 5 V em um resistor ligado em paralelo a uma entrada digital do Arduino Nano. O circuito desenvolvido pode ser visto na figura 21:

Figura 21 – Circuito de feedback



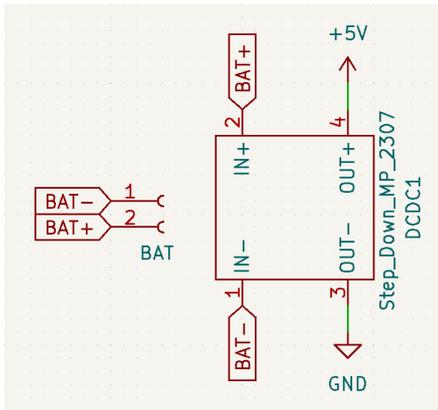
Fonte: Própria Autoria

Com os circuitos auxiliares desenvolvidos, começou-se a projetar as conexões dos módulos. Começando pelo *Step Down* MP2307, o componente foi criado no *software* KiCad, pois não estava disponível em sua biblioteca padrão. Conectou-se as entradas do módulo em um conector KRE de duas vias que receberá a tensão da bateria. A saída foi projetada para fornecer uma tensão de 5 V, em um barramento criado na placa para alimentar os diversos componentes que trabalham com essa tensão. O circuito *step down* e sua ligação pode ser visto na figura 22.

Outro componente que também foi criado no KiCad foi o módulo RTC DS3231, que trabalha com o protocolo de comunicação I2C, seus conectores foram ligados em paralelo com os conectores do Display LCD I2C. O circuito do RTC pode ser visto na figura 23 e a conexão para o Display pode ser visto na figura 24.

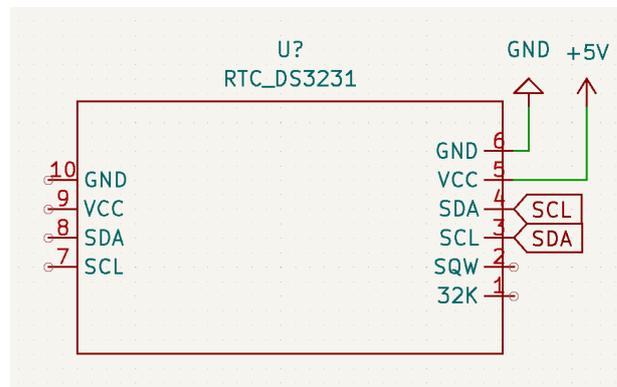
Os relés serão utilizados de forma externa, por meio de um módulo relé de 4 canais, por esse motivo foi deixado um conector no projeto referente aos 6 terminais do módulo, sendo 2 deles para alimentação e 4 para controle dos relés. O circuito no KiCad pode ser visto na figura 25.

Figura 22 – Circuito Step Down



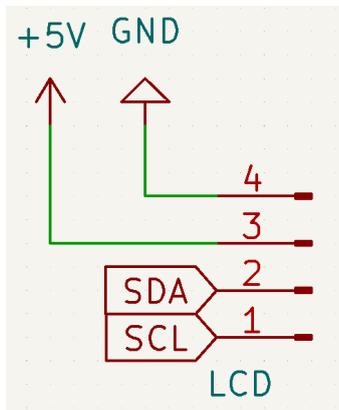
Fonte: Própria Autoria

Figura 23 – Circuito DS3231



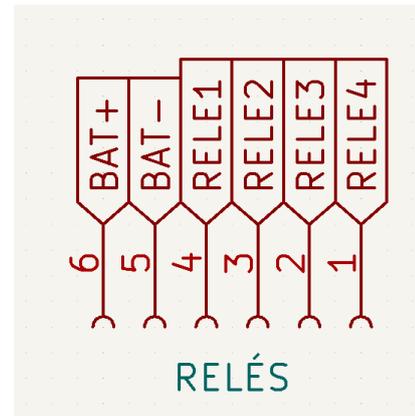
Fonte: Própria Autoria

Figura 24 – Conexão Display LCD



Fonte: Própria Autoria

Figura 25 – Conexão Relés



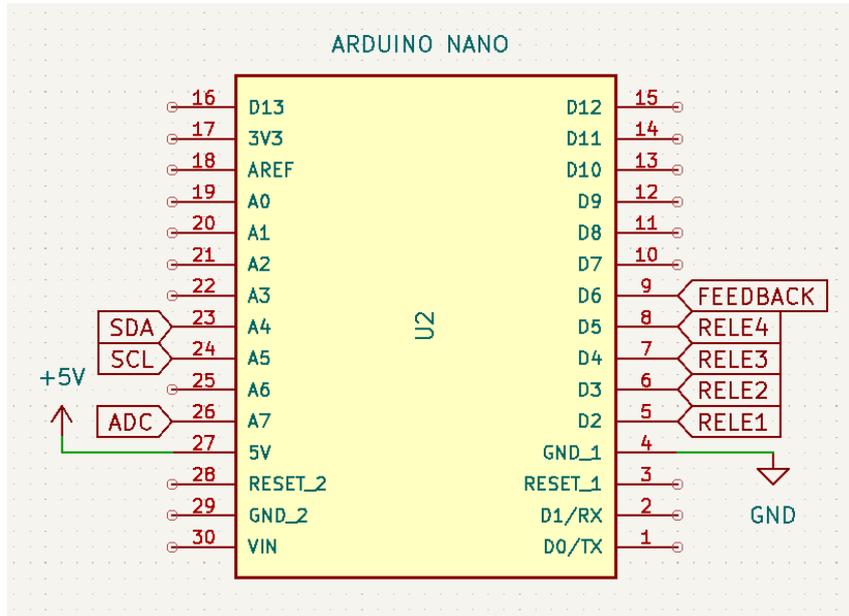
Fonte: Própria Autoria

Por último foram realizadas todas as ligações no Arduino Nano, foram utilizadas *labels* para deixar o circuito mais limpo. O resultado pode ser visto na figura 26. Dessa forma se obteve um esquemático completo, que pode ser visto na figura 27.

Com o esquemático pronto no Kicad, foram realizadas as associações dos símbolos com os *footprints* dos componentes, para então gerar o *layout* da placa. Os componentes foram organizados de forma manual, e posteriormente, foram criadas as trilhas para conexão entre os componentes, utilizando duas camadas de cobre, chamadas de *top layer* e *botton layer*, o resultado pode ser visto na figura 28.

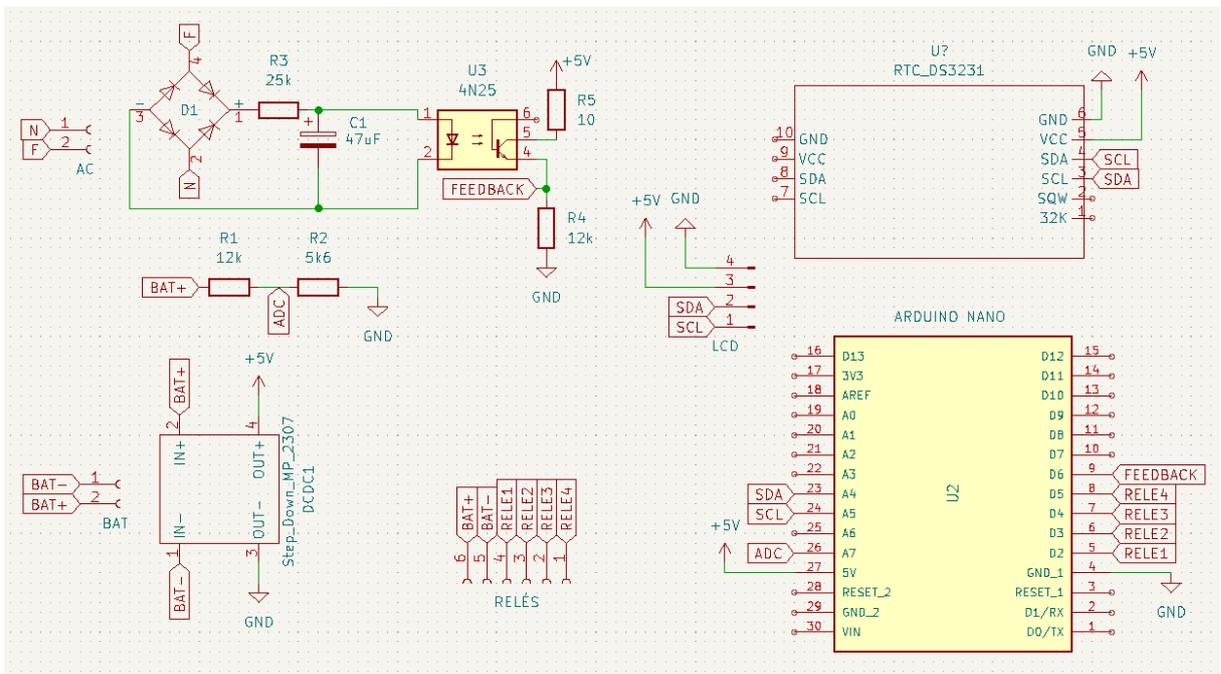
A Vista 3D da placa foi renderizada no *software* e pode ser vista na figura 29.

Figura 26 – Circuito do Arduino Nano



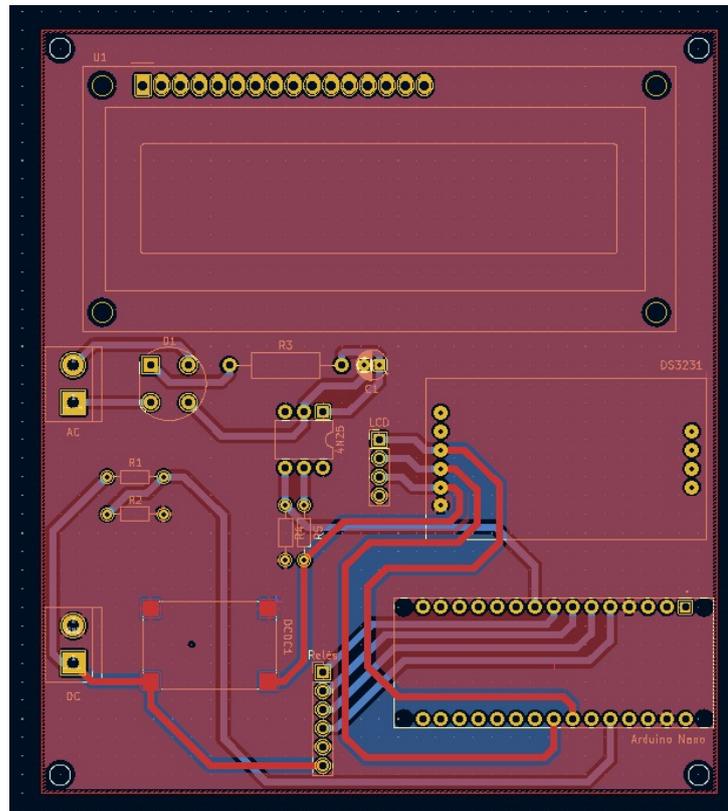
Fonte: Própria Autoria

Figura 27 – Circuito completo no software Kicad



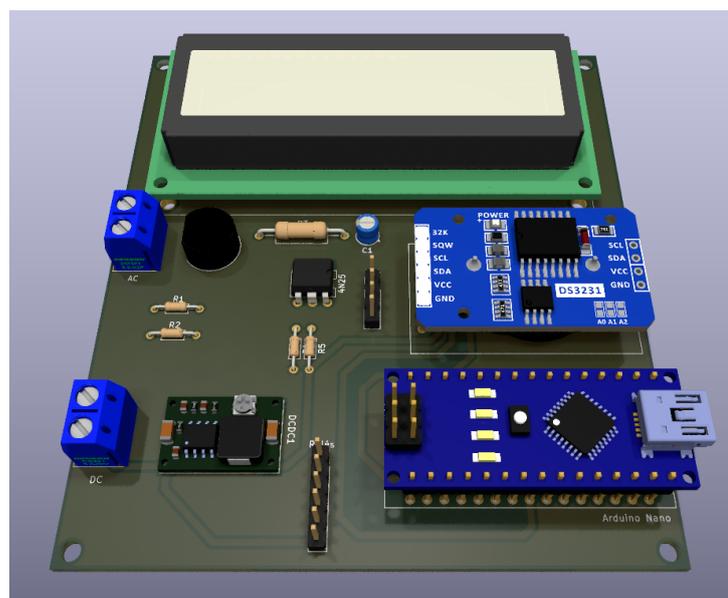
Fonte: Própria Autoria

Figura 28 – Camadas da PCB



Fonte: Própria Autoria

Figura 29 – Vista 3D da PCB



Fonte: Própria Autoria

2.2.1 Prototipação do Hardware em placa

Após as definições do projeto, partiu-se para a prototipação da placa. Os componentes utilizados são listados abaixo:

- 1 Arduino Nano;
- 1 Real Time Clock DS3231;
- 1 Display LCD 16x2;
- 1 Módulo Relé 4 Canais;
- 1 Módulo Step Down MP2307;
- 2 Conectores KRE 2 Vias;
- 1 Ponte retificadora 2A;
- 1 Capacitor 47 μ F;
- 1 Resistor de 5.6 k Ω ;
- 1 Resistor de 10 Ω ;
- 2 Resistores de 12 k Ω ;
- 6 Resistores de 150 k Ω ;
- 1 Optoacoplador 4N25;
- 1 Placa padrão tipo ilha;
- 1 Case

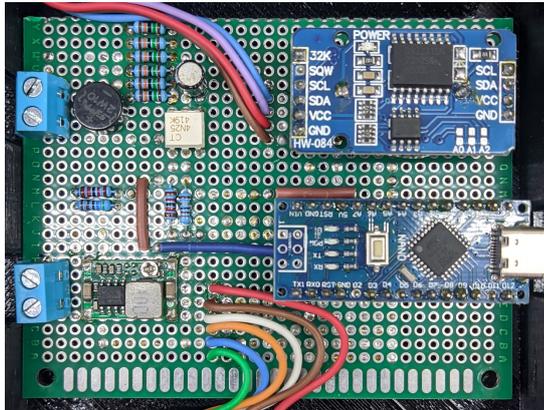
Decidiu-se realizar o projeto em uma placa padrão tipo ilha, para validar o dispositivo e agilizar o processo de montagem. Para entrada de tensão AC e DC foram utilizados dois conectores KRE de duas vias, os módulos foram conectados por meio de barras de pinos. A montagem da placa pode ser vista na figura 30.

Com a placa principal prototipada, foi realizada a conexão dos periféricos, display LCD e módulo relé. E as placas foram fixadas em um case para posterior instalação na residência. O resultado pode ser visto na figura 31.

2.3 DESENVOLVIMENTO DO FIRMWARE

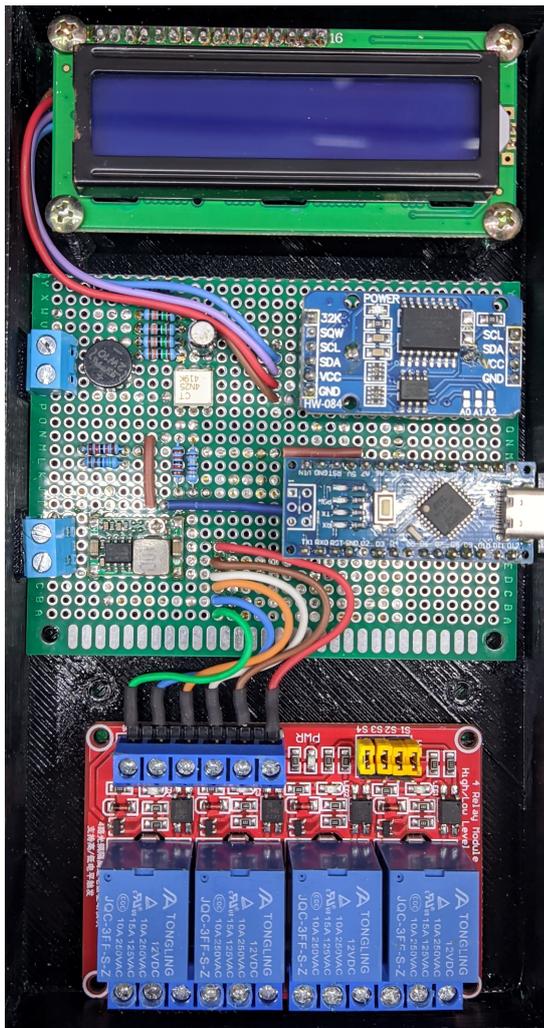
Depois que o circuito foi implementado fisicamente em placa padrão, desenvolveu-se o *firmware* do dispositivo. Para isso idealizou-se um programa por meio de um fluxograma, que pode ser visto na figura 32.

Figura 30 – Placa prototipada



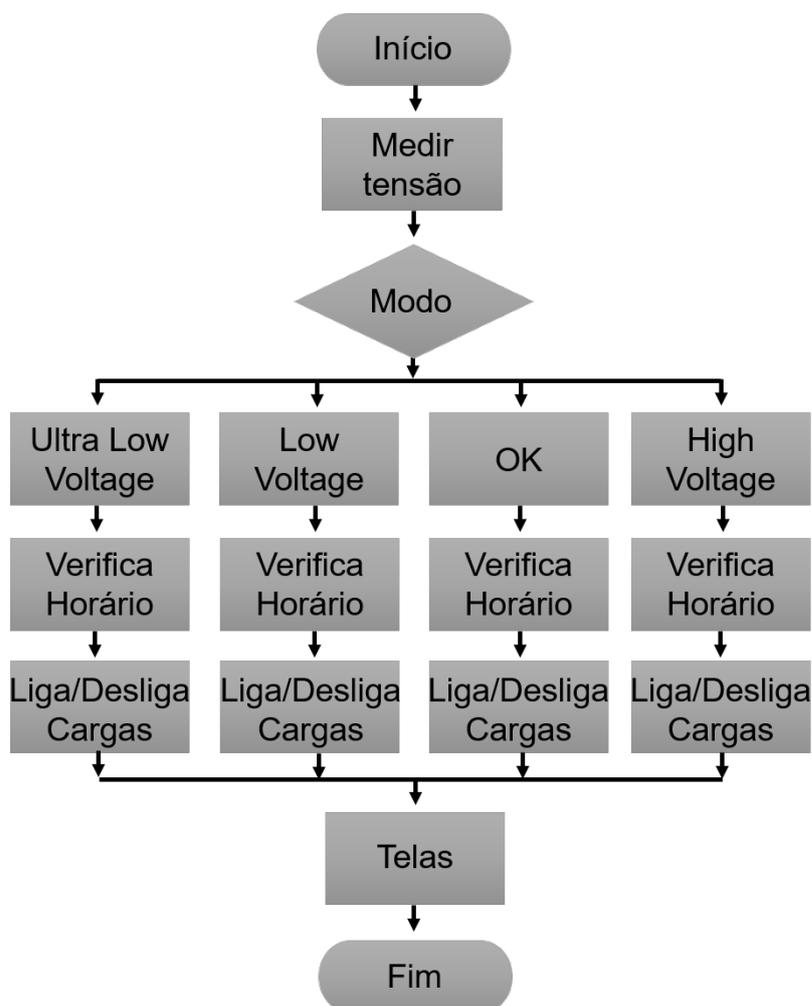
Fonte: Própria Autoria

Figura 31 – Placas montadas no case



Fonte: Própria Autoria

Figura 32 – Fluxograma do Firmware



Fonte: Própria Autoria

O programa realiza a aferição de tensão das baterias constantemente, incluindo as medições em uma média que é considerada a cada 5 minutos, melhorando a precisão da medição. Esses valores de tensão servem para identificar qual modo de funcionamento o dispositivo deve obedecer. Os modos de funcionamento são: *Ultra Low Voltage*, *Low Voltage*, *OK* e *High Voltage*. A partir desses modos se definem quais equipamentos estarão em funcionamento como pode ser visto na tabela 3, os equipamentos marcados com X funcionam no modo em questão.

Tabela 3 – Modos de funcionamento

MODO	INVERSOR	FREEZER	BOMBA	TOMADAS
Ultra Low Voltage				
Low Voltage	X	X		
OK	X	X	X	X
High Voltage				

A cada 5 minutos a medida de tensão é passada para outras quatro variáveis, que armazenam as médias de tensão diária, semanal, mensal e anual. Assim é possível relacionar de maneira indireta a geração e consumo do sistema, para comparação com outros dias, semanas ou meses.

Para aferição da tensão da bateria, realizou-se um ajuste no código relacionado a entrada analógica. Como a tensão da bateria é maior que 5 V ela não pode ser ligada diretamente no ADC do Arduino Nano, então um divisor de tensão foi utilizado. A equação 2 representa o cálculo da tensão da bateria. Sendo 5.1 a tensão de alimentação, 3.16 a relação do divisor de tensão e 1023 o valor máximo do ADC.

$$V_{BAT} = Value_ADC \times \frac{5.1 \times 3.16}{1023} \quad (2)$$

O *firmware* possui um recurso para contagem de erros ocorridos, definindo um erro como a ausência de tensão na saída do inversor quando ela deveria existir. Quando um erro ocorre o dispositivo desliga e tenta religar após 20 minutos. Cada tentativa de religar sem sucesso incrementa o contador de erros.

Três bibliotecas foram utilizadas para agilizar o processo de programação, a biblioteca Wire.h serve para realizar a comunicação com dispositivos que utilizam o protocolo I2C, a biblioteca DS3231.h otimiza a utilização do RTC por meio de funções para leitura de data e hora, e por último a biblioteca LiquidCrystal_I2C.h que facilita o interfaceamento entre o microcontrolador e o display LCD, com diversos caracteres e símbolos essenciais para a comunicação com o usuário.

3 TESTES E RESULTADOS

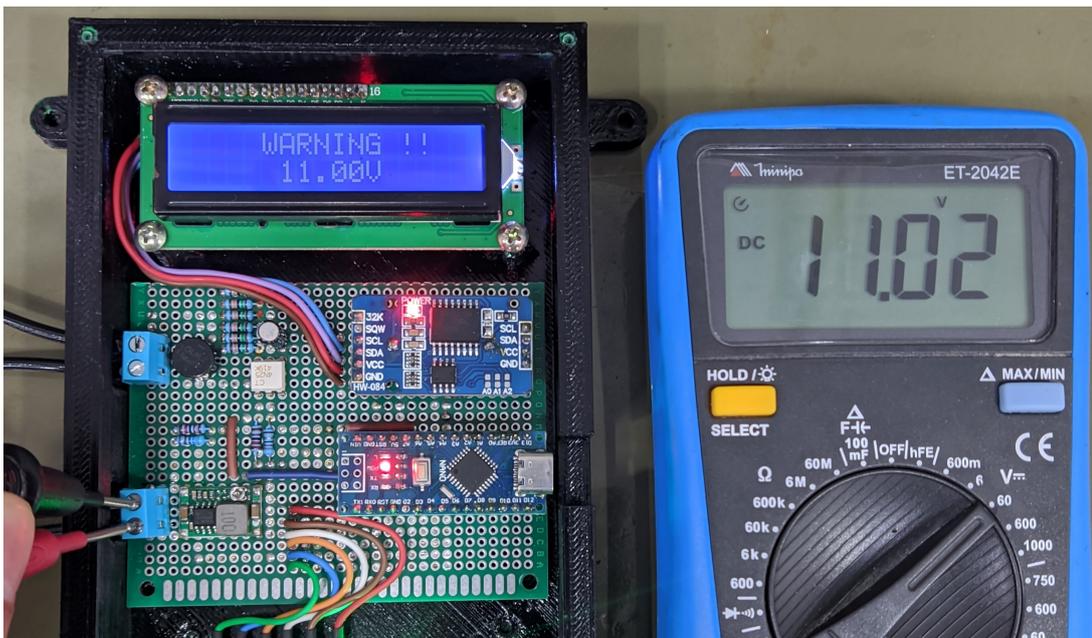
Neste último capítulo, serão apresentados os testes realizados e os resultados obtidos após o desenvolvimento do dispositivo.

1. Validação do circuito medidor da tensão da bateria, por meio do conversor ADC.
2. Validação dos modos de funcionamento;
3. Validação das telas;
4. Instalação do dispositivo;
5. Validação pós-instalação;

3.1 VALIDAÇÃO DO CIRCUITO MEDIDOR DE TENSÃO

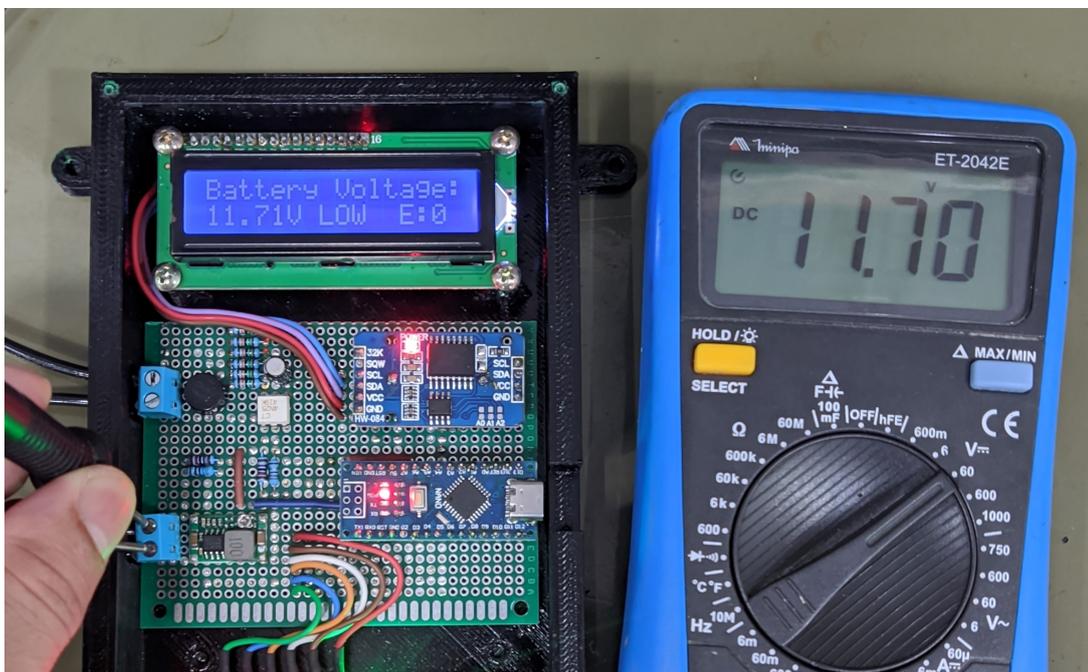
Para definir o modo de funcionamento do dispositivo, se faz necessário uma medição precisa da tensão DC das baterias. O circuito responsável pela medição foi testado em diversas tensões para verificar a acurácia do dispositivo e de suas medições, evitando erros cumulativos. A figura 33 representa a medição de tensão no modo *Ultra Low Voltage*, a figura 34 no modo *Low Voltage*, a figura 35 a tensão do modo *OK* (tensão normal) e a figura 36 as tensões mais altas, do modo *High Voltage*.

Figura 33 – Medição de tensão Ultra Low Voltage



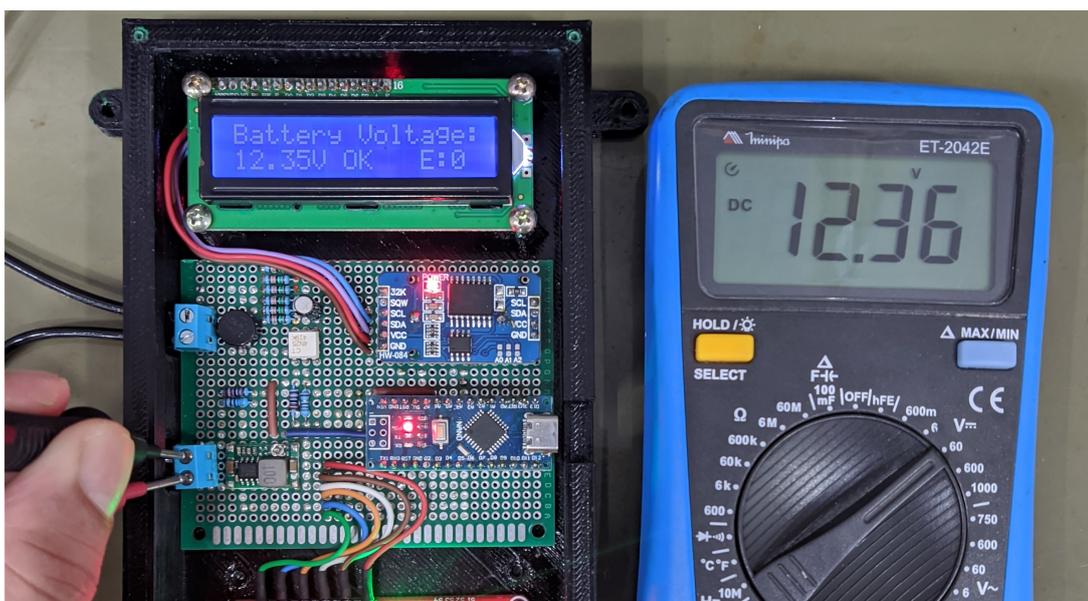
Fonte: Própria Autoria

Figura 34 – Medição de tensão Low Voltage



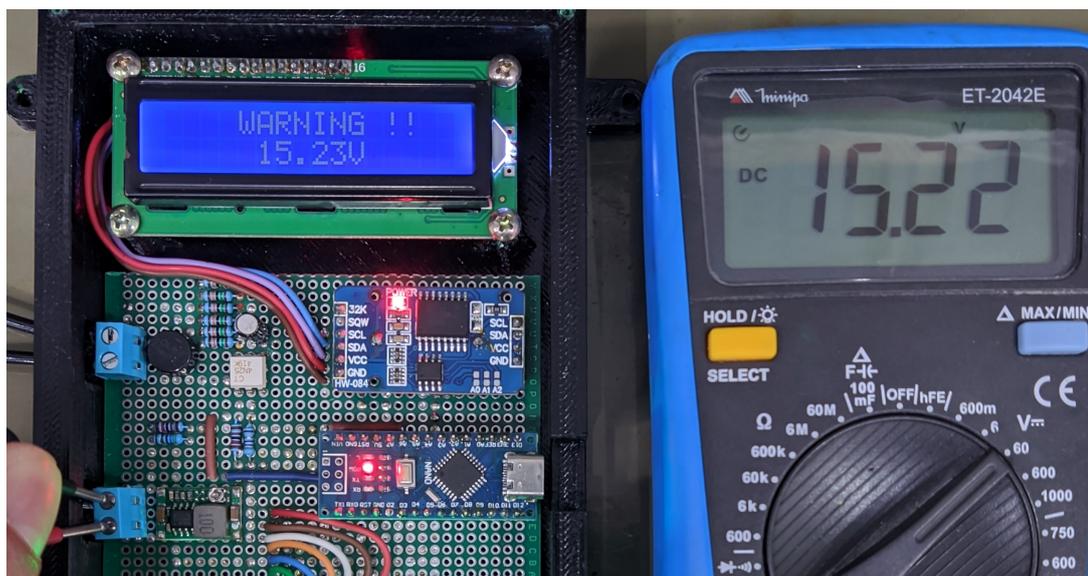
Fonte: Própria Autoria

Figura 35 – Medição de tensão OK



Fonte: Própria Autoria

Figura 36 – Medição de tensão High Voltage



Fonte: Própria Autoria

Com as medições realizadas é possível identificar uma pequena variação entre as medições do dispositivo com as medições do multímetro, variação aceitável a nível de projeto, visto que o erro máximo encontrado foi da ordem de 20 mV. A tabela 4 mostra o erro em cada medição.

Tabela 4 – Erro na medição de tensão do dispositivo

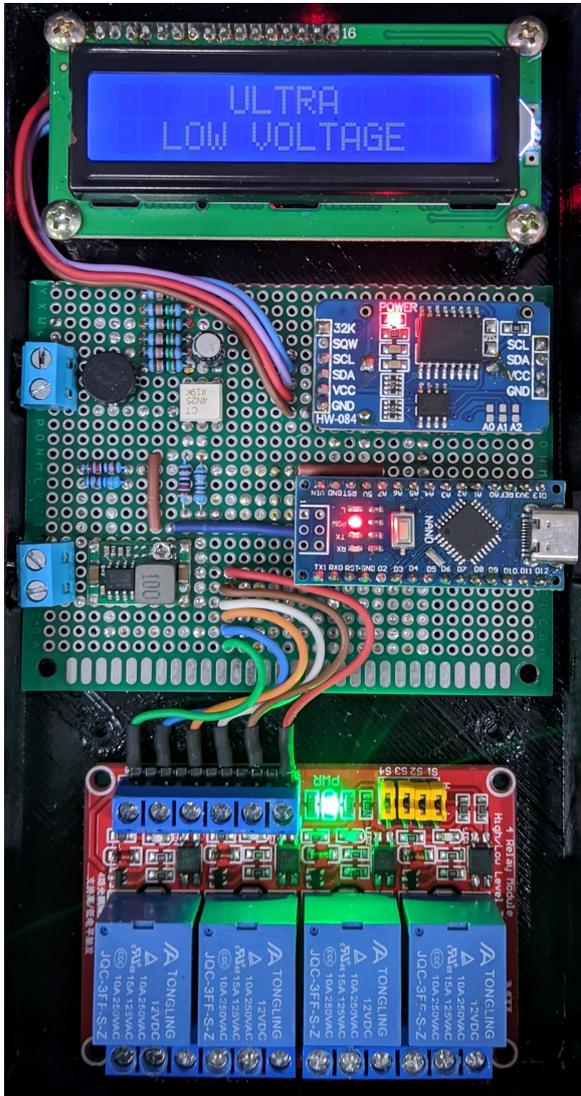
MODO	TENSÃO DISPOSITIVO	TENSÃO MULTÍMETRO	ERRO
Ultra Low Voltage	11.00	11.02	- 0.02 V
Low Voltage	11.71 V	11.70 V	+ 0.01 V
OK	11.35 V	11.36 V	- 0.01 V
High Voltage	15.23 V	15.22 V	+ 0.01 V

3.2 VALIDAÇÃO DOS MODOS DE FUNCIONAMENTO

Com relação aos modos de funcionamento foi possível validar sua execução simulando a variação de tensão da bateria com uma fonte DC modelo Minipa MPC-3005. A figura 37 representa o funcionamento do modo *Ultra Low Voltage*, com todos os relés sendo desligados para proteção das baterias do sistema. Em seguida, na figura 38 é apresentado o modo *Low Voltage*. Com apenas o relé do inversor e do freezer ligados, dando preferência a carga essencial do sistema. O próximo modo representado na figura 39 é o modo onde a tensão está *OK*, nesse modo todos os relés podem ser acionados, permitindo o funcionamento pleno de todos os equipamentos do sistema. Por último, representado na figura 40 o modo *High voltage*, onde

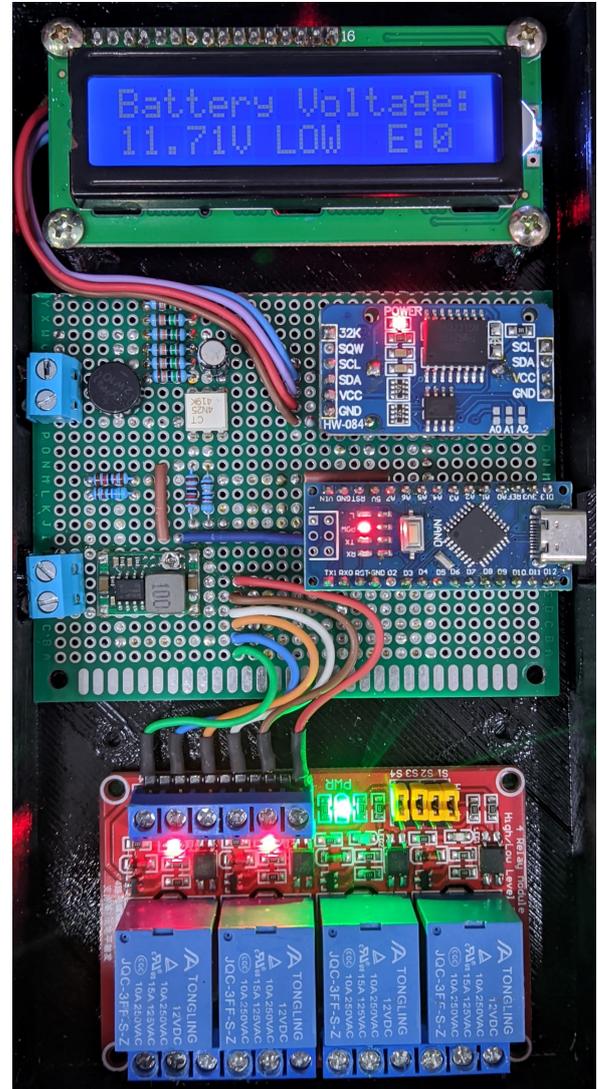
o sistema também entra em proteção desligando todas as cargas, para proteger o inversor de sobretensão.

Figura 37 – Modo Ultra Low Voltage



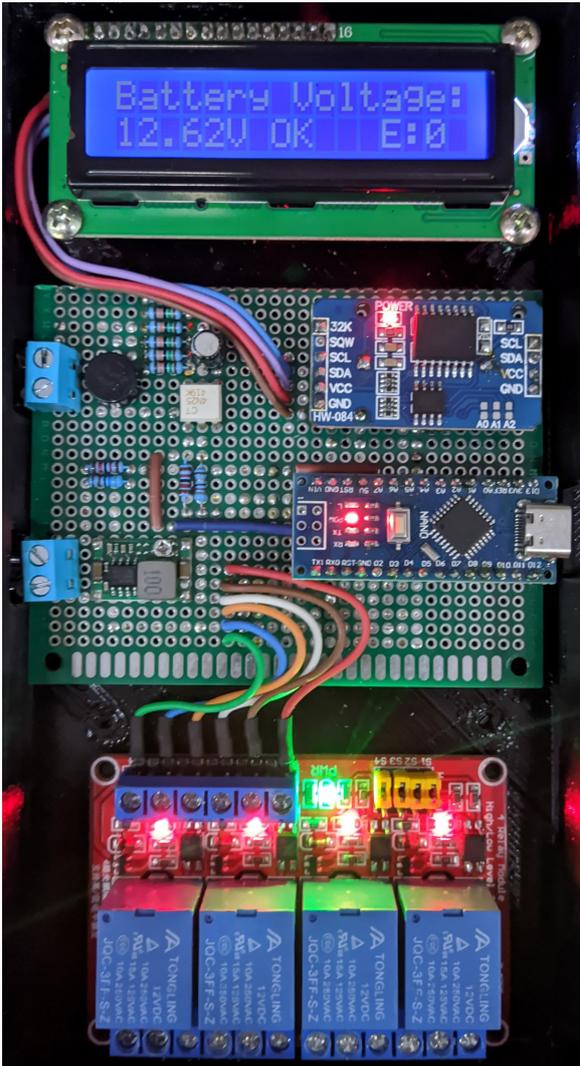
Fonte: Própria Autoria

Figura 38 – Modo Low Voltage



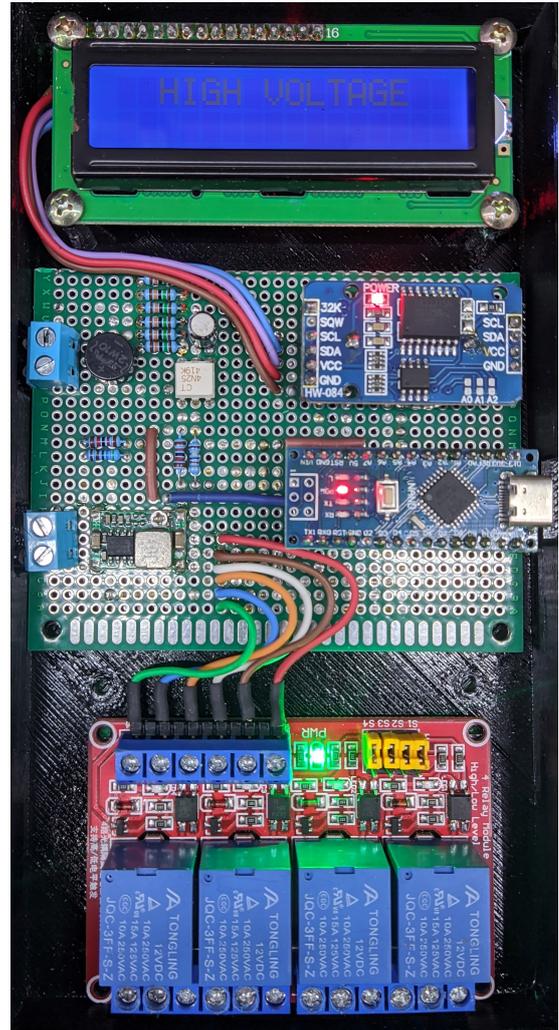
Fonte: Própria Autoria

Figura 39 – Modo OK



Fonte: Própria Autoria

Figura 40 – Modo High Voltage



Fonte: Própria Autoria

Cada LED Vermelho aceso no módulo relé indica que o relé abaixo dele está sendo alimentado, ou seja está permitindo a passagem de corrente entre o contato C (*Common*) e o contato NO (*Normally Open*). Sendo possível visualizar quais cargas estão operantes em cada modo do dispositivo.

3.3 VALIDAÇÃO DAS TELAS

Com relação as telas, foram emuladas todas as funcionalidades do dispositivo utilizando uma fonte de tensão ajustável e uma tomada 127 V, para alimentar o circuito de *feedback*, dessa forma foi possível observar e validar todas as telas.

As telas são divididas em três tipos. Tela de inicialização, as telas principais que ficam sendo mostradas pelo dispositivo de forma sequencial e as telas de alerta, que são mostradas quando ocorre algum evento específico.

A tela de inicialização, vista na figura 41 apresenta apenas o nome do autor do projeto, e só é apresentada ao ligar o dispositivo.

Figura 41 – Tela de inicialização



Fonte: Própria Autoria

As figuras 42, 43, 44, 45 apresentam as telas principais, que ficam alternando durante o funcionamento do equipamento. Essas telas mostram respectivamente o modo de operação do equipamento com a tensão da bateria; data e hora; status das cargas e por último a média das tensões.



Figura 42 – Tela modo e tensão

Fonte: Própria Autoria



Figura 43 – Tela data e hora

Fonte: Própria Autoria



Figura 44 – Tela estado das cargas

Fonte: Própria Autoria



Figura 45 – Tela medias de tensão

Fonte: Própria Autoria

As telas de alerta são apresentadas desde a figura 46 até a figura 59.



Figura 46 – Tela Ultra Low Voltage

Fonte: Própria Autoria



Figura 47 – Tela warning Ultra Low Voltage

Fonte: Própria Autoria



Figura 48 – Tela High Voltage

Fonte: Própria Autoria



Figura 49 – Tela warning High Voltage

Fonte: Própria Autoria



Figura 50 – Tela tentativa de ligar inversor

Fonte: Própria Autoria

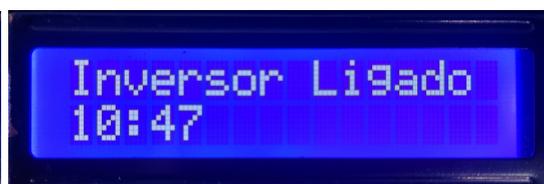


Figura 51 – Tela inversor ligado

Fonte: Própria Autoria



Figura 52 – Tela freezer ligado

Fonte: Própria Autoria



Figura 53 – Tela tomadas ligadas

Fonte: Própria Autoria



Figura 54 – Tela bomba ligada

Fonte: Própria Autoria



Figura 55 – Tela inversor desligado

Fonte: Própria Autoria



Figura 56 – Tela freezer desligado

Fonte: Própria Autoria



Figura 57 – Tela bomba desligada

Fonte: Própria Autoria



Figura 58 – Tela tomadas desligadas

Fonte: Própria Autoria



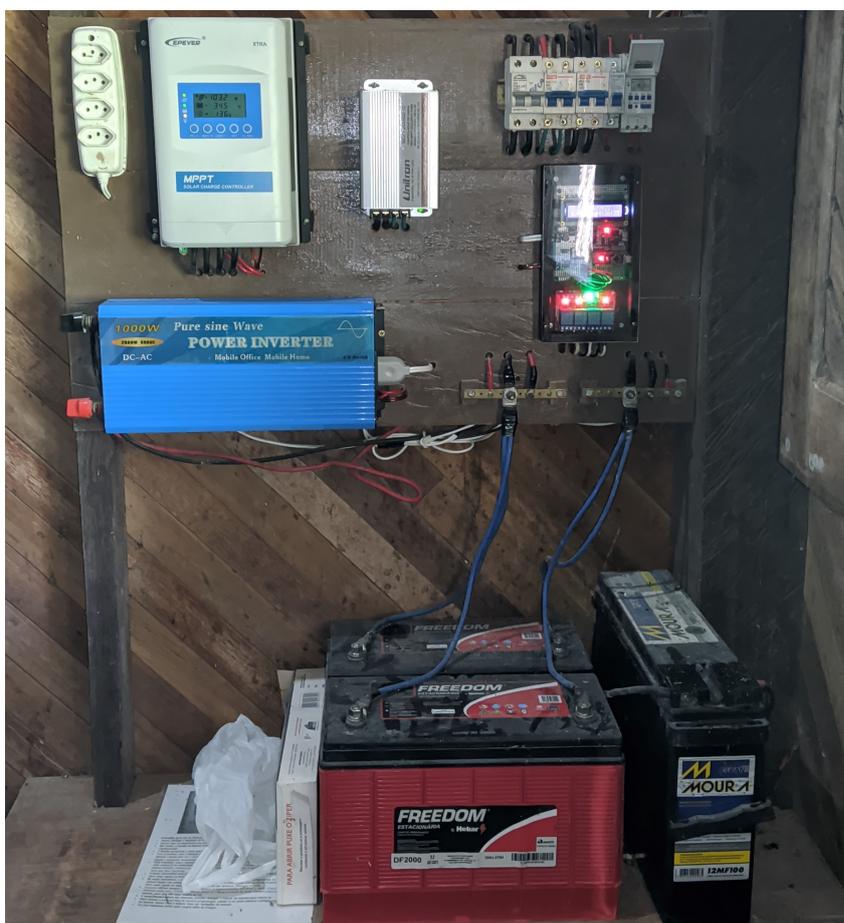
Figura 59 – Tela falha inversor

Fonte: Própria Autoria

3.4 INSTALAÇÃO DO DISPOSITIVO

Após a validação de todos os modos e telas do dispositivo, foi realizada a instalação do mesmo na residência que foi tomada como referência. A figura 60 mostra a configuração do quadro onde ficam os equipamentos, já com o dispositivo instalado e funcionando. Para controle do inversor foi instalado um conector na parte externa do mesmo com contatos em paralelo com os contatos da chave ON/OFF do inversor, desse modo foi possível controlar quando o mesmo deveria ser ligado ou desligado, por meio de um relé dedicado a este propósito.

Figura 60 – Dispositivo instalado



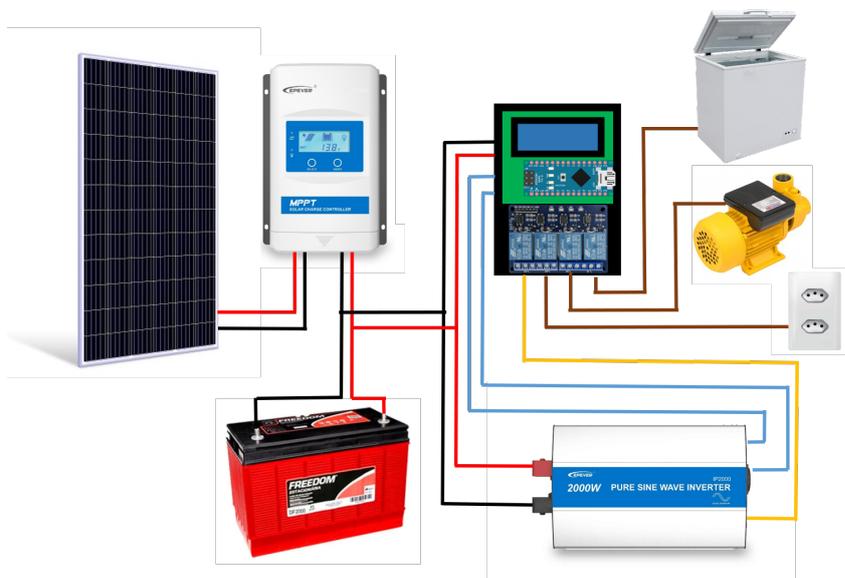
Fonte: Própria Autoria

A figura 61 ilustra um diagrama básico de instalação do dispositivo.

3.5 VALIDAÇÃO PÓS-INSTALAÇÃO

Após instalação do dispositivo, partiu-se para validação de suas funções, dessa vez com os equipamentos reais que seriam utilizados. Ligou-se o dispositivo e esperou-se o horário de funcionamento de cada equipamento. Às 9 horas da manhã o inversor foi acionado, logo em seguida o dispositivo validou a tensão existente na saída do inversor, por meio do circuito de

Figura 61 – Diagrama básico da instalação



Fonte: Própria Autoria

feedback, com essa validação o dispositivo passou para o acionamento do freezer e posteriormente disponibilizou tensão nas tomadas da casa. O consumo de corrente AC na saída do inversor pode ser verificado na figura 62. O freezer em funcionamento pode ser visto na figura 63, é possível notar a criação de gelo nas paredes internas do mesmo, validando o funcionamento.

Figura 62 – Consumo de corrente AC



Fonte: Própria Autoria

Figura 63 – Freezer em funcionamento



Fonte: Própria Autoria

Às 11 hrs o dispositivo disponibilizou tensão na tomada da bomba d'água e assim os moradores puderam acioná-la para que a caixa fosse cheia. O sistema de bombeamento pode ser visto na figura 64 e a caixa enchendo por meio do acionamento da bomba pode ser visto na figura 65. Os horários de desligamento das cargas também foram concretizados.

Após alguns dias foi registrado um erro. Tal fato ocorreu após dois dias nublados com baixa geração fotovoltaica. Pela manhã quando o dispositivo tentou ligar o freezer o inversor desarmou, configurando assim um erro. O erro foi registrado pelo contador de erros do dispositivo e pode ser visto na figura 66. Quando um erro acontece o dispositivo desliga todas as cargas, espera 20 min e tenta reiniciar o funcionamento das cargas. E foi exatamente isso que aconteceu. Após 20 minutos, já com uma irradiação solar maior. O dispositivo conseguiu dar partida no freezer.

O dispositivo teve seu funcionamento avaliado por aproximadamente 30 dias, gerenciando de forma correta o horário de funcionamento das cargas, eximindo os moradores dessa preocupação e responsabilidade. O morador agora pode se ausentar da residência aos finais de semana, sem precisar se preocupar com água gelada e com as comidas do freezer. O sistema fotovoltaico foi melhor aproveitado com os novos horários definidos.



Figura 64 – Sistema de bombeamento

Fonte: Própria Autoria

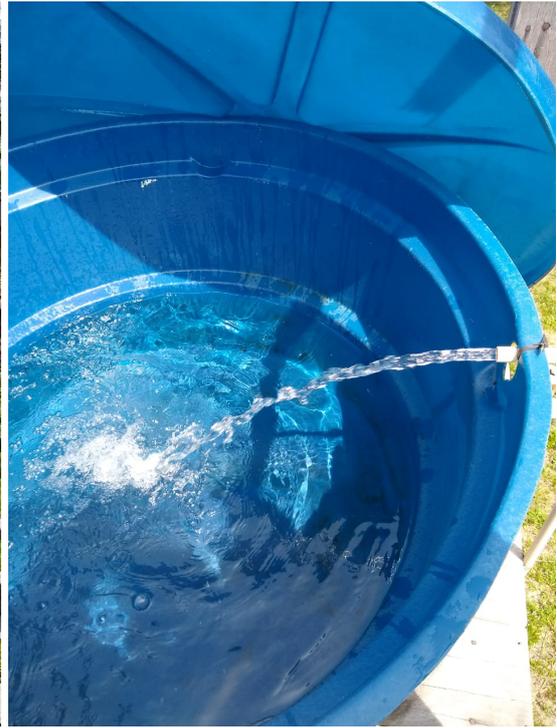


Figura 65 – Caixa d'água enchendo

Fonte: Própria Autoria

Figura 66 – Registro de erros



Fonte: Própria Autoria

4 CONCLUSÃO

Esta monografia teve por intuito desenvolver um *hardware* microcontrolado para gerenciar o funcionamento de cargas em um sistema fotovoltaico *offgrid*, permitindo uma maior maior autonomia do sistema.

No começo do trabalho foi realizado um estudo sobre toda a instalação da residência onde o dispositivo foi implementado, além de um levantamento detalhado sobre as cargas utilizadas pelos moradores, incluindo o tempo de funcionamento de cada uma. Esse estudo foi essencial para definir o horário de funcionamento e prioridade de cada equipamento, de modo a suprir da melhor forma a necessidade dos moradores.

No desenvolvimento proposto para o trabalho foi projetado e implementado um *hardware* para controle de cargas e de um inversor *off grid*, coletando o nível de tensão do banco de baterias, horário do RTC e um *feedback* de tensão do inversor. Para com esses dados poder gerenciar da melhor forma os equipamentos. Em seguida desenhou-se o diagrama elétrico no *software* KiCad, para logo em seguida desenhar um modelo de placa de circuito impresso, esse modelo foi tomado como base para a prototipação do circuito em placa padrão tipo ilha. Por último foi desenvolvido o *firmware* do dispositivo, onde foram configurados horários de funcionamento e prioridade dos equipamentos, por meio dos modos de funcionamento.

Os *softwares* utilizados para o desenvolvimento do trabalho são gratuitos. A arduino IDE já está consolidada em ambientes acadêmicos para programação de microcontroladores. O KiCad por sua vez também vem ganhando espaço no mercado, principalmente por ser gratuito e estar em constante evolução. Por meio dele foi possível criar um esquemático e uma PCB do projeto, além de permitir a vista 3D da mesma.

Avaliando os objetivos e os resultados alcançados é possível afirmar que o projeto obteve sucesso no que se propõe, visto que foi possível tornar o sistema *off grid* da residência mais independente dos moradores, poupando tempo dos mesmos, além de operar o sistema de forma mais precisa e garantir maior segurança para os componentes do sistema. Durante um período de 30 dias foi verificado o funcionamento do sistema e validado as funcionalidades. Incluindo telas e modos de operação.

Por fim sugere-se como melhoria uma maior precisão no horário de ligar e desligar as cargas, utilizando os minutos como parâmetro. Também se tornaria interessante um sistema de menu para maior facilidade de configuração do equipamento, e a utilização de alguma rede sem fio, combinada com outros dispositivos para controlar cada tomada da casa individualmente, aumentando a precisão do sistema.

REFERÊNCIAS

- ANICETO, J. M. A. *Conversor DC-DC com busca de ponto de potência máxima (MPPT) para painéis solares*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2010.
- ARDUINOSTORE. *Arduino Nano*. 2022. Disponível em: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-nano?selectedStore=us>. Acesso em: 12 agosto 2022.
- AUTOCORE, B. R. *Como utilizar o optoacoplador 4N25 com Arduino?* 2022. Disponível em: <https://autocorerobotica.blog.br/como-utilizar-o-optoacoplador-4n25-com-arduino/>. Acesso em: 07 agosto 2022.
- EPEVER. *Products*. 2022. Disponível em: <https://www.epever.com/products/>. Acesso em: 10 agosto 2022.
- FREEDOM. *Produtos*. 2022. Disponível em: <https://www.freedomestacionaria.com.br/produtos>. Acesso em: 11 agosto 2022.
- GROWATT. *Growatt Hope 4.8L-T1 Battery*. 2022. Disponível em: <https://www.ginverter.com/Off-Grid-Storage-Inverters/44-667.html>. Acesso em: 11 agosto 2022.
- KICAD. *Documentation KiCad*. 2022. Disponível em: <https://docs.kicad.org/>. Acesso em: 12 janeiro 2023.
- LIMA, P. A. de; MONTEIRO, M. F. de M.; DOMINGOS, S. F. P. Viabilidade técnica de sistemas fotovoltaicos na zona rural do cabo de santo agostinho e transformação social. *RELACult-Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade*, v. 4, n. 3, 2018.
- MARELLI, M. *MANUAL DE INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BATERIAS ESTACIONÁRIAS*. 2023. Disponível em: <https://mmcofap.com.br/Arquivos/Manual-Estacionaria-MM.pdf>. Acesso em: 19 janeiro 2023.
- MATERWALKER, E. S. B. *Módulo Relé 4 Canais 5v com Optoacoplador*. 2022. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-modulo-rele-5v-de-4-canais.html>. Acesso em: 11 agosto 2022.
- MCROBERTS, M. *Arduino Básico*. [S.l.]: Novatec Editora Ltda, São paulo, 2011.
- NEOSOLAR. *Painel Solar Fotovoltaico 330W*. 2022. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-330w-osda-oda330-36-p.html>. Acesso em: 10 agosto 2022.
- OPPENHEIM, A.; SCHAFER, R. *Processamento em tempo discreto de sinais, 3 edição*. [S.l.]: Pearson Education do Brasil, São paulo, 2012.
- PORTALSOLAR. *História e origem da Energia Solar*. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/historia-e-origem-da-energia-solar>. Acesso em: 11 agosto 2022.
- SKTEC. *Entenda o que é uma bateria estacionária e para que serve*. 2022. Disponível em: <https://sktecenergia.com.br/o-que-e-uma-bateria-estacionaria/>. Acesso em: 01 agosto 2022.
- SOLARSUL. *Guerra das Correntes – Você conhece essa história?* 2022. Disponível em: <https://solarsul.eco.br/guerra-das-correntes-voce-conhece-essa-historia/>. Acesso em: 06 agosto 2022.

STA, S. e T. A. RONTEK. *Batrias de Lítio Íon - Fosfato de Lítio Ferro (LIFEPO4) - LFP*. 2022. Disponível em: <https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-lifepo4/baterias-de-litio-ion-fosfato-de-litio-ferro-lifepo4-lfp>. Acesso em: 05 agosto 2022.

THOMSEN, A. *Como fazer um Datalogger com arduino*. 2015. Disponível em: <https://solarsul.eco.br/guerra-das-correntes-voce-conhece-essa-historia/>. Acesso em: 03 agosto 2022.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. *Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações*. São Paulo: Érica, v. 2, 2012.

APÊNDICE A – CÓDIGO-FONTE UTILIZADO

```
1 #define voltage_meter A7
2 #define inversor 5
3 #define inversor_feedback 6
4 #define freezer 4
5 #define bomba 3
6 #define tomadas 2
7
8 #include <Wire.h>
9 #include <DS3231.h>
10 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
11
12 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
13
14 DS3231 rtc(SDA, SCL);
15
16 Time TEMPO;
17 int TEMPO_min_ant;
18 int TEMPO_seg_ant;
19 int TEMPO_tent_ant;
20 int erro = 0;
21 int modulo_medir_tensao;
22 int intervalo_medir_tensao = 5;
23 int modulo_intervalo;
24 int modulo_tentativa_inversor;
25 int intervalo_telas = 5;
26 int intervalo_tentativa = 20;
27 int tela=1;
28 int n_telas=4;
29
30 int hr_ligar_inversor = 9;
31 int hr_desligar_inversor = 20;
32 int hr_ligar_freezer = 9;
33 int hr_desligar_freezer = 16;
34 int hr_ligar_bomba = 10;
35 int hr_desligar_bomba = 14;
36 int hr_ligar_tomadas = 9;
37 int hr_desligar_tomadas = 20;
38
```

```
39 float media_dia = 0;
40 float soma_tensao_dia = 0;
41 float amostra_dia = 0;
42 float media_semana = 0;
43 float soma_tensao_semana = 0;
44 float amostra_semana = 0;
45 float media_mes = 0;
46 float soma_tensao_mes = 0;
47 float amostra_mes = 0;
48 float media_ano = 0;
49 float soma_tensao_ano = 0;
50 float amostra_ano = 0;
51
52 float sensorValue_media = 800.0;
53 float battery_voltage = 12.0;
54 String battery_status;
55 boolean status_inversor = false;
56 boolean status_feedback = false;
57 boolean status_freezer = false;
58 boolean status_bomba = false;
59 boolean status_tomadas = false;
60 boolean tentativa = false;
61
62 boolean ligar_inversor(){
63     digitalWrite(inversor, LOW);
64     delay(500);
65     digitalWrite(inversor, HIGH);
66     delay(5000);
67     status_feedback = digitalRead(inversor_feedback);
68     if(status_feedback == true){
69
70         lcd.clear();
71         lcd.setCursor(0, 0);
72         lcd.print("Inversor_Ligado");
73         lcd.setCursor(0, 1);
74         lcd.print(rtc.getTimeStr(FORMAT_SHORT));
75         n_telas=4;
76         delay(5000);
77         return(true);
```

```
78
79  }else{
80
81     lcd.clear();
82     lcd.setCursor(0, 0);
83     lcd.print("Falha_ao_Ligar");
84     lcd.setCursor(0, 1);
85     lcd.print("___Inversor");
86     digitalWrite(inversor, LOW);
87     delay(5000);
88     erro++;
89     return(false);
90
91  }
92 }
93
94 void medir_tensao(){
95
96     sensorValue_media=(sensorValue_media + analogRead(
97         voltage_meter))/2.0;
98     delay(15);
99     modulo_medir_tensao=abs((TEMPO.min)- TEMPO_min_ant);
100
101     if(modulo_medir_tensao >= intervalo_medir_tensao){
102
103         status_feedback = digitalRead(inversor_feedback);
104
105         if(status_feedback == false){
106             status_inversor = false;
107         }
108
109         battery_voltage = (sensorValue_media * (5.1*3.16/1023));//
110             (5.66k+11.93k)/5.66k e realizou-se um ajuste fino
111
112         sensorValue_media = 800;
113         TEMPO_min_ant = (TEMPO.min);
114
115         soma_tensao_dia = soma_tensao_dia + battery_voltage;
116         amostra_dia = amostra_dia + 1.0;
117         media_dia = soma_tensao_dia / amostra_dia;
```

```
115
116 soma_tensao_semana = soma_tensao_semana + battery_voltage;
117 amostra_semana = amostra_semana + 1.0;
118 media_semana = soma_tensao_semana / amostra_semana;
119
120 soma_tensao_mes = soma_tensao_mes + battery_voltage;
121 amostra_mes = amostra_mes + 1.0;
122 media_mes = soma_tensao_mes / amostra_mes;
123
124 soma_tensao_ano = soma_tensao_ano + battery_voltage;
125 amostra_ano = amostra_ano + 1.0;
126 media_ano = soma_tensao_ano / amostra_ano;
127 }
128 }
129 void medias () {
130
131     if ((TEMPO.hour) == 0 && (TEMPO.min) == 0 && media_dia != 0) {
132
133         soma_tensao_dia = 0;
134         amostra_dia = 0;
135         media_dia = 0;
136
137     }
138
139     if (rtc.getDOWStr() == "Domingo" && (TEMPO.hour) == 0 && (TEMPO
        .min) == 0 && media_semana != 0) {
140
141         soma_tensao_semana = 0;
142         amostra_semana = 0;
143         media_semana = 0;
144
145     }
146
147     if ((TEMPO.date) == 1 && (TEMPO.hour) == 0 && (TEMPO.min) == 0
        && media_mes != 0) {
148
149         soma_tensao_mes = 0;
150         amostra_mes = 0;
151         media_mes = 0;
```

```
152
153 }
154
155 if((TEMPO.mon)== 1 && (TEMPO.date)== 1 && (TEMPO.hour) == 0
    && (TEMPO.min) == 0 && media_ano != 0){
156
157     soma_tensao_ano = 0;
158     amostra_ano = 0;
159     media_ano = 0;
160
161 }
162 }
163
164 void telas(){
165     modulo_intervalo = abs((TEMPO.sec)- TEMPO_seg_ant);
166
167     if(modulo_intervalo >= intervalo_telas){
168
169         tela++;
170
171         if(tela>n_telas){
172
173             tela=1;
174         }
175
176         switch(tela){
177
178             case 1:
179                 lcd.clear();
180                 lcd.setCursor(3, 0);
181                 lcd.print(rtc.getDateStr(FORMAT_LONG));
182                 lcd.setCursor(0, 1);
183                 lcd.print(rtc.getDOWStr());
184                 lcd.setCursor(8, 1);
185                 lcd.print(rtc.getTimeStr(FORMAT_LONG));
186                 break;
187
188             case 2:
189                 lcd.clear();
```

```
190     lcd.setCursor(0, 0);
191     lcd.print("Battery_Voltage:");
192     lcd.setCursor(0, 1);
193     lcd.print(battery_voltage);
194     lcd.print("V");
195     lcd.setCursor(7, 1);
196     lcd.print(battery_status);
197     lcd.setCursor(12, 1);
198     lcd.print("E:");
199
200     if(erro<100){
201
202         lcd.print(erro);
203
204     }else{
205
206         lcd.print("++");
207     }
208     break;
209
210 case 3:
211     lcd.clear();
212     lcd.setCursor(0, 0);
213     lcd.print("Inv_Fre_Bom_Tom");
214
215     if(status_inversor==true){
216
217         lcd.setCursor(0, 1);
218         lcd.print("ON");
219
220     }else{
221
222         lcd.setCursor(0, 1);
223         lcd.print("OFF");
224     }
225
226     if(status_freezer==true){
227
228         lcd.setCursor(4, 1);
```

```
229         lcd.print("ON");
230
231     }else{
232
233         lcd.setCursor(4, 1);
234         lcd.print("OFF");
235     }
236
237     if(status_bomba==true){
238
239         lcd.setCursor(8, 1);
240         lcd.print("ON");
241
242     }else{
243
244         lcd.setCursor(8, 1);
245         lcd.print("OFF");
246     }
247
248     if(status_tomadas==true){
249
250         lcd.setCursor(12, 1);
251         lcd.print("ON");
252
253     }else{
254
255         lcd.setCursor(12, 1);
256         lcd.print("OFF");
257     }
258     break;
259
260 case 4:
261     lcd.clear();
262     lcd.setCursor(0, 0);
263     lcd.print("D:");
264     lcd.print(media_dia);
265     lcd.print("_");
266     lcd.print("S:");
267     lcd.print(media_semana);
```

```
268     lcd.setCursor(0, 1);
269     lcd.print("M:");
270     lcd.print(media_mes);
271     lcd.print("_");
272     lcd.print("A:");
273     lcd.print(media_ano);
274     break;
275
276     case 5:
277         lcd.clear();
278         lcd.setCursor(0, 0);
279         lcd.print("_Tentando_Ligar_");
280         lcd.setCursor(0, 1);
281         lcd.print("____Inversor____");
282         break;
283
284     }
285
286     TEMPO_seg_ant=(TEMPO.sec);
287
288 }
289 }
290
291 void setup() {
292
293     pinMode(inversor, OUTPUT);
294     pinMode(inversor_feedback, INPUT);
295     pinMode(freezer, OUTPUT);
296     pinMode(bomba, OUTPUT);
297     pinMode(tomadas, OUTPUT);
298     digitalWrite(inversor, LOW);
299     digitalWrite(freezer, LOW);
300     digitalWrite(bomba, LOW);
301     digitalWrite(tomadas, LOW);
302
303     rtc.begin();           //Inicializa o do RTC DS3231
304     //Descomente as linhas a seguir para configurar o hor rio,
        ap s comente e fa a o upload novamente para o Arduino
```

```
305 //rtc.setDOW(WEDNESDAY); // Definir o dia da semana em
    ingles
306 //rtc.setTime(13, 06, 00); // Definir a hora em formato
    de 24hrs
307 //rtc.setDate(20,04,2022);
308
309 lcd.init();
310 lcd.backlight();
311 lcd.print("_____TCC_____");
312 lcd.setCursor(0, 1);
313 lcd.print("_Thiago_Almeida_");
314
315 for(int i=0;i<150;i++){
316     sensorValue_media=(sensorValue_media + analogRead(
        voltage_meter))/2.0;
317     delay(20);
318 }
319
320 battery_voltage = (sensorValue_media * (5.1*3.16/1023));//
    (5.66k+11.93k)/5.66k e realizou-se um ajuste fino
321
322 lcd.clear();
323
324 TEMPO = rtc.getTime();
325 TEMPO_seg_ant = (TEMPO.sec);
326 TEMPO_min_ant = (TEMPO.min);
327 }
328
329 void loop() {
330
331     TEMPO = rtc.getTime();
332
333     medir_tensao();
334
335     if(battery_voltage<11.50){
336
337         battery_status = "ULTRA_LOW";
338
339         lcd.clear();
```

```
340     lcd.setCursor(0, 0);
341     lcd.print("____WARNING_!!__");
342     lcd.setCursor(5, 1);
343     lcd.print(battery_voltage);
344     lcd.print("V");
345     delay(5000);
346
347     lcd.clear();
348     lcd.setCursor(0, 0);
349     lcd.print("____ULTRA____");
350     lcd.setCursor(0, 1);
351     lcd.print("__LOW_VOLTAGE__");
352     delay(5000);
353
354     if(status_inversor == true){
355         lcd.clear();
356         lcd.setCursor(0, 0);
357         lcd.print("_TURNING_OFF_!!_");
358     }
359     delay(5000);
360
361     digitalWrite(inversor, LOW);
362     status_inversor = false;
363     digitalWrite(freezer, LOW);
364     status_freezer = false;
365     digitalWrite(tomadas, LOW);
366     status_tomadas = false;
367     digitalWrite(bomba, LOW);
368     status_bomba = false;
369
370 }else if(battery_voltage > 15.0){
371
372     battery_status = "HIGH";
373
374     lcd.clear();
375     lcd.setCursor(0, 0);
376     lcd.print("____WARNING_!!__");
377     lcd.setCursor(5, 1);
378     lcd.print(battery_voltage);
```

```
379     lcd.print("V");
380     delay(5000);
381
382     lcd.clear();
383     lcd.setCursor(0, 0);
384     lcd.print("__HIGH_VOLTAGE__");
385     delay(5000);
386
387
388     if(status_inversor == true){
389         lcd.setCursor(0, 0);
390         lcd.print("_TURNING_OFF!!_");
391     }
392     delay(5000);
393
394     digitalWrite(inversor, LOW);
395     status_inversor = false;
396     digitalWrite(freezer, LOW);
397     status_freezer = false;
398     digitalWrite(tomadas, LOW);
399     status_tomadas = false;
400     digitalWrite(bomba, LOW);
401     status_bomba = false;
402
403 }else if(battery_voltage < 12.0 && battery_voltage >= 11.5){
404
405     battery_status = "LOW";
406     digitalWrite(bomba, LOW);
407     status_bomba = false;
408     digitalWrite(tomadas, LOW);
409     status_tomadas = false;
410
411     if((TEMPO.hour) >= hr_ligar_inversor && (TEMPO.hour) < (
412         hr_desligar_inversor - (hr_desligar_inversor -
413         hr_desligar_freezer)) && status_inversor == false ){
414
415         if(tentativa == false){
416
417             status_inversor = ligar_inversor();
```

```
416     tentativa=true;
417     TEMPO_tent_ant = (TEMPO.min);
418
419 }else if(status_inversor == true){
420
421     tentativa=false;
422     n_telas=4;
423
424 }else if(status_inversor==false){
425
426     n_telas=5;
427     modulo_tentativa_inversor = abs((TEMPO.min) -
428         TEMPO_tent_ant);
429
430     if(modulo_tentativa_inversor >= intervalo_tentativa){
431
432         status_inversor = ligar_inversor();
433         TEMPO_tent_ant = (TEMPO.min);
434     }
435 }
436
437 TEMPO = rtc.getTime();
438
439 if((TEMPO.hour) >= hr_ligar_freezer && (TEMPO.hour) <
440     hr_desligar_freezer && status_freezer == false &&
441     status_inversor == true){
442
443     digitalWrite(freezer, HIGH);
444     status_freezer = true;
445     lcd.clear();
446     lcd.setCursor(0, 0);
447     lcd.print("_Freezer_Ligado_");
448     delay(10000);
449 }
450
451 if((status_freezer == true && (TEMPO.hour) ==
452     hr_desligar_freezer)|| (status_inversor == false &&
453     status_freezer == true)){
```

```
450
451     digitalWrite(freezer, LOW);
452     status_freezer = false;
453     lcd.clear();
454     lcd.setCursor(0, 0);
455     lcd.print("    Freezer    ");
456     lcd.setCursor(0, 1);
457     lcd.print("  Desligado  ");
458     delay(5000);
459 }
460
461 if(status_inversor == true && ((TEMPO.hour) == (
    hr_desligar_inversor - (hr_desligar_inversor -
    hr_desligar_freezer)))){
462
463     digitalWrite(inversor, LOW);
464     status_inversor=false;
465     lcd.clear();
466     lcd.setCursor(0, 0);
467     lcd.print("    Inversor    ");
468     lcd.setCursor(0, 1);
469     lcd.print("  Desligado  ");
470     delay(5000);
471 }
472
473 }else{
474
475     battery_status="OK";
476
477     if((TEMPO.hour) >= hr_ligar_inversor && (TEMPO.hour) <
        hr_desligar_inversor && status_inversor == false ){
478
479         if(tentativa==false){
480
481             status_inversor = ligar_inversor();
482             tentativa=true;
483             TEMPO_tent_ant = (TEMPO.min);
484
485         }else if(status_inversor == true){
```

```
486
487     tentativa=false;
488     n_telas=4;
489
490 }else if(status_inversor==false){
491
492     n_telas=5;
493     modulo_tentativa_inversor = abs((TEMPO.min)-
494         TEMPO_tent_ant);
495
496     if(modulo_tentativa_inversor >= intervalo_tentativa){
497
498         status_inversor = ligar_inversor();
499         TEMPO_tent_ant = (TEMPO.min);
500     }
501 }
502 TEMPO = rtc.getTime();
503
504 if((TEMPO.hour) >= hr_ligar_freezer && (TEMPO.hour) <
505     hr_desligar_freezer && status_freezer == false &&
506     status_inversor == true){
507
508     digitalWrite(freezer,HIGH);
509     status_freezer = true;
510     lcd.clear();
511     lcd.setCursor(0, 0);
512     lcd.print("Freezer_Ligado");
513     delay(10000);
514 }
515
516 if((TEMPO.hour) >= hr_ligar_bomba && (TEMPO.hour) <
517     hr_desligar_bomba && status_bomba == false &&
518     status_inversor == true){
519
520     digitalWrite(bomba,HIGH);
521     status_bomba = true;
522     lcd.clear();
523     lcd.setCursor(0, 0);
```

```
520     lcd.print("Bomba_Ligada");
521     delay(5000);
522 }
523
524 if((TEMPO.hour) >= hr_ligar_tomadas && (TEMPO.hour) <
    hr_desligar_tomadas && status_tomadas == false &&
    status_inversor == true){
525
526     digitalWrite(tomadas, HIGH);
527     status_tomadas = true;
528     lcd.clear();
529     lcd.setCursor(0, 0);
530     lcd.print("Tomadas_Ligadas");
531     delay(5000);
532 }
533
534 if((status_freezer == true && (TEMPO.hour) ==
    hr_desligar_freezer) || (status_inversor == false &&
    status_freezer == true)){
535
536     digitalWrite(freezer, LOW);
537     status_freezer = false;
538     lcd.clear();
539     lcd.setCursor(0, 0);
540     lcd.print("Freezer");
541     lcd.setCursor(0, 1);
542     lcd.print("Desligado");
543     delay(5000);
544 }
545
546 if((status_bomba == true && (TEMPO.hour) ==
    hr_desligar_bomba) || (status_inversor == false &&
    status_bomba == true)){
547     digitalWrite(bomba, LOW);
548     status_bomba = false;
549     lcd.clear();
550     lcd.setCursor(0, 0);
551     lcd.print("Bomba");
552     lcd.setCursor(0, 1);
```

```
553     lcd.print("Desligada");
554     delay(5000);
555 }
556
557 if((status_tomadas == true && (TEMPO.hour) ==
    hr_desligar_tomadas)|| (status_inversor == false &&
    status_tomadas == true)){
558
559     digitalWrite(tomadas, LOW);
560     status_tomadas = false;
561     lcd.clear();
562     lcd.setCursor(0, 0);
563     lcd.print("Tomadas");
564     lcd.setCursor(0, 1);
565     lcd.print("Desligadas");
566     delay(5000);
567 }
568
569 if((status_inversor == true && (TEMPO.hour) ==
    hr_desligar_inversor)){
570
571     digitalWrite(inversor, LOW);
572     status_inversor=false;
573     lcd.clear();
574     lcd.setCursor(0, 0);
575     lcd.print("Inversor");
576     lcd.setCursor(0, 1);
577     lcd.print("Desligado");
578     delay(5000);
579 }
580 }
581
582 medias();
583
584 telas();
585
586 }
```