



Universidade Federal do Amazonas

Faculdade de Tecnologia
Engenharia Elétrica - Eletrônica

**Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento e
Controle para Condicionadores de Ar Baseado em
Internet das Coisas**

Magno Aguiar de Carvalho

Manaus – Amazonas
Fevereiro de 2019

Magno Aguiar de Carvalho

**Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento e
Controle para Condicionadores de Ar Baseado em
Internet das Coisas**

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Engenharia Elétrica - Eletrônica da
Universidade Federal do Amazonas, como parte
dos requisitos necessários à obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr.-Ing. Vicente Ferreira de Lucena Junior

Resumo

Palavras-chave: .

Abstract

Keywords: .

Sumário

Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
Abreviações	vi
1 Introdução	1
1.1 Objetivo Geral	1
1.2 Objetivos Específicos	1
1.3 Planejamento do Projeto	1
2 Fundamentação Teórica	3
2.1 Internet das Coisas e o Protocolo MQTT	3
2.2 Dispositivos de Acionamento Elétrico	5
2.3 Medição de Energia Elétrica e os PMICs	6
3 Descrição do Sistema	7
4 Desenvolvimento e Implementação	8
4.1 <i>Hardware</i>	8
4.1.1 Componentes utilizados	9
4.1.2 Esquemáticos elétricos e <i>Layout</i> da PCB	13
4.2 <i>Firmware</i>	18
4.2.1 Comunicação sob o protocolo MQTT por meio da interface Wi-Fi . . .	20
4.2.2 <i>Driver</i> de controle dos periféricos	21
4.2.3 Monitoramento dos sensores	21
4.3 Aplicativo <i>mobile</i>	22

5 Resultados	24
5.1 Testes das funcionalidades com o condicionador de ar	26
5.2 Avaliação do circuito de medição de energia elétrica	29
6 Conclusão	35
Referências Bibliográficas	36

Lista de Figuras

1.1	Fluxo de desenvolvimento do projeto.	2
2.1	Arquitetura de funcionamento no protocolo MQTT [1].	4
2.2	As camadas do protocolo MQTT [2].	4
2.3	Diagrama esquemático de um relé [3].	5
2.4	Diagrama esquemático de uma contadora [3].	5
2.5	Definição dos termos invasivo e intrusivo [4].	6
2.6	Arquitetura interna básica de um PMIC [5].	6
3.1	Arquitetura implementada.	7
4.1	Módulo ESP12-F [6].	9
4.2	Microcontrolador ESP8266EX [7].	9
4.3	LED SMD [8].	10
4.4	Botão do tipo <i>push</i> [9].	10
4.5	Relé SRD-05VDC-SL-C [10].	11
4.6	Contadora Telemecanique [11].	12
4.7	Circuito Integrado (CI) MCP39F521 [12].	13
4.8	Circuito Integrado MCP9700 [13].	13
4.9	Sensor de presença EKMC1601111 [14].	13
4.10	Esquemático elétrico da alimentação do circuito.	14
4.11	Esquemático elétrico referente ao microcontrolador.	14
4.12	Esquemático elétrico do sistema de medição da energia elétrica.	15
4.13	Camadas <i>Top</i> e <i>Bottom</i> da PCB.	17
4.14	Visão isométrica da representação 3D do <i>layout</i> da PCB.	17
4.15	Módulo NodeMCU LoLin [15].	18

4.16 Diagrama em blocos do algoritmo de funcionamento do <i>firmware</i>	19
4.17 Fluxo de requisição no ponto de vista do <i>firmware</i>	21
4.18 Fluxo de requisição no ponto de vista do aplicativo <i>mobile</i>	23
4.19 Ícones do aplicativo <i>mobile</i>	23
5.1 PCB montada com os componentes.	24
5.2 Tela principal do aplicativo mobile.	25
5.3 Diagrama de conexão do hardware.	26
5.4 Condicionador de ar usado para testes.	26
5.5 Conexão do Hardware desenvolvido com o condicionador de ar.	27
5.6 Retorno às requisições realizadas pelo aplicativo <i>mobile</i>	28
5.7 Alicate amperímetro ET-3367C [16].	29
5.8 Representação gráfica das medições realizadas pela placa em comparação ao alicate amperímetro ET-3367C.	34

Lista de Tabelas

4.1	Lista de materiais	16
4.2	Mensagens de requisições de funcionalidades	20
5.1	Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à frequência	30
5.2	Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à corrente alternada	31
5.3	Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à tensão alternada	32
5.4	Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à potência ativa	33

Abreviações

PCB - Placa de circuito impresso - do inglês *Printed Circuit Board*

USB - Barramento universal serial - do inglês *Universal Serial Bus*

I2C - Circuito inter-integrado - do inglês *Inter-Integrated Circuit*

UART - Receptor-transmissor universal assíncrono - do inglês *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*

MQTT - Protocolo de mensagens entre máquinas - do inglês *Message Queuing Telemetry Transport*

LED - Diodo emissor de luz - do inglês *Light-Emitting Diode*

OTA - Pelo ar - do inglês *Over-The-Air*

SDIO - Entrada e saída digital segura - do inglês *Secure Digital Input Output*

SPI - Interface periférica serial - do inglês *Serial Peripheral Interface*

I2S - Som entre circuito-integrados - do inglês *Inter-IC Sound*

GPIO - Entrada e saída de uso geral - do inglês *General Purpose Input Output*

ADC - Conversor analógico/digital - do inglês *Analog to Digital Converter*

PWM - Modulação por largura de pulso - do inglês *Pulse Width Modulation*

SMD - Componente para montagem em superfície - do inglês *Surface Mounting Device*

CI - Circuito Integrado

WWW - Rede Mundial de Computadores - do inglês *World Wide Web*

SSID - Identificador do Conjunto de Serviço - do inglês *Service Set IDentifier*

IP - Endereço de Protocolo - do inglês *Internet Protocol*

TCP - Protocolo de Controle de Transmissão - do inglês *Transmission Control Protocol*

IoT - Internet das Coisas - do inglês *Internet of Things*

APK - Pacote android - do inglês *Android Package*

Capítulo 1

Introdução

1.1 Objetivo Geral

1.2 Objetivos Específicos

1.3 Planejamento do Projeto

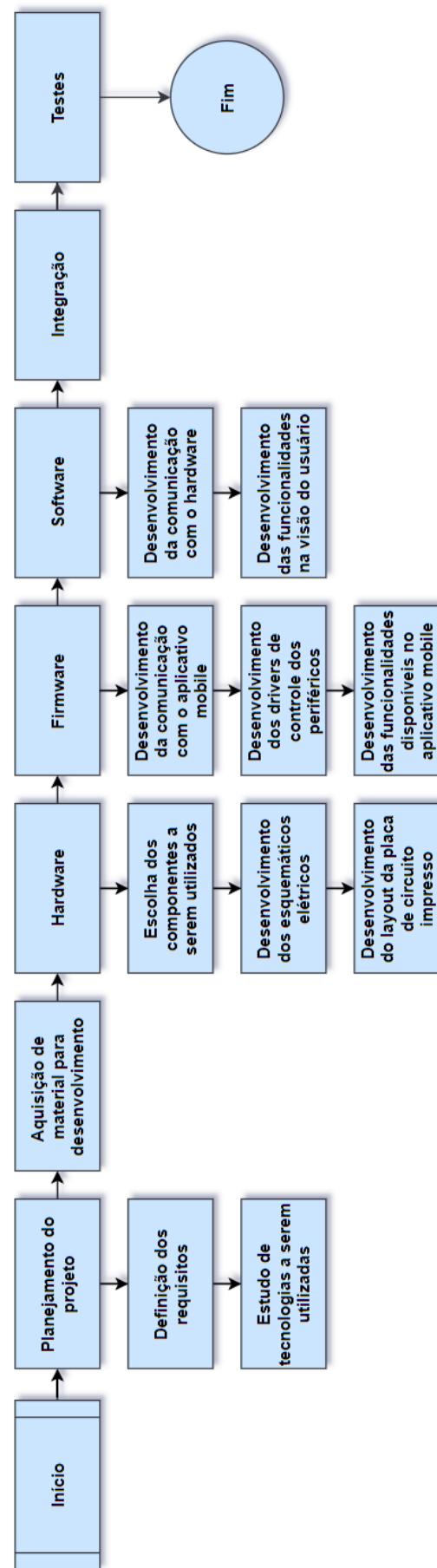


Figura 1.1: Fluxo de desenvolvimento do projeto.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, a seção 2.1 explanará a Internet das Coisas (IoT) e um dos protocolos mais utilizados por esta tecnologia, o *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), que é um dos protocolos mais utilizados quando se trata de comunicação neste tipo de rede. Em seguida, na seção 2.2, serão abordados os dispositivos utilizados quando se trata de acionamentos elétricos, dando enfoque aos responsáveis pelo acionamento de cargas do tipo resistiva e indutiva. Por final será abordado, na seção 2.3, a medição de energia elétrica e os Circuitos Integrados de Gerenciamento de Energia (PMICs), enfatizando suas utilizações em sistemas de monitoramento da qualidade da energia elétrica.

2.1 Internet das Coisas e o Protocolo MQTT

O termo Internet das Coisas (IoT) surgiu quando um grupo do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) trabalhava no campo de identificação, localização e reconhecimento de estado de objetos usando sensores sem fio e tecnologia de identificação por radiofrequência [17].

A IoT é um serviço da Internet que permite dispositivos físicos a comunicarem entre si ou com pessoas, através da rede mundial de computadores, possibilitando assim adquirir e monitorar informações.

Com o trabalho colaborativo de vários sistema, a IoT torna ambientes mais inteligentes, permitindo repostas automáticas - ou seja, sem interferência humana - a dados adquiridos do

ambiente, como monitoramento de cheias, informações sobre terremotos, dados sobre o tráfego, entre outros [1, 18].

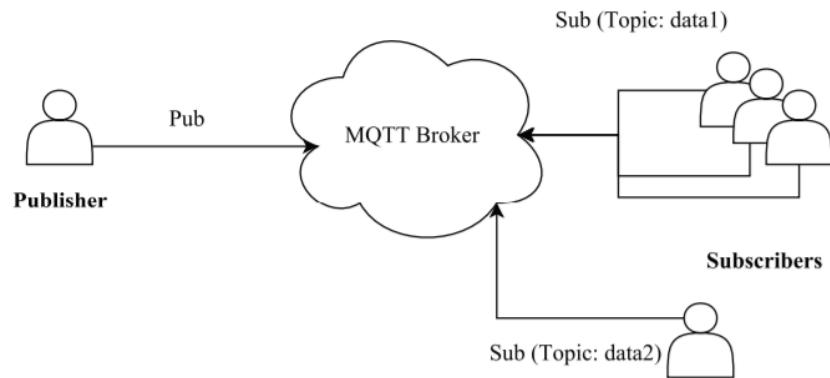


Figura 2.1: Arquitetura de funcionamento no protocolo MQTT [1].

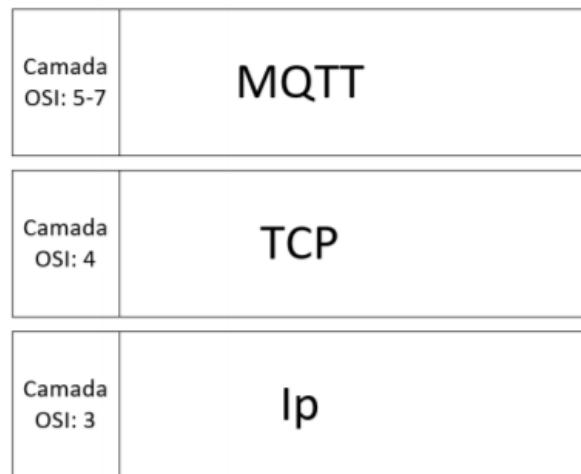


Figura 2.2: As camadas do protocolo MQTT [2].

2.2 Dispositivos de Acionamento Elétrico

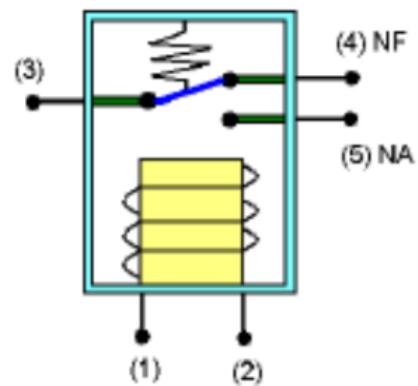


Figura 2.3: Diagrama esquemático de um relé [3].

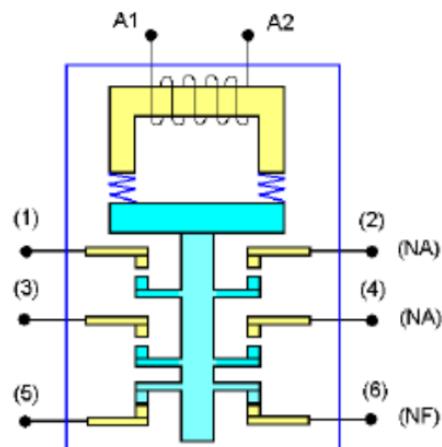


Figura 2.4: Diagrama esquemático de uma contadora [3].

2.3 Medição de Energia Elétrica e os PMICs

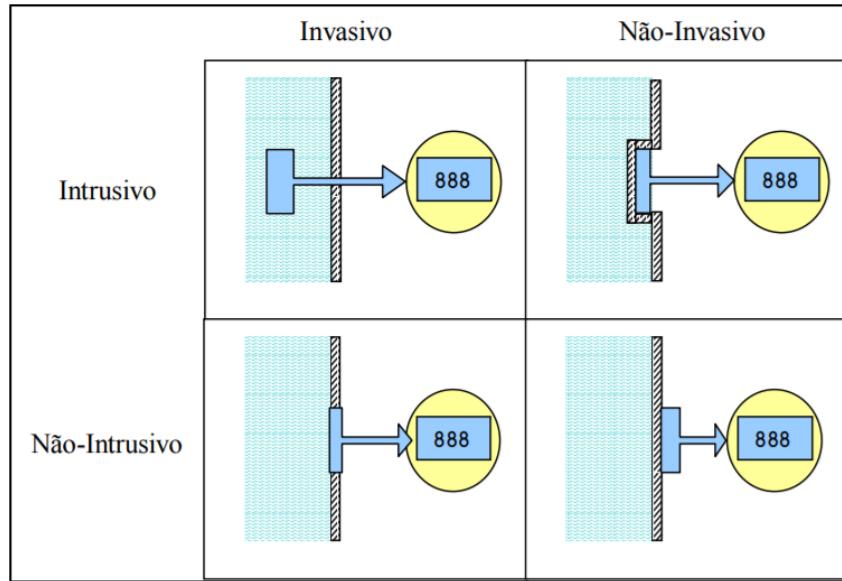


Figura 2.5: Definição dos termos invasivo e intrusivo [4].

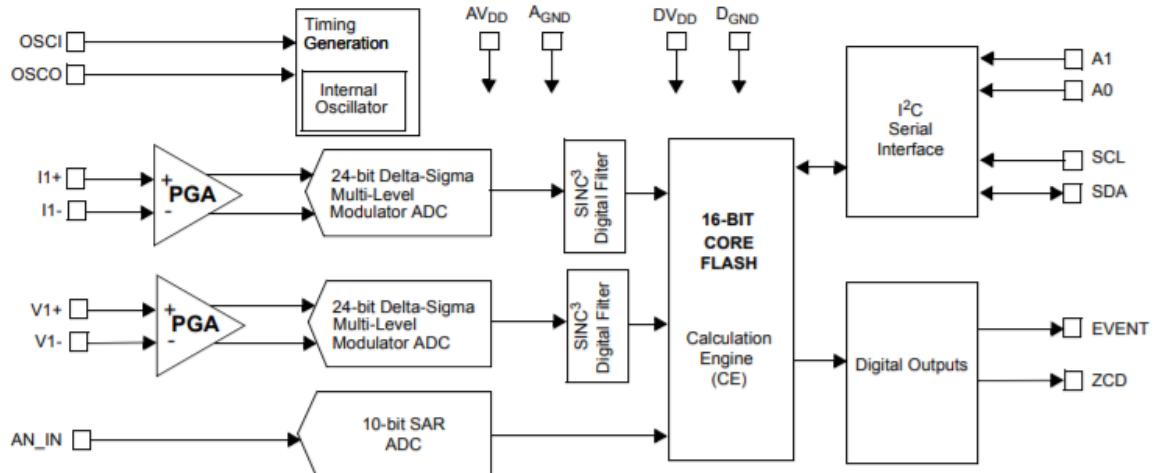


Figura 2.6: Arquitetura interna básica de um PMIC [5].

Capítulo 3

Descrição do Sistema

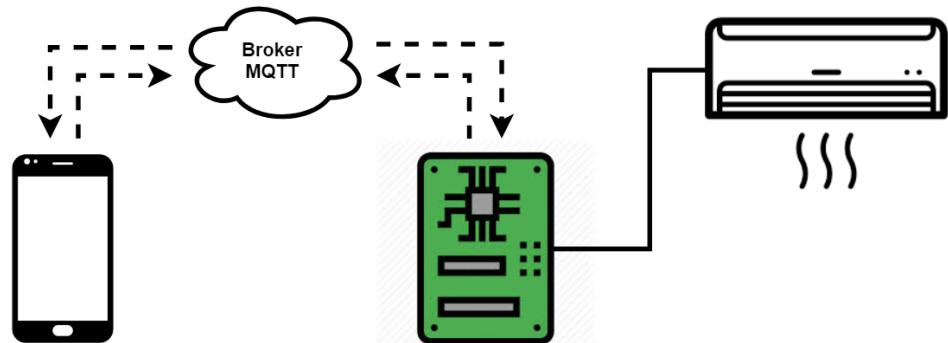


Figura 3.1: Arquitetura implementada.

Capítulo 4

Desenvolvimento e Implementação

Este capítulo apresenta detalhadamente o que foi feito para desenvolver e implementar o sistema de gerenciamento e controle de um condicionador de ar, levando em conta 3 pilares principais: *Hardware*, *Firmware* e *Software*.

4.1 *Hardware*

O desenvolvimento do *hardware* iniciou-se com o levantamento dos circuitos elétricos necessários para cumprir as funções requeridas conforme a concepção do projeto, sendo eles: **Círcuito de Conexão com Wi-Fi**, **Círculo de Ativação do Condicionador de Ar** e **Círculo de Sensoriamento**. O Círculo de Conexão com *Wi-Fi* é responsável por trocar informações com o aplicativo mobile, utilizando o protocolo MQTT. O Círculo de Ativação do Condicionador de Ar é responsável controlar alimentação elétrica entregue ao dispositivo. E o Círculo de Sensoriamento é responsável por realizar as medições provenientes da rede elétrica - como tensão, corrente, fator de potência, potência ativa e frequência - com intuito de definir se os níveis estão adequados para o perfeito funcionamento do condicionador de ar e verificar a presença ou ausência humana onde o equipamento está instalado.

O desenvolvimento deste pilar do projeto foi dividido em 2 partes principais: a escolha dos componentes a serem usados em cada circuito e o desenvolvimento dos esquemáticos elétricos e o layout da placa de circuito impresso (PCB).

4.1.1 Componentes utilizados

Para realizar a escolha dos componentes foi levado em conta principalmente o custo, visando tornar o produto atrativo ao usuário final, ou seja, o consumidor.

Para suprir as funcionalidades do **Círcuito de Conexão com Wi-Fi**, o componente principal escolhido foi o módulo ESP12-F, representado na figura 4.1, que contém um microcontrolador juntamente com o circuito de radio-frequência (RF) para o *Wi-Fi* e um LED indicativo. O microcontrolador contido no módulo é o ESP8266EX, representado na figura 4.2, e suas principais características são [19]:



Figura 4.1: Módulo ESP12-F [6].



Figura 4.2: Microcontrolador ESP8266EX [7].

- Microprocessador de 32 bits;
- *Wi-Fi* integrado sob o protocolo 802.11 b/g/n, na frequência de 2.4GHz;

- Interface periféricas: UART, SDIO, SPI, I2C, I2S, GPIO, ADC e PWM;
- Tensão de operação: 2,5V a 3,6V;
- Corrente de operação: em média 80mA;
- Tamanho: 5 mm x 5 mm;
- 32 pinos;
- Interface de gravação tanto por UART, quanto por *over-the-air* (OTA);
- Até 4 perfis de baixo consumo de energia.

Foram adicionados 2 (dois) *light-emitting diodes* (LEDs) do tipo *surface mounting device* (SMD), representado na figura 4.3, a este circuito também, um para indicar comunicação com o celular pelo protocolo MQTT e um para indicar se a alimentação elétrica da PCB está nos níveis corretos, assim como 2 (dois) botões do tipo *push-button*, representado na figura 4.4, para realizar a gravação do *firmware* no microcontrolador.

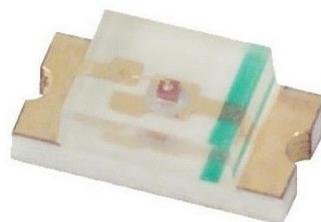


Figura 4.3: LED SMD [8].



Figura 4.4: Botão do tipo *push* [9].

Para o **Círcuito de Ativação do Condicionador de Ar**, o principal componente escolhido foi o relé SRD-05VDC-SL-C, representado na figura 4.5, quais características principais são:

- Tensão de ativação do enrolamento: 5 V;
- Corrente nominal do enrolamento: 89,3 mA;
- Resistência do enrolamento: 55 Ω;
- Consumo de potência do enrolamento: 0,36 W;
- Máxima tensão admissível no chave: 110 VDC ou 225 VAC;
- Capacidade de corrente da chave para carga do tipo resistiva: 10 A para 125 VAC e 7 A para 240 VAC.



Figura 4.5: Relé SRD-05VDC-SL-C [10].

O relé SRD-05VDC-SL-C foi utilizado para ativar uma contadora que, por sua vez, alimenta o condicionador de ar. Como o objetivo foi de ativar qualquer tipo de condicionador de ar, utilizou-se contadoras, representadas na imagem 4.6, que aceitassem tanto 110 VAC quanto 220 VAC no enrolamento de alimentação.



Figura 4.6: Contatora Telemecanique [11].

Para o **Círcuito de Sensoriamento**, o componente escolhido para fazer as medições de tensão, corrente, fator de potência e frequência da rede de energia elétrica, informações essas suficientes para definir se ela está adequada para alimentar o condicionador de ar, foi MCP39F521, representado na figura 4.7. O MCP39F521 é um dispositivo de monitoramento de energia monofásico completo e altamente integrado, projetado para medição em tempo real de energia de entrada para fontes de alimentação de corrente alternada e de corrente contínua, unidades de distribuição de energia, consumidor e aplicações industriais. Inclui ADCs delta-sigma de canal duplo, um mecanismo de cálculo de 16 bits, EEPROM e uma interface I2C de dois fios flexível. Uma referência integrada de tensão de baixa derivação com 10 ppm/°C além de 94,5 dB de desempenho de sinal-ruído e taxa de distorção (SINAD) em cada canal de medição permite melhor que 0,1 % de projetos precisos em uma faixa dinâmica de 4000:1 [5]. Foi adicionado também um sensor de temperatura analógico, por questões de segurança (superaquecimento), para monitorar a temperatura da PCB, MCP9700 que é representado pela figura 4.8.

Para realizar as medições de presença humana o componente utilizado foi o sensor EKMC1601111, ilustrado pela figura 4.9.



Figura 4.7: Circuito Integrado (CI) MCP39F521 [12].



Figura 4.8: Circuito Integrado MCP9700 [13].



Figura 4.9: Sensor de presença EKMC1601111 [14].

4.1.2 Esquemáticos elétricos e *Layout* da PCB

A partir dos circuitos elétricos previamente citados, foi realizado um estudo nos documentos de *Reference Design* e *Datasheets* disponibilizados pelos fabricantes dos CI's utilizados, de modo a verificar todas as considerações para o correto funcionamento dos circuitos. O documento principal utilizado foi o guia do usuário para o MCP39F521 [20], que auxiliou

principalmente no **Círcuito de Sensoriamento**. Elaborou-se então os esquemáticos elétricos, ilustrados nas figuras 4.10, 4.11 e 4.12.

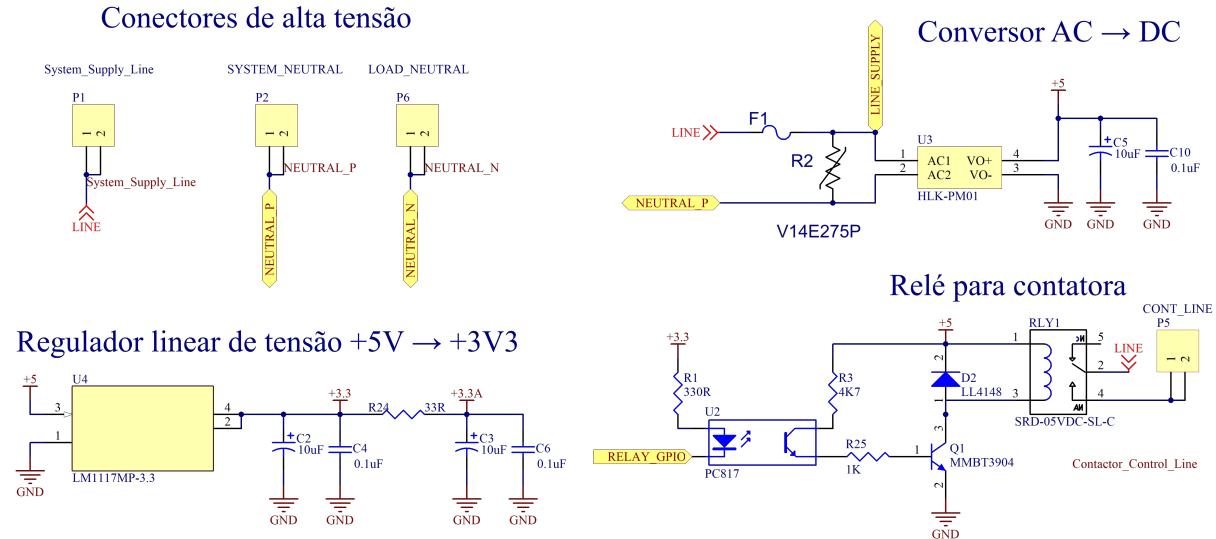


Figura 4.10: Esquemático elétrico da alimentação do circuito.

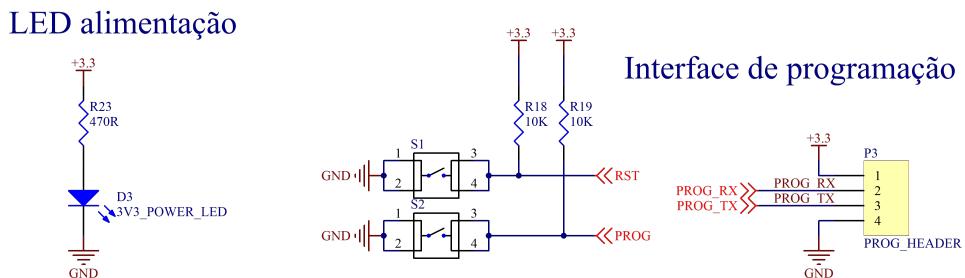
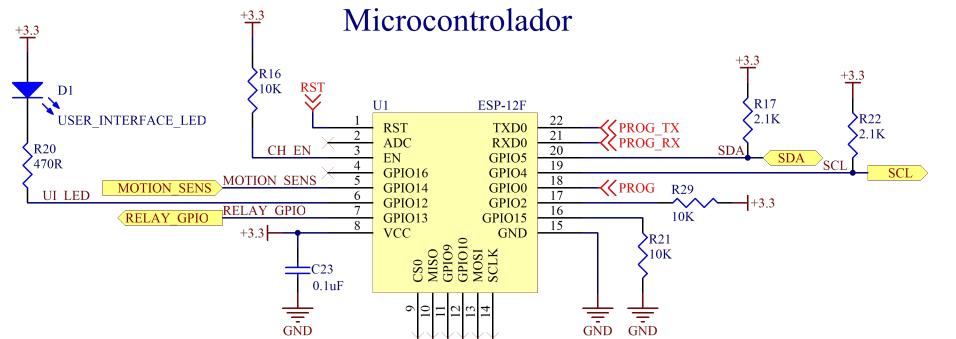


Figura 4.11: Esquemático elétrico referente ao microcontrolador.

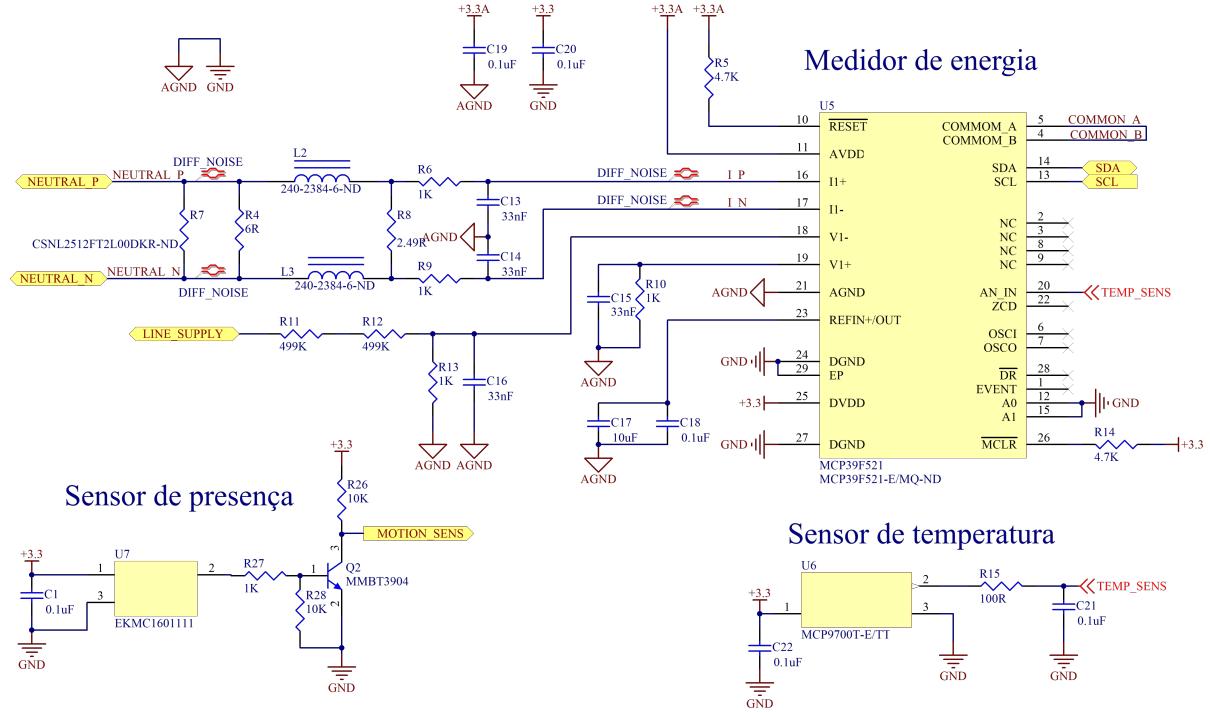


Figura 4.12: Esquemático elétrico do sistema de medição da energia elétrica.

A comunicação entre o microcontrolador e o circuito de medição de energia elétrica é realizada através de I2C, por meio dos sinais "SDA" e "SCL", já a interação realizada com o circuito de acionamento da contadora e o sensor de presença é por meio de escrita e leitura de GPIO's, respectivamente pelos sinais "RELAY_GPIO" e "MOTION_SENS".

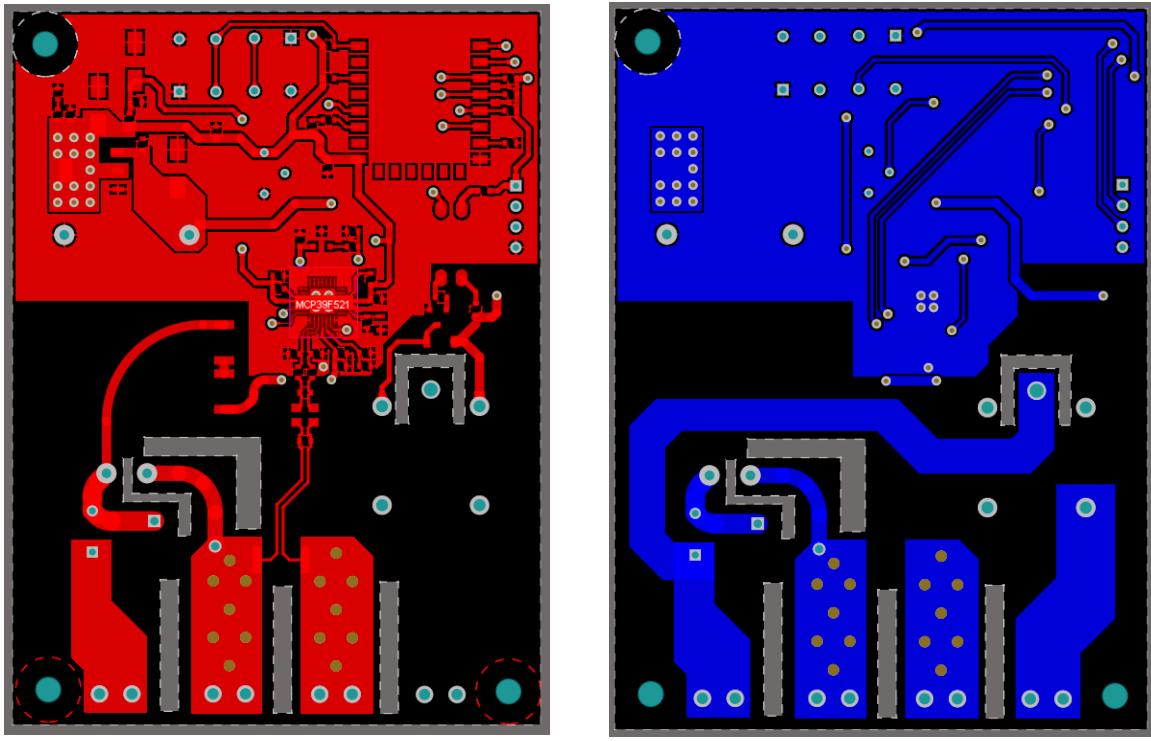
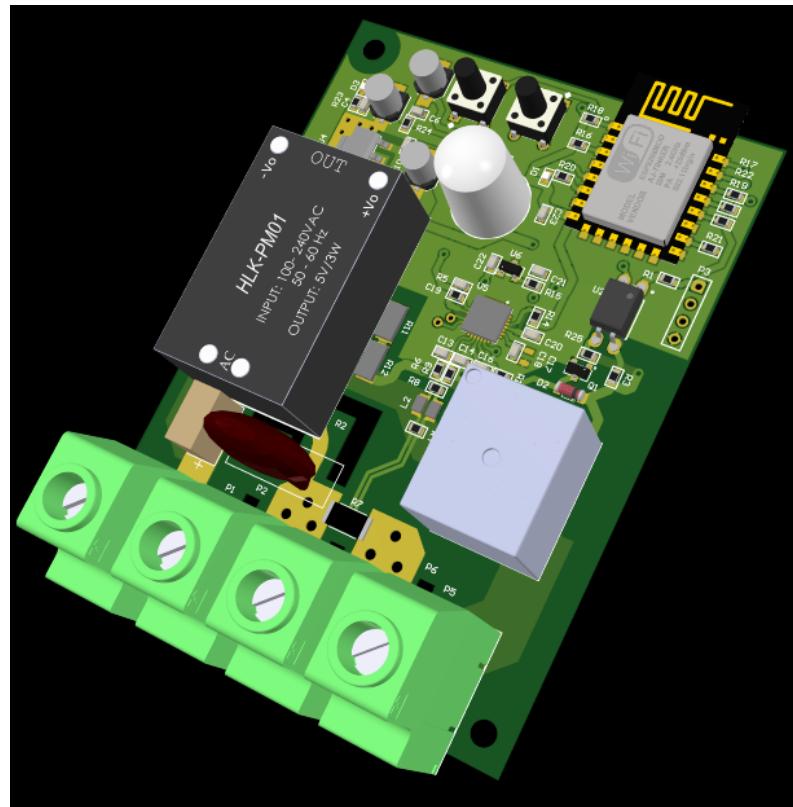
O relé utilizado para acionamento da contadora é controlado com tensão de 5V DC, como a tensão usada para alimentar a placa é do tipo alternada, foi utilizado com conversor de tensão AC/DC, "U3" na figura 4.10, capaz de aceitar padrões 110 e 220 como entrada, convertendo-a para tensão DC de 5V. Por outro lado, o microcontrolador, o medidor de energia e o sensor de presença são alimentados com tensão igual a 3.3V, portanto foi utilizado um regulador linear, "U4" na figura 4.10, para regular a tensão de 5V para 3.3V.

A partir da finalização do desenvolvimento dos esquemáticos elétricos, é possível gerar a lista de todos os componentes, chamada de BOM (Bill Of Materials), representada pela tabela 4.1, possibilitando a aquisição para futura prototipagem da PCB.

Tabela 4.1: Lista de materiais

Componente	Quantidade
Capacitor cerâmico SMD 0603 100nF	10
Capacitor de alumínio polarizado SMD 10uF	3
Capacitor cerâmico SMD 0603 33nF	4
Capacitor cerâmico SMD 0603 10uF	1
LED SMD 0603 Verde	2
Diodo SMD LL4148	1
Fusível PTH	1
Indutor SMD 0805	2
Terminal Block Verde PTH	4
Terminal 4x1	1
Transistor SMD NPN	1
Resistor SMD 0603 330R	1
Varistor PTH	1
Resistor SMD 0603 4K7	3
Resistor SMD 0603 6R	1
Resistor SMD 0603 1K	6
Resistor SMD 0603 2.49R	1
Resistor SMD 2010 499K	2
Resistor SMD 0603 100R	1
Resistor SMD 0603 10K	4
Resistor SMD 0603 2.1K	2
Resistor SMD 0603 470R	2
Resistor SMD 0603 33R	1
Relé 5V PTH	1
Chave tactíl do tipo push	2
ESP-12F	1
Optoisolador SMD	1
Fonte AC/DC PTH 5V	1
Regulador linear SMD 3.3V	1
MCP39F521	1
MCP9700T-E/TT	1
EKMC1601111	1

Em seguida a definição de todos os componentes a serem utilizados na PCB, e as ligações entre eles definidas nos esquemáticos, foi feito o desenho da PCB, representado pela figura 4.13, levando em conta novamente os documentos disponibilizados pelos fabricantes dos CIs utilizados, visando assim manter a integridade dos sinais. A ferramenta de desenvolvimento utilizada permitiu também obter uma prévia da vista 3D na perspectiva isométrica aproximada do real, retratada na figura 4.14.

(a) *Top Layer* do *layout* da PCB.(b) *Bottom Layer* do *layout* da PCB.Figura 4.13: Camadas *Top* e *Bottom* da PCB.Figura 4.14: Visão isométrica da representação 3D do *layout* da PCB.

4.2 *Firmware*

Para elaboração inicial do *firmware*, foi utilizado o módulo NodeMCU LoL1n, mostrado na figura 4.15, que contém um módulo ESP-12E e os circuitos de alimentação e gravação por interface USB já embutidos nele. Adotou-se esta metodologia, de utilizar um módulo com os circuitos prontos para uso, com intuito de diminuir o tempo de desenvolvimento e também para permitir a elaboração do *firmware* antes da conclusão do desenvolvimento do *hardware*, citado na seção 4.1.

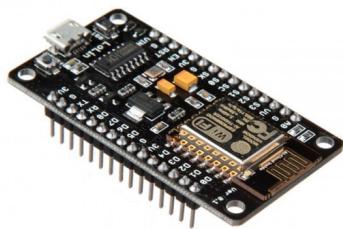
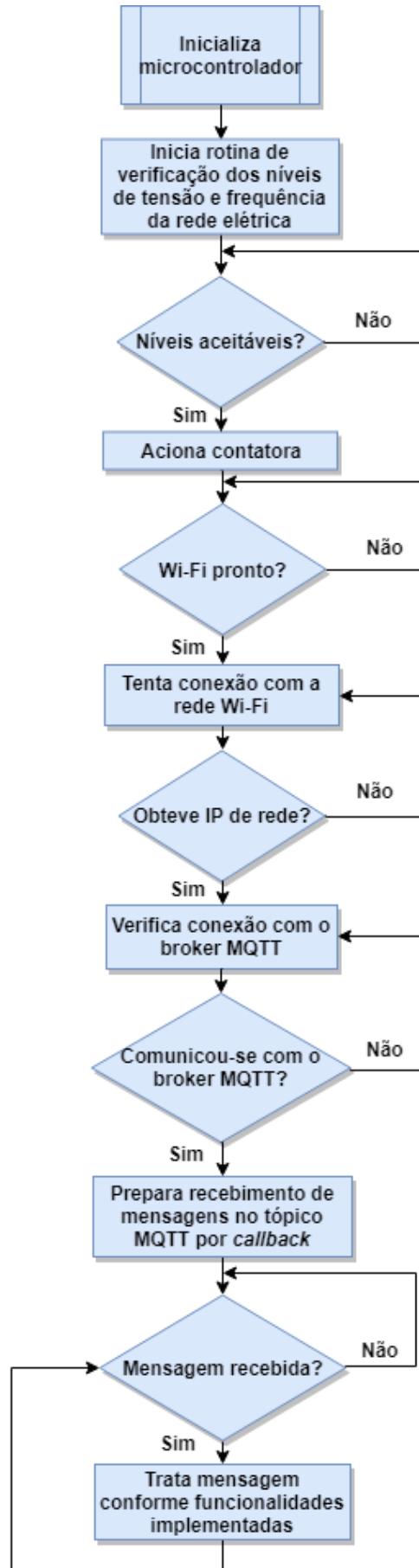


Figura 4.15: Módulo NodeMCU LoL1n [15].

A partir da descrição do sistema, foi possível elaborar um algoritmo da funcionamento do *firmware*, representando na figura 4.16, capaz de englobar as funcionalidades previamente levantadas no capítulo 3. Tal diagrama foi elaborado com o intuito de guiar e facilitar o desenvolvimento deste pilar do projeto, a partir dele também foi possível sedimentar o desenvolvimento do *firmware* em três partes principais: Comunicação sob o protocolo MQTT por meio da interface Wi-Fi, *Driver* de controle dos periféricos e Monitoramento dos sensores.
VERIFICAR SE EU DEVO ESCREVER AS FUNCIONALIDADES NOVAMENTE AQUI.

Figura 4.16: Diagrama em blocos do algoritmo de funcionamento do *firmware*.

4.2.1 Comunicação sob o protocolo MQTT por meio da interface Wi-Fi

Conforme citado na seção 4.1, o ESP8266EX apresenta a interface Wi-Fi integrada ao CI, característica que facilita o desenvolvimento do *firmware* para as funcionalidades básicas do Wi-Fi como:

- Conectar em uma rede Wi-Fi por meio do SSID e Senha;
- Obtenção de IP nesta rede local;
- Acesso à internet pela rede local;
- Trocar mensagens por meio de um *socket* na camada TCP;

Essas funcionalidades são primordiais para o funcionamento do projeto, uma vez que para trocar mensagens com o aplicativo *mobile* a placa deve conectar em uma rede Wi-Fi com acesso à internet.

Conectada à uma rede com acesso à internet, a placa é capaz de comunicar-se com o *broker* MQTT e trocar mensagens, a partir do tópico escolhido. Conforme a figura 4.16, após obter êxito na comunicação com o *broker*, o microcontrolador realiza o *subscribe* no tópico de recebimento de mensagens e espera por novas requisições.

Cada funcionalidade foi representada por um tipo de mensagem, conforme a tabela 4.2, para que o microcontrolador fosse capaz de interpretar, executar e responder às requisições provenientes do aplicativo mobile, conforme o fluxo representado pela figura 4.17.

Tabela 4.2: Mensagens de requisições de funcionalidades

Mensagem	Funcionalidade
"AC_On"	Ligar condicionador de ar
"AC_Off"	Desligar condicionador de ar
"Energy_Info"	Verificar valores de energia elétrica
"Presence_Sensor"	Verificar presença humana
"Set_On;hh:mm"	Escolher horário para ligar (onde hh e mm representam a hora e o minuto respectivamente)
"Set_Off;hh:mm"	Escolher horário para desligar (onde hh e mm representam a hora e o minuto respectivamente)

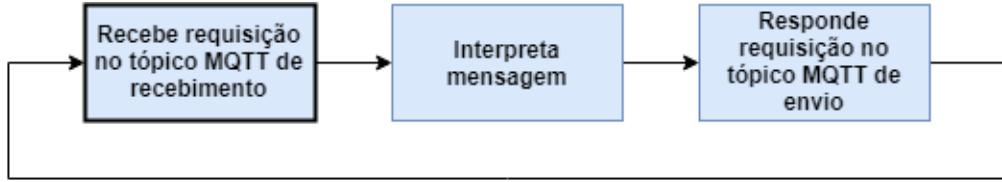


Figura 4.17: Fluxo de requisição no ponto de vista do *firmware*.

4.2.2 *Driver* de controle dos periféricos

Para que ocorra o acionamento do condicionador de ar, leitura dos valores de energia elétrica e verificação da presença humana, o *firmware* deve ser capaz de enviar, receber e interpretar informações dos componentes de *hardware*, citados na seção 4.1, para isso é implementada uma camada, chamada de *Driver*, responsável por fazer esse intermédio entre o microcontrolador e estes periféricos.

Para acionar o condicionador de ar, o *Driver* controla uma GPIO (General Purpose Input Output). Para "ligar" o dispositivo a GPIO mantém-se em nível lógico baixo e para "desligar" o dispositivo a GPIO mantém-se em nível lógico alto. Esta lógica invertida é dada pelo uso de um transistor do tipo NPN no circuito de acionamento implementado, ilustrado na figura 4.10.

Para obter os valores de energia elétrica - tensão alternada, corrente alternada, frequência da rede elétrica, potência ativa e fator de potência -, o *Driver* comunica por interface I2C com o CI MCP39F521, figura 4.7. É então realizada uma requisição de um dos registrados do CI, onde as informações ficam armazenadas, que retorna um pacote de 35 bytes como resposta. Para interpretar o pacote são usadas funções lógicas de AND e deslocamento de bits.

Para verificar a presença humana, o *Driver* realiza a leitura de uma GPIO conectada à saída do sensor de presença. Este sensor de presença mantém sua saída em nível lógico alto ao detectar seres humanos e mantém seu nível lógico baixo quando não detecta seres humanos.

4.2.3 Monitoramento dos sensores

Baseando-se na descrição do sistema retratada no capítulo 3, foram elaborados 2 (dois) algorítimos para o monitoramento dos sensores. O primeiro referente ao sensor responsável pela leitura da energia elétrica e os níveis aceitáveis para o funcionamento correto do condicionador de ar e o segundo referente ao sensor de presença no local onde o condicionador de ar está instalado.

Em relação ao primeiro, o objetivo é garantir que os parâmetros de energia elétrica entregues ao condicionador de ar estejam suficientes para o perfeito funcionamento dele, considerando uma certa variação de 10% dos valores de tensão alternada e frequência da rede elétrica, conforme citado no capítulo 3. Portanto, para realizar esta proteção contra mal funcionamentos, foi desenvolvida uma rotina responsável por realizar leituras constantes no MCP39F521, desativando assim a alimentação do condicionador ao verificar algum parâmetro fora da variação aceita.

Em relação ao segundo, o objetivo é informar ao usuário caso haja consumo de energia no condicionador de ar com ausência de pessoas no cômodo em que o dispositivo está instalado, possibilitando assim a economia de energia caso o usuário tenha esquecido aquele ligado. Portanto, para realizar esta funcionalidade, foi desenvolvida uma rotina capaz de verificar constantemente a presença humana, realizando leituras no sensor de presença, representando na figura 4.9.

4.3 Aplicativo *mobile*

Para esta tarefa, foi realizada a análise da descrição do sistema, retratada no capítulo 3, que permitiu levantar as funcionalidades a serem disponibilizadas ao usuário no aplicativo *mobile*, sendo elas: ligar ou desligar o condicionador de ar, verificar o consumo de energia elétrica, verificar presença humana, escolher horário para ligar e para desligar o condicionador de ar.

O aplicativo foi desenvolvido em 2 frentes, primeiramente a parte que o usuário não vê, como comunicação com a internet, as regras de comunicação com o *hardware* implementado e etc, e depois a parte que o usuário vê e interage com, como os botões, caixas de texto e etc.

Ou seja, para esta aplicação, a primeira parte é responsável por comunicar com o *broker* MQTT e trocar as mensagens com o hardware por meio do tópico escolhido, já a segunda parte é responsável pela interação do usuário com o sistema a partir da escolha da funcionalidade.

Respeitando o fluxograma representado pela figura, 4.18, a comunicação por meio do protocolo MQTT foi desenvolvida, validando o funcionamento da comunicação com o *hardware*.

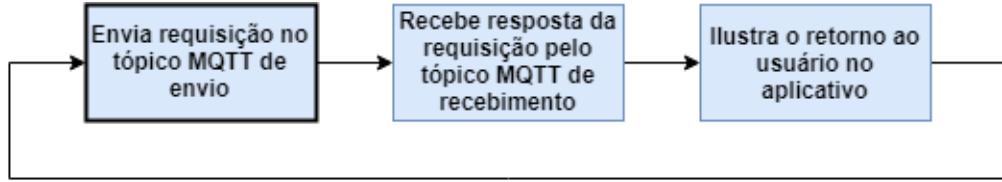


Figura 4.18: Fluxo de requisição no ponto de vista do aplicativo *mobile*.

A partir disso, as funcionalidades citadas anteriormente foram desenvolvidas seguindo os tipos de mensagens previamente retratados na tabela 4.2, finalizando-se assim a primeira parte do aplicativo *mobile*.

Para a segunda parte, foi inicialmente analisada a interatividade com o aplicativo a nível de usuário com botões sem ícones. Foi percebido então que a falta de ilustração das funcionalidades nos botões tornava o aplicativo não intuitivo, portanto foram escolhidos os ícones, retratados na figura 4.19, que mais se aproximassem na retratividade das funcionalidades descritas, além disso, para mostrar ao usuário o retorno das requisições realizadas foi utilizada uma caixa de texto.

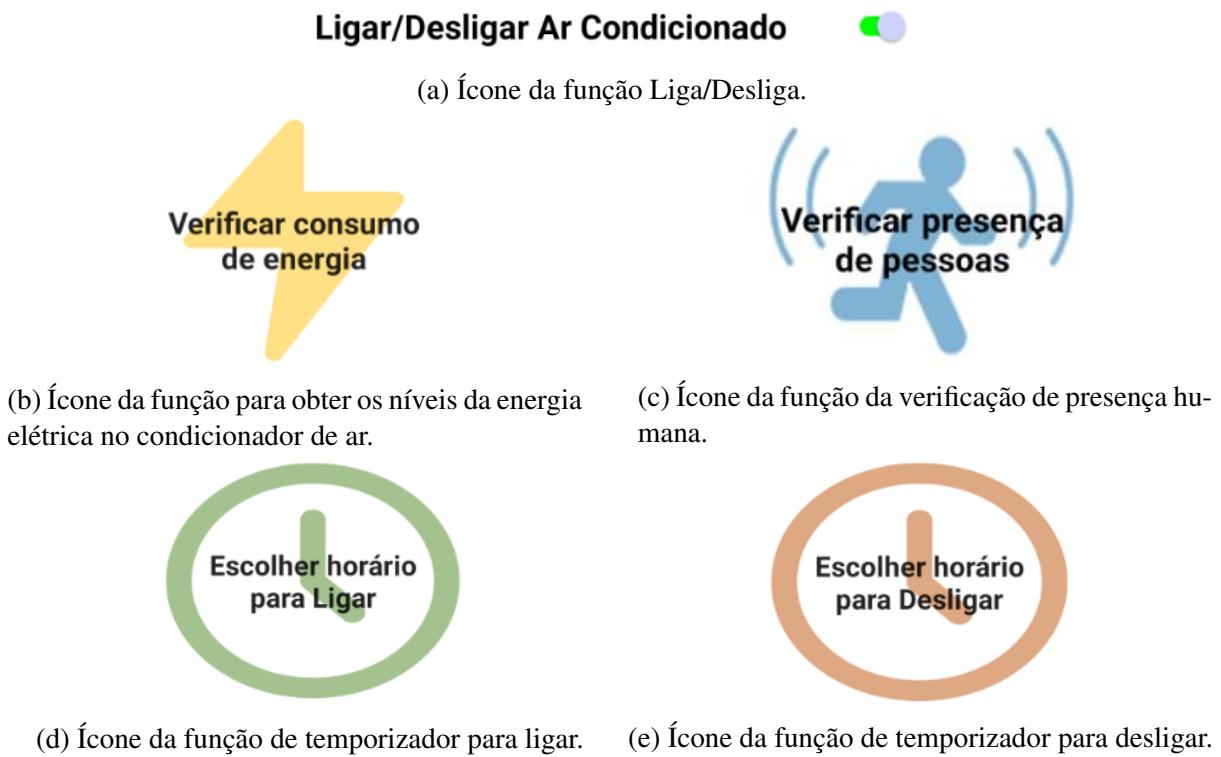


Figura 4.19: Ícones do aplicativo *mobile*.

Capítulo 5

Resultados

Após a confecção da PCB a partir do layout, retratado na seção 4.1, foi possível realizar a montagem dos componentes executando o processo de soldagem manual dos itens contidos na lista de materiais previamente citada na tabela 4.1. Em seguida, foram realizados testes elétricos e funcionais na placa já montada, representada pela figura 5.1, com o objetivo de validar o projeto de *hardware* desenvolvido, o que resultou na alteração de alguns componentes, como capacitores, visando assim aperfeiçoar o funcionamento da placa.



Figura 5.1: PCB montada com os componentes.

Em seguida, o *firmware* desenvolvido foi embarcado no processador já soldado na placa, por meio do conector de gravação, "P3" na figura 4.11, e um conversor USB/Serial conectado ao computador.

Após o desenvolvimento da camada de comunicação e a camada de interação com o usuário, foi possível também gerar uma APK (*Android Package*) do aplicativo *mobile* desenvolvido e, após instalação por meio de um gerenciador de arquivos no *smartphone*, a tela principal é exibida, sendo representada aqui pela figura 5.2.



Figura 5.2: Tela principal do aplicativo mobile.

Em seguida à embarcação do *firmware* e a instalação do aplicativo no *smartphone*, foi possível realizar a integração das partes do projeto e avaliar o desempenho das funcionalidades proposta no Capítulo 3. Para isso, foi elaborado um diagrama de conexão entre a carga (condicionador de ar) e o *hardware* implementado, representado pela figura 5.3. Tal diagrama auxiliou na conexão da rede elétrica, a placa e o condicionador de ar.

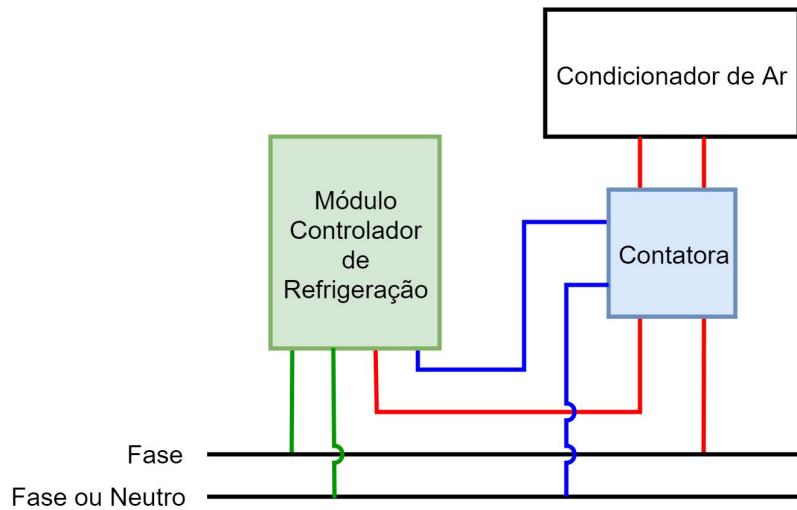


Figura 5.3: Diagrama de conexão do hardware.

5.1 Testes das funcionalidades com o condicionador de ar

Para realizar os testes das funcionalidades, foi utilizado o condicionador de ar representado pela figura 5.4. Como este condicionador de ar é do tipo *split*, aquele no qual a central condensadora e a evaporada são separadas, a tensão elétrica de alimentação é 220 V, com isso foi utilizada uma contadora controlada por esta mesma tensão, lembrando que o uso de uma contadora controlada por tensão diferente do condicionador de ar pode levar ao mal funcionamento do sistema.



Figura 5.4: Condicionador de ar usado para testes.

Com o diagrama em mãos, foi feita a conexão do protótipo com o condicionador de ar, abrindo seu conjunto arstop e modificando a conexão já existente com a rede elétrica. Para as conexões foram usados 2 tipos de fiação, um de 6mm de bitola para a alimentação da carga, onde há a maior quantidade de corrente circulando, e um de 1mm para alimentação da placa e para acionamento da contadora, onde a circulação de corrente não é alta. Na figura 5.5, é possível ver o cabo de 6mm em verde, o cabo de 1mm em branco e os cabos pretos são a alimentação elétrica da carga. O conjunto arstop do condicionador de ar já apresentava proteção para a carga com o uso de um disjuntor bipolar, que foi mantido para execução dos testes.

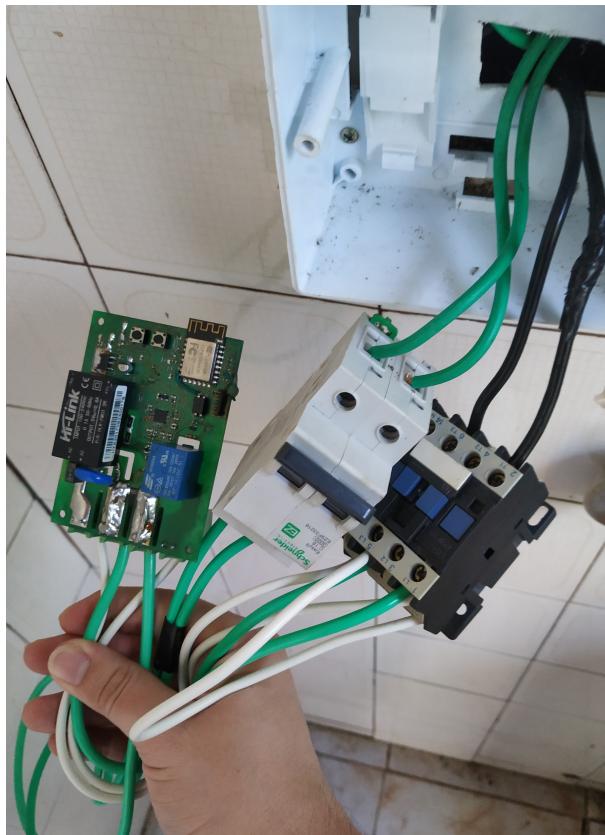


Figura 5.5: Conexão do Hardware desenvolvido com o condicionador de ar.

Em seguida, o sistema completo foi testado com o uso do aplicativo para realizar as requisições. A imagem 5.6 mostra as repostas das requisições no aplicativo, para cada funcionalidade.

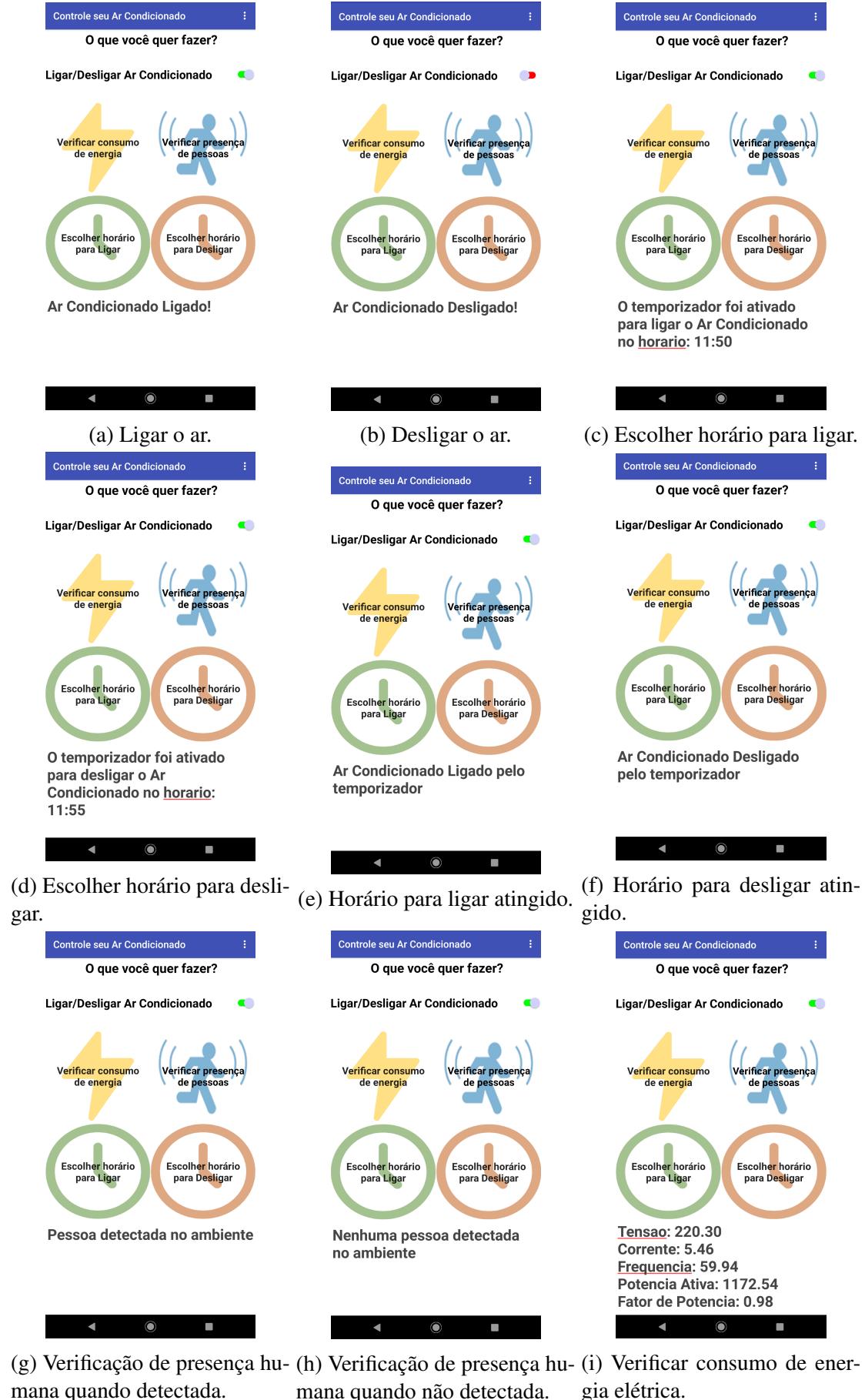


Figura 5.6: Retorno às requisições realizadas pelo aplicativo *mobile*.

Levando em consideração o acesso à internet para realizar a comunicação entre o aplicativo e o *hardware*, o sistema apresentou respostas rápidas às requisições feitas pelo usuário. Entretanto, as funcionalidades de escolher horário, tanto para ligar quanto para desligar, apresentaram uma demora de 15 segundos, em média, a serem executadas no horário escolhido. Isso é devido ao tempo necessário para a atualização do horário no servidor onde o *hardware* consulta tais informações.

5.2 Avaliação do circuito de medição de energia elétrica

Com o objetivo de avaliar o desempenho do circuito de medição de energia elétrica, foi selecionado um alicate amperímetro devidamente calibrado, representado pela figura 5.7, para realizar as medidas juntamente com a placa. Os testes seguiram as premissas abaixo:

- Medições realizadas com o funcionamento do sistema completo, ou seja, os valores obtidos por meio das requisições no aplicativo;
- Realização das medidas no momento de partida do compressor do condicionador de ar;
- Realização de 30 medições para cada grandeza (frequência, corrente, tensão e potência ativa);
- A medição de potência ativa por parte do alicate amperímetro realizada de forma indireta, ou seja, retirada a partir das medições de tensão, corrente e fator de potência;



Figura 5.7: Alicate amperímetro ET-3367C [16].

As tabelas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 representam os dados obtidos após a realização das medições, juntamente com o erro absoluto de tais aferições.

É possível observar que os maiores erros absolutos são 0.25%, 1.16%, 0.85% e 0.18% para a frequência, corrente, tensão e potência ativa, respectivamente. Os erros são devido principalmente à calibração prévia do CI medidor, que garante uma precisão na variação de 2% a 3%, conforme o *datasheet* [5].

Tabela 5.1: Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à frequência

Medidas de frequência pelo protótipo [Hz]	Medidas de frequência pelo alicate amperímetro [Hz]	Erro relativo [%]
59.91	60.03	0.20
59.94	60.06	0.20
59.89	60.01	0.20
59.89	60.02	0.22
59.89	60.02	0.22
59.94	59.99	0.08
59.91	60.00	0.15
59.91	59.98	0.12
59.94	60.02	0.13
59.89	60.04	0.25
59.89	59.99	0.17
59.94	59.98	0.07
59.89	60.00	0.18
59.94	60.01	0.12
59.89	60.02	0.22
59.84	59.95	0.18
59.96	60.02	0.10
59.86	59.98	0.20
59.86	59.98	0.20
59.94	60.03	0.15
59.89	59.99	0.17
59.91	59.97	0.10
59.91	59.99	0.13
59.91	60.01	0.17
59.99	60.02	0.05
59.94	60.03	0.15
59.89	60.00	0.18
59.94	59.98	0.07
59.89	59.99	0.17

Tabela 5.2: Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à corrente alternada

Medidas de corrente pelo protótipo [A]	Medidas de corrente pelo alicate amperímetro [A]	Erro relativo [%]
4.21	4.20	0.24
4.27	4.32	1.16
4.45	4.46	0.22
4.49	4.51	0.44
4.60	4.60	0.00
4.60	4.61	0.22
4.63	4.63	0.00
4.66	4.67	0.21
4.71	4.71	0.00
4.73	4.73	0.00
4.78	4.77	0.21
4.81	4.08	0.21
4.84	4.86	0.41
4.88	4.89	0.20
4.89	4.90	0.20
4.93	4.93	0.00
4.95	4.96	0.20
4.96	5.00	0.80
5.03	5.04	0.20
5.04	5.04	0.00
5.07	5.10	0.59
5.10	5.11	0.20
5.15	5.14	0.19
5.11	5.14	0.58
5.16	5.17	0.19
5.16	5.18	0.39
5.19	5.19	0.00
5.25	5.25	0.00
5.26	5.27	0.19

Tabela 5.3: Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à tensão alternada

Medidas de tensão alternada pelo protótipo [V]	Medidas de tensão alternada pelo alicate amperímetro [V]	Erro relativo [%]
221.8	222.8	0.45
221.6	222.3	0.31
221.6	222.4	0.36
222.8	223.1	0.13
222.5	223.5	0.45
222.0	223.6	0.72
222.4	223.6	0.54
222.3	223.5	0.54
221.3	223.2	0.85
221.6	222.5	0.40
221.4	222.6	0.54
221.3	222.2	0.41
222.1	222.3	0.09
222.0	223.0	0.45
222.3	222.9	0.27
221.9	223.1	0.54
222.0	223.0	0.45
222.3	223.1	0.36
221.5	222.7	0.54
221.2	222.6	0.63
221.5	222.7	0.54
221.3	222.4	0.49
221.6	222.7	0.49
221.6	222.6	0.45
222.3	223.3	0.45
222.1	223.4	0.58
222.2	223.5	0.58
221.5	223.4	0.85
221.8	222.8	0.45

Tabela 5.4: Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à potência ativa

Medidas de potência ativa pelo protótipo [W]	Medidas de potência ativa pelo alicate amperímetro [W]	Erro relativo [%]
934.45	935.76	0.14
958.61	960.34	0.18
990.61	991.90	0.13
1005.48	1006.18	0.07
1026.35	1028.10	0.17
1029.15	1030.80	0.16
1033.51	1035.27	0.17
1042.49	1043.75	0.12
1049.48	1051.27	0.17
1051.48	1052.43	0.09
1060.85	1061.80	0.09
1064.85	1066.56	0.16
1078.97	1080.38	0.13
1089.60	1090.47	0.08
1090.90	1092.21	0.12
1099.00	1099.88	0.08
1104.09	1106.08	0.18
1114.50	1115.50	0.09
1121.62	1122.41	0.07
1121.01	1121.90	0.08
1134.18	1135.77	0.14
1135.21	1136.46	0.11
1143.65	1144.68	0.09
1142.79	1144.16	0.12
1153.08	1154.46	0.12
1155.13	1157.21	0.18
1158.23	1159.97	0.15
1171.56	1172.85	0.11
1172.63	1174.16	0.13

Na figura 5.8 é possível observar uma representação gráfica do comparativo entre as medições do protótipo e do alicate amperímetro, gerada a partir das tabelas. Também é possível observar, nas figuras 5.8b e 5.8d, o comportamento do consumo de energia pelo condicionador de ar quando acontece a partida do compressor para iniciar o resfriamento do ambiente.

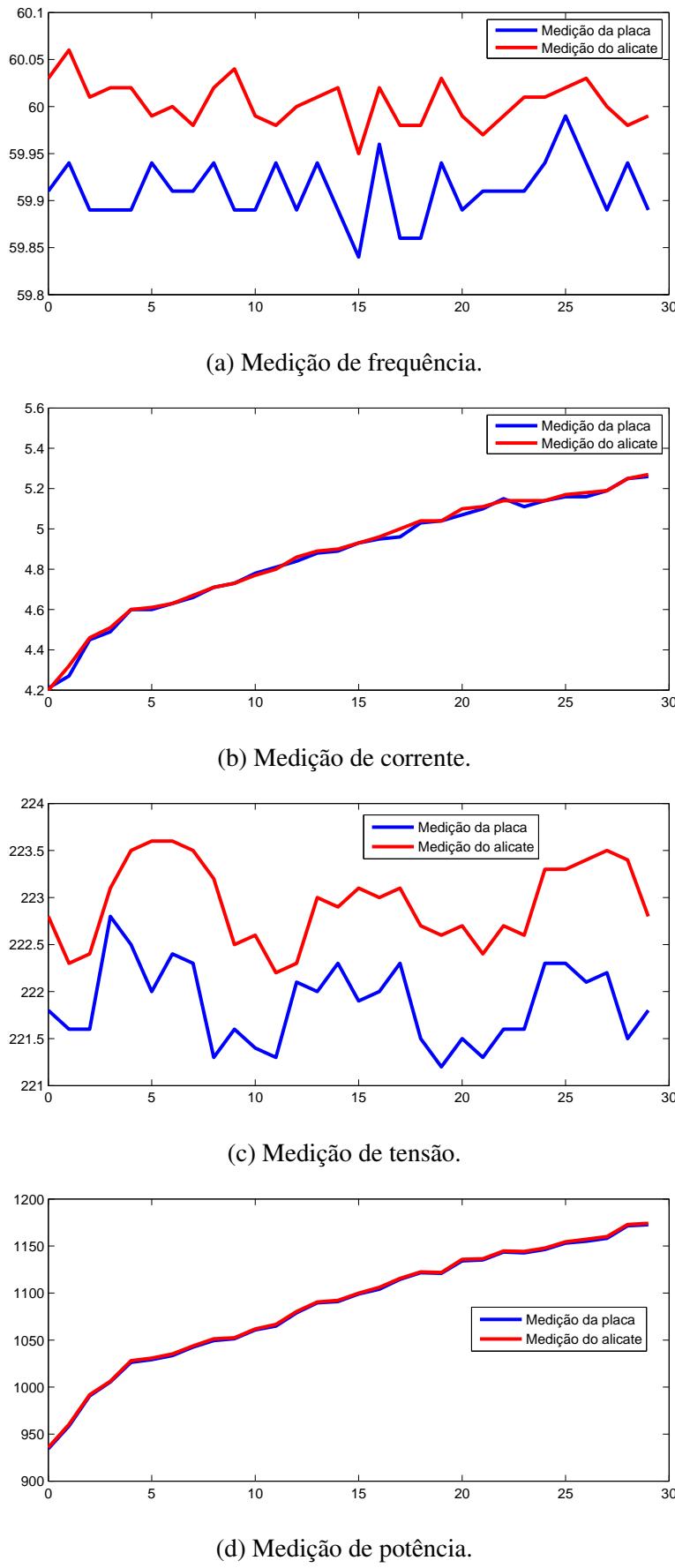


Figura 5.8: Representação gráfica das medições realizadas pela placa em comparação ao alicate amperímetro ET-3367C.

Capítulo 6

Conclusão

Referências Bibliográficas

- [1] TANTITHARANUKUL KITISAK OSATHANUNKUL, K. H. P. P. P. K. N. Mqtt-topics management system for sharing of open data. p. 1, 03 2017.
- [2] JUNIOR, O. R. Sistema de monitoramento residencial baseado em internet das coisas. p. 29, 2017.
- [3] SOUZA, N. Apostila de acionamentos elétricos. p. 11–18, 11 2009.
- [4] RUBIO, M. G. Curso de introdução à instrumentação em engenharia módulo básico. p. 51, 2000.
- [5] TECHNOLOGY, M. Mcp39f521: I2c power monitor with calculation and energy accumulation. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005442A.pdf>>.
- [6] AI-THINKER. *ESP-12F WiFi*. 2017. Disponível em: <<https://www.ai-thinker.com/home>>.
- [7] ELECTRONICS, D.-K. *ESP8266EX*. 2017. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/espressif-systems/ESP8266EX/1904-1001-1-ND/8028408>>.
- [8] ELETROÔNICA, E. *LED SMD 0603*. Disponível em: <<https://www.eletrodex.com.br/led-smd-0603.html>>.
- [9] ARZ. *Botão Push Button*. Disponível em: <<https://www.arzshop.com.br/kit-15-botao-push-button-chave-tactil-6x6x5mm-arduino-mps430>>.
- [10] FILIPEFLOP. Relé 5v songle srd-05vdc-sl-c. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/rele-5v-songle-srd-05vdc-sl-c/>>.

- [11] SCHNEIDER-ELECTRIC. Lc1d32bd: Product data sheet. Disponível em: <<https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/LC1D32BD>>.
- [12] TECHNOLOGY, M. MCP39F521. Disponível em: <<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP39F521>>.
- [13] ELECTRONICS, D. MCP9700. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/microchip-technology/MCP9700T-E-TT/MCP9700T-E-TTTR-ND/1212510>>.
- [14] PANASONIC. Pir motion sensors. p. 7, 2018. Disponível em: <https://www.panasonic-electric-works.com/cps/rde/xbcr/pew_eu_en/ca_pir_motionsensors_1192_en.pdf>.
- [15] ROBOTICA, A. Nodemcu v3 lolin - kit de desenvolvimento com esp8266 baseado em lua. Disponível em: <<https://www.autocorerobotica.com.br/nodemcu-v2-kit-de-desenvolvimento-com-esp8266-baseado-em-lua>>.
- [16] BRASIL, M. do. Et-3367c. Disponível em: <<http://www.minipa.com.br/alicates-produtos/alicates-digitais/357-et-3367c>>.
- [17] WAKA, G. M. Controle remoto de tomadas elétricas baseado nos conceitos de internet das coisas. p. 13, 2015.
- [18] IKRAM MOHAMMAD DAHMAN ALSHEHRI, F. K. H. M. A. Architecture of an iot-based system for football supervision. p. 1, 12 2015.
- [19] SYSTEMS, E. Esp8266ex datasheet. 2018. Disponível em: <<https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/>>.
- [20] TECHNOLOGY, M. Mcp39f521 power monitor demonstration board user's guide. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002413A.pdf>>.
- [21] ABDULLAH, H. M.; ZEKI, A. M. Frontend and backend web technologies in social networking sites: Facebook as an example. *2014 3rd International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies*, p. 1, December 2014.