



Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Tecnologia
Engenharia Elétrica - Eletrônica

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

Magno Aguiar de Carvalho

Manaus – Amazonas
Julho de 2019

Magno Aguiar de Carvalho

**Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento e
Controle Remoto 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

Este trabalho apresenta um sistema de monitoramento e controle remoto para condicionadores de ar de baixo custo, que utiliza conceitos de Internet das Coisas. A principal ferramenta utilizada foi o microcontrolador ESP8266, que através do protocolo MQTT recebe e retorna requisições de um aplicativo *mobile*. Foram utilizados um sensor de presença, para alertar o consumo desnecessário de energia, dispositivos de acionamento elétrico para acionar a carga e um medidor de energia elétrica foi desenvolvido para informar o consumo do condicionador de ar. Foi utilizado o protocolo Network Time Protocol para sincronizar o relógio do microprocessador, desta maneira foi possível ligar e desligar o condicionador de ar conforme horário escolhido no aplicativo. Para a programação do microcontrolador foi utilizada a linguagem de programação C++ juntamente com o software Arduino, que contém as bibliotecas de funções necessárias para a realização do trabalho.

Palavras-chave: Internet das coisas, condicionador de ar, ESP8266, MQTT, controle remoto.

Abstract

This work presents a remote monitoring and control system for low cost air conditioners, which uses Internet of Things concepts. The main tool used was the ESP8266 microcontroller, which through the MQTT protocol receives and returns requests from a mobile application. A presence sensor was used to alerting unnecessary energy consumption, electric drive devices to power the load and an energy meter was developed to inform the consumption of the air conditioner. The Network Time Protocol was used to synchronize the microprocessor clock, this way it was possible to turn on and off the air conditioner according to the chosen time in the application. For programming the microcontroller, the C ++ programming language was used along with the Arduino software, which contains all the functions needed to develop the system.

Keywords: Internet of Things, Air Conditioner, ESP8266, MQTT, Remote Control.

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	2
2.1 Internet das Coisas e o Protocolo MQTT	2
2.2 Dispositivos de Acionamento Elétrico	5
2.2.1 Relés	6
2.2.2 Contatoras	7
2.3 Medição de Energia Elétrica	8
3 Metodologia	10
3.1 Métodos de Hardware	11
3.1.1 Componentes utilizados	12
3.2 Métodos de <i>Firmware</i>	15
3.3 Métodos do aplicativo <i>mobile</i>	16
4 Desenvolvimento e Implementação	18
4.1 <i>Hardware</i>	18
4.2 <i>Firmware</i>	23

4.2.1	Comunicação sob o protocolo MQTT por meio da interface Wi-Fi	24
4.2.2	<i>Driver</i> de controle dos periféricos	25
4.2.3	Monitoramento dos sensores	25
4.3	Aplicativo <i>mobile</i>	26
5	Resultados	29
5.1	Testes das funcionalidades com o condicionador de ar	31
5.2	Avaliação do circuito de medição de energia elétrica	34
6	Conclusão	38
A	Medições Realizadas	40
	Referências Bibliográficas	44

Lista de Figuras

2.1	Arquitetura de funcionamento no protocolo MQTT [1].	4
2.2	As camadas do protocolo MQTT [2].	5
2.3	Diagrama esquemático de um relé [3].	7
2.4	Diagrama esquemático de uma contadora [3].	8
2.5	Blocos funcionais de um medidor de energia.	8
3.1	Arquitetura implementada.	10
3.2	Módulo ESP12-F [4].	12
3.3	Microcontrolador ESP8266EX [5].	13
3.4	LED SMD [6].	13
3.5	Relé SRD-05VDC-SL-C [7].	14
3.6	Contadora Telemecanique [8].	14
3.7	Circuito Integrado (CI) MCP39F521 [9].	15
3.8	Circuito Integrado MCP9700 [10].	15
3.9	Sensor de presença EKMC1601111 [11].	15
3.10	Módulo NodeMCU LoLin [12].	16
4.1	Esquemático elétrico do Circuito de alimentação e de ativação do Condicionador de Ar.	19
4.2	Esquemático elétrico referente ao Circuito do microcontrolador e de conexão com <i>Wi-Fi</i>	19
4.3	Esquemático elétrico do Circuito de Medição de energia elétrica e sensoriamento. .	20
4.4	Camadas <i>Top</i> e <i>Bottom</i> da PCB.	22
4.5	Visão isométrica da representação 3D do <i>layout</i> da PCB.	22
4.6	Diagrama em blocos do algoritmo de funcionamento do <i>firmware</i>	23

4.7	Fluxo de requisição no ponto de vista do <i>firmware</i>	25
4.8	Fluxo de requisição no ponto de vista do aplicativo <i>mobile</i>	26
4.9	Bloco de funcionalidade do App Inventor para a função liga/desliga.	27
4.10	Bloco de funcionalidade do App Inventor para obter informações do consumo de energia elétrica.	27
4.11	Bloco de funcionalidade do App Inventor para os temporizadores de liga/desliga. .	27
4.12	Bloco de funcionalidade do App Inventor verificação da presença humana.	27
4.13	Bloco de funcionalidade do App Inventor obtenção da resposta do <i>firmware</i> às requisições.	28
4.14	Ícones do aplicativo <i>mobile</i>	28
5.1	PCB montada com os componentes.	29
5.2	Tela principal do aplicativo <i>mobile</i>	30
5.3	Diagrama de conexão do hardware.	31
5.4	Condicionador de ar usado para testes.	31
5.5	Conexão do Hardware desenvolvido com o condicionador de ar.	32
5.6	Retorno às requisições realizadas pelo aplicativo <i>mobile</i>	33
5.7	Alicate amperímetro ET-3367C [13].	34
5.8	Comparação entre o protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C para tensão. . .	35
5.9	Comparação entre o protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C para corrente. .	36
5.10	Comparação entre o protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C para frequência. .	36
5.11	Comparação entre o protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C para potência ativa.	37

Lista de Tabelas

4.1	Lista de materiais	21
4.2	Mensagens de requisições de funcionalidades	24
A.1	Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à frequência	40
A.2	Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à corrente alternada	41
A.3	Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à tensão alternada	42
A.4	Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à potência ativa	43

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

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 (do inglês Internet of Things - IoT) foi utilizado a primeira vez em 1999 por Kevin Ashton durante uma apresentação para executivos da Procter & Gamble (P&G), para se referir a implementação de tecnologia RFID (Radio-Frequency IDentification) na cadeia de suprimentos da P&G com o objetivo de informatizar o sistema de estoque e torná-lo mais preciso, minimizando a atuação humana tão suscetível a falhas [14]. Apesar de, no primeiro momento, o termo utilizado referir-se a aplicação de uma tecnologia específica, o conceito de IoT se ampliou com o passar dos anos a partir dos avanços tecnológicos que tornaram a sua aplicabilidade viável e cada vez mais frequente [15].

Atualmente, a definição de IoT pode receber abordagens variadas, a depender da ótica

sob a qual está sendo relatada. Como definido por Atzori et al em seu artigo de 2010, a IoT pode ser apresentada sob três perspectivas: 1) visão orientada às coisas: com enfoque para os objetos; 2) visão orientada à Internet: com foco para a comunicação e as redes; 3) visão orientada a semântica: trata da interpretação dos dados gerados [16].

De forma geral, a IoT pode ser definida como uma extensão da Internet, que permite dispositivos físicos estabelecerem comunicação entre si ou com pessoas, através da rede mundial de computadores, possibilitando ao usuário adquirir e monitorar informações, além de permitir a conexão independente entre objetos inteligentes [15].

A aplicação da tecnologia IoT se estende aos mais diversos setores, podendo ser direcionada para interesses individuais, como no uso residencial para economia de energia, por exemplo, ou para interesses da sociedade em ocorrências de maior impacto como monitoramento de cheias, informações sobre terremotos, dados sobre o tráfego, monitoramento de pacientes internados, entre outros [17]. Dessa forma, a evolução da IoT constitui uma importante ferramenta no desenvolvimento de cidades inteligentes a partir do trabalho colaborativo entre diferentes sistemas em resposta às situações de forma automática [1].

O progresso da IoT é de interesse tanto da indústria, como da academia, onde há uma elevada expectativa sobre o uso desta tecnologia, sendo considerada a maior aposta para se apresentar como a nova revolução da tecnologia da informação [14]. Isto se dá em razão do seu potencial de uso nas mais diversas áreas das atividades humanas a fim de trazer avanços na automação residencial e industrial [15].

Em relação a estrutura, a IoT abrange a infraestrutura geral de funcionamento, incluindo software, hardware e serviços, que é usada para sustentar essas redes de informações. Para realizar a identificação dispositivos, é possível usar tecnologias de identificação como, por exemplo, RFID, que permitem que cada dispositivo seja identificado de forma única [17].

A IoT apresenta sua arquitetura que pode ser didaticamente dividida em camadas projetadas para responder às demandas de diferentes indústrias, empresas e sociedade. As camadas da arquitetura são e suas funcionalidades são [18]:

- Camada de Borda: camada de hardware que consiste em sistemas embarcados, etiquetas RFID, redes de sensores e todos os outros sensores em diferentes formas. Essa camada de hardware pode executar várias funções, como coleta de informações de um sistema ou ambiente, processamento de informações e apoio à comunicação.

- Camada de Acesso: direcionada ao manuseio de dados e é responsável por publicar e assinar os serviços fornecidos pelo objeto, pelo roteamento de mensagens e pela comunicação entre as plataformas.
- Camada de Internet: responsável por prover a comunicação e acesso à rede mundial de computadores. Camada de *middleware*: atua como intermediária entre as camadas de Internet e de Aplicação, sendo capaz de agrregar e filtrar os dados recebidos dos dispositivos de hardware, realizando a descoberta de informações e fornecendo controle de acesso aos dispositivos para aplicativos.
- Camada de aplicação: tem por objetivo processar os dados coletados na camada de hardware prover serviços específicos aos usuários.

Entendendo que o funcionamento da IoT baseia-se no compartilhamento de dados via Internet e que para integrar vários dispositivos em uma rede é necessário uma padronização de comunicação, o Protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) apresenta-se como uma opção de protocolo de comunicação de nível de aplicação seguro e viável [1].

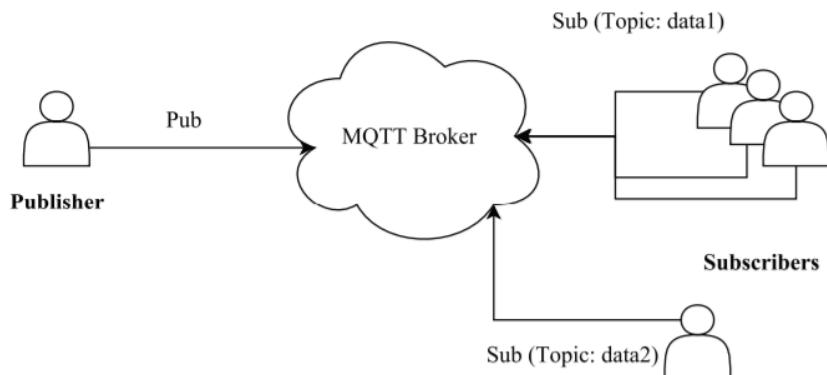


Figura 2.1: Arquitetura de funcionamento no protocolo MQTT [1].

o Protocolo MQTT é um protocolo de comunicação baseado na estratégia de publisher-/subscriber, é leve, possui pouca largura de banda, permite vários clientes conectados simultaneamente a um único servidor e garante que a mensagem seja enviada, além de possuir a licença livre de royalties o que o torna ideal para aplicações de IoT. O MQTT é o Protocolo mais popular entre os protocolos de comunicação devido ao seu peso e a sua capacidade de compartilhar muitos dados em tempo real. (MQTT, 2017)

O MQTT foi desenvolvido para ser usado sobre o protocolo TCP/IP (Transmission Control Protocol e Internet Protocol) e situa-se na camada de aplicação deste Protocolo que é res-

ponsável por fazer a comunicação entre os programas invocados pelos usuários e os protocolos de transporte. (Yuan, 2018)

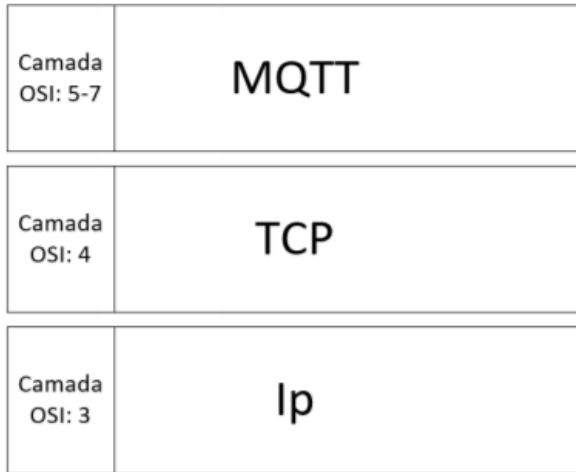


Figura 2.2: As camadas do protocolo MQTT [2].

A arquitetura do MQTT envolve três componentes principais: o Publisher e o Subscriber - que podem ser denominados como Clients - e o Broker. O Publisher é o dispositivo inteligente responsável por se conectar ao servidor para enviar informações, enquanto o Subscriber é responsável por escolher as informações que serão recebidas. É denominado de Broker o servidor que faz a intermediação entre Publisher e Subscriber, ao receber e organizar as mensagens enviadas pelo Publisher e enviá-las ao Subscriber [1].

O protocolo MQTT é orientado por mensagens em que cada mensagem é um pedaço discreto de dados. Toda mensagem é publicada em um endereço conhecido como tópico. Os Clients podem se inscrever em vários tópicos e todo cliente inscrito em um tópico recebe todas as mensagens publicadas em tal tópico. Como, por exemplo, em uma rede simples com três Clients e um Broker, todos os três Clients abrem conexões TCP com o Broker.

2.2 Dispositivos de Acionamento Elétrico

Os dispositivos de acionamentos elétricos são componentes usados em sistemas automatizados que recebem comandos de circuitos elétricos, acionando as cargas, ou seja, permitindo ou não a passagem de corrente elétrica entre um ou mais pontos dos circuitos a serem controlados. Dentre os dispositivos de comando disponíveis, aqueles responsáveis por realizar a função de comutação, ou seja, responsáveis por estabelecer, interromper e, no caso de variação de velo-

cidade, regular o valor de corrente absorvida por uma carga podem ser representados pelos relés e pelas contatoras, que são componentes eletromecânicos responsáveis por impedir ou permitir a passagem de corrente elétrica entre a fonte e a carga através de manobras (ligar e desligar), e destinam-se a ligar e desligar a carga de forma segura, ou seja, sem que haja o contato do operador no circuito de potência, onde circula a maior corrente. Apesar de os relés eletromagnéticos e contatoras apresentarem funções semelhantes, eles se diferem por características próprias em comportamento e aplicação [19].

2.2.1 Relés

O relé é um dispositivo elétrico responsável por produzir modificações súbitas e predefinidas em um ou mais circuitos elétricos de saída, quando alcançadas determinadas condições no circuito de entrada, que controla o dispositivo. Assim, o relé não possui a função de interromper o circuito principal, mas sim atuar como um sistema de manobra [20].

Os relés são compostos, de modo geral, por um eletroímã, em forma de bobina; uma armadura metálica, que possa ser atraída pelo campo magnético criado pelo eletroímã; uma mola e um conjunto de contatos elétricos, que serão abertos, fechados ou comutados, conforme a configuração de cada relé. A corrente elétrica, ao percorrer a bobina, dá origem a um campo magnético que atrai a armadura e provoca a alteração da posição dos contatos, gerando a abertura, fechamento ou comutação, a depender de posição e do tipo de relé, fazendo o dispositivo atuar.

Os relés são os elementos fundamentais de manobra de cargas elétricas, pois permitem a combinação de lógicas no comando, bem como a separação dos circuitos de potência e comando. A figura 2.3 representa um relé em seu modo mais simples, composto de uma carcaça com cinco terminais. Os terminais (1) e (2) representam a bobina de excitação, o terminal (3) representa o terminal de entrada, e os terminais (4) e (5) correspondem aos contatos normalmente fechado (NF) e normalmente aberto (NA), respectivamente. Uma característica importante dos relés é que não há contato físico entre os terminais de acionamento e os de trabalho, o que permite o surgimento de dois circuitos simultâneos em um painel elétrico, sendo:

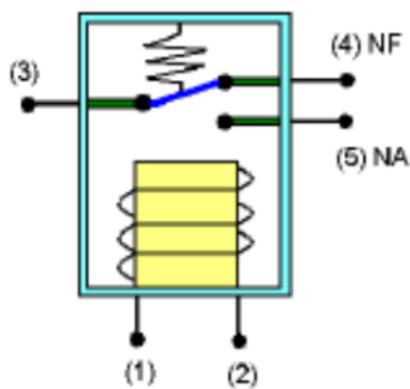


Figura 2.3: Diagrama esquemático de um relé [3].

- i. Circuito de comando: onde encontra-se a interface com o operador da máquina ou dispositivo e portanto trabalha com baixas correntes (até 10 A) e/ou baixas tensões.
- ii. Circuito de Potência: onde se encontram as cargas a serem acionadas, tais como motores, resistências de aquecimento, entre outras. Neste podem circular correntes elétricas da ordem de 10 A ou mais, e atingir tensões de até 760 V.

2.2.2 Contatoras

As contatoras, elementos principais de comandos eletromecânicos, são dispositivos de manobra mecânica, que permitem o controle de elevadas correntes por meio de um circuito de baixa corrente, construídos para uma elevada freqüência de operação.

Uma contadora consiste basicamente de um núcleo magnético bipartido, em que há uma parte móvel e a outra fixa e uma bobina. Quando a bobina eletromagnética é energizada, forma-se um campo magnético que se concentra na parte fixa do dispositivo e atrai o núcleo móvel, onde estão localizados os contatos móveis, que, por consequência, também são deslocados. Quando não há corrente circulando pela bobina de excitação, a parte fixa do núcleo é repelida por ação de molas. Contatos elétricos são distribuídos solidariamente a parte móvel do núcleo, constituindo um conjunto de contatos móveis. Mutuamente a carcaça da contadora existe um conjunto de contatos fixos. Cada jogo de contatos fixos e móveis podem ser do tipo Normalmente aberto (NA), ou normalmente fechados (NF).

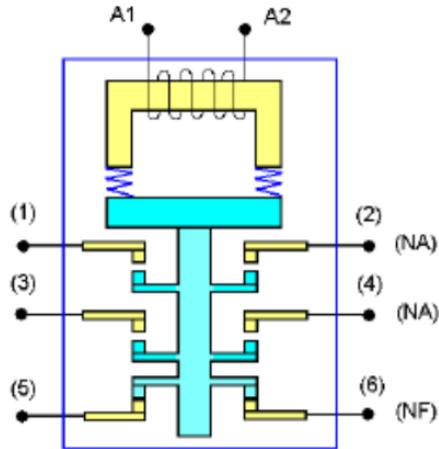


Figura 2.4: Diagrama esquemático de uma contadora [3].

Compostos por contatos móveis, as contadoras eletromecânicas podem ser divididas em dois tipos principais: os contadoras auxiliares e os de potência, classificação relacionada à disposição de seus contatos no dispositivo. De modo geral, o primeiro é utilizado para ligar e desligar circuitos de comando, sinalização, controle, interface com processadores eletrônicos, entre outros, enquanto o de potência é usado como chave de ligação e desligamento de motores e outras cargas elétricas.

A utilização de contadoras em circuitos elétricos apresenta como principais vantagens a capacidade de comando à distância, o elevado número de manobras e a extensa vida útil mecânica.

2.3 Medição de Energia Elétrica

Um sistema de medição de energia é composto principalmente por 4 blocos funcionais, conforme é representado na figura 2.5.



Figura 2.5: Blocos funcionais de um medidor de energia.

O Bloco Sensor é responsável por realizar as medições de forma analógica das grandezas de tensão e corrente da rede elétrica, normalmente através de divisores de tensão e por resistor

shunt - um resistor de baixíssima resistência - ou por um transformador de corrente, que induz uma tensão a partir da corrente que passa por ele [21].

O Bloco de Aquisição de Sinais é encarregado de realizar a conversão das grandezas de formato analógico para formato digital. Essa conversão normalmente é feita a partir de conversores analógicos/digitais chamados de Delta-Sigma, de alta precisão, por volta de 24 bits.

O Mecanismo de cálculo computa os outros parâmetros da rede elétrica, baseando-se nos valores de tensão e corrente elétrica obtidos no Bloco Sensor, dessa forma consegue obter os valores de frequência, potência e fator de potência. Com isso, esses valores são ajustados para facilitar a interpretação.

O Mecanismo de Armazenamento é incumbido de armazenar os dados fornecidos pelo Mecanismo de cálculo em registrados para fácil acesso. Estes registradores podem ser acessados de forma totalmente isolada por microcontroladores externos. Essa comunicação é feita comumente por 2 protocolos principais I2C e SPI.

Conforme retratado pelo Bloco Sensor, existem duas formas de medir a corrente: Resistor de tipo *shunt* ou transformador de corrente. O primeiro é mais barato e apresenta uma linearidade maior em relação ao range de medição, porém, quando o quesito é medição em altas correntes, o segundo leva vantagem, uma vez que a medição é do tipo indireta, ou seja, é mais seguro.

Capítulo 3

Metodologia

A proposta deste trabalho é desenvolver e implementar um sistema de monitoramento e controle remoto para condicionadores de ar baseado em IoT. Para ter uma visão geral sobre o sistema, a figura 3.1 ilustra a arquitetura como um todo.

Por ser baseado nos conceitos de IoT, o sistema incorpora um dispositivo, chamado aqui de *hardware*, responsável por controlar e monitorar o condicionador de ar por meio de certa inteligência incorporada, chamada aqui de *firmware*. O usuário, a partir de um aplicativo *mobile*, solicita e visualiza as informações relacionadas ao sistema, realizando requisições ao *firmware* embarcado no *hardware*.

As possíveis requisições são: obter consumo de energia elétrica, verificar presença humana no ambiente no qual o sistema está instalado e ligar ou desligar o condicionador de ar, além de poder realizar a escolha do horário para ligar e desligar previamente.

A comunicação entre o *firmware* e o aplicativo é por meio do protocolo MQTT, sendo gerenciada pelo *broker*. Resumidamente, o cliente MQTT contido no aplicativo *mobile* faz requisições por meio de mensagens que são enviadas ao cliente MQTT contido no *firmware* que, por sua vez, retorna ao aplicativo as informações solicitadas na requisição.

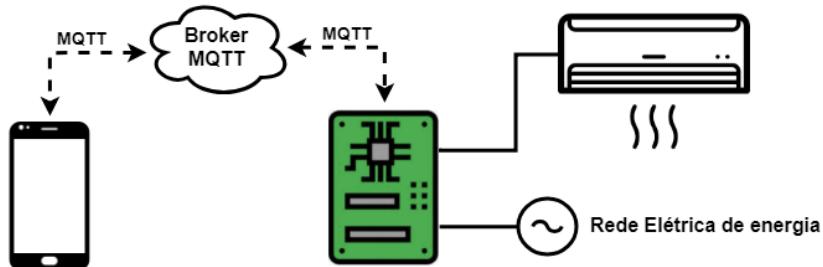


Figura 3.1: Arquitetura implementada.

Para cumprir com as funcionalidades do projeto, conforme retratado, faz-se necessário que haja o desenvolvimento de 3 partes: um *hardware*, um *firmware* e um aplicativo *mobile*.

O *Hardware* é responsável pela parte física, ou seja, é constituído pelos componentes eletrônicos e as ligações entre eles, usados para garantir a funcionalidade do sistema. Para que haja o funcionamento destes circuitos eletrônicos, é preciso que ocorra o desenvolvimento de um esquemático elétrico e de um desenho da placa de circuito impresso (PCB), também conhecido como *layout*, que foram desenvolvidos na plataforma Altium, versão 19.0.10.

Já o *Firmware* é responsável pela inteligência agregada ao *hardware*. Com o objetivo de gerenciar e controlar periféricos, como botões, chaves, diodos de emissão de luz (LEDs) e etc, o *firmware* é embarcado em um componente eletrônico, chamado microcontrolador, sendo desenvolvido na plataforma Arduino, versão 1.8.7.

Por fim, o Aplicativo *mobile* é incumbido de interagir com o usuário a partir de botões, caixas de texto, menus e etc, e também de inter-relacionar-se com o *Firmware*, executando as requisições do usuário final. O aplicativo *mobile* foi desenvolvido utilizando a plataforma App Inventor, versão 2, e o editor Notepad++, versão 7.6.

3.1 Métodos de Hardware

Para realizar as funcionalidades levantadas, o *Hardware* foi dividido em 3 circuitos eletrônicos principais, sendo eles: **Circuito do microcontrolador e de conexão com Wi-Fi**, **Círculo de alimentação e de ativação do Condicionador de Ar** e **Círculo de Medição de energia elétrica e sensoriamento**.

O Circuito do microcontrolador e de conexão com *Wi-Fi* é responsável por permitir que o *Hardware* gerencie os periféricos e comunique por meio do protocolo MQTT quando conectado em um roteador com acesso à internet.

O Circuito de alimentação e de ativação do Condicionador de Ar é incumbido de adequar a energia elétrica da rede para alimentar corretamente os periféricos do *Hardware* e controlar a alimentação elétrica entregue à carga, ou seja, permitir ou não o fluxo de energia.

E o Círculo de Medição de energia elétrica e sensoriamento é responsável por realizar as medições provenientes da rede elétrica - como tensão, corrente, 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.

3.1.1 Componentes utilizados

Com base nos circuitos previamente citados, é necessário definir quais são os componentes eletrônicos disponíveis no mercado que possibilitem a implementação, adotando como critérios a disponibilidade e baixo custo, visando tornar o produto atrativo ao usuário final.

Para suprir as funcionalidades do **Circuito do microcontrolador e de conexão com Wi-Fi**, o componente principal escolhido foi o módulo ESP12-F, representado na figura 3.2, 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 3.3, e suas principais características são [22]:

- 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;
- Interface de gravação tanto por UART, quanto por *over-the-air* (OTA);
- Até 4 perfis de baixo consumo de energia.



Figura 3.2: Módulo ESP12-F [4].



Figura 3.3: Microcontrolador ESP8266EX [5].

Foram adicionados 2 (dois) *light-emitting diodes* (LEDs) do tipo *surface mounting device* (SMD), representado na figura 3.4, a este circuito também, um para indicar comunicação pelo protocolo MQTT e um para indicar se a alimentação elétrica de todos os circuitos está nos níveis corretos.



Figura 3.4: LED SMD [6].

Para o **Círcuito de alimentação e de ativação do Condicionador de Ar**, o principal componente escolhido foi o relé SRD-05VDC-SL-C, representado na figura 3.5, 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 3.5: Relé SRD-05VDC-SL-C [7].

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 tanto condicionadores de ar monofásicos quanto bifásicos, foram levantadas 2 (duas) contatoras, uma que aceitasse 110 VAC e outra que aceitasse 220 VAC no enrolamento de alimentação, conforme representado na imagem 3.6.



Figura 3.6: Contadora Telemecanique [8].

Para o **Círculo de Medição de energia elétrica e sensoriamento**, o componente escolhido para fazer as medições de tensão, corrente, potência ativa e frequência da rede de energia elétrica foi MCP39F521, representado na figura 3.7. 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 [23].

Foi adicionado também o CI MCP9700, um sensor de temperatura analógico, representado pela figura 3.8, para verificar a ocorrência de superaquecimento, evitando possíveis causas de incêndio.

Para realizar as medições de presença humana o componente utilizado foi o sensor EKMC1601111, ilustrado pela figura 3.9.



Figura 3.7: Circuito Integrado (CI) MCP39F521 [9].



Figura 3.8: Circuito Integrado MCP9700 [10].



Figura 3.9: Sensor de presença EKMC1601111 [11].

3.2 Métodos de *Firmware*

A partir do levantamento de funcionalidades 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**.

Para que as requisições provenientes do aplicativo *mobile* tenham efeito sobre o *hardware*, o *firmware* precisa comunicar-se a partir do protocolo MQTT e, para isso, precisa gerenciar a comunicação com a rede Wi-Fi e garantir conexão com a internet.

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*, para isso é implementada uma camada, chamada de *Driver*, responsável por fazer esse intermédio entre o microcontrolador e estes periféricos.

Com objetivo de tornar o condicionador de ar mais protegido contra uma rede elétrica de má qualidade, faz-se necessário que haja o monitoramento dos parâmetros desta rede elétrica, pelo qual o *firmware* é responsável, além de possibilitar economia de energia, através do monitoramento do sensor de presença.

O desenvolvimento inicial do *firmware*, foi executado utilizando o módulo NodeMCU LoL1n, mostrado na figura 3.10, 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.

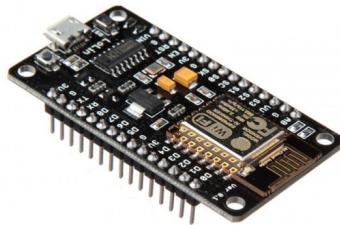


Figura 3.10: Módulo NodeMCU LoL1n [12].

3.3 Métodos do aplicativo *mobile*

Por fim, o aplicativo *mobile* foi desenvolvido em 2 (duas) frentes, primeiramente a parte que o usuário não vê, chamada aqui de ***backend***, 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, chamada aqui de ***frontend***, como os botões, caixas de texto e etc.

O *backend* foi desenvolvido usando a linguagem JavaScript, com o auxílio da ferramenta Notepad++, que é passada a um *smartphone* onde será executado o aplicativo *mobile*. É gerenciada, por esta parte do projeto, a comunicação com a internet, seja por meio da interface Wi-Fi ou por dados móveis, para acesso ao *broker MQTT*.

O *fronted* foi desenvolvido usando a plataforma App Inventor, que é capaz de gerar um pacote a ser instalado no *smartphone*. É gerenciada, por esta parte do projeto, a interação com o usuário e solicitação de comunicação com o *backend* desenvolvido do aplicativo.

Capítulo 4

Desenvolvimento e Implementação

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

4.1 *Hardware*

A partir dos circuitos elétricos previamente citados na seção 3.1, 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 [24], que auxiliou principalmente no **Círcuito de Medição e Sensoriamento**. Elaborou-se então os esquemáticos elétricos, ilustrados nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3.

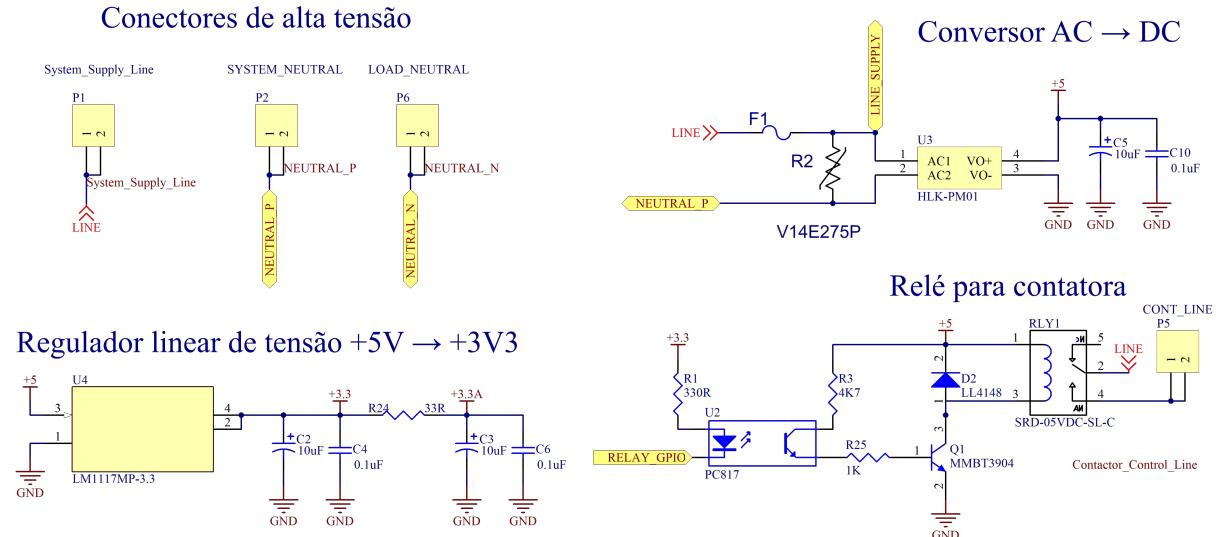


Figura 4.1: Esquemático elétrico do Circuito de alimentação e de ativação do Condicionador de Ar.

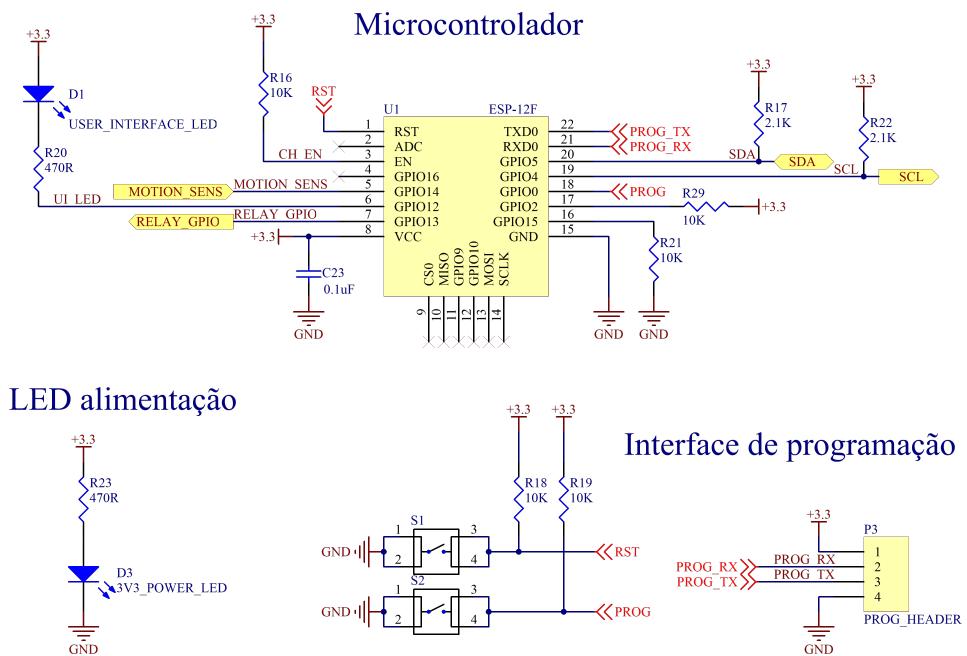


Figura 4.2: Esquemático elétrico referente ao Circuito do microcontrolador e de conexão com Wi-Fi.

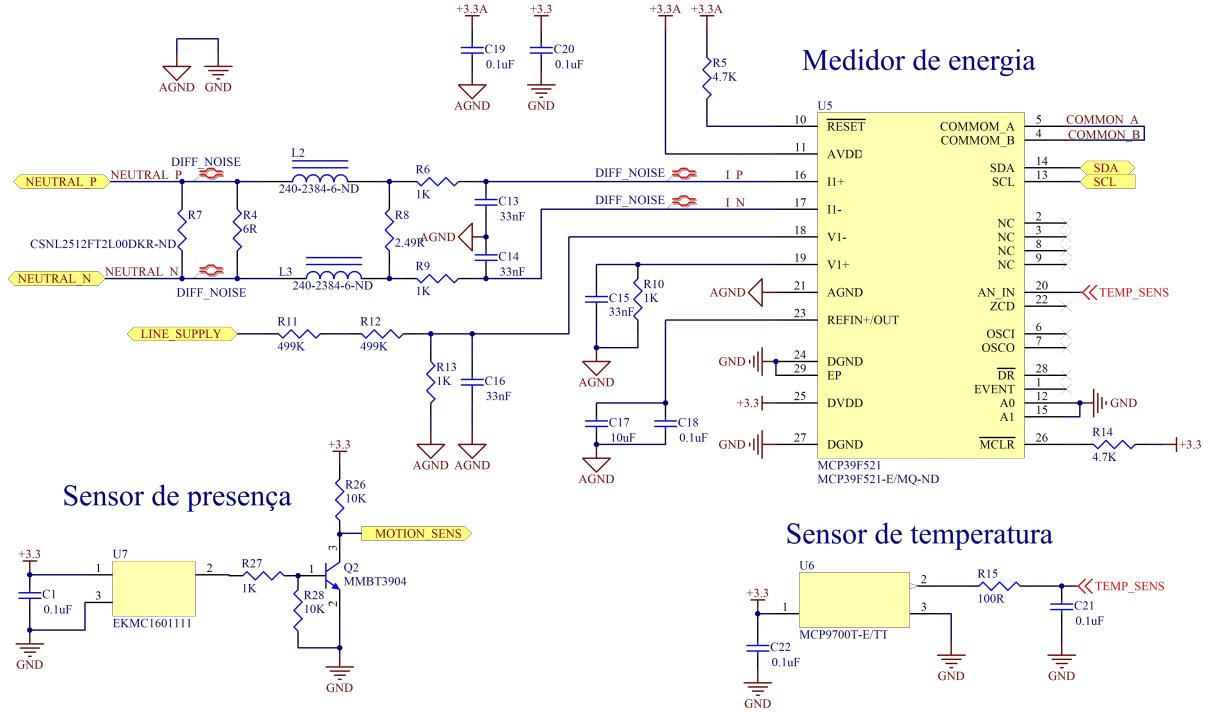


Figura 4.3: Esquemático elétrico do Circuito de Medição de energia elétrica e sensoriamento.

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 4.1, 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 4.1, 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 4.4, levando em conta novamente os documentos disponibilizados pelos fabricantes dos CI's 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 4.5.

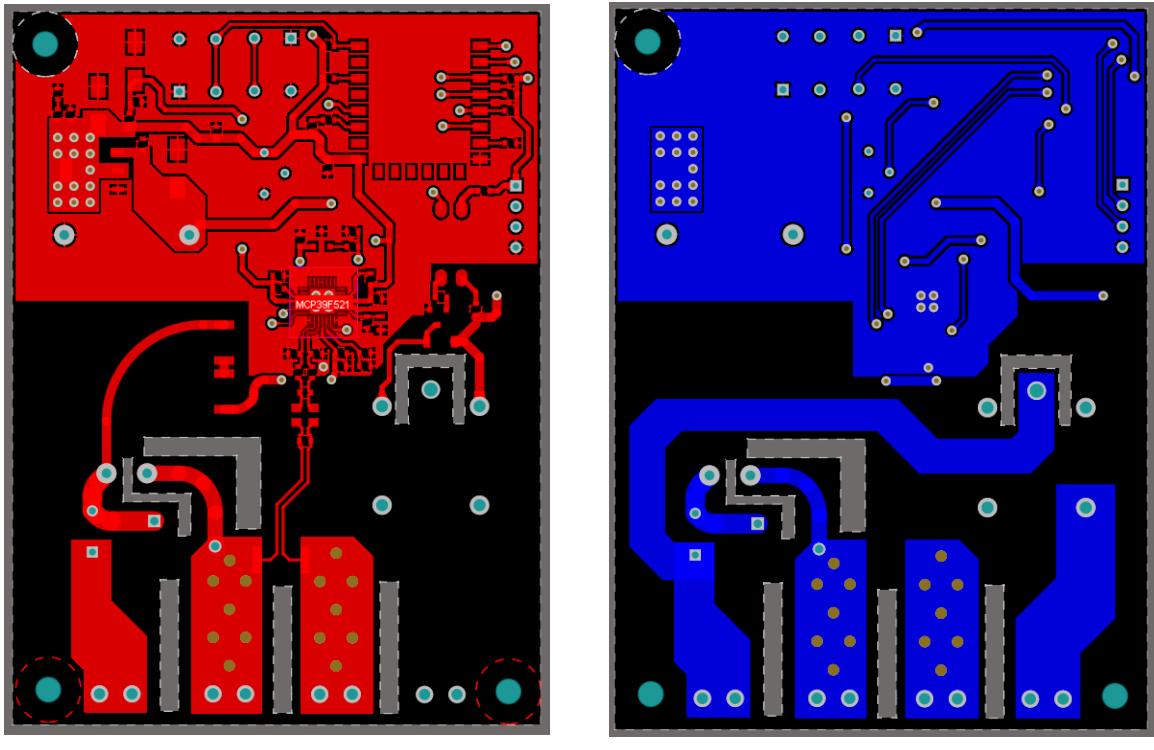
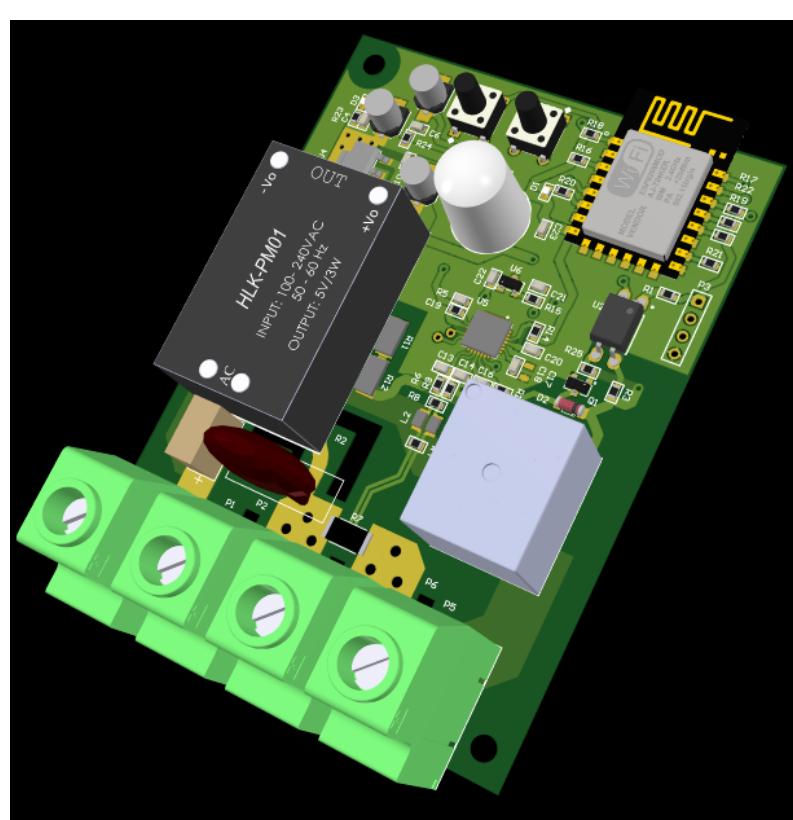
Figura 4.4: Camadas *Top* e *Bottom* da PCB.

Figura 4.5: Visão isométrica da representação 3D do layout da PCB.

4.2 Firmware

A partir das informações contidas no capítulo 3, foi possível elaborar um algoritmo da funcionamento do *firmware*, representando na figura 4.6, capaz de englobar as funcionalidades previamente levantadas. Tal diagrama foi elaborado com o intuito de guiar e facilitar o desenvolvimento deste pilar do projeto.

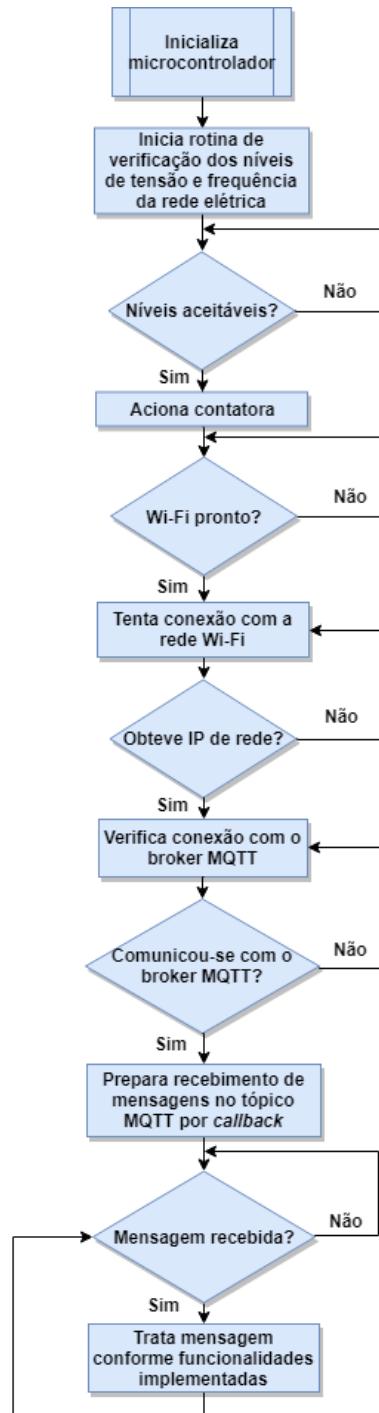


Figura 4.6: Diagrama em blocos do algoritmo de funcionamento do *firmware*.

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* o *hardware* deve conectar em uma rede Wi-Fi com acesso à internet.

Conectada à uma rede com acesso à internet, o *hardware* é capaz de comunicar-se com o *broker* MQTT e trocar mensagens, a partir do tópico escolhido. Conforme a figura 4.6, 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 4.7.

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)

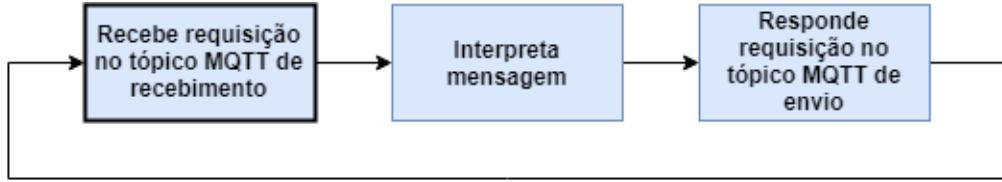


Figura 4.7: Fluxo de requisição no ponto de vista do *firmware*.

4.2.2 *Driver* de controle dos periféricos

Conforme retratado na subseção 3.2, o *Driver* é responsável por controlar os periféricos, garantindo que as funcionalidades, no mundo físico, sejam executadas. Para a aplicação, o *driver* controla o acionamento do condicionador de ar, realiza a leitura dos valores de energia elétrica e verifica a presença humana a partir da leitura no sensor.

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 4.1.

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 3.7. 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 circuito 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 na 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 3.9.

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.

Para esta aplicação, primeiramente foi desenvolvida a comunicação com o *broker MQTT* e a troca de mensagens com o *hardware* por meio do tópico escolhido, respeitando o fluxograma representado pela figura, 4.8. Em seguida, desenvolveu-se a interação do usuário com o sistema a partir da escolha da funcionalidade.

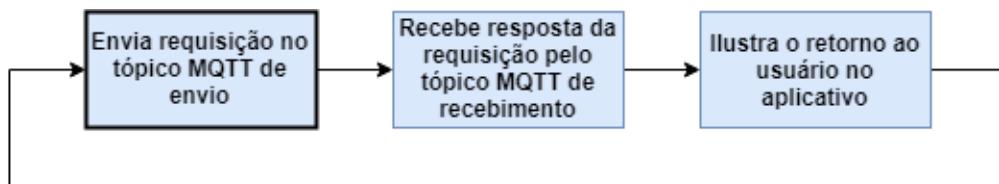


Figura 4.8: Fluxo de requisição no ponto de vista do aplicativo *mobile*.

A partir disso, as funcionalidades citadas anteriormente foram desenvolvidas seguindo

os tipos de mensagens previamente retratados na tabela 4.2, finalizando-se assim a elaboração do *backend* do aplicativo *mobile*, no qual é totalmente representado pelas imagens 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13 referentes aos diagramas de lógicas na plataforma App Inventor.

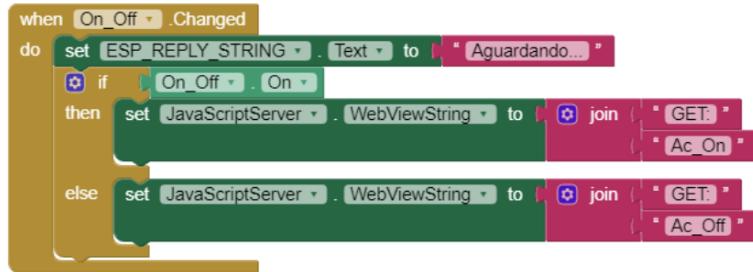


Figura 4.9: Bloco de funcionalidade do App Inventor para a função liga/desliga.

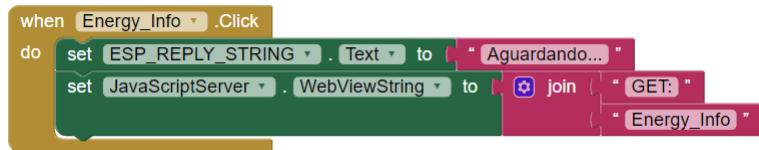


Figura 4.10: Bloco de funcionalidade do App Inventor para obter informações do consumo de energia elétrica.

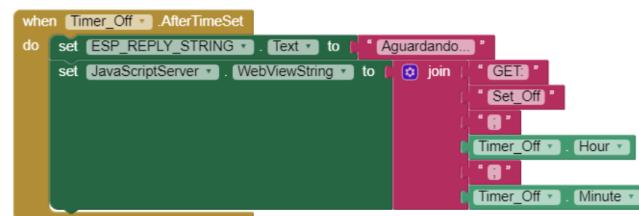
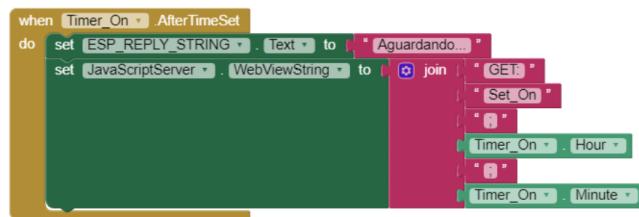


Figura 4.11: Bloco de funcionalidade do App Inventor para os temporizadores de liga/desliga.

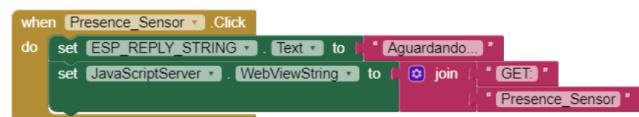


Figura 4.12: Bloco de funcionalidade do App Inventor verificação da presença humana.

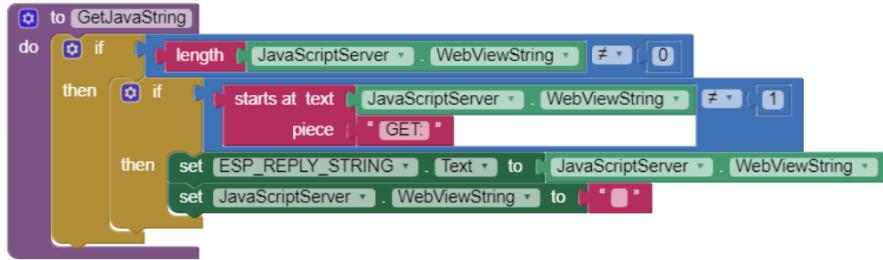


Figura 4.13: Bloco de funcionalidade do App Inventor obtenção da resposta do *firmware* às requisições.

Para o *frontend*, foi inicialmente analisada a interatividade com o aplicativo a nível de usuário com botões sem ícones. Observou-se então que a falta de ilustração das funcionalidades nos botões tornava o aplicativo não intuitivo, portanto foram escolhidos os ícones, retratados na figura 4.14, 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.

Ligar/Desligar Ar Condicionado



(a) Ícone da função Liga/Desliga.



(b) Ícone da função para obter os níveis da energia elétrica no condicionador de ar.



(c) Ícone da função da verificação de presença humana.



(d) Ícone da função de temporizador para ligar.



(e) Ícone da função de temporizador para desligar.

Figura 4.14: 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 4.2, 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 entre a rede elétrica, o hardware e o condicionador de ar.

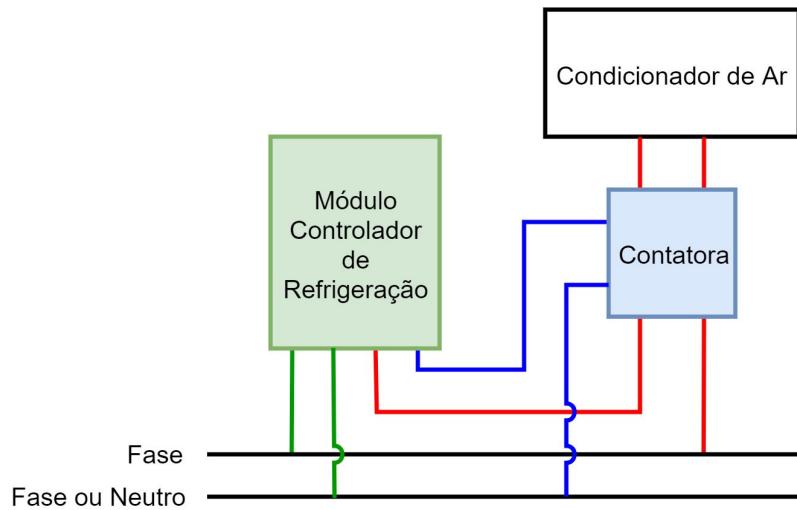


Figura 5.3: Diagrama de conexão do hardware.

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 evaporadora 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.

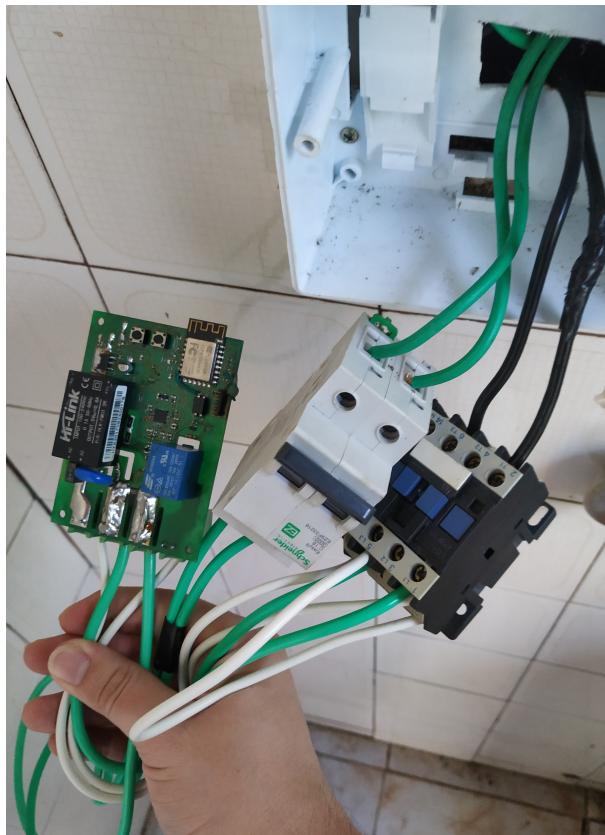


Figura 5.5: Conexão do Hardware desenvolvido com o condicionador de ar.

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.

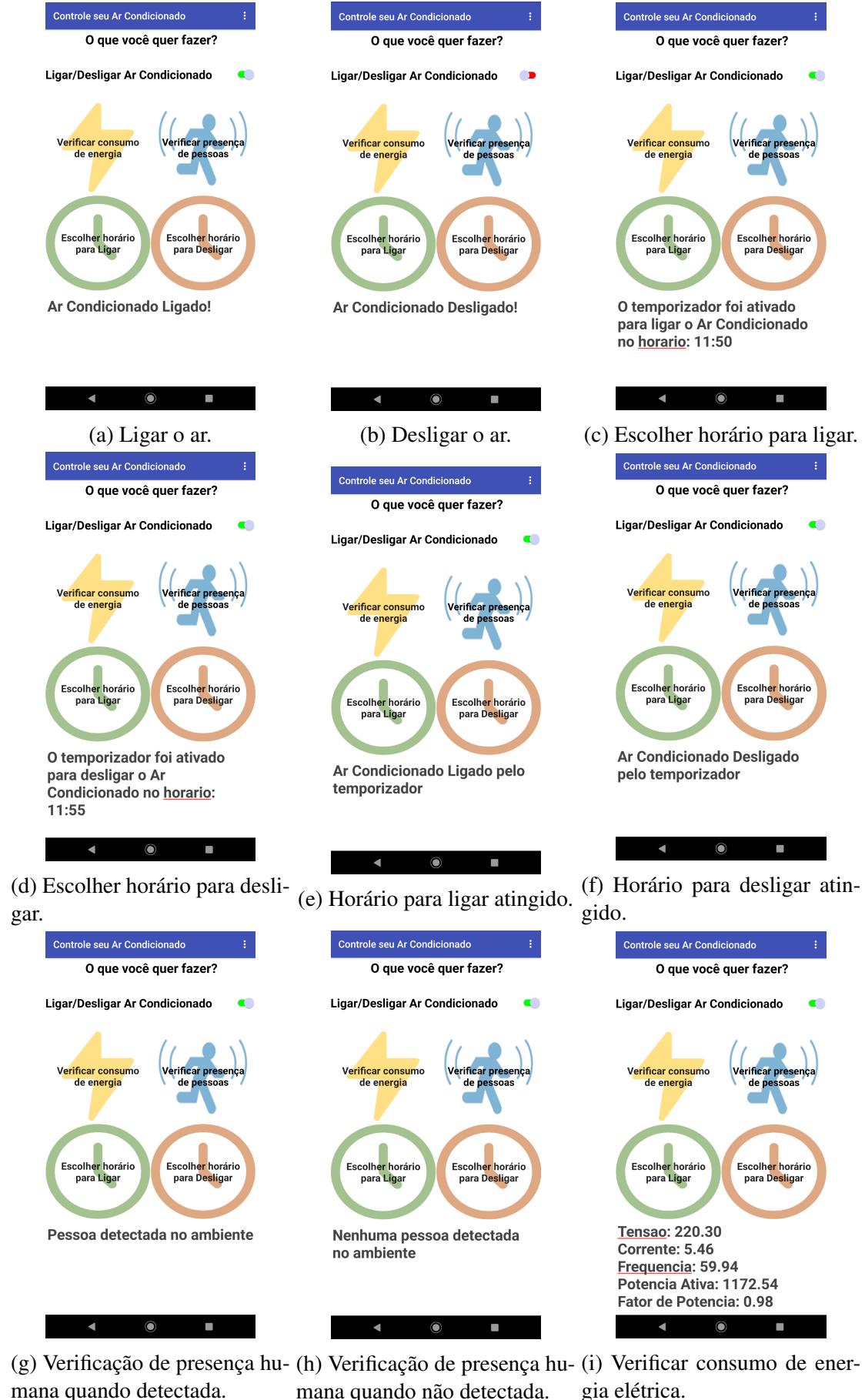


Figura 5.6: Retorno às requisições realizadas pelo aplicativo *mobile*.

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 após horário escolhido ser atingido. Esta variação é justificada em razão do tempo necessário para a atualização do horário no servidor onde o *firmware* 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:

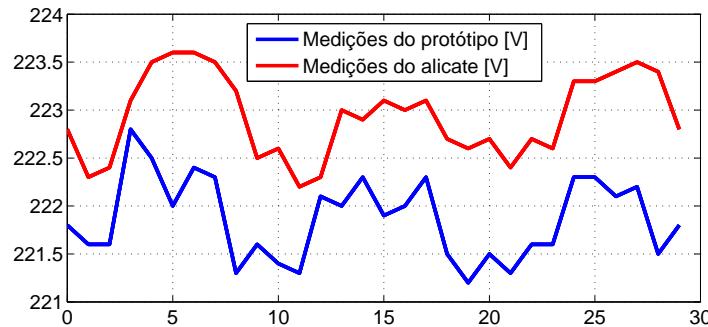
- Medições realizadas com o funcionamento do sistema completo, ou seja, os valores obtidos por meio das requisições no aplicativo;
- Realização das medidas no momento de partida do compressor do condicionador de ar;
- Realização de 30 medições para cada grandeza (frequência, corrente, tensão e potência 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;



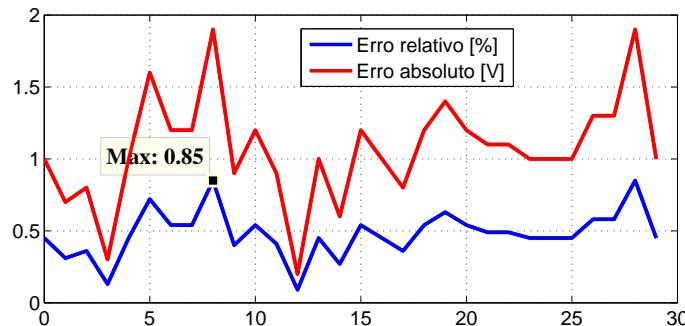
Figura 5.7: Alicate amperímetro ET-3367C [13].

É possível observar uma representação gráfica, nas figuras 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11, do comparativo entre as medições realizadas pelo protótipo e pelo alicate amperímetro juntamente com os erros relativos e absolutos, gerada a partir dos dados contidos nas tabelas do Apêndice A.

As figuras 5.9a e 5.11a, representam claramente o comportamento do consumo de energia pelo condicionador de ar quando acontece a partida do compressor para iniciar o resfriamento do ambiente.

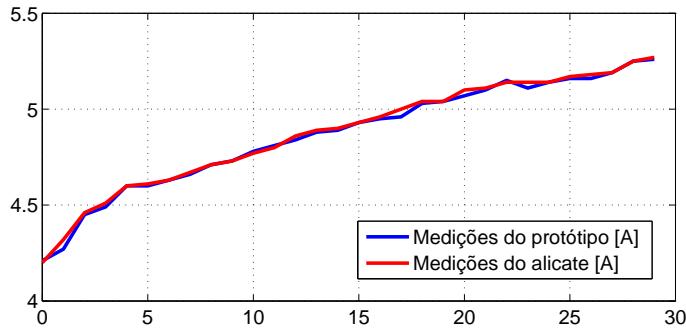


(a) Medidas de tensão do protótipo e do alicate amperímetro.

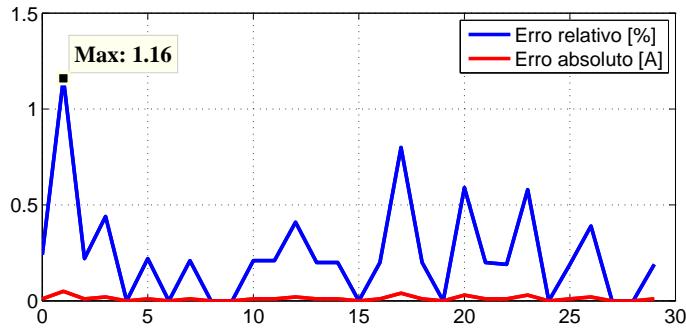


(b) Erro relativo e absoluto.

Figura 5.8: Comparação entre o protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C para tensão.

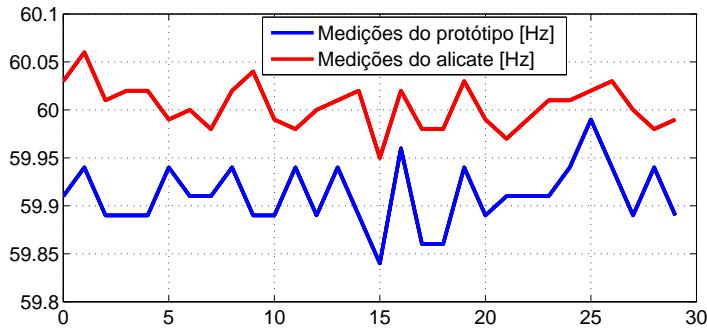


(a) Medidas de corrente do protótipo e do alicate amperímetro.

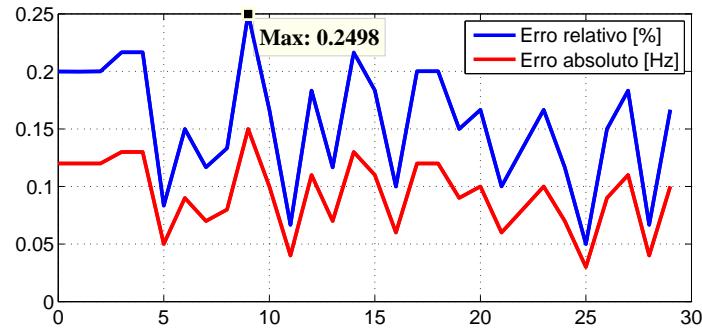


(b) Erro relativo e absoluto.

Figura 5.9: Comparação entre o protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C para corrente.

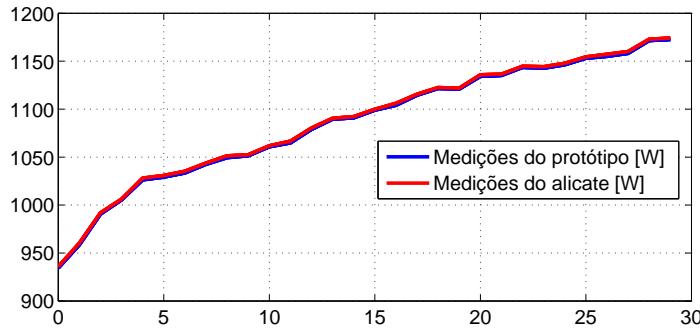


(a) Medidas de frequência do protótipo e do alicate amperímetro.

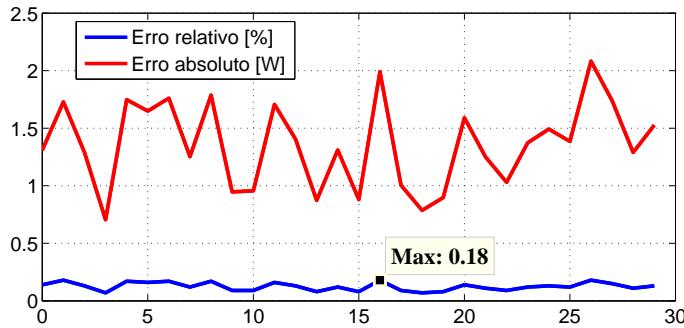


(b) Erro relativo e absoluto.

Figura 5.10: Comparação entre o protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C para frequência.



(a) Medidas de potencia ativa do protótipo e do alicate amperímetro.



(b) Erro relativo e absoluto.

Figura 5.11: Comparação entre o protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C para potência ativa.

É possível observar que os maiores erros relativos são 0.2498%, 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* [23], e o atraso para a atualização das informações nos registradores, uma vez que o CI processa os dados antes de fornecê-los para acesso.

Capítulo 6

Conclusão

Apêndice A

Medições Realizadas

Tabela A.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 A.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 A.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 A.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

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] AI-THINKER. *ESP-12F WiFi*. 2017. Disponível em: <<https://www.ai-thinker.com/home>>.
- [5] ELECTRONICS, D.-K. *ESP8266EX*. 2017. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/espressif-systems/ESP8266EX/1904-1001-1-ND/8028408>>.
- [6] ELECTRONICS, D.-K. *LED GREEN DIFFUSED 0603 SMD*. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/rohm-semiconductor/SML-E12P8WT86/511-1585-2-ND/1641804>>.
- [7] FILIPEFLOP. Relé 5v songle srd-05vdc-sl-c. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/rele-5v-songle-srd-05vdc-sl-c/>>.
- [8] SCHNEIDER-ELECTRIC. Lc1d32bd: Product data sheet. Disponível em: <<https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/LC1D32BD>>.
- [9] TECHNOLOGY, M. *MCP39F521*. Disponível em: <<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP39F521>>.
- [10] ELECTRONICS, D. *MCP9700*. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/microchip-technology/MCP9700T-E-TT/MCP9700T-E-TTTR-ND/1212510>>.

- [11] 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>.
- [12] 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>>.
- [13] BRASIL, M. do. Et-3367c. Disponível em: <<http://www.minipa.com.br/alicates-produtos/alicates-digitais/357-et-3367c>>.
- [14] ASHTON, K. *That 'Internet of Things' Thing.* Disponível em: <<https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>>.
- [15] SANTOS, E. al. Internet das coisas: da teoria a prática. Disponível em: <<http://www.ssrc2016.ufba.br/downloads/anais/MinicursosSBRC2016.pdf>>.
- [16] ATZORI, L. The internet of things: A survey. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download-doi-10.1.1.719.9916-rep-rep1-type-pdf>>.
- [17] GUBBI, J. Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions. Disponível em: <<http://www.buyya.com/papers/Internet-of-Things-Vision-Future2013.pdf>>.
- [18] ZARGHAMI, S. Middleware for internet of things. Disponível em: <<https://essay.utwente.nl/64431/1/final-Thesis-ver2.pdf>>.
- [19] FRANCHI, M. C. *ACIONAMENTOS ELETRICOS.* Disponível em: <<http://evtech.com.br/usuario/LIVRO-20Acionamentos-20El-C3-A9tricos-20-20Claiton-20Moro-20Franchi.pdf>>.
- [20] RADIOGRAFIA. *Reles e contatores.* Disponível em: <<http://www.instalacoeselectricas.com/download/radiografia-reles-contatores-out09.pdf>>.
- [21] MINCIUNESCU, P. Fundamentals of energy metering. Disponível em: <<https://www.analog.com/en/education/education-library/webcasts/fun-of-energy-metering.html>>.

- [22] SYSTEMS, E. Esp8266ex datasheet. 2018. Disponível em: <<https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/>>.
- [23] TECHNOLOGY, M. Mcp39f521: I2c power monitor with calculation and energy accumulation. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005442A.pdf>>.
- [24] TECHNOLOGY, M. Mcp39f521 power monitor demonstration board user's guide. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002413A.pdf>>.