



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 de baixo custo para condicionadores de ar, 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* pela internet. Foram utilizados um sensor de presença, para alertar o consumo desnecessário de energia, dispositivos de acionamento elétrico para acionar a carga e foi desenvolvido um circuito medidor de energia elétrica para informar o consumo do condicionador de ar. Além disso, 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. Por fim é apresentado um comparativo experimental da medição do consumo de energia elétrica entre o protótipo desenvolvido e um medidor de energia já difundido no mercado, de modo a validar o sistema para implantação.

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

# **Abstract**

This work presents a low cost remote monitoring and control system for 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 over the internet. A presence sensor was used to alert unnecessary power consumption, electric drive devices to power the load and an electric energy meter circuit was developed to inform the air conditioner consumption. In addition, the Network Time Protocol was used to synchronize the clock of the microprocessor, in this way it was possible to turn on and off the conditioner according to the chosen time in the application. Finally, an experimental comparative of the electric power consumption measurement between the developed prototype and a energy meter already distributed in the market is shown, in order to validate the system for deployment.

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

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	iii
<b>Lista de Tabelas</b>	v
<b>Abreviações</b>	vi
<b>1 Introdução</b>	1
1.1 Objetivo Geral . . . . .	2
1.2 Objetivos Específicos . . . . .	2
1.3 Organização do trabalho . . . . .	2
<b>2 Fundamentação Teórica</b>	4
2.1 Internet das Coisas e o Protocolo MQTT . . . . .	4
2.2 Dispositivos de Acionamento Elétrico . . . . .	8
2.2.1 Relés . . . . .	8
2.2.2 Contatoras . . . . .	9
2.3 Medição de Energia Elétrica . . . . .	10
<b>3 Metodologia</b>	12
3.1 Métodos de Hardware . . . . .	13
3.1.1 Componentes utilizados . . . . .	14
3.2 Métodos de <i>Firmware</i> . . . . .	17
3.3 Métodos do aplicativo <i>mobile</i> . . . . .	18
<b>4 Desenvolvimento e Implementação</b>	20
4.1 <i>Hardware</i> . . . . .	20
4.2 <i>Firmware</i> . . . . .	25

4.2.1	Comunicação sob o protocolo MQTT por meio da interface Wi-Fi . . . . .	26
4.2.2	<i>Driver</i> de controle dos periféricos . . . . .	27
4.2.3	Monitoramento dos sensores . . . . .	27
4.3	Aplicativo <i>mobile</i> . . . . .	28
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>31</b>
5.1	Testes das funcionalidades com o condicionador de ar . . . . .	34
5.2	Avaliação do circuito de medição de energia elétrica . . . . .	37
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>41</b>
6.1	Trabalhos futuros . . . . .	42
<b>A</b>	<b>Medições Realizadas</b>	<b>44</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>		<b>48</b>

# **Lista de Figuras**

2.1	As camadas do protocolo MQTT [12]. . . . .	7
2.2	Arquitetura de funcionamento no protocolo MQTT [9]. . . . .	7
2.3	Diagrama esquemático de um relé [15]. . . . .	9
2.4	Diagrama esquemático de uma contadora [15]. . . . .	10
2.5	Blocos funcionais de um medidor de energia. . . . .	10
3.1	Arquitetura implementada. . . . .	12
3.2	Módulo ESP12-F [18]. . . . .	14
3.3	Microcontrolador ESP8266EX [19]. . . . .	15
3.4	LED SMD [20]. . . . .	15
3.5	Relé SRD-05VDC-SL-C [21]. . . . .	16
3.6	Contadora Telemecanique [22]. . . . .	16
3.7	Circuito Integrado (CI) MCP39F521 [24]. . . . .	17
3.8	Circuito Integrado MCP9700 [25]. . . . .	17
3.9	Sensor de presença EKMC1601111 [26]. . . . .	17
3.10	Módulo NodeMCU LoLin [27]. . . . .	18
4.1	Esquemático elétrico do Circuito de alimentação e de ativação do Condicionador de Ar. . . . .	21
4.2	Esquemático elétrico referente ao Circuito do microcontrolador e de conexão com <i>Wi-Fi</i> . . . . .	21
4.3	Esquemático elétrico do Circuito de Medição de energia elétrica e sensoriamento. .	22
4.4	Camadas <i>Top</i> e <i>Bottom</i> da PCB. . . . .	24
4.5	Visão isométrica da representação 3D do <i>layout</i> da PCB. . . . .	24
4.6	Diagrama em blocos do algoritmo de funcionamento do <i>firmware</i> . . . . .	25

4.7	Fluxo de requisição no ponto de vista do <i>firmware</i> . . . . .	27
4.8	Fluxo de requisição no ponto de vista do aplicativo <i>mobile</i> . . . . .	28
4.9	Bloco de funcionalidade do App Inventor para a função liga/desliga. . . . .	29
4.10	Bloco de funcionalidade do App Inventor para obter informações do consumo de energia elétrica. . . . .	29
4.11	Bloco de funcionalidade do App Inventor para os temporizadores de liga/desliga. .	29
4.12	Bloco de funcionalidade do App Inventor verificação da presença humana. . . . .	29
4.13	Bloco de funcionalidade do App Inventor obtenção da resposta do <i>firmware</i> às requisições. . . . .	30
4.14	Ícones do aplicativo <i>mobile</i> . . . . .	30
5.1	PCB montada com os componentes. . . . .	32
5.2	Tela principal do aplicativo <i>mobile</i> . . . . .	33
5.3	Diagrama de conexão do hardware. . . . .	34
5.4	Condicionador de ar usado para testes. . . . .	34
5.5	Conexão do Hardware desenvolvido com o condicionador de ar. . . . .	35
5.6	Retorno às requisições realizadas pelo aplicativo <i>mobile</i> . . . . .	36
5.7	Alicate amperímetro ET-3367C [29]. . . . .	37
5.8	Comparação entre o protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C para tensão. . .	38
5.9	Comparação entre o protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C para corrente. .	39
5.10	Comparação entre o protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C para frequência. .	39
5.11	Comparação entre o protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C para potência ativa.	40

# **Lista de Tabelas**

4.1	Lista de materiais . . . . .	23
4.2	Mensagens de requisições de funcionalidades . . . . .	26
A.1	Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à frequência . . . . .	44
A.2	Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à corrente alternada . . . . .	45
A.3	Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à tensão alternada . . . . .	46
A.4	Comparativo das medições realizadas pelo protótipo e o alicate amperímetro ET-3367C, em relação à potência ativa . . . . .	47

# 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

Internet das coisas (IoT) é o conjunto de tecnologias capaz de interconectar desde objetos da vida cotidiana até dispositivos de rede sofisticados, por meio da rede mundial de computadores (WWW). A IoT pode ser explicada como a estrutura usada para coletar informações de dispositivos sensores, chamados de objetos. Esses objetos da IoT devem ser identificados, gerenciados e controlados, sendo capazes de interagir com humanos ou outros objetos dentro de uma comunicação do tipo Máquina para Máquina (M2M). A IoT aprimora a capacidade de um indivíduo ou o estilo de vida da sociedade, já que pode ser implementada em uma ampla gama de aplicações como saúde, cidades inteligentes, agricultura, edifício automatizados, sistema de tráfego inteligente e mais [1, 2].

Uma das aplicações da IoT é a automação residencial, também chamada de domótica. A domótica é descrita como um conjunto de tecnologias utilizado para garantir a comodidade, conforto e segurança do usuário ou ocupantes da residência [3]. Diferentes tecnologias já difundidas que suportam transferência remota de dados, controle e sensoriamento, como RFID, Wi-Fi, *Bluetooth* foram evoluídas para adicionar inteligência em vários níveis para o meio doméstico [4].

Por outro lado, para garantir o correto funcionamento dos dispositivos residenciais, que passam agora a serem automatizados, faz-se necessário o correto funcionamento da rede de energia elétrica para suprir o consumo demandado por eles.

Neste contexto, surgem de 2 (dois) problemas referentes à energia elétrica em dispositivos automatizados: ausência de controle sobre o desperdício de energia e ausência da verificação da qualidade da energia entregue a eles.

Desta forma, este trabalho busca solucionar esta problemática de forma prática, fornecendo ao usuário, de forma remota, o controle e acesso às informações sobre o consumo de condicionadores de ar, um dos dispositivos que mais consomem energia elétrica em uma residência.

## 1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de monitoramento e controle remoto para condicionadores de ar baseado em Internet das Coisas.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um protótipo de *hardware* capaz de acionar cargas, verificar consumo de energia elétrica, e comunicar com a internet;
- Desenvolver algoritmo para verificação das qualidade de energia elétrica entregue ao condicionador de ar;
- Desenvolver um aplicativo *mobile* para acesso remoto ao sistema;
- Comparar o sistema de medição de energia elétrica desenvolvido com um equipamento de medição difundido comercialmente.

## 1.3 Organização do trabalho

A estrutura do trabalho é dividida da seguinte forma:

- O Capítulo apresenta a teoria necessária para o entendimento dos dispositivos baseados em IoT e um protocolo de comunicação comumente utilizado. Além disso, são descritos os dispositivos usados para acionamento de cargas e o processo de medição de energia elétrica, no ponto de vista do medidor;
- O Capítulo 3 trata o detalhamento das etapas que englobam o desenvolvimento do sistema de controle e monitoramento do condicionador de ar, esmiuçando o projeto da placa

de circuito impresso, a programação da inteligência agregada ao sistema e o desenvolvimento de uma interface de interação em forma de aplicativo para *smartphones*;

- O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos através dos testes práticos realizados do sistema completo e avaliação de desempenho do protótipo;
- O Capítulo 5 apresenta a conclusão de todo o trabalho desenvolvido de acordo com os objetivos específicos, bem como as perspectivas de trabalhos futuros a serem realizados.

# 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. A seção 2.3 aborda a medição de energia, enfatizando sua utilização 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 [5]. 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 [6].

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 [7].

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 [6].

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 [8]. 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 [9].

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 [5]. 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 [6].

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 de dispositivos, é possível usar tecnologias de identificação como, por exemplo, RFID, que permitem que cada dispositivo seja identificado de forma única [8].

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 e suas funcionalidades são [10]:

- 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 agregar 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* e 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 [9].

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 por ser *light weight* e por sua capacidade de compartilhar muitos dados em tempo real.

O MQTT foi desenvolvido para ser usado sobre o protocolo TCP/IP (*Transmition Control Protocol*, como ilustra a imagem 2.1 e *Internet Protocol*) e situa-se na camada de aplicação deste Protocolo que é responsável por fazer a comunicação entre os programas invocados pelos usuários e os protocolos de transporte [11].

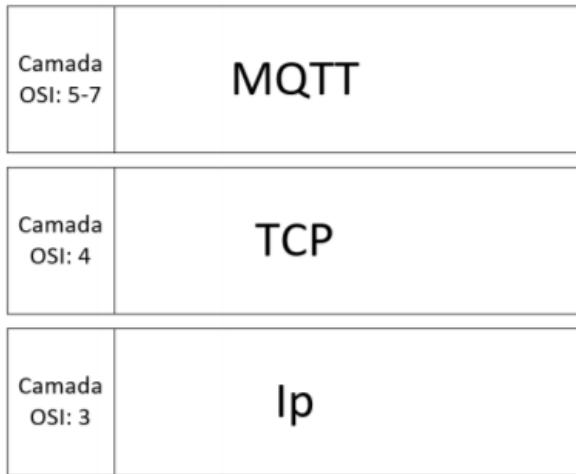


Figura 2.1: As camadas do protocolo MQTT [12].

A arquitetura do MQTT envolve três componentes principais: o *Publisher*, o *Subscriber* - que podem ser denominados como *Clients* - e o *Broker*, como pode ser visto na figura 2.2. 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*, responsável por receber e organizar as mensagens enviadas pelo *Publisher* e enviá-las ao *Subscriber* [9].

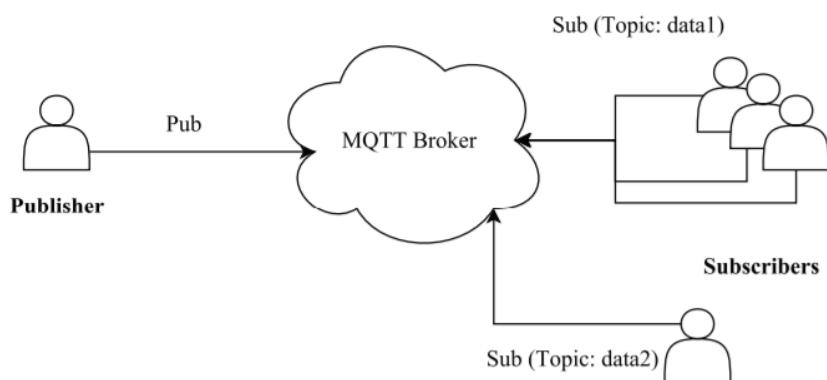


Figura 2.2: Arquitetura de funcionamento no protocolo MQTT [9].

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. Os dispositivos de comando 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 realizar esta tarefa 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 eletromecânicos e contatoras apresentarem funções semelhantes, eles se diferem por características próprias em comportamento e aplicação [13].

### 2.2.1 Relés

O relé é um dispositivo elétrico responsável por produzir modificações súbitas e preeterminadas 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 [14].

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.

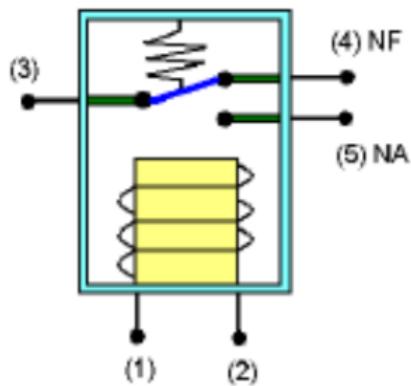


Figura 2.3: Diagrama esquemático de um relé [15].

## 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 frequência 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 na parte móvel do núcleo, constituindo um conjunto de contatos móveis, como pode ser observado na figura 2.4. Mutuamente a carcaça da contadora existe um conjunto de contatos fixos. Cada jogo de contatos fixos e móveis pode ser do tipo Normalmente aberto (NA), ou normalmente fechados (NF).

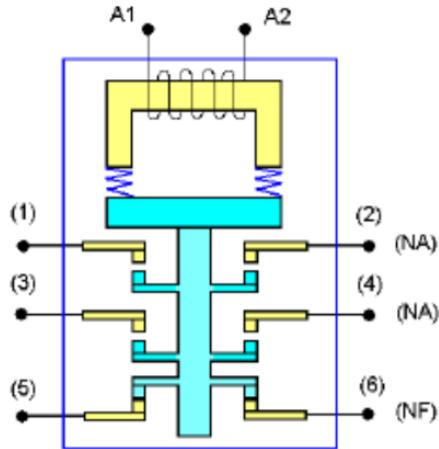


Figura 2.4: Diagrama esquemático de uma contadora [15].

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 [16].

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 um *software* de baixo nível, 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.

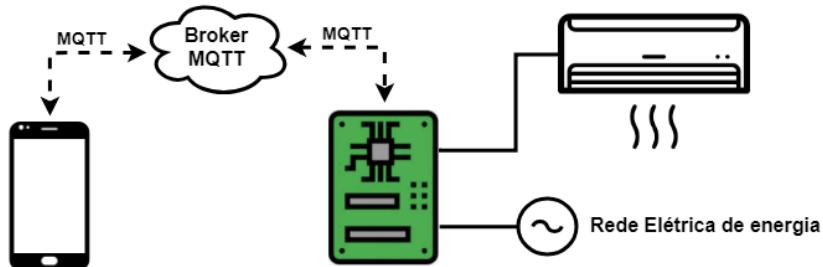


Figura 3.1: Arquitetura implementada.

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*, capaz de gerenciar e controlar periféricos, como botões, chaves, diodos de emissão de luz (LEDs), circuitos integrados e etc. O *firmware* é embarcado em um componente eletrônico, chamado microcontrolador, sendo aqui 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.

O Circuito 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 [17]:

- 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 [18].



Figura 3.3: Microcontrolador ESP8266EX [19].

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 [20].

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 [21].

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 [22].

Para o **Círcuito 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 [24].



Figura 3.8: Circuito Integrado MCP9700 [25].



Figura 3.9: Sensor de presença EKMC1601111 [26].

### 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 [27].

### 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 [28], 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.

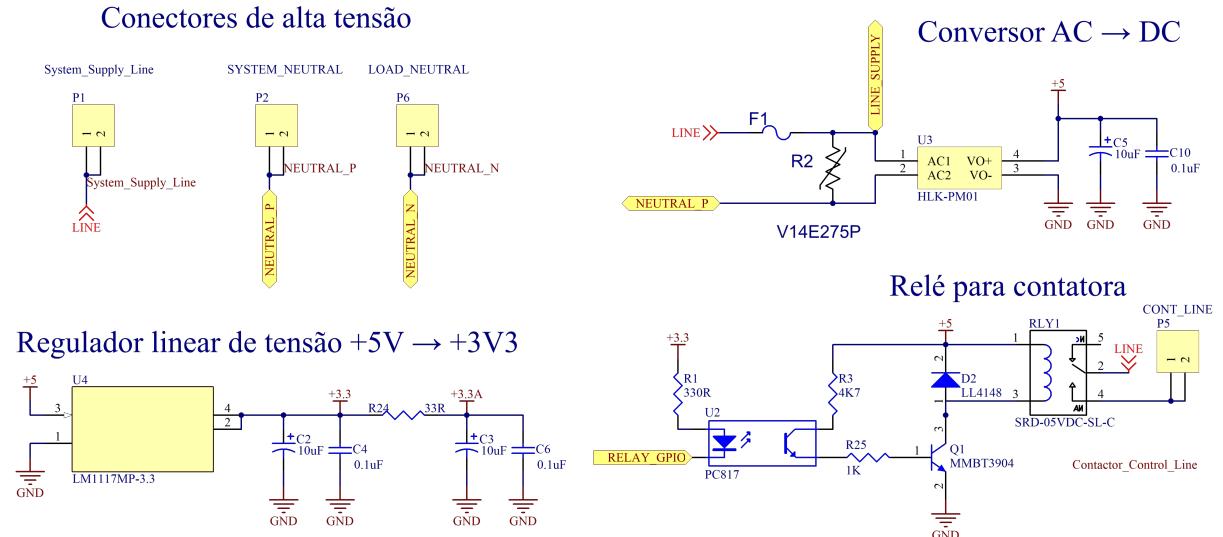


Figura 4.1: Esquemático elétrico do Circuito de alimentação e de ativação do Condicionador de Ar.

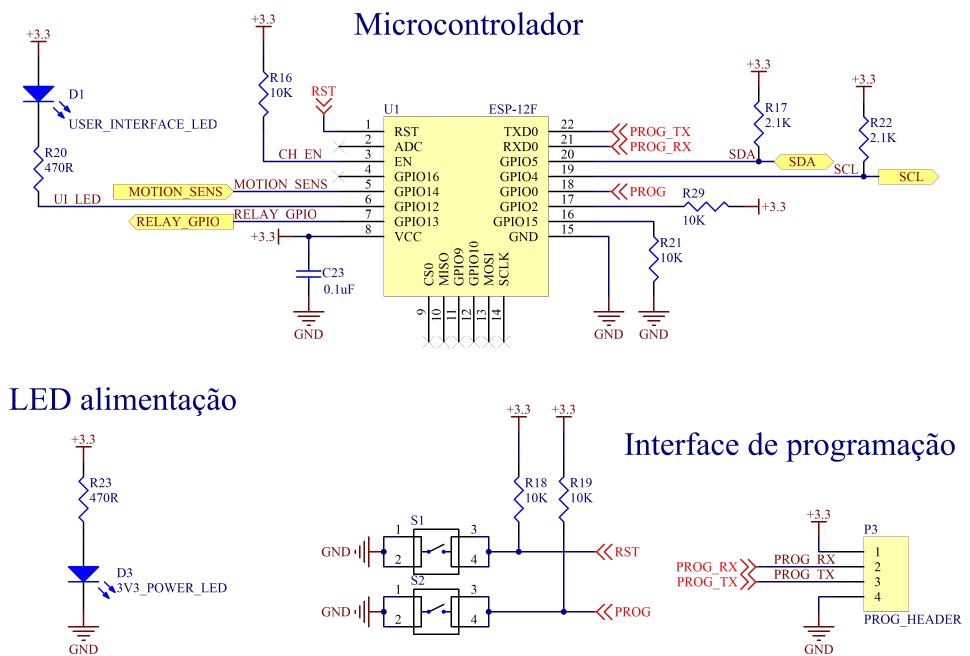


Figura 4.2: Esquemático elétrico referente ao Circuito do microcontrolador e de conexão com Wi-Fi.

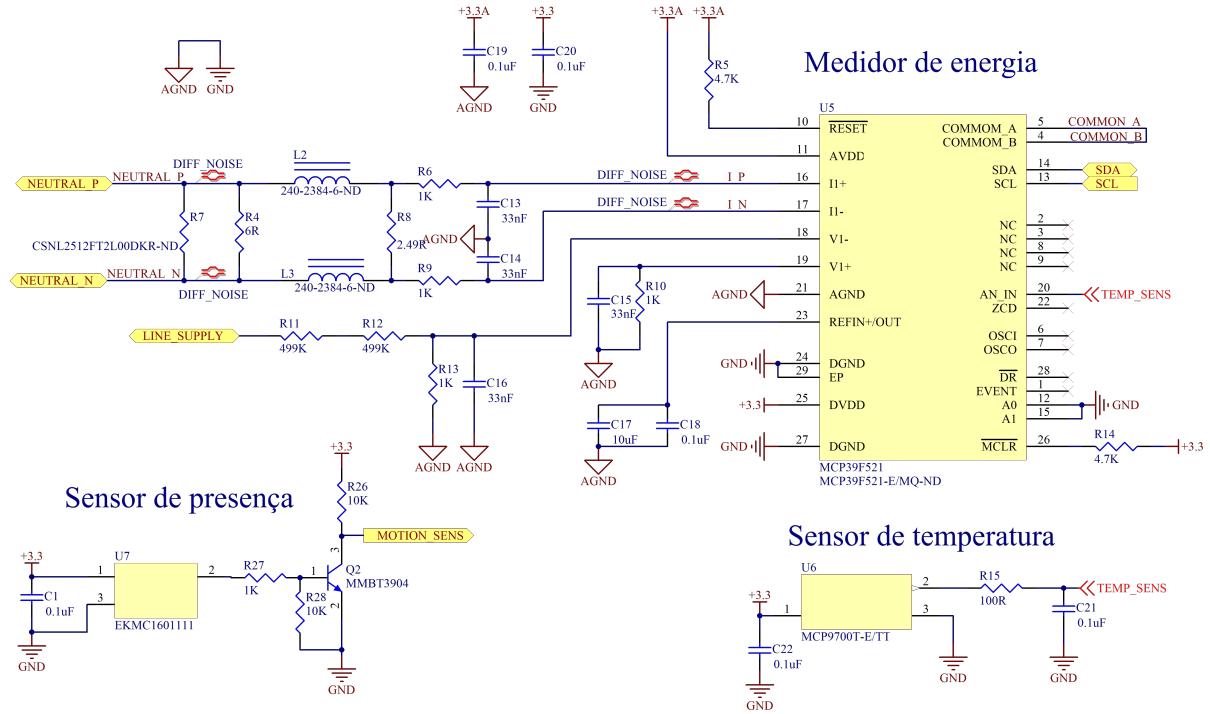


Figura 4.3: Esquemático elétrico do Circuito de Medição de energia elétrica e sensoriamento.

A comunicação entre o microcontrolador e o circuito de medição de energia elétrica é realizada através de I<sub>2</sub>C, 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.

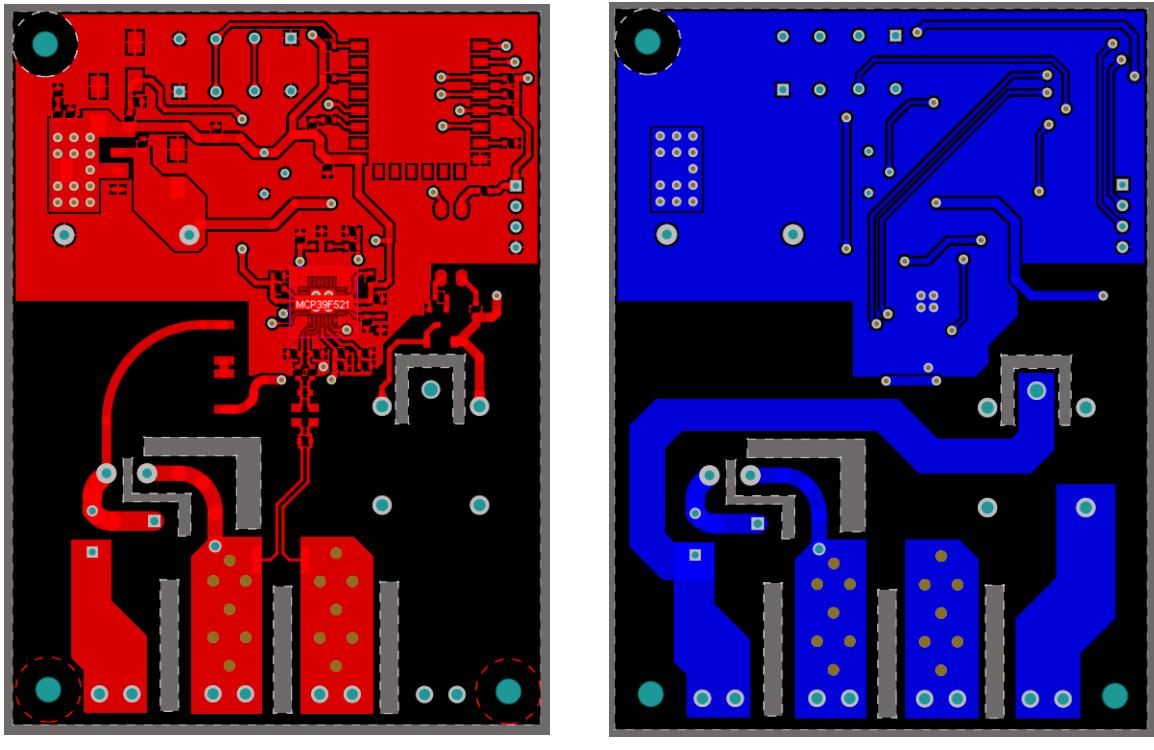
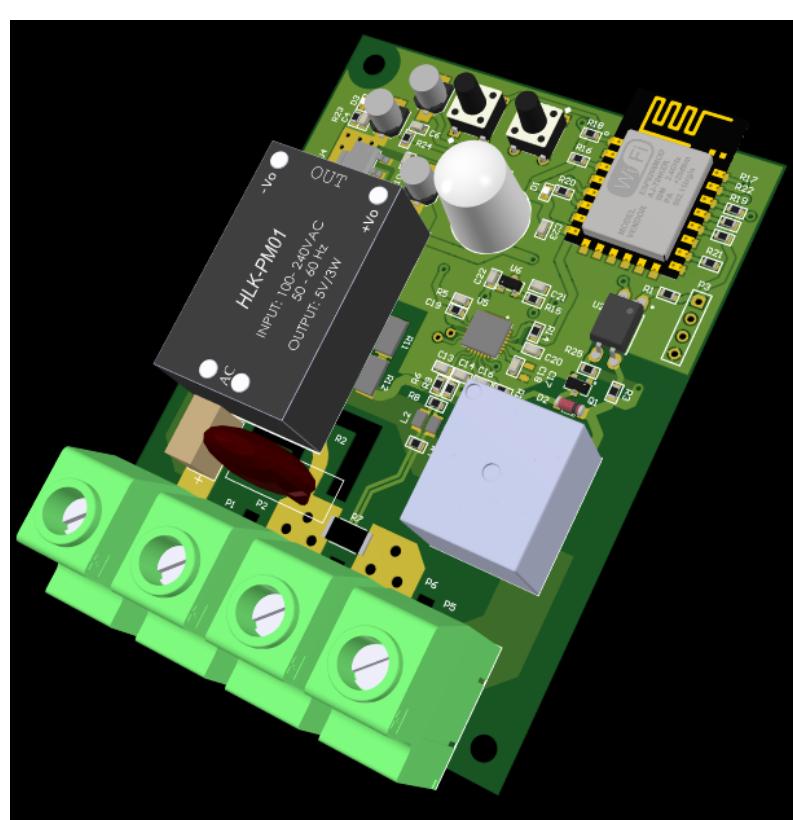
Figura 4.4: Camadas *Top* e *Bottom* da PCB.

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.

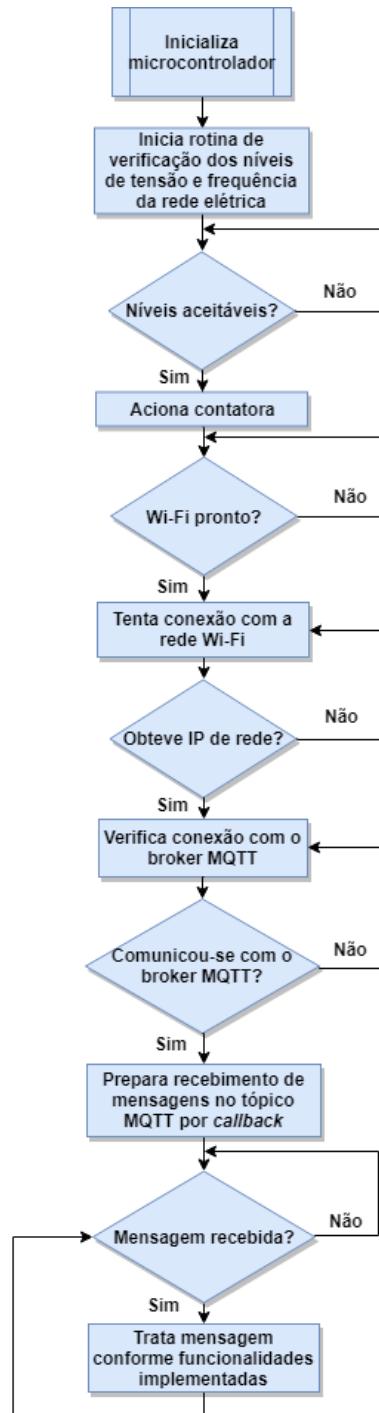


Figura 4.6: Diagrama em blocos do algoritmo de funcionamento do *firmware*.

### 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)

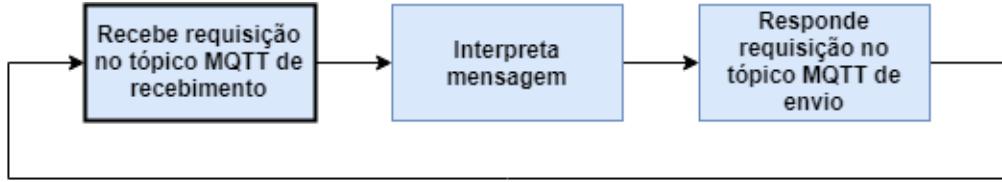


Figura 4.7: Fluxo de requisição no ponto de vista do *firmware*.

#### 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, de 10 em 10 minutos, 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.

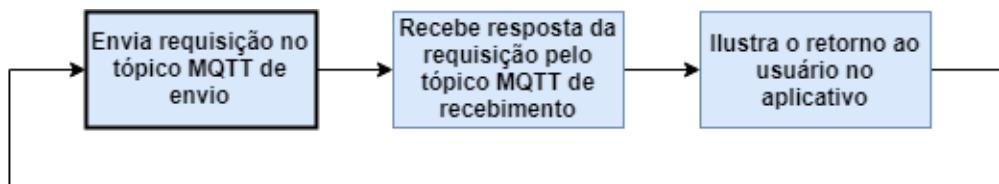


Figura 4.8: Fluxo de requisição no ponto de vista do aplicativo *mobile*.

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.

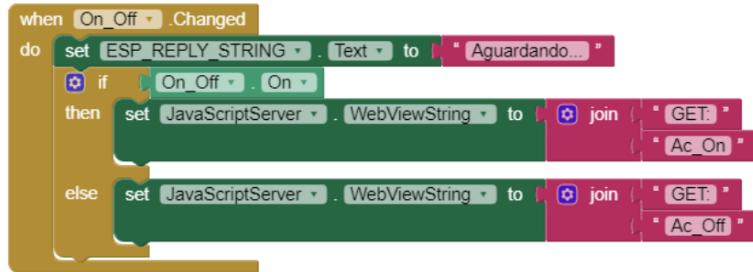


Figura 4.9: Bloco de funcionalidade do App Inventor para a função liga/desliga.



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

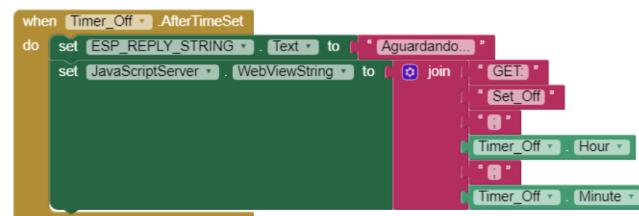
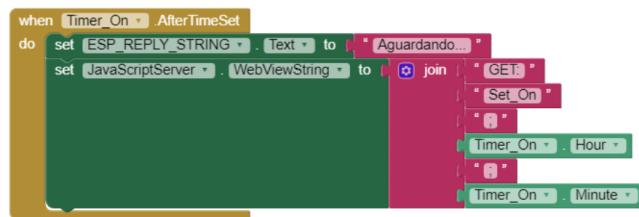


Figura 4.11: Bloco de funcionalidade do App Inventor para os temporizadores de liga/desliga.

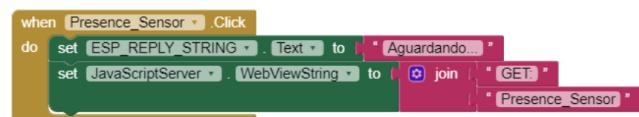


Figura 4.12: Bloco de funcionalidade do App Inventor verificação da presença humana.

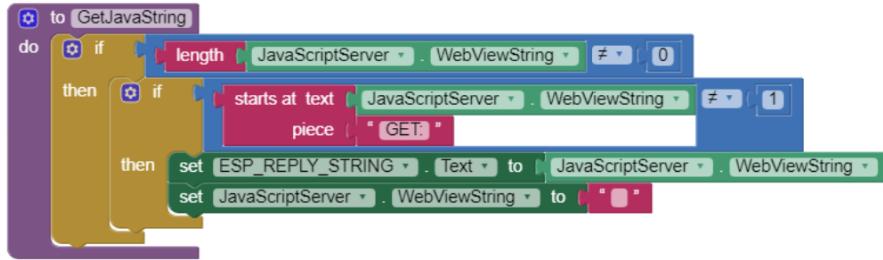


Figura 4.13: Bloco de funcionalidade do App Inventor obtenção da resposta do *firmware* às requisições.

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**

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da abordagem descrita no capítulo 4, levando em conta o processo pós desenvolvimento, os testes com o sistema integrado e a avaliação de desempenho conforme os objetivos específicos.

Com a confecção da PCB a partir do *layout* e a aquisição dos componentes eletrônicos, conforme a figura 4.4 e a tabela 4.1 respectivamente, foi possível realizar o processo soldagem manual, com intuito de validar o *hardware* desenvolvido. Em seguida, foram executados os testes elétricos e funcionais na placa já montada, representada pela figura 5.1, 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" da 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.

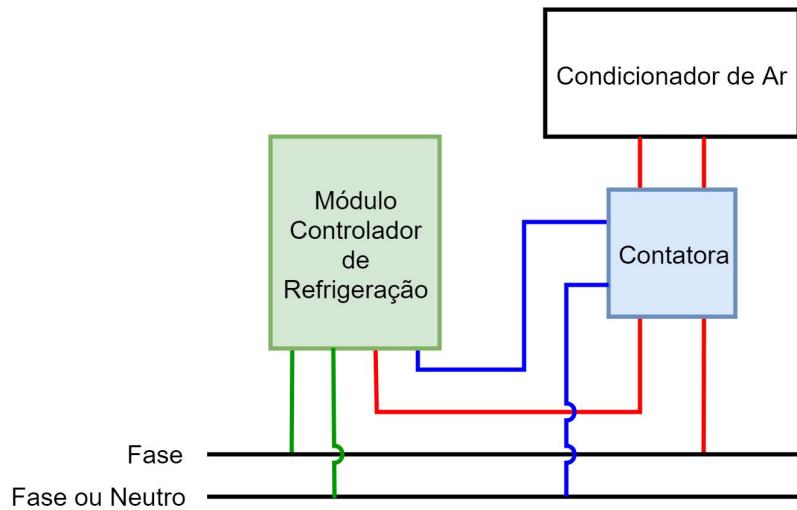


Figura 5.3: Diagrama de conexão do hardware.

## 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.

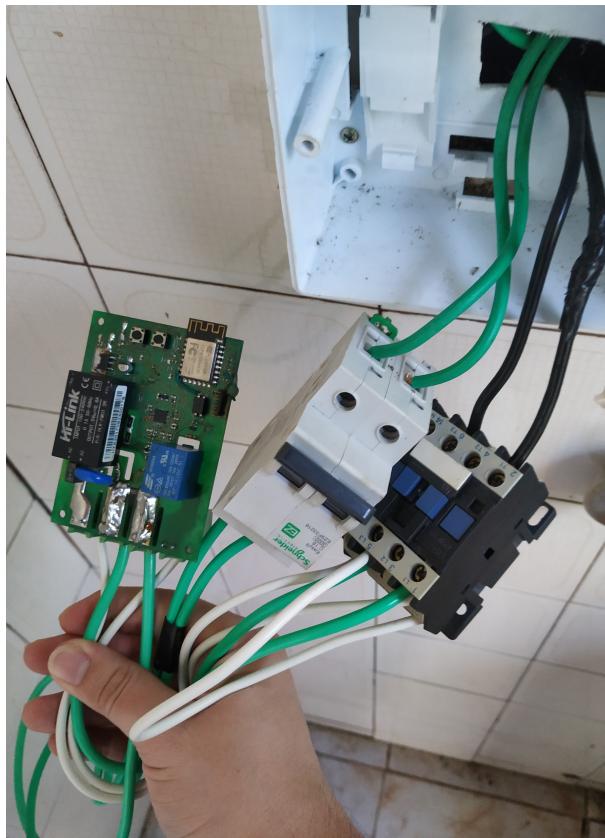
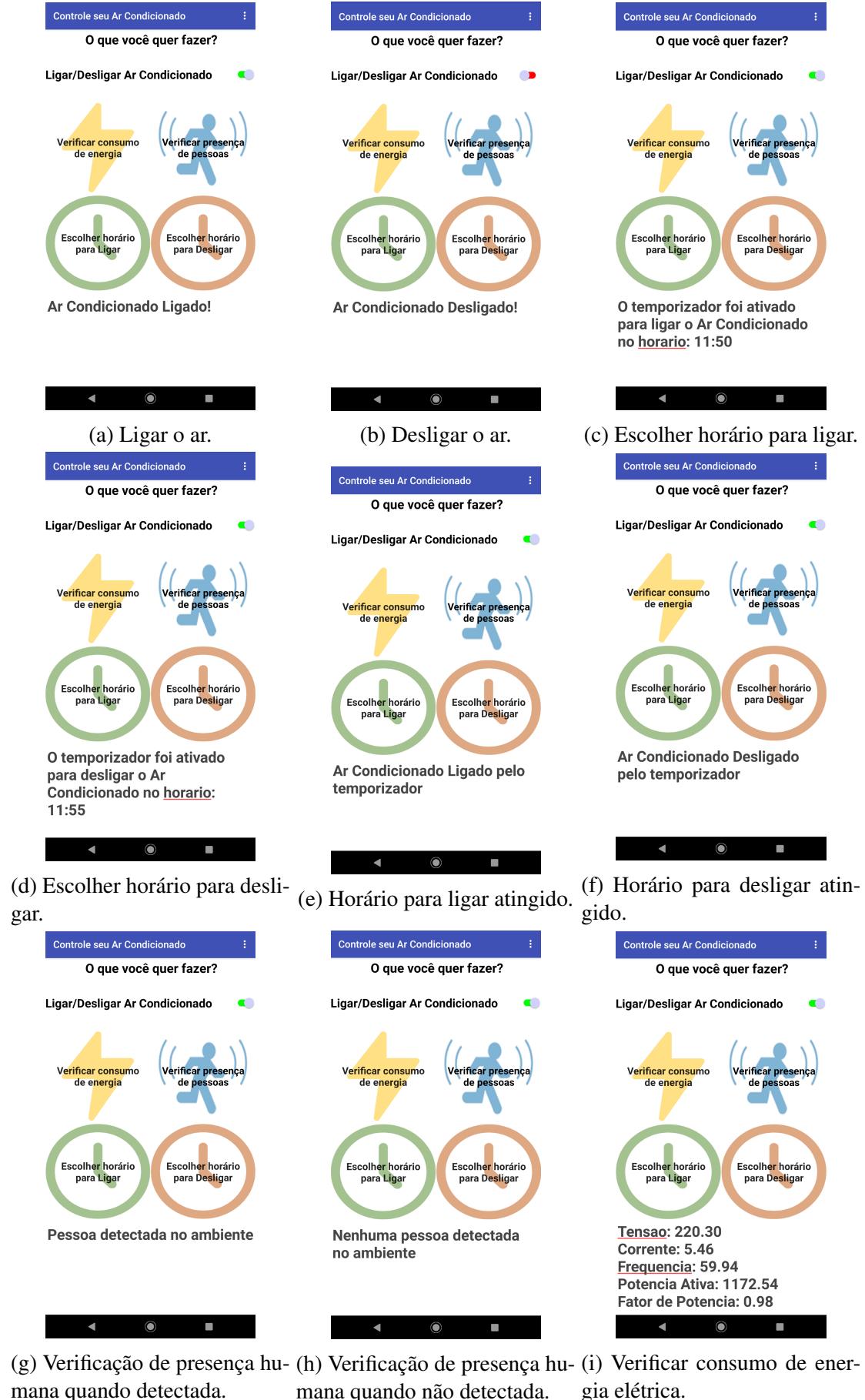


Figura 5.5: Conexão do Hardware desenvolvido com o condicionador de ar.

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:

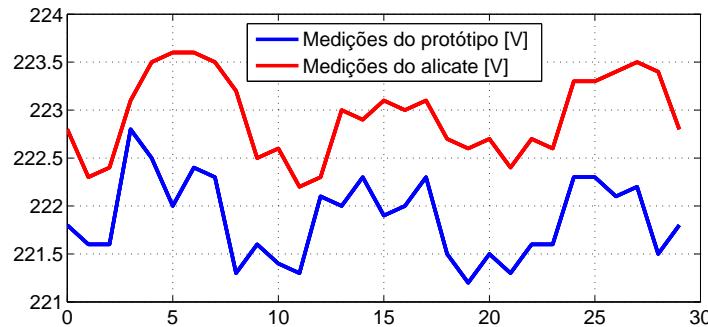
- Medições realizadas com o funcionamento do sistema completo, ou seja, os valores obtidos por meio das requisições no aplicativo;
- Realização das medidas no momento de partida do compressor do condicionador de ar;
- Realização de 30 medições para cada grandeza (frequência, corrente, tensão e potência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



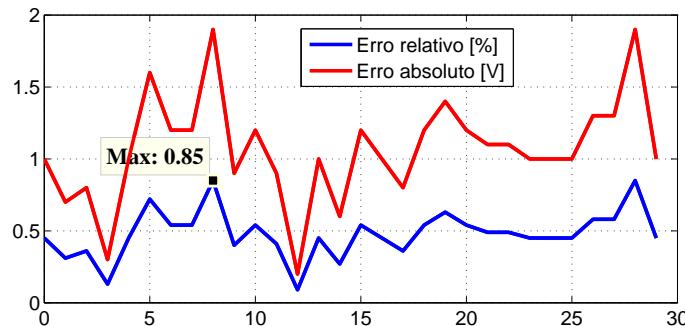
Figura 5.7: Alicate amperímetro ET-3367C [29].

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.

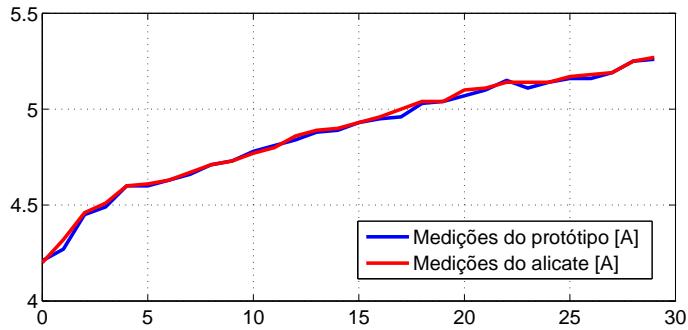


(a) Medidas de tensão do protótipo e do alicate amperímetro.

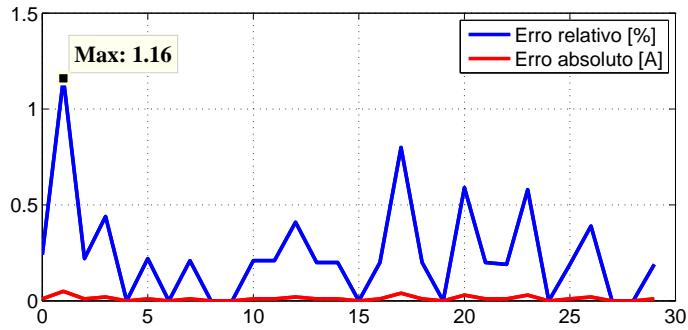


(b) Erro relativo e absoluto.

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

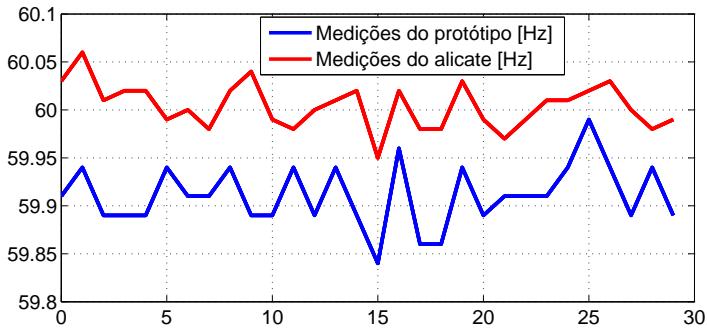


(a) Medidas de corrente do protótipo e do alicate amperímetro.

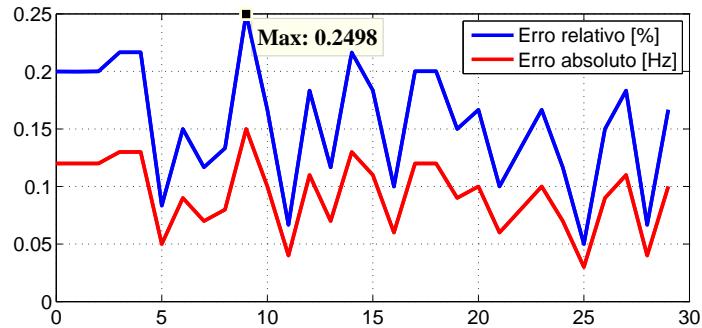


(b) Erro relativo e absoluto.

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

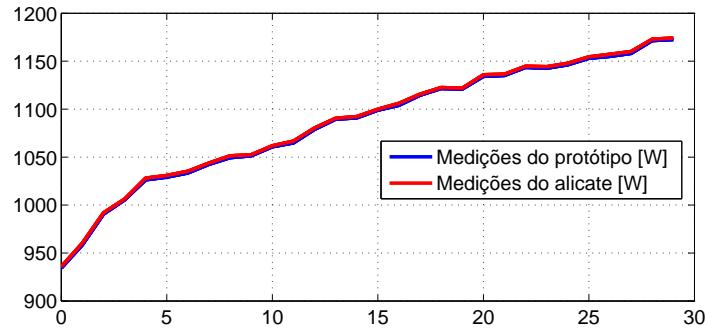


(a) Medidas de frequência do protótipo e do alicate amperímetro.

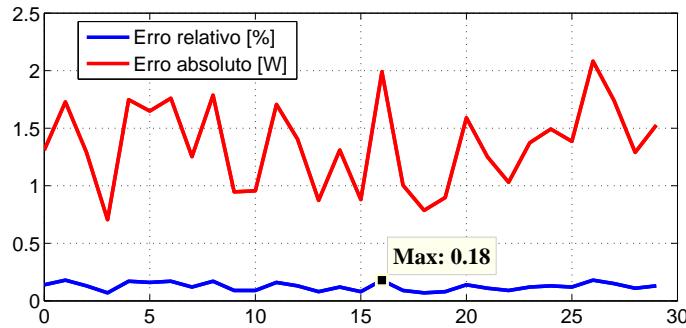


(b) Erro relativo e absoluto.

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

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de controle e monitoramento para condicionadores de ar, baseando-se em conceitos de internet das coisas.

Com o desenvolvimento do *hardware*, em uma PCB, foi possível acionar o condicionador de ar a partir de uma contadora, verificar o consumo de energia elétrica, utilizando o CI MCP39F521, e verificar a presença humana a partir do sensor EKMC1601111, além de permitir a comunicação pela internet com o microcontrolador ESP8266 com Wi-Fi embutido.

A partir do desenvolvido do *firmware*, foi possível integrar inteligência ao *hardware*, a partir de um *software* debaixo nível elabora em linguagem C++ na plataforma Arduino. Utilizando o microcontrolador no módulo ESP12-F, foi possível comunicar-se pelo protocolo MQTT, utilizando a internet, analisar os parâmetros da rede de energia elétrica, verificando sua qualidade, e verificar presença humana para evitar eventuais desperdícios de consumo.

Com o desenvolvido do aplicativo *mobile*, foi possível interagir com o sistema de forma remota, a partir da comunicação sob o mesmo protocolo. No aplicativo, as funcionalidades disponíveis ao usuário foram: Ligar ou Desligar o condicionador de ar, verificar o consumo instantâneo, verificar presença humana instantânea e escolher horário para desligar ou ligar.

Em relação à comparação entre a medição do consumo de energia elétrica realizada pelo protótipo e um medidor já difundido (alíate amperímetro ET-3367C), foi possível observar 4 grandezas em comparação nas figuras 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11: tensão, corrente, frequência e potência ativa respectivamente. O erro relativo máximo foi de 1.16% e foi encontrado na grandeza "corrente", conforme demonstrado na figura 5.9b.

O somatório do custo dos principais componentes do sistema, conforme a tabela 4.1, é

estimado em torno de U\$20, quando adquiridos em grandes quantidades, portanto possibilita ser uma opção economicamente viável para implementação.

Com a finalização deste trabalho, foi possível averiguar que o sistema é capaz de monitorar e controlar condicionadores de ar, utilizando conceitos de internet das coisas, a partir de um *hardware* de baixo custo, uma vez atendidos os objetivos específicos, como demonstrado no capítulo 5.

## 6.1 Trabalhos futuros

Sugere-se propostas para trabalhos futuros relacionados ao sistema de controle remoto para condicionadores de ar:

- Implementar cálculo para disponibilizar valor monetário, em reais (R\$) por exemplo, do consumo do condicionador de ar em duas modalidades: instantâneo e acumulado (diário, semanal e mensal);
- Adicionar funcionalidade para tomadas de decisões autônomas conforme hábitos do usuário, como ligar o condicionador de ar sempre por voltas das 18h, por exemplo;
- Implementar, no aplicativo *mobile*, controle para múltiplas instâncias do protótipo de *hardware* em uma residência.



# 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] BENAZZOUZ, Y. et al. Sharing user iot devices in the cloud. 2014. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6803193>>.
- [2] IKRAM, M. A.; ALSHEHRI, F. K. H. M. D. Architecture of an iot-based system for football supervision. p. 1, 12 2015.
- [3] BHIDE, V. H.; WAGH, D. S. i-learning lot: An intelligent self learning system for home automation using lot. 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7322825>>.
- [4] KELLY, S. D. T.; SURYADEVARA, N. K.; MUKHOPADHYAY, S. C. Towards the implementation of iot for environmental condition monitoring in homes. 2013. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6516934>>.
- [5] ASHTON, K. *That 'Internet of Things' Thing.* Disponível em: <<https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>>.
- [6] SANTOS, E. al. Internet das coisas: da teoria a prática. Disponível em: <<http://www.ssrc2016.ufba.br/downloads/anais/MinicursosSBRC2016.pdf>>.
- [7] 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>>.
- [8] 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>>.
- [9] TANTITHARANUKUL, N. et al. Mqtt-topics management system for sharing of open data. p. 1, 03 2017.

- [10] ZARGHAMI, S. Middleware for internet of things. Disponível em: <<https://essay.utwente.nl/64431/1/final-Thesis-ver2.pdf>>.
- [11] YUAN, M. Conhecendo o mqtt. Disponível em: <<https://www.ibm.com/developerworks/br/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>>.
- [12] JUNIOR, O. R. Sistema de monitoramento residencial baseado em internet das coisas. p. 29, 2017.
- [13] FRANCHI, M. C. *ACIONAMENTOS ELETRICOS*. Disponível em: <<http://evtech.com.br/usuario/LIVRO-20Acionamentos-20El-C3-A9tricos-20-20Claiton-20Moro-20Franchi.pdf>>.
- [14] RADIOGRAFIA. *Reles e contatores*. Disponível em: <<http://www.instalacoeselectricas.com/download/radiografia-reles-contatores-out09.pdf>>.
- [15] SOUZA, N. Apostila de acionamentos elétricos. p. 11–18, 11 2009.
- [16] MINCIUNESCU, P. Fundamentals of energy metering. Disponível em: <<https://www.analog.com/en/education/education-library/webcasts/fun-of-energy-metering.html>>.
- [17] SYSTEMS, E. Esp8266ex datasheet. 2018. Disponível em: <<https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/>>.
- [18] AI-THINKER. *ESP-12F WiFi*. 2017. Disponível em: <<https://www.ai-thinker.com/home>>.
- [19] ELECTRONICS, D.-K. *ESP8266EX*. 2017. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/espressif-systems/ESP8266EX/1904-1001-1-ND/8028408>>.
- [20] 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>>.
- [21] FILIPEFLOP. Relé 5v songle srd-05vdc-sl-c. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/rele-5v-songle-srd-05vdc-sl-c>>.

- [22] SCHNEIDER-ELECTRIC. Lc1d32bd: Product data sheet. Disponível em: <<https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/LC1D32BD>>.
- [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. Disponível em: <<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP39F521>>.
- [25] ELECTRONICS, D. MCP9700. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/microchip-technology/MCP9700T-E-TT/MCP9700T-E-TTTR-ND/1212510>>.
- [26] 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](https://www.panasonic-electric-works.com/cps/rde/xbcr/pew_eu_en/ca_pir_motionsensors_1192_en.pdf)>.
- [27] 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>>.
- [28] TECHNOLOGY, M. Mcp39f521 power monitor demonstration board user's guide. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002413A.pdf>>.
- [29] BRASIL, M. do. Et-3367c. Disponível em: <<http://www.minipa.com.br/alicates-produtos/alicates-digitais/357-et-3367c>>.