



Universidade Federal do Amazonas

Faculdade de Tecnologia
Engenharia Elétrica - Eletrônica

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

Magno Aguiar de Carvalho

Manaus – Amazonas

Fevereiro de 2019

Magno Aguiar de Carvalho

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

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

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

Resumo

Palavras-chave: .

Abstract

Keywords: .

Sumário

Abreviações	iii
1 Introdução	1
1.1 Objetivo Geral	1
1.2 Objetivos Específicos	1
1.3 Planejamento do Projeto	1
2 Fundamentação Teórica	3
2.1 Internet das Coisas e o Protocolo MQTT	3
2.2 Dispositivos de Acionamento Elétrico	5
2.3 Medição de Energia Elétrica e os PMICs	6
3 Arquitetura	7
4 Desenvolvimento e Implementação	8
4.1 <i>Hardware</i>	8
4.1.1 Componentes utilizados	9
4.1.2 Esquemáticos elétricos e <i>Layout</i> da PCB	13
4.1.3 Módulo Controlador de Refrigeração Residencial	13
4.2 <i>Firmware</i>	13
4.2.1 Comunicação sob o protocolo MQTT por meio da interface Wi-Fi	16
4.2.2 <i>Driver</i> de controle dos periféricos	17
4.2.3 Monitoramento dos sensores	17
4.3 <i>Software</i>	17
4.3.1 Comunicação no protocolo MQTT	17
4.3.2 Interação com o <i>Hardware</i> implementado	17

4.3.3	Funcionalidades implementadas	17
5	Testes e Avaliação de Desempenho	18
6	Conclusão	23
A	Esquemáticos Elétricos	24
B	<i>Layout</i> da PCB	28
	Referências Bibliográficas	34

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*

Capítulo 1

Introdução

1.1 Objetivo Geral

1.2 Objetivos Específicos

1.3 Planejamento do Projeto

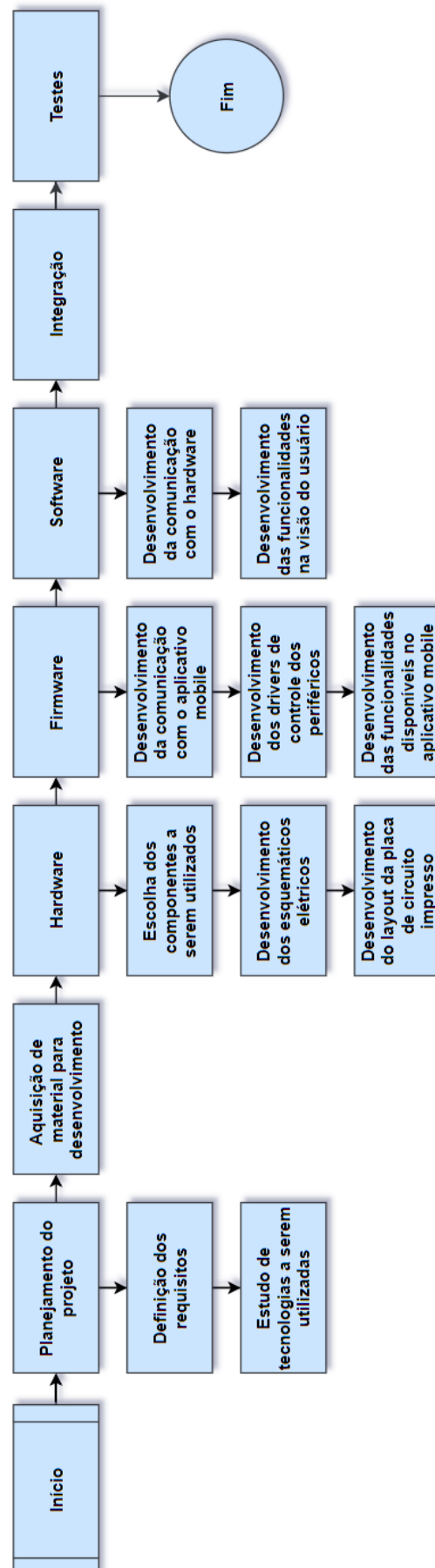


Figura 1.1: Fluxo de desenvolvimento do projeto.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

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

2.1 Internet das Coisas e o Protocolo MQTT

O termo Internet das Coisas (IoT) surgiu quando um grupo do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) trabalhava no campo de identificação, localização e reconhecimento de estado de objetos usando sensores sem fio e tecnologia de identificação por radiofrequência [1].

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

Com o trabalho colaborativo de vários sistema, a IoT torna ambientes mais inteligentes, permitindo repostas automáticas - ou seja, sem interferência humana - a dados adquiridos do ambiente, como monitoramento de cheias, informações sobre terremotos, dados sobre o tráfego,

entre outros [2, 3].

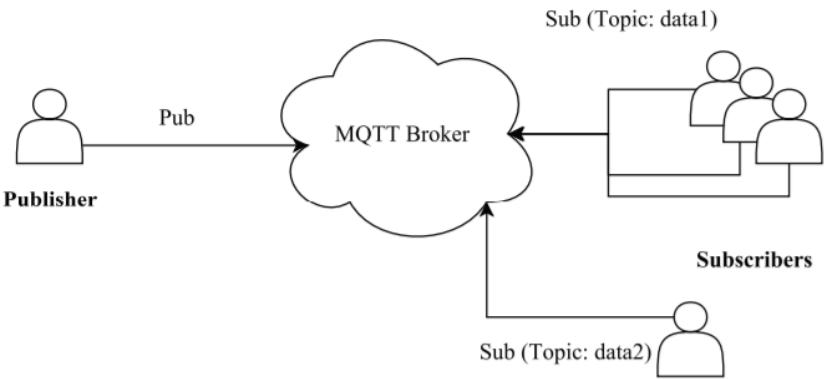


Figura 2.1: Arquitetura de funcionamento no protocolo MQTT [3].

Camada OSI: 5-7	MQTT
Camada OSI: 4	TCP
Camada OSI: 3	Ip

Figura 2.2: As camadas do protocolo MQTT [4].

2.2 Dispositivos de Acionamento Elétrico

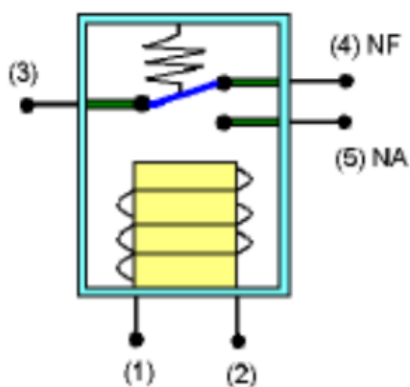


Figura 2.3: Diagrama esquemático de um relé [5].

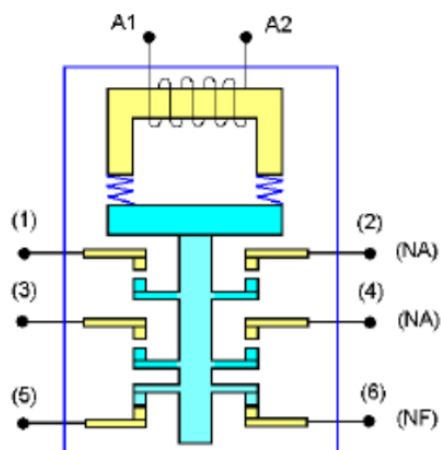


Figura 2.4: Diagrama esquemático de uma contatora [5].

2.3 Medição de Energia Elétrica e os PMICs

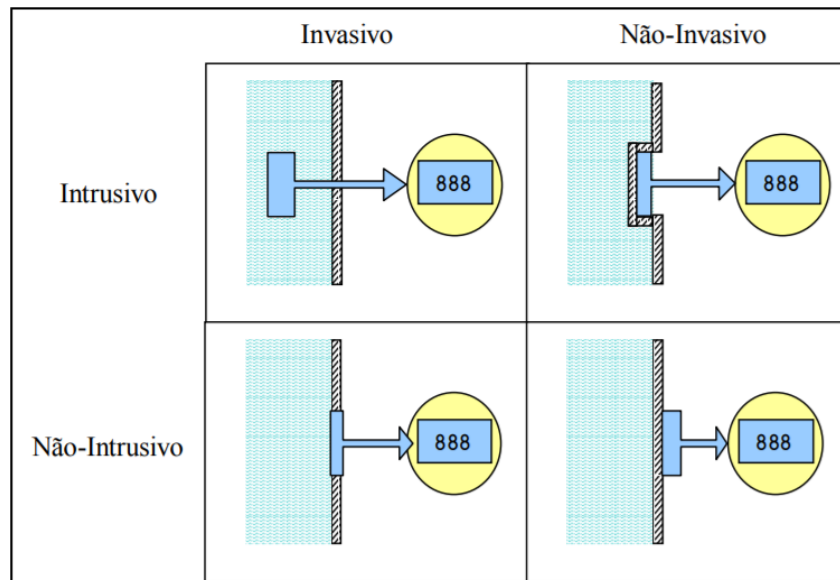


Figura 2.5: Definição dos termos invasivo e intrusivo [6].

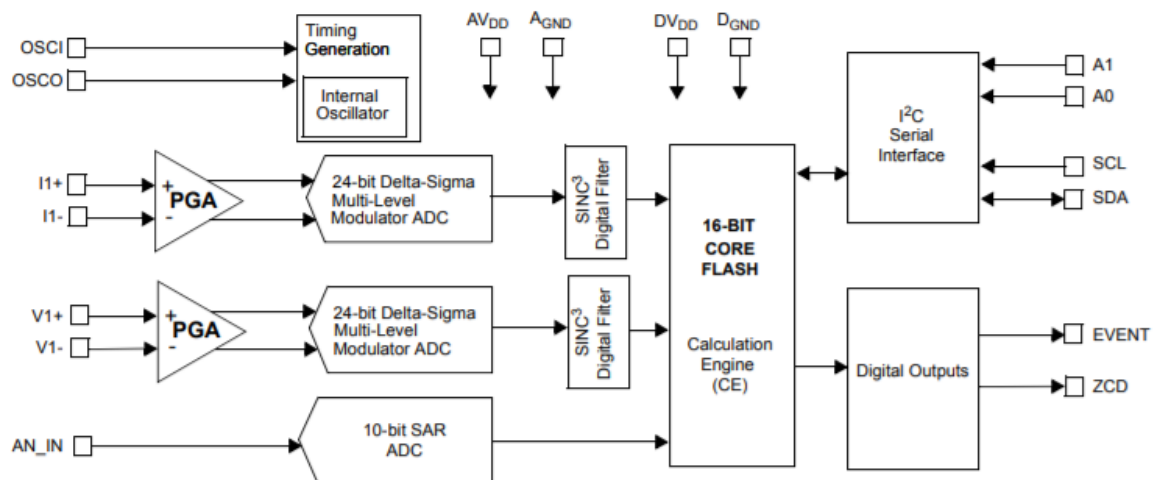


Figura 2.6: Arquitetura interna básica de um PMIC [7].

Capítulo 3

Arquitetura

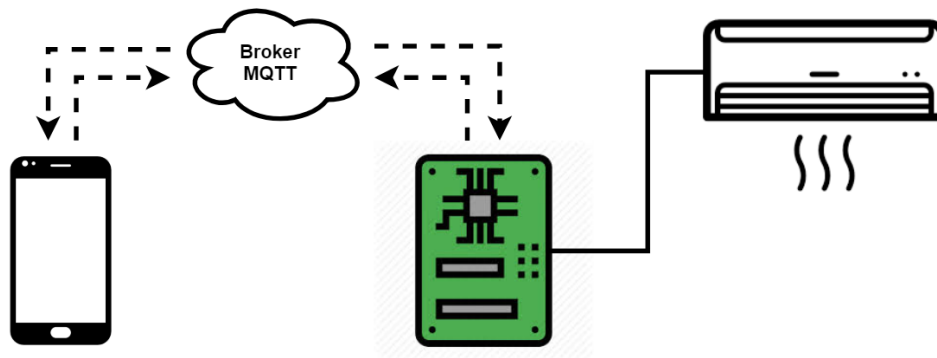


Figura 3.1: Arquitetura a ser implementada.

Capítulo 4

Desenvolvimento e Implementação

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

4.1 *Hardware*

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

A elaboração da PCB contendo os circuitos foi dividida em 4 partes principais: a escolha dos componentes a serem usados em cada circuito, o desenvolvimento dos esquemáticos elétricos, o desenvolvimento do *layout* da placa de circuito impresso (PCB) e a prototipagem da PCB.

4.1.1 Componentes utilizados

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

Para suprir as funcionalidades do **Circuito de Conexão com Wi-Fi**, o componente principal escolhido foi o módulo ESP12-F, representado na figura 4.1, que contém um microcontrolador juntamente com o circuito de radio-frequência (RF) para o *Wi-Fi* e um LED indicativo. O microcontrolador contido no módulo é o ESP8266EX, representado na figura 4.2, e suas principais características são [8]:



Figura 4.1: Módulo ESP12-F [9].



Figura 4.2: Microcontrolador ESP8266EX [10].

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

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

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

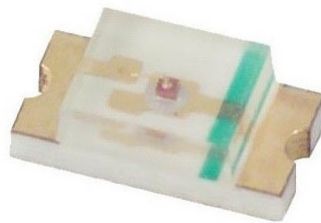


Figura 4.3: LED SMD [11].



Figura 4.4: Botão do tipo *push* [12].

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

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



Figura 4.5: Relé SRD-05VDC-SL-C [13].

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



Figura 4.6: Contatora Telemecanique [14].

Para o **Circuito de Sensoriamento**, o componente escolhido para fazer as medições de tensão, corrente, fator de potência e frequência da rede de energia elétrica, informações essas suficientes para definir se ela está adequada para alimentar o condicionador de ar, foi MCP39F521, representado na figura 4.7. O MCP39F521 é um dispositivo de monitoramento de energia monofásico completo e altamente integrado, projetado para medição em tempo real de energia de entrada para fontes de alimentação de corrente alternada e de corrente contínua, unidades de distribuição de energia, consumidor e aplicações industriais. Inclui ADCs delta-sigma de canal duplo, um mecanismo de cálculo de 16 bits, EEPROM e uma interface I2C de dois fios flexível. Uma referência integrada de tensão de baixa derivação com 10 ppm/°C além de 94,5 dB de desempenho de sinal-ruído e taxa de distorção (SINAD) em cada canal de medição permite melhor que 0,1 % de projetos precisos em uma faixa dinâmica de 4000:1 [7]. Foi adicionado também um sensor de temperatura analógico, por questões de segurança (superaquecimento), para monitorar a temperatura da PCB, MCP9700 que é representado pela figura 4.8.

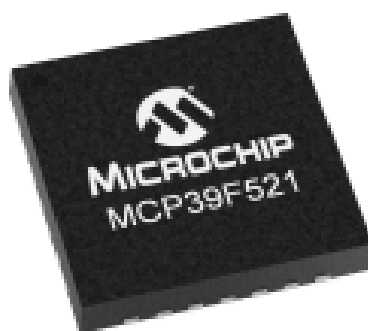


Figura 4.7: Circuito Integrado (CI) MCP39F521 [15].



Figura 4.8: Circuito Integrado MCP9700 [16].

4.1.2 Esquemáticos elétricos e *Layout* da PCB

A partir dos circuitos elétricos previamente citados, elaborou-se os esquemáticos elétricos baseando-se principalmente nos documentos de *Reference Design* disponibilizados pelos fabricantes dos CI's utilizados. O documento principal utilizado foi o guia do usuário para o MCP39F521 [17], que auxiliou principalmente no **Circuito de Sensoriamento**.

4.1.3 Módulo Controlador de Refrigeração Residencial

4.2 *Firmware*

Para elaboração inicial do *firmware*, foi utilizado o módulo NodeMCU Lolin, mostrado na figura 4.9, que contém um módulo ESP-12E e os circuitos de alimentação e gravação por interface USB já embutidos nele. Adotou-se esta metodologia, de utilizar um módulo com os circuitos prontos para uso, com intuito de diminuir o tempo de desenvolvimento e também para permitir a elaboração do *firmware* antes da conclusão do desenvolvimento do *hardware*, citado na seção 4.1.

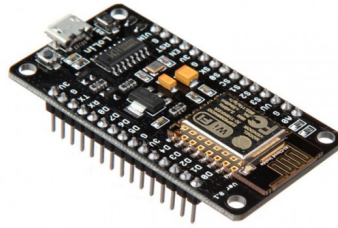
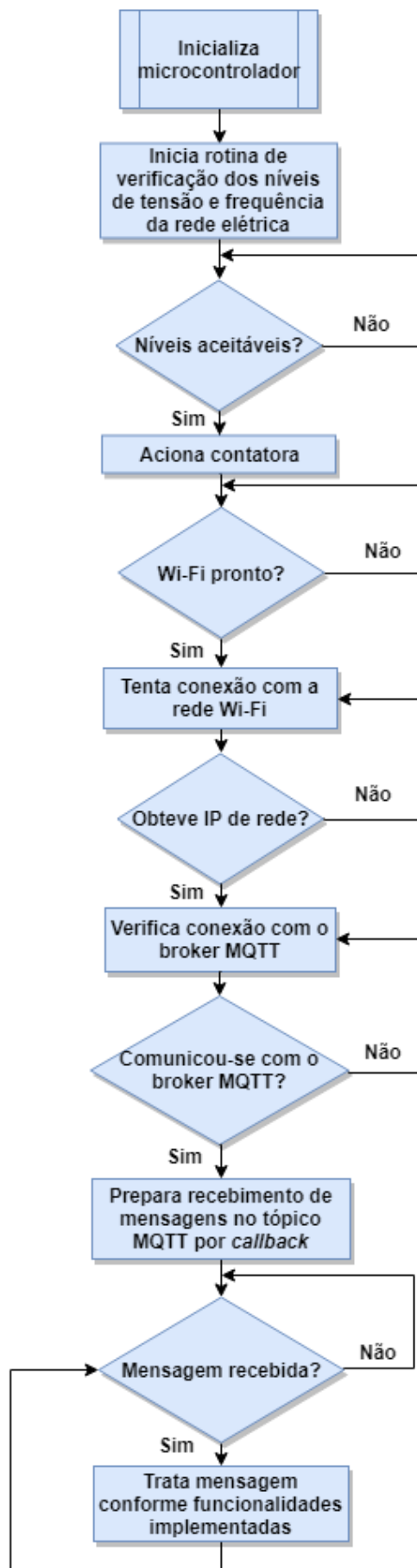


Figura 4.9: Módulo NodeMCU Lo11n [18].

A partir do levantamento de requisitos, foi possível elaborar um algoritmo da funcionamento do *firmware*, representando na figura 4.10, capaz de englobar as funcionalidades previamente levantadas no capítulo 3. Tal diagrama foi elaborado com o intuito de guiar e facilitar o desenvolvimento deste pilar do projeto, a partir dele também foi possível sedimentar o desenvolvimento do *firmware* em três partes principais: Comunicação sob o protocolo MQTT por meio da interface Wi-Fi, *Driver* de controle dos periféricos e Monitoramento dos sensores. VERIFICAR SE EU DEVE ESCREVER AS FUNCIONALIDADES NOVAMENTE AQUI.

Figura 4.10: Diagrama em blocos do algoritmo de funcionamento do *firmware*.

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

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

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

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

Conectada à uma rede com acesso à internet, a placa é capaz de comunicar-se com o *broker* MQTT e trocar mensagens, a partir do tópico escolhido. Conforme a figura 4.10, 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 4.1, para que o microcontrolador fosse capaz de interpretar, executar e responder às requisições provenientes do aplicativo *mobile*, conforme o fluxo representado pela figura.

Tabela 4.1: Mensagens de requisições de funcionalidades

Mensagem	Funcionalidade
"AC_On"	Ligar condicionador de ar
"AC_Off"	Desligar condicionador de ar
"Energy_Info"	Informar valores de energia elétrica
"Presence_Sensor"	Informar se há ou não presença humana

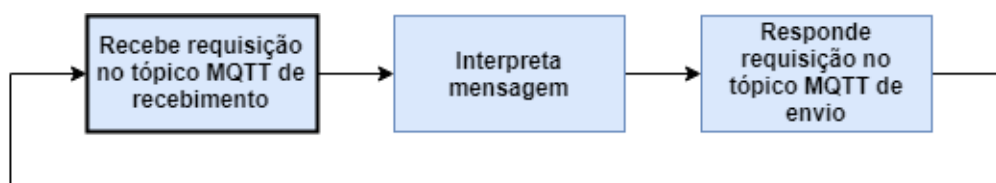


Figura 4.11: Fluxo de requisição no ponto de vista do *firmware*.

4.2.2 *Driver* de controle dos periféricos

4.2.3 Monitoramento dos sensores

4.3 *Software*

4.3.1 Comunicação no protocolo MQTT

4.3.2 Interação com o *Hardware* implementado

4.3.3 Funcionalidades implementadas

Capítulo 5

Testes e Avaliação de Desempenho

Para a realização dos testes

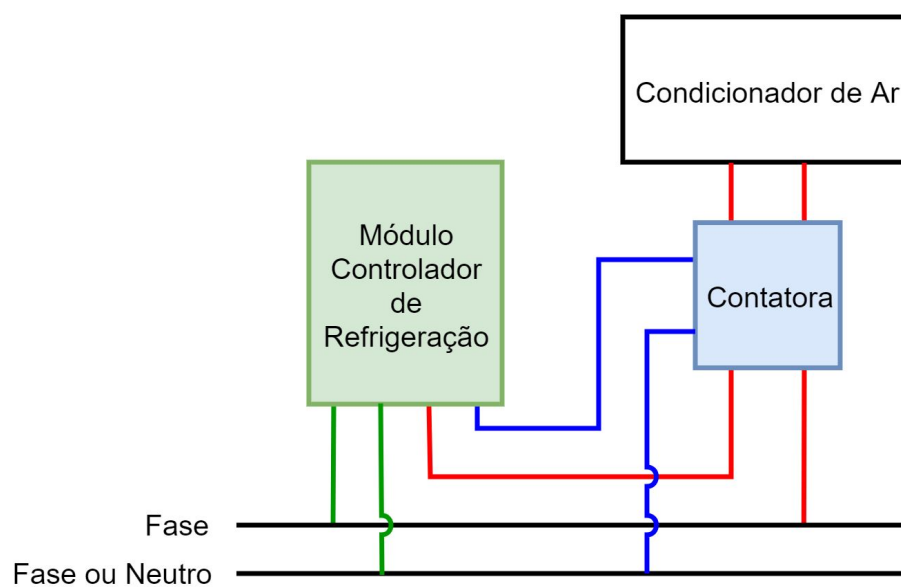


Figura 5.1: Diagrama de conexão do hardware.



Figura 5.2: Alicate amperímetro ET-3367C [19].

Tabela 5.1: Medição da corrente alternada

Medidas de corrente pela placa [A]	Medidas de corrente pelo alicate amperímetro [A]
4.21	4.2
4.27	4.32
4.45	4.46
4.49	4.51
4.6	4.6
4.6	4.61
4.63	4.63
4.66	4.67
4.71	4.71
4.73	4.73
4.78	4.77
4.81	4.8
4.84	4.86
4.88	4.89
4.89	4.9
4.93	4.93
4.95	4.96
4.96	5
5.03	5.04
5.04	5.04
5.07	5.1
5.1	5.11
5.15	5.14
5.11	5.14
5.14	5.14
5.16	5.17
5.16	5.18
5.19	5.19
5.25	5.25
5.26	5.27

Tabela 5.2: Medição da tensão alternada

Medidas de tensão pela placa [V]	Medidas de tensão pelo alicate amperímetro [V]
221.8	222.8
221.6	222.3
221.6	222.4
222.8	223.1
222.5	223.5
222	223.6
222.4	223.6
222.3	223.5
221.3	223.2
221.6	222.5
221.4	222.6
221.3	222.2
222.1	222.3
222	223
222.3	222.9
221.9	223.1
222	223
222.3	223.1
221.5	222.7
221.2	222.6
221.5	222.7
221.3	222.4
221.6	222.7
221.6	222.6
222.3	223.3
222.3	223.3
222.1	223.4
222.2	223.5
221.5	223.4
221.8	222.8

Tabela 5.3: Medição da frequência

Medidas de frequência pela placa [V]	Medidas de frequência pelo alicate amperímetro [V]
59.91	60.03
59.94	60.06
59.89	60.01
59.89	60.02
59.89	60.02
59.94	59.99
59.91	60
59.91	59.98
59.94	60.02
59.89	60.04
59.89	59.99
59.94	59.98
59.89	60
59.94	60.01
59.89	60.02
59.84	59.95
59.96	60.02
59.86	59.98
59.86	59.98
59.94	60.03
59.89	59.99
59.91	59.97
59.91	59.99
59.91	60.01
59.94	60.01
59.99	60.02
59.94	60.03
59.89	60
59.94	59.98
59.89	59.99

Capítulo 6

Conclusão

Apêndice A

Esquemáticos Elétricos

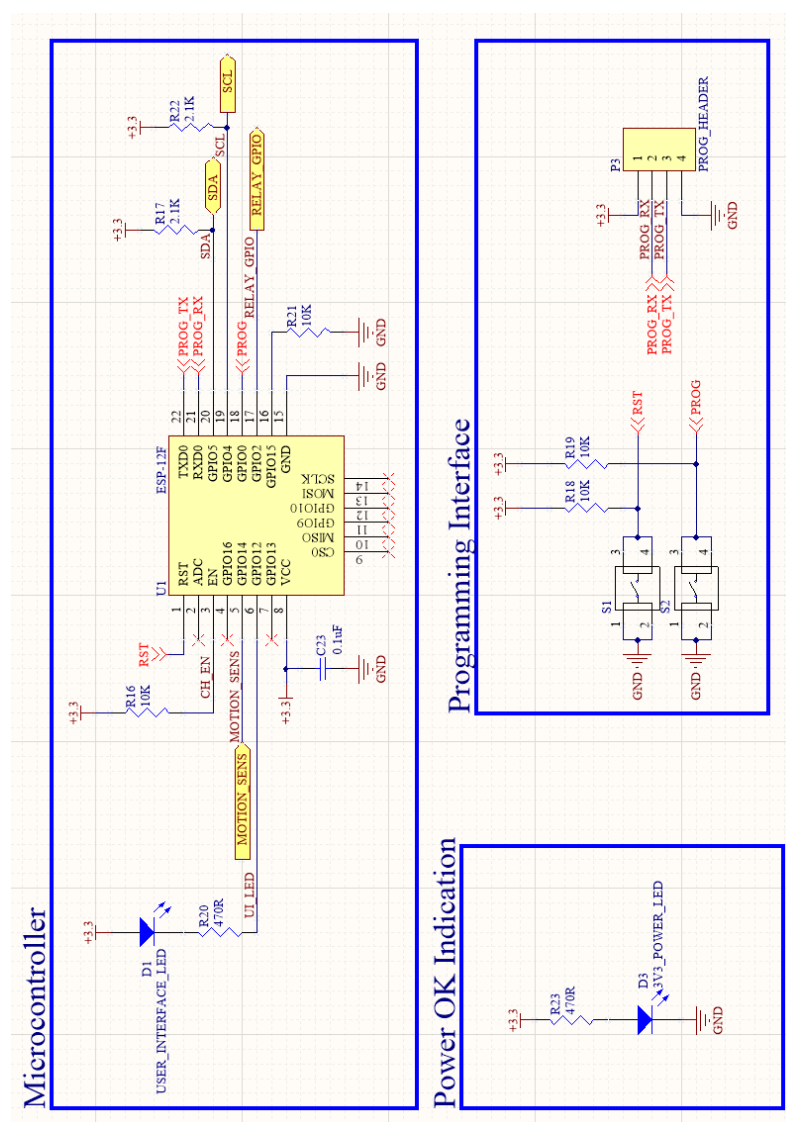


Figura A.1: Esquemático elétrico referente ao microcontrolador.

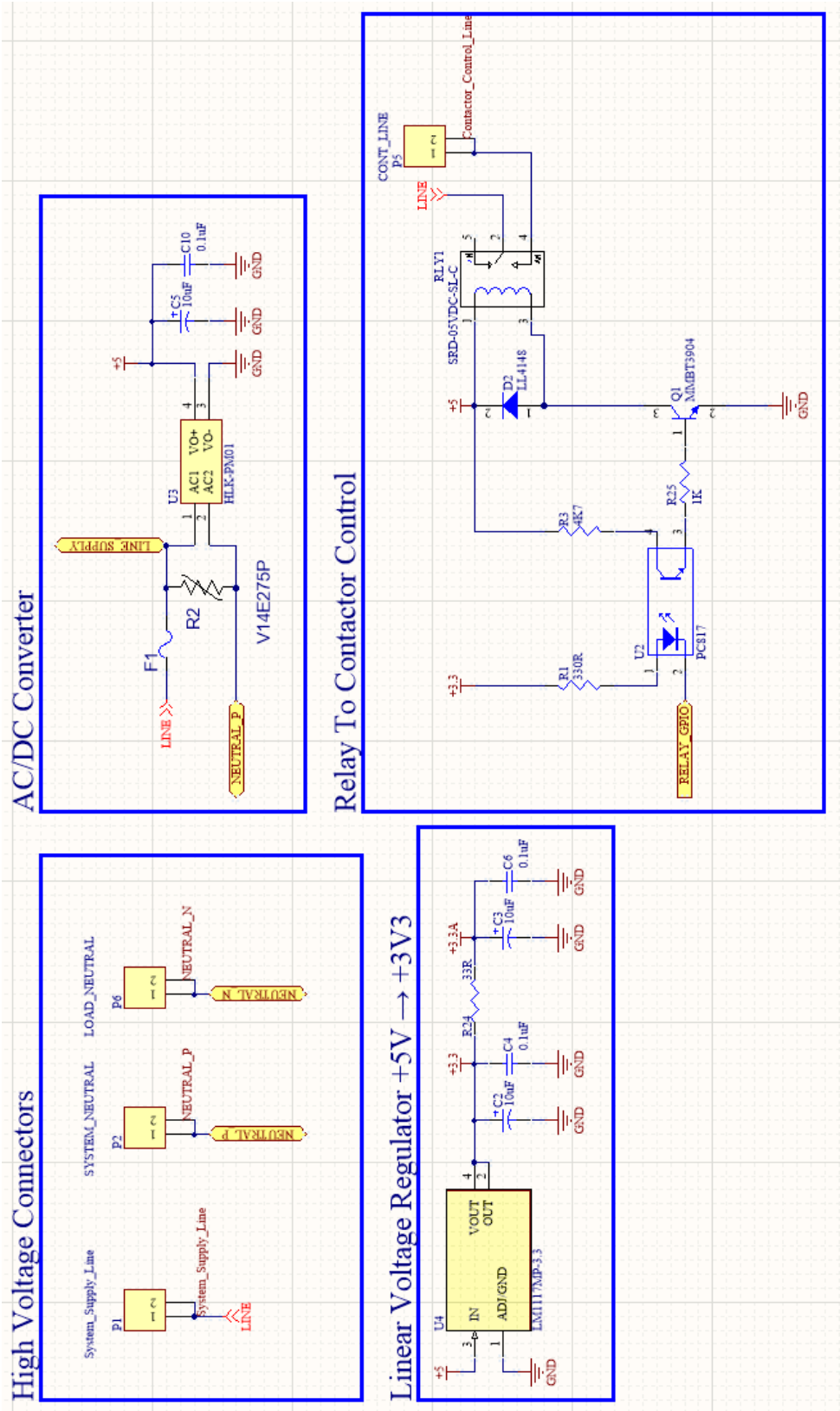
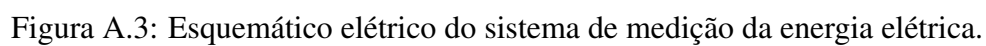


Figura A.2: Esquemático elétrico da alimentação do circuito.



Apêndice B

Layout da PCB

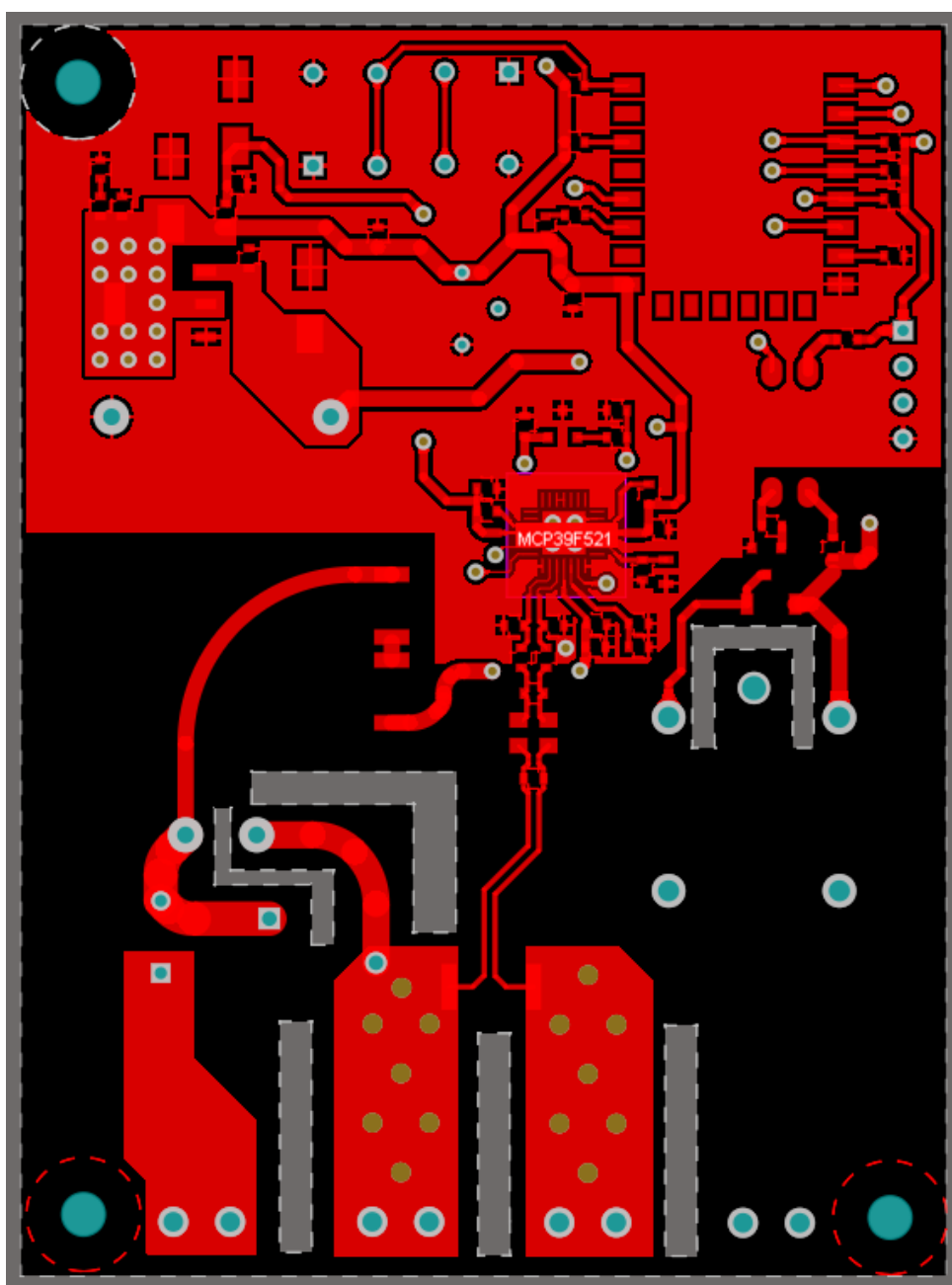


Figura B.1: *Top Layer* do *layout* da PCB.

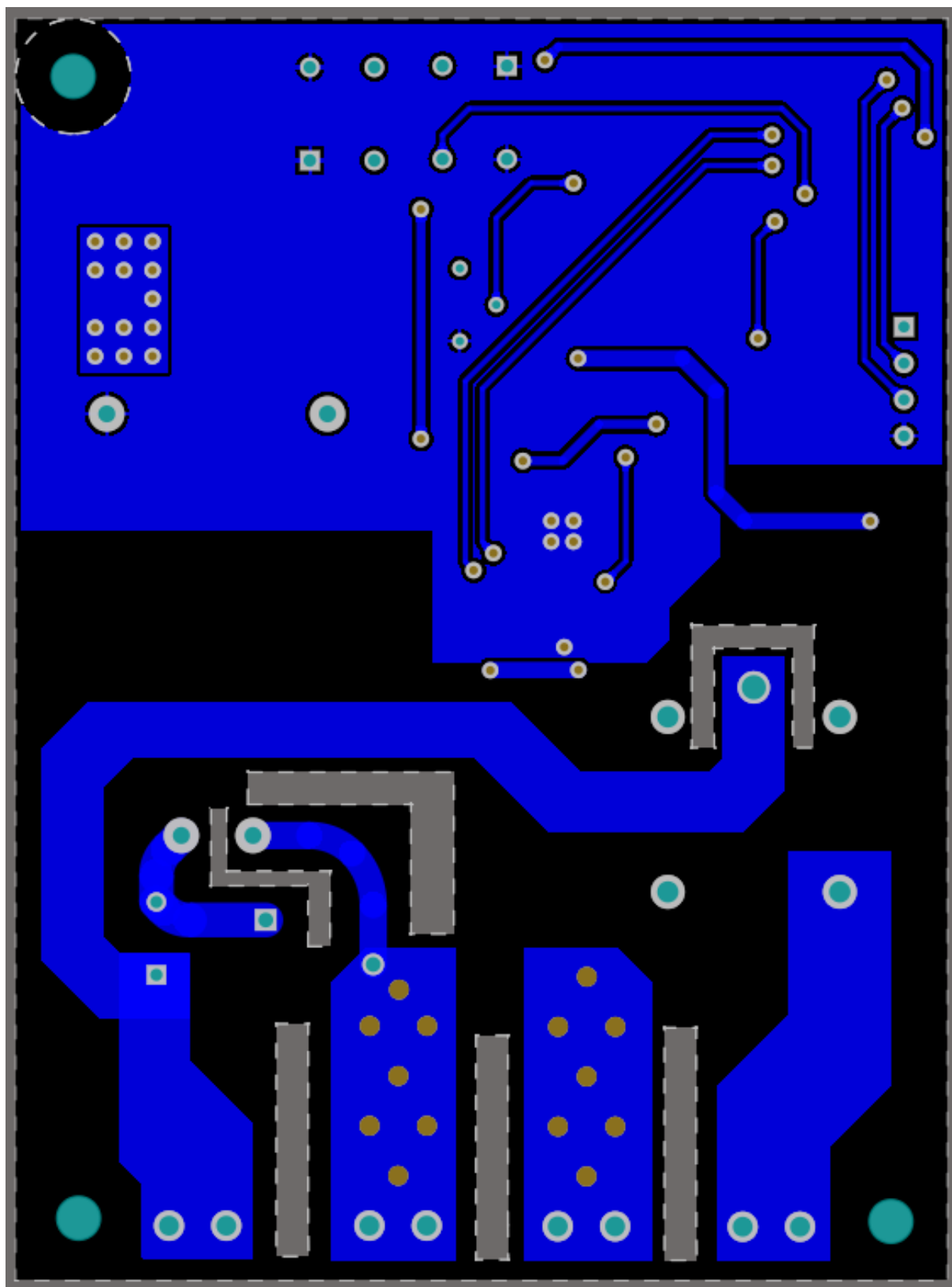


Figura B.2: *Bottom Layer* do layout da PCB.

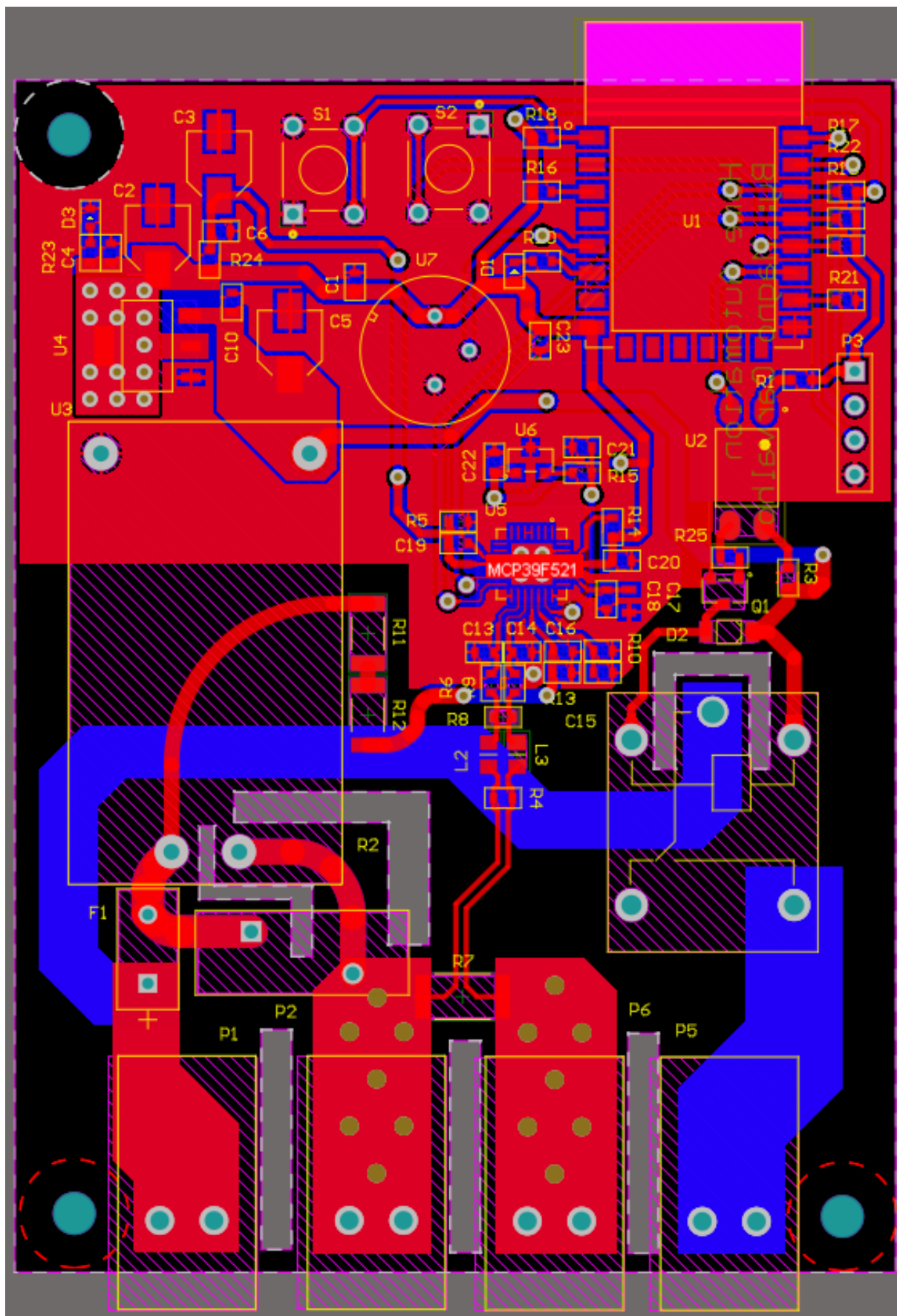
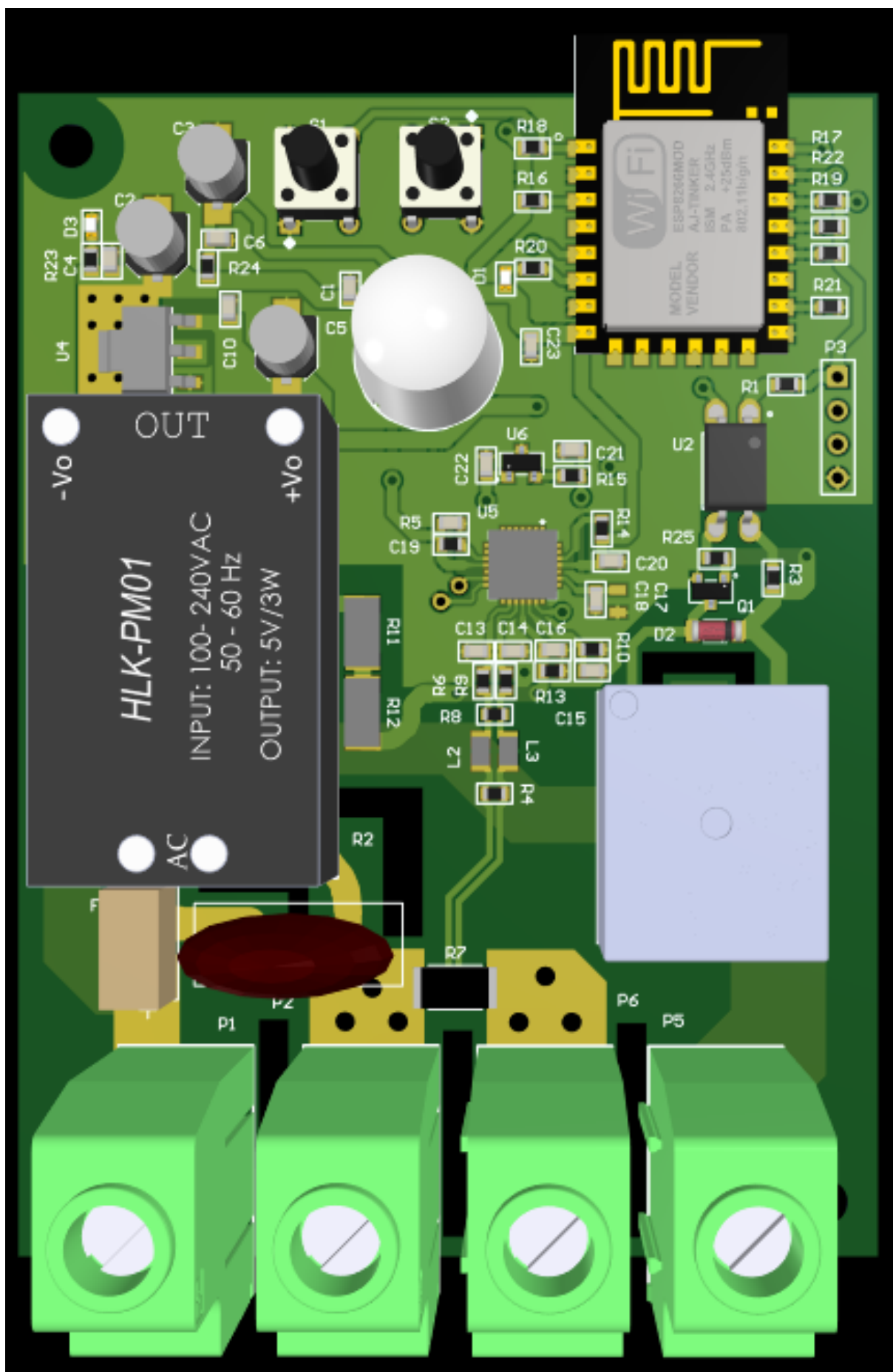


Figura B.3: Layout da PCB contendo os Layers Top e Bottom, os componentes e suas serigrafias.

Figura B.4: Visão superior da representação 3D do *layout* da PCB.

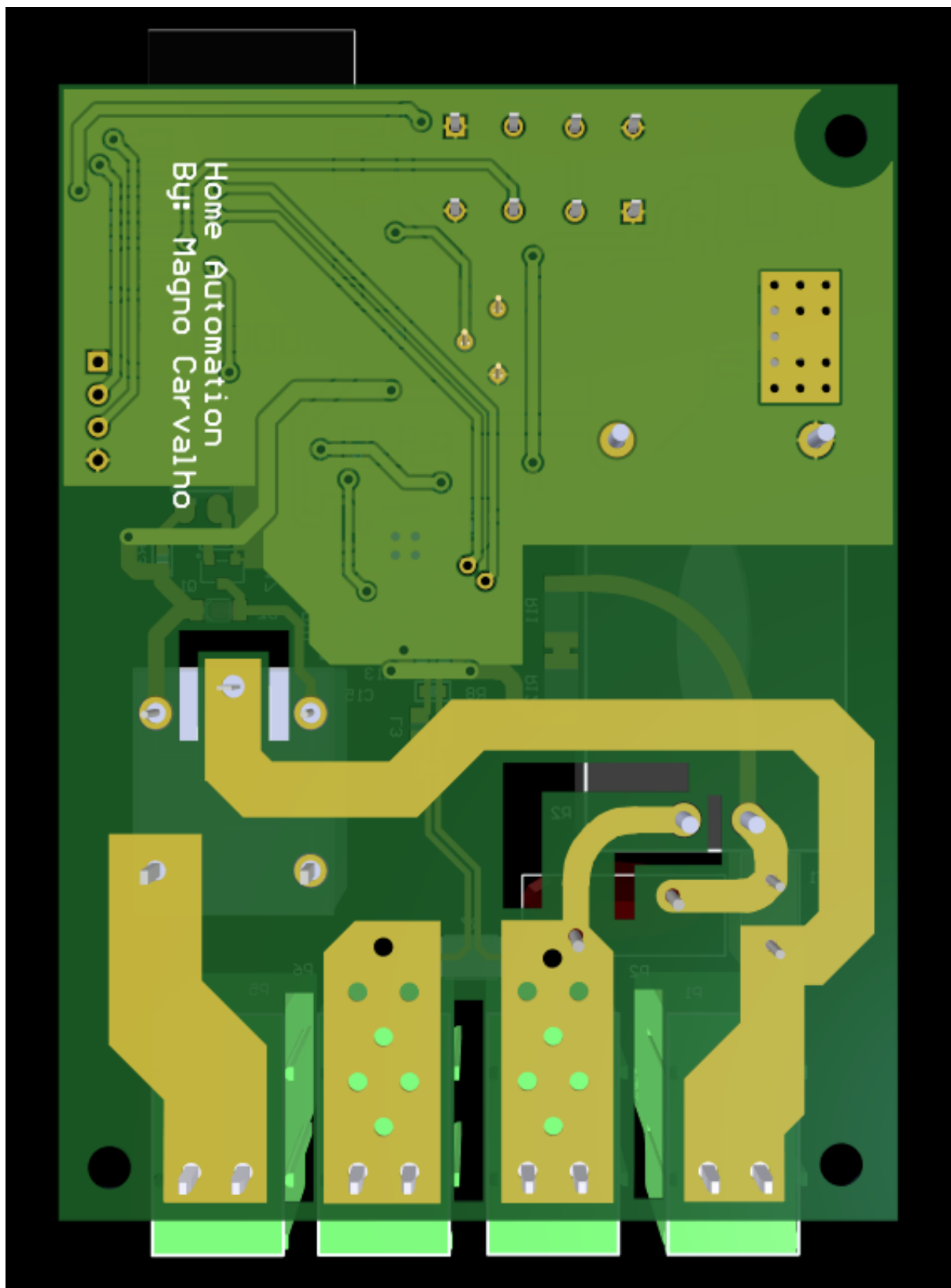


Figura B.5: Visão inferior da representação 3D do *layout* da PCB.

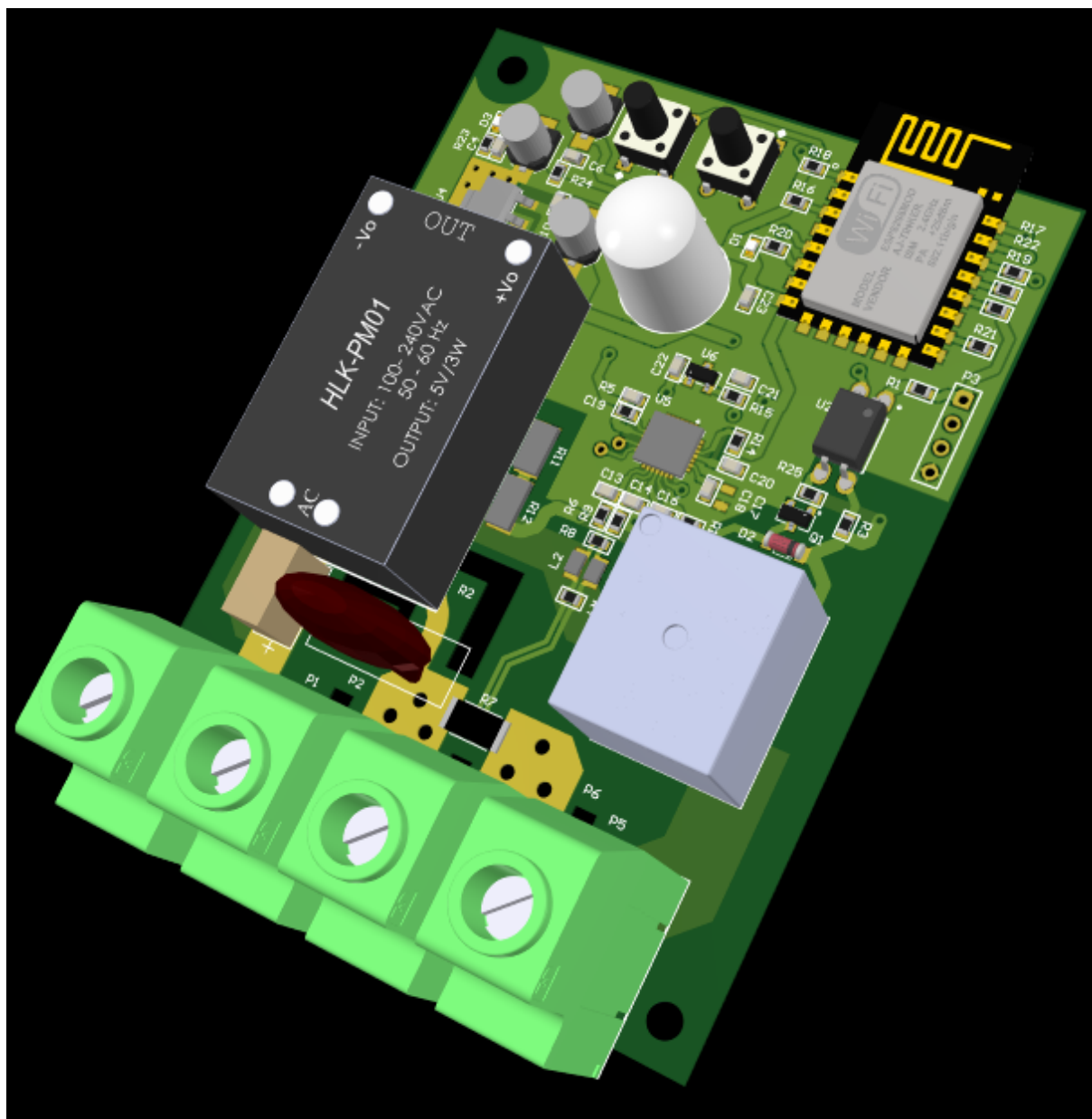


Figura B.6: Visão isométrica da representação 3D do *layout* da PCB.

Referências Bibliográficas

- [1] WAKA, G. M. Controle remoto de tomadas elétricas baseado nos conceitos de internet das coisas. p. 13, 2015.
- [2] IKRAM MOHAMMAD DAHMAN ALSHEHRI, F. K. H. M. A. Architecture of an iot-based system for football supervision. p. 1, 12 2015.
- [3] TANTITHARANUKUL KITISAK OSATHANUNKUL, K. H. P. P. P. K. N. Mqtt-topics management system for sharing of open data. p. 1, 03 2017.
- [4] JUNIOR, O. R. Sistema de monitoramento residencial baseado em internet das coisas. p. 29, 2017.
- [5] SOUZA, N. Apostila de acionamentos elétricos. p. 11–18, 11 2009.
- [6] RUBIO, M. G. Curso de introdução à instrumentação em engenharia módulo básico. p. 51, 2000.
- [7] TECHNOLOGY, M. Mcp39f521: I2c power monitor with calculation and energy accumulation. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005442A.pdf>>.
- [8] SYSTEMS, E. Esp8266ex datasheet. 2018. Disponível em: <<https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/>>.
- [9] AI-THINKER. *ESP-12F WiFi*. 2017. Disponível em: <<https://www.ai-thinker.com/home>>.
- [10] ELECTRONICS, D.-K. *ESP8266EX*. 2017. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/espressif-systems/ESP8266EX/1904-1001-1-ND/8028408>>.

- [11] ELETRÔNICA, E. *LED SMD 0603*. Disponível em: <<https://www.eletrindex.com.br/led-smd-0603.html>>.
- [12] ARZ. *Botão Push Button*. Disponível em: <<https://www.arzshop.com.br/kit-15-botao-push-button-chave-tactil-6x6x5mm-arduino-mps430>>.
- [13] FILIPEFLOP. Relé 5v songle srd-05vdc-sl-c. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/rele-5v-songle-srd-05vdc-sl-c/>>.
- [14] SCHNEIDER-ELECTRIC. Lc1d32bd: Product data sheet. Disponível em: <<https://www.schneider-electric.com/en/product/download-pdf/LC1D32BD>>.
- [15] TECHNOLOGY, M. *MCP39F521*. Disponível em: <<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP39F521>>.
- [16] ELECTRONICS, D. *MCP9700*. Disponível em: <<https://www.digikey.com/product-detail/en/microchip-technology/MCP9700T-E-TT/MCP9700T-E-TTTR-ND/1212510>>.
- [17] TECHNOLOGY, M. *Mcp39f521 power monitor demonstration board user's guide*. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002413A.pdf>>.
- [18] 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>>.
- [19] BRASIL, M. do. *Et-3367c*. Disponível em: <<http://www.minipa.com.br/alicates-produtos/alicates-digitais/357-et-3367c>>.