



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E  
TELECOMUNICAÇÕES

ELEN PRISCILA DE SOUZA LOBATO

**Desenvolvimento de um Sistema IoT para o controle de  
iluminação residencial baseado nos princípios Indústria 4.0**

Belém – Pará

2019

ELEN PRISCILA DE SOUZA LOBATO

**Desenvolvimento de um Sistema IoT para o controle de  
iluminação residencial baseado nos princípios Indústria 4.0**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
à Universidade Federal do Pará, como  
requisito parcial para a obtenção do grau de  
Bacharelado Pleno em Engenharia da  
Computação, pela Universidade Federal do  
Pará, sob a orientação do Prof. Dr. Wellington  
da Silva Fonseca.

Belém – Pará

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S719d Souza Lobato, Elen Priscila de  
Desenvolvimento de um Sistema IoT para o controle de  
iluminação residencial baseado nos princípios Indústria 4.0 / Elen  
Priscila de Souza Lobato. — 2019.  
123 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Wellington da Silva Fonseca  
Coorientador(a): Prof. Me. Antonio Roniel Marques de  
Sousa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de  
Engenharia da Computação e Telecomunicações, Instituto de  
Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Indústria 4.0. 2. Internet das Coisas. 3. Smart Home.  
4. Eficiência Energética. I. Título.

CDD 620

---

# ELEN PRISCILA DE SOUZA LOBATO

Desenvolvimento de um Sistema IoT para o controle de iluminação residencial baseado nos princípios Indústria 4.0

Este trabalho foi julgado adequado em 18 de julho de 2019 para obtenção do Grau de **ENGENHEIRA DA COMPUTAÇÃO** de **ELEN PRISCILA DE SOUZA LOBATO**, aprovado em sua forma final pela banca examinadora, a qual atribuiu o seguinte conceito: \_\_\_\_\_.

## Banca examinadora:

---

**Prof. Dr. Wellington da Silva Fonseca**  
Orientador - UFPA

---

**Prof. Me. Antonio Roniel Marques de Sousa**  
Coorientador - UFPA

---

**Profª. Drª. Maria Emília de Lima Tostes**  
Examinadora Interna - UFPA

---

**Eng. Me. Ulisses Carvalho Paixão Júnior**  
Examinador Interno - UFPA

---

**Prof. Dr. Marcelino Silva da Silva**  
Diretor da Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações

Ao meu Abba, que faz a minha vida ser essa  
linda história...

Aos meus avós, Engracia e Carlos Alberto é  
tudo por vocês.

A minha mãe e minha família por todo apoio.

Aos meus irmãos em Cristo e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Meus agradecimentos transcendem espaço-tempo, ao autor da minha vida, meu Abba e meu Deus. Tudo o que fui, sou e ainda serei, é para a honra e glória do Seu nome. Obrigada Vovó Engracia, o grande amor da minha vida. Gratidão por todo sacrifício que você fez para me criar e por todo amor e carinho. Obrigada, vovô Carlito, por me ensinar que a humildade tem que fazer parte do meu caráter. Obrigada mamãe, pelo seu amor, dedicação e orações. Minha eterna admiração ao meu Tio Carlos e tia Patricia, que mesmo distantes sempre se fizeram presentes. Obrigada tio Denílson, tia Ana e a todos os meus primos. E obrigada ao meu padrasto Rudivaldo Rodrigues, pelo incentivo aos meus estudos e por toda ajuda até aqui.

Obrigada ao meu orientador, Prof. Dr. Wellington Fonseca, que com o passar do tempo tornou-se um amigo. A grande lição que o senhor me ensinou é que “não basta ser bom tem que ser excelente”. O admiro pelo excelente, criativo e inovador profissional que és. Obrigada por me orientar da melhor forma possível, tanto no desenvolvimento deste TCC, quanto em minha vida acadêmica e por compartilhar comigo um pouco do seu conhecimento.

Ao meu coorientador Antonio Roniel Marques que também se tornou um amigo, obrigada por me auxiliar durante esse período. Adiro sua história e saiba que você é um matemático com alma de engenheiro, Sr. Antônio. Muito obrigada aos membros da minha honrosa banca examinadora, Prof. Dr. Emília Tostes e Ullisses Junior, por terem aceitado o convite e pelas valiosas contribuições neste trabalho. Obrigada, Fernando Paiva pela ajuda com os “erros” e “bugs” do código, você foi primordial para este trabalho.

A minha melhor amiga Rosielem, você é a irmã que eu não tive e a melhor amiga que eu poderia ter. À família Magalhães, em especial ao Tio Ronaldo e Tia Beth, que me receberam como uma filha no lar de vocês. Agradeço também a todas as famílias, irmão em Cristo, a Mocidade Yerushalém e aos amigos que conquistei no ensino fundamental, médio e na graduação.

Obrigada a todos do CEAMAZON, LCADE, IEADCIN, CSEPANP, UFPA e a todas as pessoas que me ajudaram de forma direta ou indireta para que eu chegasse até aqui. Todos vocês foram, são e sempre farão parte da minha história.

## EPÍGRAFE

“[...] fazei tudo para glória de Deus.” (I Co 10. 31 b)

“Você tem que encontrar o que você ama.” (Steven Jobs)

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de Internet das Coisas (IoT) para o controle e acionamento do circuito de iluminação residencial, com *dual* comunicação, sendo elas o *Bluetooth Low Energy* (BLE) e WiFi. O sistema desenvolvido foi instalado na maquete de uma casa e para a sua construção foram utilizados: um módulo ESP 32 DEV KIT V1 de ultrabaixo consumo energético, módulos Relé de Estado Sólido (SSR, sigla em inglês), os aplicativos (apps) *BLE Scanner*, *MQTTDash* e o serviço de Computação em Nuvem a *CloudMQTT*. Possibilitando, assim, o controle das luzes tanto presencialmente, quanto remotamente. Unificando todas essas tecnologias, o sistema IoT desenvolvido possui interoperabilidade, operação em tempo real e descentralização, que são princípios da Quarta Revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0 (I4.0). Além disso, o sistema também aplica diretamente o uso da Automação, Computação em Nuvem e IoT, que são alguns dos pilares da I4.0. Também foi realizado um experimento em laboratório para medir o consumo do sistema criado e qual tipo de comunicação (BLE ou WiFi) consome menos energia. Logo, na sua essência o sistema já é eficiente energeticamente, por conta das tecnologias que o compõe e a aplicação a qual se destina – controlar o circuito de iluminação – também ajuda a promover a Eficiência Energética (EE), já que pode evitar com que luzes fiquem acessas desnecessariamente. Além de tudo isso, o sistema é de baixo custo.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0. Internet das Coisas. *Smart Home*. Eficiência Energética.



## **ABSTRACT**

This paper presents the development of an Internet of Things (IoT) system for the control and activation of the residential lighting circuit, with dual communication, being Bluetooth Low Energy (BLE) and WiFi. The developed system was installed in the model of a home and building were used: an ultra-low energy ESP 32 DEV KIT V1 module, Solid State Relay (SSR) modules, BLE Scanner apps, MQTTDash and the Cloud to CloudMQTT. Thus enabling the control of lights both in person and remotely. Unifying all these technologies, the developed IoT system has interoperability, real-time operation and decentralization, which are principles of the Fourth Industrial Revolution, also called Industry 4.0 (I4.0). In addition, the system also directly applies the use of Automation, Cloud Computing and IoT, which are some of the pillars of I4.0. A laboratory experiment was also performed to measure the consumption of the system created and which type of communication (BLE or WiFi) consumes the least energy. So, in essence, the system is already energy efficient, because of its component technologies and its intended application - controlling the lighting circuit - also helps to promote Energy Efficiency (EE) as it can prevent lights stay on unnecessarily. On top of all this, the system is low cost.

**Keywords:** Industry 4.0. Internet of Things. Smart Home. Energy Efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resumo da metodologia adotada .....	3
Figura 2 – Tecnologias disruptivas .....	6
Figura 3 – Histórico das Revoluções Industriais .....	7
Figura 4 – Estimativa para os ganhos com a implantação da I4.0 no Brasil .....	8
Figura 5 – Número de transistores em chips de circuitos integrados (1971-2016) .	11
Figura 6 – Previsão de dispositivos conectados à Internet (1992 - 2020).....	12
Figura 7 – <i>Hype Cycle</i> das tecnologias emergentes – 2018.....	14
Figura 8 – Princípios da I4.0 .....	25
Figura 9 – Elementos fundamentais da I4.0 .....	26
Figura 10 – Tecnologias da Indústria I4.0.....	28
Figura 11 – Arquitetura Básica dos dispositivos de Internet das Coisas.....	33
Figura 12 – Placa base - a) Arduino Uno VER 3. b) Raspberry Pi 3.....	34
Figura 13 – Módulo de desenvolvimento com chip ESP - a) ESP8266 b) ESP32 ..	35
Figura 14 – Módulos de sensores e atuadores .....	35
Figura 15 – Tipos de comunicação .....	38
Figura 16 – Modelo do funcionamento do protocolo MQTT .....	40
Figura 17 – Interface aplicativo <i>MQTTDash</i> .....	41
Figura 18 – Modelo de referência de Internet das Coisas da ITU.....	42
Figura 19 – Modelo de Internet das Coisas da IBM.....	43
Figura 20 – Modelos de referência da Norma ISO/IEC 30141:2018.....	44
Figura 21 – Aplicações de Internet das Coisas.....	45
Figura 22 – Impacto econômico das aplicações de Internet das Coisas .....	46

Figura 23 – Objetos inteligentes .....	47
Figura 24 – Casa Inteligente .....	49
Figura 25 – Ranking das 10 Cidades mais inteligentes do mundo – 2019 .....	51
Figura 26 – Cidades Inteligentes brasileiras .....	51
Figura 27 – Os vários benefícios da Eficiência Energética .....	53
Figura 28 – Comparativo entre as lâmpadas incandescente, fluorescente e LED ....	56
Figura 29 – Sensor de presença soquete .....	58
Figura 30 – <i>Sonoff</i> .....	58
Figura 31 – Módulo ESP 32 DEV KIT V1.....	63
Figura 32 – Chip ESP32-WROOM-32 .....	63
Figura 33 – Módulo Relé de Estado Sólido com dois canais .....	65
Figura 34 – Fonte de energia <i>Hi-Link</i> .....	66
Figura 35 – Ligação da fonte de energia <i>Hi-Link</i> ao módulo ESP32.....	67
Figura 36 – Interruptor de Três Posições.....	68
Figura 37 – Janela principal do IDE Arduino.....	69
Figura 38 – Primeiro passo de instalação do Módulo ESP 32 no IDE do Arduino ..	70
Figura 39 – Segundo passo de instalação do Módulo ESP 32 no IDE do Arduino .	70
Figura 40 – Terceiro passo de instalação do Módulo ESP 32 no IDE do Arduino ..	71
Figura 41 – Quarto passo de instalação do Módulo ESP 32 no IDE do Arduino ....	72
Figura 42 – Quinto passo de instalação do Módulo ESP 32 no IDE do Arduino.....	72
Figura 43 – Sexto passo de instalação do Módulo ESP 32 na IDE do Arduino .....	73
Figura 44 – Interface do app <i>BLE Scanner</i> .....	74
Figura 45 – Interface do app <i>MQTTDash</i> para o sistema desenvolvido .....	76

Figura 46 – Informações da <i>CloudMQTT</i> para o sistema desenvolvido .....	77
Figura 47 – Script principal .....	79
Figura 48 – Planta baixa da maquete da casa.....	80
Figura 49 – Maquete da casa .....	81
Figura 50 – Maquete da casa com a instalação do circuito elétrico de iluminação.	81
Figura 51 – Esquemático do Circuito Integrado do protótipo.....	82
Figura 52 – Layout do circuito integrado do protótipo do módulo .....	83
Figura 53 – Protótipo do sistema IoT desenvolvido .....	84
Figura 54 – Durante o experimento realizado em laboratório .....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações ESP-WROOM-32 .....	64
Tabela 2 – Especificações Módulo Relé de Estado Sólido .....	66
Tabela 3 – Ambientes e comandos de ligar e desligar as lâmpadas .....	75
Tabela 4 – Custo do protótipo .....	84
Tabela 5 – Ligações entre os componentes, ambientes e comandos de acionamento .....	86
Tabela 6 – Rotina da casa .....	86
Tabela 7 – <i>Payback</i> .....	95

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características dos sistemas de Internet das Coisas.....	31
Quadro 2 – Redes sem fio .....	37
Quadro 3 – Impactos do <i>Smartphone</i> .....	48
Quadro 4 – Impactos dos Objetos Inteligentes .....	48
Quadro 5 – Impactos da Casa Inteligente.....	50
Quadro 6 – Impactos das Cidades Inteligentes .....	52

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abinc	Associação Brasileira em Internet das Coisas
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Aplicativo
Aureside	Associação Brasileira de Automação Residencial e Predial
BDA	<i>Big Data Analytics</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CI	Circuito Impresso
CLP	Controlador Lógico Programável
CPS	<i>Cyber Physical System</i>
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i>
EE	Eficiência Energética
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação da Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases do Efeito Estufa
I4.0	Indústria 4.0
IEA	Agência Internacional de Energia
IoS	<i>Internet of Services</i>

IoT	<i>Internet of Things</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
Kw	Quilowatts
kWh	Quilowatts-hora
LED	<i>Light-Emitting Diode</i>
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MME	Ministério de Minas e Energia
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
nm	Nanômetro
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PEE	Programa de Eficiência Energética
PNEF	Plano Nacional de Eficiência Energética
QoS	<i>Quality of Service</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
SH	<i>Smart Home</i>
SSR	<i>Solid State Relays</i>
V	<i>Volts</i>
W	<i>Watts</i>



WEF	<i>World Economic Forum</i>
-----	-----------------------------

Wh	<i>Watts-hora</i>
----	-------------------

WWW	<i>World Wide Web</i>
-----	-----------------------

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>1</b>
<b>1.3</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4</b>	<b>Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>3</b>
1.4.1	A Quarta Revolução Industrial (I4.0) .....	4
1.4.1.1	Definição da I4.0.....	4
1.4.1.2	Histórico da I4.0.....	5
1.4.2	Internet of Things (IoT).....	9
1.4.2.1	Definição de IoT .....	9
1.4.2.2	Histórico da IoT .....	10
1.4.3	Eficiência Energética (EE).....	16
1.4.3.1	Definição de Eficiência Energética .....	16
1.4.3.2	Histórico da Eficiência Energética .....	17
1.4.3.3	Eficiência Energética no Brasil .....	18
<b>1.5</b>	<b>Justificativas .....</b>	<b>20</b>
<b>1.6</b>	<b>Estrutura do trabalho.....</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CONTEXTO DA I4.0.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1</b>	<b>Considerações Iniciais .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2</b>	<b>Elementos formadores da I4.0 .....</b>	<b>24</b>
2.2.1	Princípios da I4.0 .....	24
2.2.2	Elementos fundamentais da I4.0.....	26

2.2.3	As principais tecnologias da I4.0 .....	27
<b>2.3</b>	<b>IoT.....</b>	<b>29</b>
2.3.1	Vocabulário da IoT .....	29
2.3.2	Características dos Sistemas IoT.....	30
2.3.3	Elementos da IoT .....	32
2.3.3.1	Dispositivos .....	32
2.3.3.2	Redes de comunicação .....	36
2.3.3.3	Suporte a serviços e aplicações.....	39
2.3.3.4	Aplicação.....	40
2.3.4	Modelos de referência da IoT.....	41
2.2.5	Aplicações da IoT .....	44
2.2.5.1	Objetos Inteligentes.....	46
2.2.5.2	Casa Inteligente.....	49
2.2.5.3	Cidades Inteligentes .....	50
<b>2.4</b>	<b>Os vários benefícios da Eficiência Energética .....</b>	<b>53</b>
2.4.1	EE aplicada na Iluminação .....	55
2.4.1.1	Lâmpadas LED.....	56
2.4.1.2	Sensores de movimento e presença .....	57
2.4.1.3	<i>Sonoff</i> .....	58
2.4.1.4	Sistemas de Automação.....	59
2.4.1.5	Recomendações práticas .....	59
<b>2.5</b>	<b>Considerações Finais .....</b>	<b>60</b>
<b>3</b>	<b>APLICAÇÃO DESENVOLVIDA NO ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>62</b>

<b>3.1</b>	<b>Considerações Iniciais .....</b>	<b>62</b>
<b>3.2</b>	<b>Tecnologias e Materiais utilizados .....</b>	<b>62</b>
3.2.1	Módulo ESP32 DEV KIT V1 .....	62
3.2.2	Módulo Relé de Estado Sólido (SSR) .....	65
3.2.3	Fonte <i>Hi-Link</i> .....	66
3.2.4	Interruptor de Três Posições .....	67
3.2.5	Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduino .....	68
3.2.6	BLE .....	73
3.2.7	WiFi .....	74
3.2.8	Aplicativo <i>BLE Scanner</i> .....	74
3.2.9	Aplicativo <i>MQTTDash</i> .....	75
3.2.10	<i>CloudMQTT</i> .....	76
3.5.11	<i>Software Eagle</i> .....	78
<b>3.3</b>	<b><i>Script</i>.....</b>	<b>78</b>
<b>3.4</b>	<b>Maquete da casa .....</b>	<b>80</b>
<b>3.5</b>	<b>Protótipo .....</b>	<b>82</b>
<b>3.6</b>	<b>Experimento.....</b>	<b>85</b>
<b>3.7</b>	<b>Considerações Finais.....</b>	<b>87</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>88</b>
<b>4.1</b>	<b>Considerações Iniciais.....</b>	<b>88</b>
<b>4.2</b>	<b>Sistema final .....</b>	<b>88</b>
<b>4.3</b>	<b>Consumo energético do sistema IoT.....</b>	<b>90</b>
<b>4.4</b>	<b><i>Payback</i>.....</b>	<b>94</b>

4.5	Considerações Finais .....	96
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	97
5.1	Conclusão .....	97
5.2	Propostas de trabalhos futuros .....	98
5.3	Dificuldades.....	98
	REFERÊNCIAS.....	100
	APÊNDICE A – <i>Script</i> principal.....	111
	APÊNDICE B – Arquivo de configuração para a comunicação BLE.....	112
	APÊNDICE C – Arquivo de configuração para a comunicação WiFi.....	114
	APÊNDICE D – Arquivo de configuração dos pinos.....	119
	ANEXO A – <i>Pinout</i> Módulo ESP32 DEV KIT V1.....	121

## 1 INTRODUÇÃO

A Quarta Revolução Industrial é pautada em alguns princípios, elementos fundamentais e tecnologias que são consideradas os pilares da I4.0, como Computação em Nuvem e a IoT. Destas tecnologias, a IoT vem ganhando notoriedade, por conta da sua capacidade de possibilitar um mundo onde tudo e todos estão conectados à internet, além de tornar as “coisas” mais inteligentes, como por exemplo as *Smart Homes*, com seus objetos inteligentes e sistemas automatizados. Com base nesse cenário descrito anteriormente que esse Trabalho de Conclusão de Curso foi desenvolvido.

Apresenta-se neste capítulo o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho, bem como a metodologia utilizada para o desenvolvimento do mesmo, a revisão bibliográfica, as devidas justificativas e a descrição da sua estrutura.

### 1.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema IoT com *dual comunicação* (BLE e WiFi) para controlar e acionar o circuito de iluminação residencial. Tal sistema, deve ser eficiente energeticamente, ter baixo custo e ser baseado na Indústria 4.0, utilizando alguns dos seus princípios, elementos fundamentais e uma de suas principais tecnologias, a IoT.

### 1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um sistema IoT para controlar e acionar a iluminação de uma casa, tanto presencialmente, quanto remotamente;
- Controlar o circuito de iluminação, tanto manualmente (pelo interruptor de 3 posições), quanto através do sistema desenvolvido, que por sua vez deve utilizar a comunicação BLE ou WiFi;
- Verificar qual tipo de comunicação (BLE e WiFi) tem menor consumo de energia;
- Produzir um sistema IoT que seja de baixo consumo energético, independentemente de qual comunicação seja usada (BLE ou WiFi);
- O sistema deve ser de baixo custo.

### 1.3 Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido adotando a metodologia de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (P&D). O qual, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) deve aplicar conhecimentos existentes de forma inovadora em busca de novas aplicações (ANEEL, 2012). Quando o P&D é empregado no setor de energia - mais especificamente em EE – ele deve buscar inovações para enfrentar os desafios do setor de energia elétrica, através do uso eficiente e racional da mesma, associado às ações de combate ao desperdício (ANEEL, 2016).

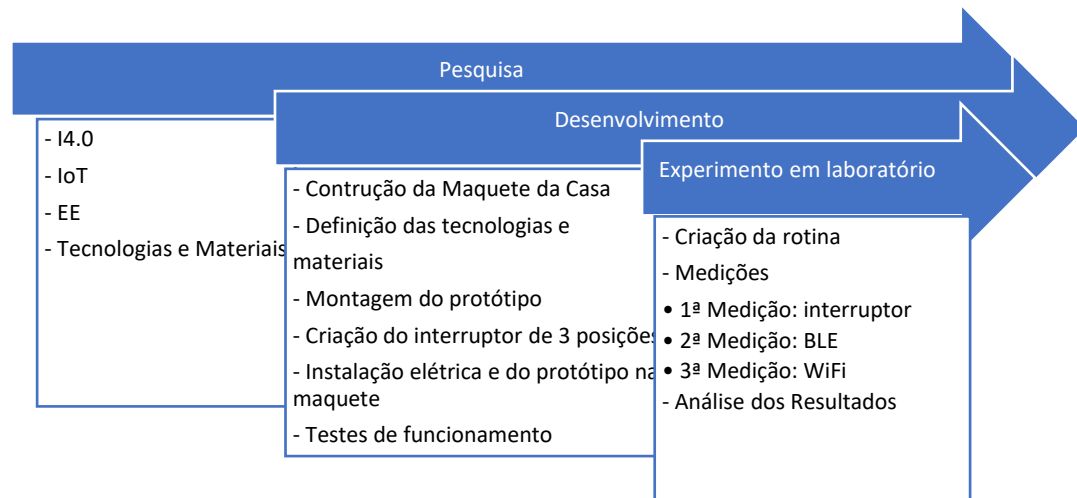
Inicialmente foram realizadas pesquisas dos principais temas abordados neste trabalho, sendo eles: I4.0, IoT e EE. Foram usados livros, artigos acadêmicos, revistas, relatórios, periódicos, anais de eventos e publicações de organizações renomadas. Visto que, a pesquisa é desenvolvida a partir de materiais já elaborados, constituídos principalmente de livros e artigos científicos, de acordo com Gil (2008).

Posteriormente, iniciou-se a fase de desenvolvimento, porém a pesquisa continuou paralela a esta fase. Foi construída a maquete de uma casa de modelo popular, para a instalação do circuito elétrico de iluminação e do sistema desenvolvido. Foram escolhidas quais tecnologias seriam usadas, construiu-se um protótipo do módulo do sistema IoT proposto. Foram criados os interruptores de 3 posições, foi feita a instalação de todos os componentes do sistema na maquete da casa e foram realizados testes de funcionamento.

Por fim foi realizado um experimento em laboratório, onde foi criada uma rotina de um dia para simular o acionamento das lâmpadas em uma casa real. Foram realizadas três medições: uma para quando as lâmpadas sendo acionadas manualmente, pelo interruptor de três posições; outra as mesmas sendo acionadas pelo sistema IoT desenvolvido programado para usar a comunicação BLE; e a última com o sistema programado para usar a comunicação WiFi. Com essas medições foi possível verificar o consumo do sistema e fazer uma projeção do seu consumo mensalmente.

A Figura 1, abaixo, ilustra resumidamente a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho.

**Figura 1** – Resumo da metodologia adotada



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Seguindo essa metodologia, foi possível, desenvolver o presente trabalho, utilizando os conceitos e tecnologias que já existem para criar um sistema IoT eficiente energeticamente, evitando assim o alto consumo de energia pelo mesmo. Além de criar uma aplicação no setor elétrico que ajuda a promover a EE através do combater ao desperdício de energia com luzes que ficam acesas desnecessariamente.

Dentro da Cadeia de Inovação de P&D este trabalho se caracteriza como uma Pesquisa de Desenvolvimento Experimental, onde deve haver um trabalho sistemático, baseado em conhecimentos pré-existente, que visa demonstrar a viabilidade técnica ou funcional de novos produtos e sistemas. Sendo, uma das atividades dessa fase o desenvolvimento de equipamentos (protótipos) e sistemas; e a inovação incremental no que se refere ao aperfeiçoamento de produtos, ou serviços existentes (ANEEL, 2012).

#### 1.4 Revisão Bibliográfica

Neste tópico, serão apresentados, respectivamente, os temas I4.0, IoT, e EE, juntamente com um breve histórico e a definição desses temas.



### 1.4.1 A Quarta Revolução Industrial (I4.0)

A revolução que está mudando a humanidade será definida, neste subtópico. Também serão expostos os caminhos que lhe antecederam e o que está sendo feito para que ela seja promovida no Brasil.

#### 1.4.1.1 Definição da I4.0

Klaus Schwab – fundador e atual diretor do Fórum Econômico Mundial (WEF, sigla em inglês) – define a I4.0 como a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos e a fusão de tecnologias que vão desde o sequenciamento genético até a nanotecnologia, e das energias renováveis à computação quântica (SCHWAB, 2016).

No estudo da Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2016) a I4.0 é definida como a integração e controle da produção a partir de sensores e equipamentos conectados em rede, assim como a fusão do mundo real com o virtual, criando os chamados sistemas Ciber-Físicos (CPS, sigla em inglês).

Simonetto e Pereira (2018) dizem a I4.0 é uma revolução baseada na inclusão de tecnologias como os CPS e a IoT nos processos produtivos, possibilitando uma maior autonomia na tomada de decisão, e maior transparência nas relações entre humanos e máquinas. Machado (2019) afirma que a I4.0 é a era da digitalização, em que tudo é digital, modelos de negócios, ambientes, produção, sistemas, máquinas, operadores, produtos e serviços.

Sintetizando todas essas definições, pode-se afirmar que I4.0 é um novo universo que se origina da fusão de outros dois mundos, o real e o virtual, conectando tudo o que há em cada um deles, desde as pessoas, objetos (do mundo físico), até as tecnologias e serviços do mundo (virtual). Gerando um universo hiperconectado, digitalizado, produtivo e mais eficiente. Além de mudar todas as áreas da vida humana, desde aspectos profissionais, até mesmo emocionais.

#### 1.4.1.2 Histórico da I4.0

O mundo já passou por três grandes revoluções industriais e vive, atualmente, a Quarta Revolução Industrial. Essas Quatro Revoluções serão descritas, sucintamente, a partir dos trabalhos de Oliveira Neto (2017) e (SOUSA, 2019) . Na Primeira Revolução, no século XVIII (1780-1830), a água e o carvão eram as fontes de energia, houve a criação da máquina a vapor, o que possibilitou o surgimento da locomotiva e da indústria têxtil. O modo de produção era Manchesteriano, onde o trabalhador tinha um único ofício e recebia por peça produzida.

Na Segunda Revolução, no século XIX (1870-1945), ocorreu o grande marco da criação da eletricidade, por causa disso a fonte de energia passou a ser proveniente da eletricidade e também do petróleo. Houve o desenvolvimento da metalurgia, siderurgia e química, a criação do motor a explosão. Outro grande marco foi a criação do modelo “T” na linha de produção. Assim, a indústria passou a adotar o modo de produção Fordista, onde os produtos eram produzidos em massa e padronizados. No modo Fordista o trabalho era dividido em intelectual e manual, onde os trabalhadores não qualificados exerciam trabalhos manuais repetitivos (OLIVEIRA NETO, 2017).

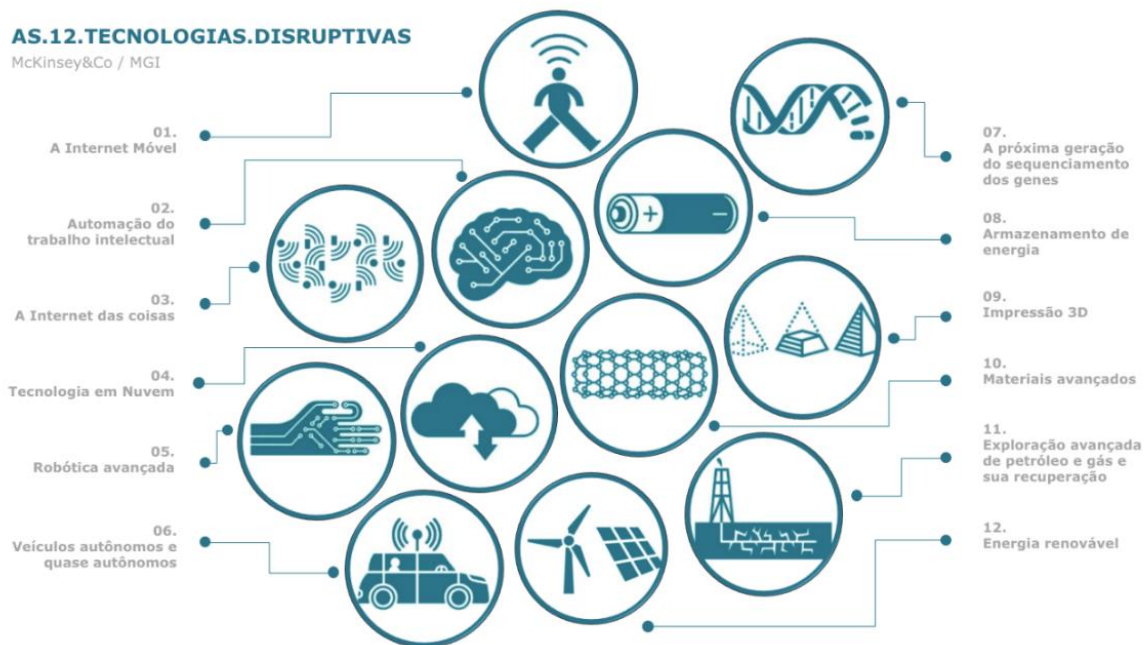
Na Terceira Revolução, no século XX (1950), também chamada de revolução Técnico-Científica-Informacional, entra em cena a tecnologia para automatizar a produção. Essa revolução é marcada pelo uso intensivo do computador e o surgimento da internet, que possibilitou o desenvolvimento de muitas outras áreas como a robótica, telecomunicação, biotecnologia, engenharia genética, entre outras. Houve a criação do primeiro Controlador Lógico Programável (CLP) e devido os avanços da automação o homem saiu da linha de produção e os robôs foram inseridos no seu lugar (OLIVEIRA NETO, 2017).

Assim, o processo de produção passou a ser mais automatizado. Surgiu o modo de produção Toyotista, com o estilo “*just-in-time*”, onde a produção é realizada na hora e na quantidade certa, de acordo com a demanda. Isso permitiu que a produção se tornasse mais flexível, diversificada e os trabalhadores passaram a ser mais capacitados.

Todas essas três revoluções foram estudadas após acontecerem (PEREIRA e SIMONETTO, 2018) (LASI, FETTKE, *et al.*, 2014)

Chega-se então, a Quarta Revolução Industrial, na virada do século XX, sem uma data específica, para o seu início e fim. Nessa quarta revolução, as fontes de energia passam a ser preferencialmente renováveis (como a eólica e a fotovoltaica) e os seus grandes marcos (até agora) são: a criação dos CPS e o surgimento das tecnologias disruptivas, como a IoT, Inteligência Artificial, robótica, computação quântica, carro autômatos, objetos inteligentes, entre outras. A Figura 2, a seguir, mostra algumas dessas tecnologias disruptivas.

**Figura 2** – Tecnologias disruptivas

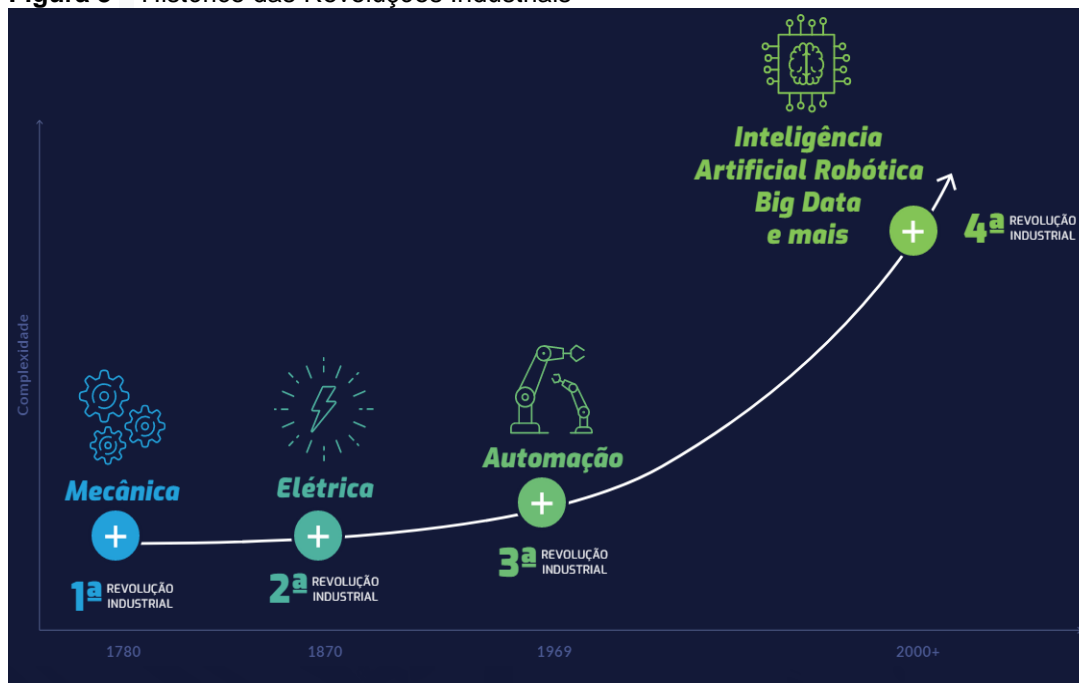


**Fonte:** (HELLER, 2017).

Na Quarta Revolução Industrial a cadeia produtiva passou a estar mais conectada, chamando-se de manufatura avançada, onde os processos se adaptam a demanda de produção e os produtos são mais customizados. A forma de trabalho, negócio e como se vive também mudaram radicalmente. Para a ABDI, a I4.0 é uma revolução tecnológica em que ocorre a fusão entre o mundo físico, biológico e digital e que terá um impacto

profundo e exponencial (ABDI). A Figura 3, a baixo, mostra o histórico das Revoluções Industriais até a Quarta Revolução.

**Figura 3** – Histórico das Revoluções Industriais



**Fonte:** (ABDI).

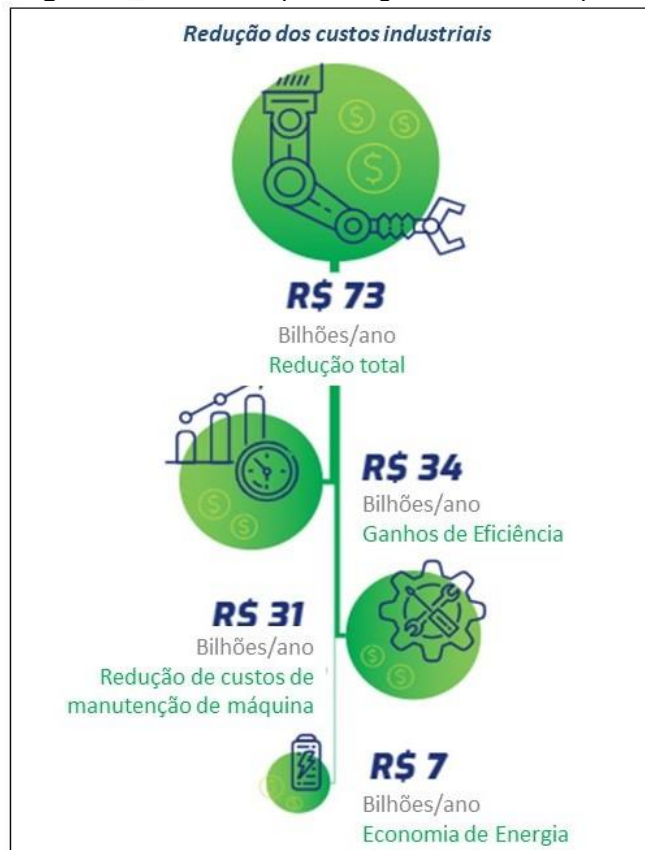
Essa Quarta revolução representa uma evolução natural dos sistemas industriais anteriores, desde a mecanização do trabalho ocorrida no século XVIII até a automação da produção nos dias atuais (SANTOS, ALBERTO e LIMA, 2018). Mas, apesar de ela ser uma evolução das revoluções industriais anteriores, Schwab (2016) diz que essa quarta revolução é diferente em relação a sua velocidade, amplitude, profundidade e em seus impactos.

Em 2011 foi a primeira vez que o termo I4.0 foi utilizado, na feira de Hannover, tal conceito nasceu de um projeto do governo alemão, chamado de *Plattform Industrie 4.0*, o qual tinha como objetivo desenvolver alta tecnologia para que os equipamentos industriais pudessem se comunicar, através da troca de dados entre máquina e seres humanos, de forma que todo o processo de produção fosse automatizado (SACOMANO, GONÇALVES e BONILLA, 2018).

Em 2016 Firjan deu uma visão sobre como estava a I4.0 no Brasil. Observou-se que grande parte da indústria brasileira estava transitando entre a segunda e a terceira revolução industrial, ou seja, entre o uso de linhas de montagem e a aplicação da automação. E o setor que mais possuía avanço em relação à implementação da I4.0 era o setor automotivo (FIRJAN, 2016).

Em 2017 o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) criou um plano de ação para I4.0 no Brasil, que tem como objetivo contribuir para a transformação das empresas em direção I4.0. A agenda elaborada no plano estipulou o prazo até o dia 31 de dezembro de 2020 para atingir as metas propostas, mas os resultados deste plano de ação poderão ser visto em longo prazo. Segundo a ABDI, com a migração da indústria para o conceito 4.0, estima-se que haverá a redução de custos industriais no Brasil de no mínimo R\$ 73 bilhões por ano, como pode ser visto na Figura 4.

**Figura 4** – Estimativa para os ganhos com a implantação da I4.0 no Brasil



**Fonte:** (ABDI) – Adaptado.

Como pode ser visualizado na Figura 4, acima, pode-se obter anualmente: R\$ 7 bilhões de economia com energia, R\$ 31 bilhões de redução de custos de manutenção com máquina, R\$ 324 bilhões com ganhos de eficiência, alcançando assim o total de R\$ 73 bilhões de redução total (ABDI).

Essa é a primeira revolução que foi estudada antes e durante o seu acontecimento (PEREIRA e SIMONETTO, 2018). Por tanto, quando olhada sob a ótica da história a I4.0 está apenas começando e ainda tem um longo caminho a percorrer.

#### 1.4.2 Internet of Things (IoT)

Neste subtópico será apresentada a definição e um breve histórico a nível mundial e nacional da IoT, a qual é considerada de grande importância para a I4.0 (COLOMBO, 2018).

##### 1.4.2.1 Definição de IoT

Uma das primeiras definições oficiais e mais técnica sobre IoT foi proposta pela União Internacional de Telecomunicações (ITU, sigla em inglês), onde ela foi definida como “uma infraestrutura global para a sociedade da informação, permitindo serviços avançados através da interconexão (física e virtual) das coisas com base em Tecnologias de Informação e Comunicação interoperáveis existentes e em evolução” (ITU, 2012).

O IEEE a define como uma rede de itens que incorporam sensores e estão conectados à Internet (IEEE, 2015). Porém, vale ressaltar que essa definição considera somente a camada física da IoT. Firjan (2016) a define como uma rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e apps com tecnologia embarcada para comunicar, sentir ou interagir com ambientes internos e externos.

De acordo com a Norma Internacional de IoT ISO/IEC 20924:2018, a IoT é uma “infraestrutura de entidades interconectada, pessoas, sistemas e recursos de informação

em conjunto com serviços que processam e reagem a informações do mundo físico e do mundo virtual” (ISO, 2018b).

De forma menos técnica, Magrani (2018) diz que a IoT pode ser entendida como um ambiente onde os objetos físicos estão interconectados com a internet por meio de pequenos sensores embutidos, criando um ecossistema de computação, voltado para facilitar o cotidiano das pessoas, através da introdução de soluções funcionais para dia a dia.

Para o Plano Nacional de Internet das Coisas, a IoT é uma infraestrutura que integra a prestação de serviços de valor a capacidade de conexão física ou virtual das coisas, com dispositivos baseados em tecnologias da informação e comunicação (BRASIL, 2019).

Sintetizando todas as definições apresentadas, conclui-se que a IoT é um conceito que possibilita um mundo onde tudo e todos (real ou virtual) estão conectados à internet, de modo que as “coisas”, como objetos, ambientes, soluções, serviços e aplicações sejam mais inteligentes, de forma que o cotidiano das pessoas é facilitado e o mundo (físico e o virtual) é melhorado.

#### 1.4.2.2 Histórico da IoT

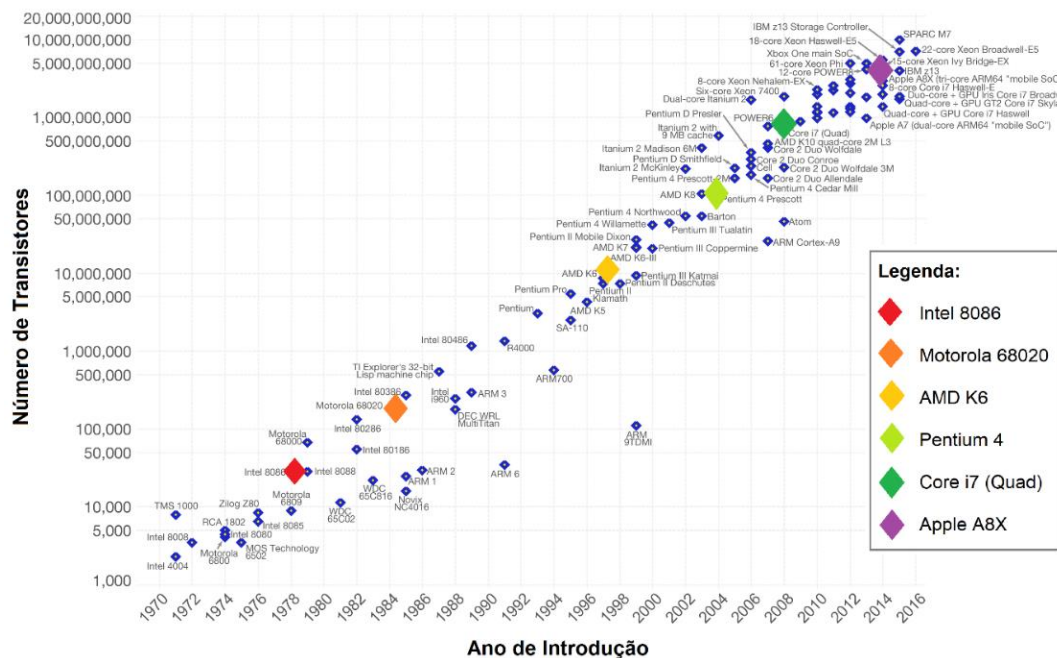
Os avanços das Tecnologias de Comunicação e Informação (TICs), como a internet, a telecomunicações e o aumento do processamento de dados, possibilitaram a realidade da IoT utilizada nos dias atuais (MUSE, 2019).

Criada em 1969, a Internet se chamava ARPANET e foi projetada inicialmente para fins militares, com a finalidade de trocar informações entre o exército de forma segura. Inicialmente, ela foi disponibilizada apenas nas universidades. Só em 1990 quando o cientista, físico e professor Tim Berners-Lee desenvolveu o navegador *World Wide Web* (WWW), é que a Internet se expandiu e passou a ser utilizada para usos comerciais, residenciais, entre outros, tornando-se a Rede Mundial de Computadores.

Contudo, a Internet inicialmente era de péssima qualidade, com baixa velocidade de transmissão de dados e custos bem elevados, porém esse cenário foi melhorando ao longo do tempo. Houve o aumento da sua velocidade e diminuição considerável do seu custo, o que permitiu que computadores, celulares e outros tipos de objetos se conectassem a rede. De acordo com a ITU, atualmente, 51,2% da população mundial tem acesso à Internet (ITU, 2019) e estudos da Gartner apontam que 15 bilhões de objetos estão conectados (LOUREIRO, 2019).

Outro fator que possibilitou o desenvolvimento da IoT foi o aumento do poder de processamento e a diminuição do tamanho dos processadores. A tão famosa Lei de Moore, formulada por Gordon E. Moore – cofundador da Intel – publicada em 1965, dizia: “o número de transistores que podem ser embalados em uma determinada unidade de espaço vai dobrar a cada dois anos.” (MOORE, 1965). A Figura 5 mostra a evolução dos chips de circuito integrado, destacando as seis marcas conhecidas e demonstra que a Lei de Moore realmente aconteceu.

**Figura 5** – Número de transistores em chips de circuitos integrados (1971-2016)

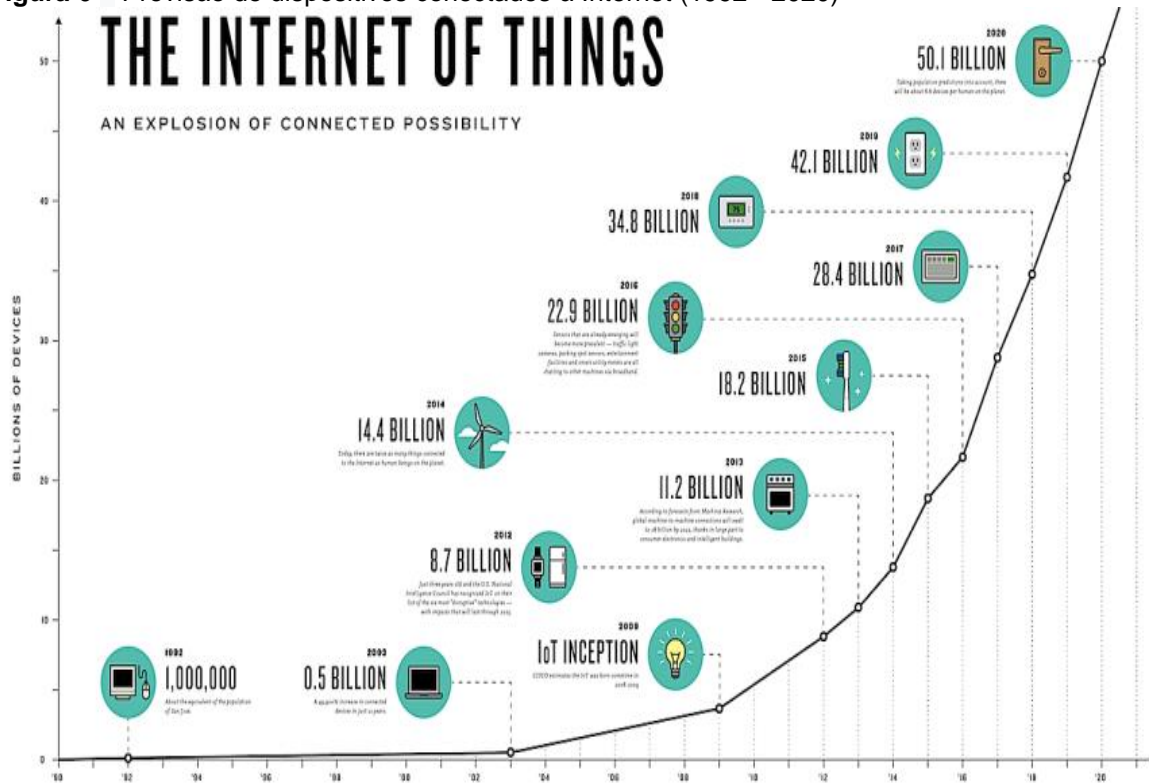




A última geração de processadores da Intel, o Core i9, lançado em 2018, possui o tamanho de 14 nm (INTEL, 2018). A IBM fabrica chips comerciais de 10 nm e anunciou que já conseguiu produzir um chips de 5 nm, que comparado com os chips de 10 nm, apresenta o desempenho 40% maior e consomem 75% menos energia (ANTHONY, 2017).

Com toda essa diminuição do tamanho dos chips e aumento do poder de processamento, A Lei de Moore também modela a IoT, como podemos visualizar Figura 6.

**Figura 6** – Previsão de dispositivos conectados à Internet (1992 - 2020)



Fonte: (GUIMARÃES).

O primeiro objeto conectado à internet foi em 1990, quando John Romkey conectou uma torradeira a Internet para liga-la e desliga-la. Em 1999, Kevin Ashton, colocou o título de sua apresentação sobre Identificação por Radiofrequência (RFID, sigla em inglês) de “*Internet of Things*” e dez anos depois o mesmo escreveu um artigo

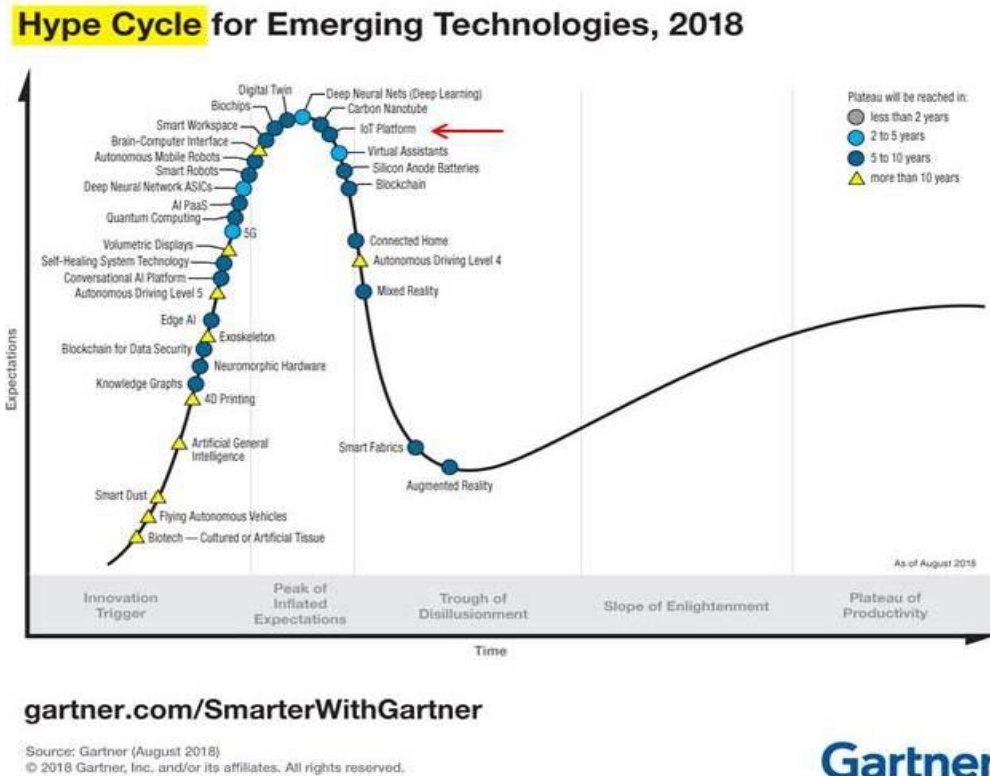
chamado “A coisa da Internet das Coisas”, por isso ele é considerado o criador desse termo (MAGRANI, 2018).

Em janeiro de 2005, a *Wall Mart* e o Departamento de Defesa dos Estados Unidos passaram a exigir que os seus fornecedores utilizassem as etiquetas RFID nos seus produtos para o controle de estoque. Desde então a cadeia de suprimentos adotou o uso de RFID em massa e outras aplicações utilizando essa tecnologia foram desenvolvidas. Assim, as aplicações RFID foram de grande contribuição para o desenvolvimento da IoT (VALENTE e NETO, 2017). Também em 2005, houve a publicação do relatório da ITU com o conceito de IoT (ITU, 2005) e o lançamento do *Nabaztag*, o primeiro objeto inteligente comercializado em larga escala, que tinha a forma de um coelho, era conectado à internet e poderia ser programado para receber previsão do tempo e ler e-mails (SINGER, 2012).

Em 2008, Rob Van Kranenburg publicou o livro “*The Internet of Things*”, que aborda um novo paradigma em que os objetos produzem informação. Esse livro é considerado uma das grandes referências teóricas sobre IoT (SINGER, 2012).

Desde 2011 o termo “*Internet of Things*” ou “*IoT Platform*” aparecem no *Hype Cycle* da empresa *Gartner*. Conforme a Figura 7 o *Hyper Cycle* é uma representação gráfica dos estágios do ciclo de vida de uma tecnologia – indo desde sua concepção até a maturidade – e aponta as principais tendências em tecnologias no mundo (GARTNER, 2019).

**Figura 7 – Hype Cycle das tecnologias emergentes – 2018**



**Fonte:** (GARTNER, 2018) – Adaptado.

Em 2016, finalmente foi publicada a primeira Norma Internacional para IoT, a ISO/IEC 29161:2016, de Identificação única para IoT (ISO, 2016). Posteriormente, mais Normas Internacionais foram publicadas:

- ISO/IEC 22417:2017 de Casos de uso de Internet das coisas (IoT) (ISO, 2017);
- ISO/IEC 30141:2018 de Arquitetura de Referência (ISO, 2018a);
- ISO/IEC 20924:2018 de Vocabulário (ISO, 2018b);
- ISO/IEC 21823-1:2019 de Interoperabilidade para sistemas da Internet das coisas - Parte 1: Framework (ISO, 2019).

No Brasil, em 2010, ocorreu o primeiro evento sobre IoT, conhecido como “1º Congresso de Tecnologia, Sistemas e Serviços com RFID”, e posteriormente, passou a

ser chamado de “Congresso Brasileiro de Internet das coisas e RFID”. Em 2011 foi criado o “Fórum Brasileiro de Internet das Coisas”, com o objetivo de mostrar a importância da IoT para a sociedade, as novas tecnologias e como o Brasil pode ser um participante global nesse segmento. Esse mesmo Fórum organizou, em 2016 o “1º Congresso Brasileiro e Latino-Americano em Internet das Coisas”, com o tema: “*Smart World: a IoT como base de um mundo melhor*”.

Em 2015 foi fundada a Associação Brasileira em Internet das Coisas (ABINC), que tem como objetivo promover atividade de pesquisa e desenvolvimento, atuar junto às autoridades governamentais envolvidas no âmbito da Internet das Coisas e representar e fazer parcerias internacionais com entidades desse setor (ABINC).

Em 2016 foi criado o Núcleo de Estudos e Pesquisas em Internet das Coisas (NEPIoT), com o propósito de ser um *hub* de experimentação para estudos e projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação baseado em Internet das Coisas. Formado por empresas conveniadas ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas que operam em rede, para conduzir estudos e projetos em Internet das Coisas, e desenvolver um ecossistema experimental para a promoção e validação das tecnologias associadas com aplicações em ambiente urbano e/ou rural (NEPIOT).

Em 2018 o BNDES, em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, lançou um Plano de Ação para o desenvolvimento da IoT no Brasil. E recentemente, em abril de 2019, UTI provou um padrão de Modelos de Referência de Arquitetura de Dispositivos para apps IoT, elaborado a partir de uma parceria entre MCTIC, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e o Centro de Estudos e Sistemas Avançados do Recife (CESAR, 2019).

No último dia 25 de junho de 2019 foi publicado o decreto que institui o Plano Nacional de Internet das Coisas, que visa regular e estimular essa tecnologia no país. Dentre os objetivos do decreto está a melhoria da qualidade de vida das pessoas e

promover ganhos de eficiência nos serviços, por meio da implementação de soluções de IoT (BRASIL, 2019).

### 1.4.3 Eficiência Energética (EE)

Não é de hoje que o homem tenta ser e fazer o melhor em tudo. Nasce então o conceito de eficiência, essa palavra sozinha significa “qualidade de algo ou alguém que produz com o mínimo de erros ou de meios”, de acordo com Aurélio (2018). Quando se aplica essa significação no setor elétrico, tem-se a EE que será definida no próximo subtópico, também será visto parte do seu histórico e como ela está sendo promovida no cenário nacional.

#### 1.4.3.1 Definição de Eficiência Energética

Aplicando-se a 1ª Lei da Termodinâmica a eficiência, ela é a razão entre a energia que sai do processo e a energia que entra no mesmo (HALLIDAY, WALKER e RESNICK, 2016). Como podemos visualizar na equação 1 abaixo.

$$\varepsilon = \frac{\text{Energia de saída}}{\text{Energia de entrada}} \leq 1 \text{ (adimensional)} \quad (1)$$

Aplicando-se a 2ª Lei da Termodinâmica a eficiência, ela é a razão entre a energia mínima para a realização de um processo e a energia efetiva utilizada no mesmo (HALLIDAY, WALKER e RESNICK, 2016).

$$\varepsilon = \frac{\text{Energia mínima}}{\text{Energia utilizada}} \leq 1 \text{ (adimensional)} \quad (2)$$

A norma de Sistema de Gestão de Energia, ABNT NBR ISO 50.001:2018 conceitua a EE como a razão entre a saída (que pode ser tanto energia, quanto um produto ou serviço) e a entrada de energia (ISO, 2018). Em termos econômicos a EE pode ser definida como a quantidade de energia por unidade de produto (TOSTE, 2019)

A Eletrobrás define a EE, no seu dicionário da Energia Elétrica, como uma atividade que procura aperfeiçoar o uso das fontes de energia, ou seja, usar menos energia para fornecer a mesma quantidade de valor energético (ELETROBRÁS, 2012). De acordo com a Abesco (2019) “Fazer mais com menos energia. Isso é eficiência energética”. E o uso racional da energia é a EE (BEERENERGY, 2019), essa é uma das definições mais difundidas.

Logo, com todas essas definições, pode-se sintetizar que EE é usar o mínimo de energia na entrada para obter os mesmos resultados ou até mais na saída, visando-se sempre o seu uso de forma racional. Vale ressaltar que ao usar menos energia, não significa que o resultado na saída será de menor qualidade, pois de acordo com a EPE, EE também é manter o conforto e qualidade (EPE).

#### 1.4.3.2 Histórico da Eficiência Energética

Desde a crise do petróleo, na década de 70, passou-se a se ter maior preocupação com relação ao gerenciamento e uso dos recursos energéticos disponíveis. Nos anos 80 surgiu mais uma preocupação, a queima dos combustíveis fósseis que geram gases poluentes ( $\text{CO}_2$ , CO e C) e afetam o clima do planeta. Por conta desses fatores, o mundo passou a adotar algumas medidas de geração e utilização da energia com mais eficiência, criaram vários acordos, conferências e programas de EE.

Em relação às medidas de geração de energia, passou-se a adotar fontes de energia renováveis, como a hídrica, eólica, solar, geotérmica, biomassa e oceânica (TOLMASQUIM, 2016). E em relação a sua utilização, o uso eficiente e de forma racional foi uma das medidas adotada (ELETROBRÁS, 2006).

Em 1997 vários países assinaram o acordo internacional do Protocolo de Kyoto e se comprometeram em reduzir a emissão de Gases do Efeito Estufas (GEE), principalmente o CO<sub>2</sub>. As conferências ambientais internacionais passaram a ser realizadas periodicamente, para estabelecer metas e verificar quais metas foram atingidas. As principais conferências que já aconteceram até hoje (2019), foram de: Estocolmo (1972), Eco-92 ou Rio-92 (1992), Rio+10 (2002), Rio+20 (2012). Destas conferências vale destacar um dos resultados da Rio + 10, onde foi criada a Agenda 30 - da ONU – que em um dos objetivos dobrar a taxa global de melhoria da EE até 2030 (ONU, 2015).

Geralmente, cada país possui os seus próprios programas para promover a EE. O EUA, por exemplo, atua por meio do *Energy Efficiency and Renewable Energy Network*, o Canadá através do *National Action Program on Climate*, a Espanha com Instituto para Diversificação e Economia Energética; entre outros países (CASTRO, 2015). O Brasil por sua vez, possui diversos programas, um dos mais consolidados é o Programa de Eficiência Energética (PEE), o qual será abordado mais profundamente no próximo.

O caminho percorrido até aqui pela EE, já tem obtido significativos resultados, porém ainda há muito que se avançar. De acordo com último relatório anual da IEA, publicado em 2018, tendo como ano base 2017, os ganhos de eficiência de 2000 até 2017 impediram, globalmente, o uso de 12% a mais de energia e prever que até 2040 os GEE podem ser reduzidos em até 12% em comparação com a emissão de 2017 (IEA, 2018).

#### 1.4.3.3 Eficiência Energética no Brasil

O Brasil também foi atingido pela crise do Petróleo nos anos 70 e assim como o restante do mundo, ele teve de buscar alternativas para superá-la. Para isso intensificou a sua geração de energia através da criação de usinas térmicas a carvão, lançou um programa para criar usinas nucleares, criou o Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL) e deu continuidade a expansão das hidrelétricas.

Em 1981, o governo brasileiro criou o Programa de Conservação de Energia Elétrica (CONSERVE), que foi o principal impulsionado da EE no Brasil (CASTRO, 2015). Criou-se, o supracitado, PEE da ANEEL em 1998, o qual tem como objetivo promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia, por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício e a melhoria da EE de equipamentos, processos e usos finais de energia (ANEEL, 2015). Além desses, existem outros programas e grupos que visam a promoção da EE, como:

- Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) - 1984;
- Programa Nacional de Conservação de Petróleo e Derivados (CONPET) - 1991;
- Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO) - 1997;
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE) - 2004.

Em 2000, foi promulgada a Lei nº 9.991 que regulamentou a obrigatoriedade das empresas brasileiras distribuidoras de energia elétrica a investirem em EE no uso final (BRASIL, 2000). Entre junho 2001 e fevereiro de 2002, o Brasil enfrentou outra grande crise - dessa vez interna - a Crise Energética Brasileira, onde houve interrupções no fornecimento de energia, que ficaram conhecidas como “apagões”. Por conta dessa crise, criou-se a Lei nº 10.295, chamada de Lei da EE, a qual estimula o desenvolvimento tecnológico, a preservação ambiental e a introdução de produtos mais eficientes no mercado nacional (BRASIL, 2001).

O Brasil possui um Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF) para o período de 2010 a 2030, o qual estabelece premissas e diretrizes básicas de estratégias de EE para os mais diversos setores, como: a indústria, micro, pequenas e médias empresas, transportes, educação, prédios públicos, iluminação pública, saneamento e aquecimento solar de água (BRASIL, 2008). Além disso, o país também possui uma legislação que direciona a temática de EE nacionalmente.



Logo, a EE está presente nos mais diversos setores, tanto a nível nacional, quanto a nível mundial, podem ser aplicados nas mais diversas áreas e deve ser um objetivo buscado nas mais diversas conjunturas.

### 1.5 Justificativas

O universo da I4.0, IoT e EE ainda possui alguns desafios a serem superados, porém os mesmos devem ser vistos como oportunidades de pesquisa e desenvolvimento e não como dificuldades. Alguns desses desafios justificam o desenvolvimento deste trabalho, são eles:

- **O consumo energético dos dispositivos/equipamentos de IoT:** um grande desafio no cenário da IoT é o desenvolvimento de dispositivos/equipamentos que sejam de baixo consumo energético (*Low Power*) (BLAAUW, SYLVESTER, *et al.*, 2014), (MUTSCHLER, 2018). Como a maioria desses produtos/equipamentos IoT são importados, é possível constatar que essa é uma problemática mundial. Logo, desenvolver um produto/equipamento mais eficiente e, ainda, nacional, possibilita, a difusão da tecnologia em diversas regiões do país, inclusive, na região amazônica que possui características climáticas e físicas distintas das demais regiões do Brasil.;
- **A maioria dos sistemas IoT para iluminação não tem *dual* comunicação:** é possível encontrar hoje no mercado várias opções de sistemas IoT para iluminação, porém a maioria dos sistemas usa apenas um modo de comunicação, WiFi ou BLE. Além disso, eles também são caros e suportam no máximo 4 lâmpadas. Por isso, é importante oferecer ao usuário do sistema, que neste caso é o morador, as duas opções de comunicação. O BLE para o caso de o usuário estar em casa e não haver internet e o WiFi, onde o usuário pode ter o controle do sistema tanto presencialmente, quanto remotamente, de qualquer lugar do mundo.

- **Luzes que ficam acessas desnecessariamente:** geralmente, quando as pessoas saem de um ambiente para outro dentro de casa, ou até mesmo saem de casa para outro local, elas se esquecem de desligar as lâmpadas e quando se lembram não querem mais voltar para desligá-la, por isso luzes acabam ficando acessas desnecessariamente. Comprovando isso, tem-se o estudo Consciência e Práticas de Consumo de Energia nos lares da América Latina, realizado pela LUTROM – empresa de controle de iluminação elétrica e natural com foco em EE – o qual mostra que o Brasil, comparado com México e Colômbia, é o segundo país que mais deixa luzes acesas desnecessariamente, somando diariamente até 1,5 horas de consumo inútil (LUTRON, 2016). Por isso, a automação do sistema de iluminação, mostra-se como uma importante ferramenta para evitar que esse tipo de desperdício ocorra, pois, o mesmo permite que os moradores controlem o acionamento das luzes da sua residência.
- **O alto custo dos sistemas de automação de iluminação:** automatizar o sistema de iluminação, ainda tem um custo bastante elevado no Brasil. Segundo a Aureside (Associação Brasileira de Automação Residencial e Predial). De acordo com uma pesquisa realizada junto a uma empresa local (Belém-PA), especialista em automação residencial, o preço para automatizar apenas o sistema de iluminação, hoje (2019), é em média R\$ 6 mil (WI TECNOLOGIA, 2019). E os sistemas disponíveis no mercado para controlar no máximo 4 lâmpadas chegam a custar até R\$799 (AMAZON, 2019).
- **Alta tarifa de energia no estado do Pará:** a tarifa de energia no estado do Pará sempre esteve entre as mais caras do Brasil. Hoje (2019) o estado ocupa a 10ª posição no *ranking* nacional de tarifas residenciais (grupo B1), com o valor de R\$/kWh 0.67 (ANEEL, 2019). Vale ressaltar que esse valor não considera as taxas de impostos (ICMS, PIS, CONFIS, iluminação pública, entre outros) o que pode aumentar ainda mais essa tarifa. Outro ponto a se destacar, é que esses cenários com altas tarifas ocorrem em todo o país,

sendo também um problema nacional. Logo, as luzes que ficam acessas desnecessariamente além de estarem consumindo energia, acabam consequentemente aumentando do valor da fatura de energia elétrica.

Mediante ao exposto, o presente trabalho, buscou formas de mitigar tais desafios, a fim de promover o avanço tanto da pesquisa, quanto do desenvolvimento das áreas temáticas abordadas no mesmo.

## 1.6 Estrutura do trabalho

Este trabalho está descrito em cinco capítulos, mais as referências bibliográficas, apêndices e um anexo. Sendo estruturados da seguinte forma:

- **Capítulo 2 – Eficiência Energética no contexto da I4.0:** neste capítulo será abordado os elementos formadores da I4.0, discorrendo sobre os seus princípios, elementos fundamentais e principais tecnologias. Também será explanado sobre IoT, estendendo-se desde o seu vocabulário até suas aplicações. E por fim será exposto os vários benefícios da eficiência energética e como a mesma pode ser aplicada no contexto da I4.0.
- **Capítulo 3 – Aplicação desenvolvida no estudo de caso:** será retratada a aplicação ao qual esse trabalho destinou-se a desenvolver. Serão descritas as tecnologias e materiais utilizados. Será mostrada maquete da casa que foi construída, o protótipo do módulo criado e a explicação do experimento realizado em laboratório para analisar o consumo do sistema IoT desenvolvido.
- **Capítulo 4 – Resultados e análises:** serão apresentados os resultados e análises obtidos em relação ao sistema IoT desenvolvimento. Mostrados os resultados do sistema como um todo, o se consumo energético e o seu tempo de *Payback*.

- **Capítulo 5 – Considerações Finais:** por fim será feita a conclusão do trabalho, apontando algumas propostas de trabalhos futuros e as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do mesmo.

## **2 A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CONTEXTO DA I4.0**

### **2.1 Considerações Iniciais**

Neste capítulo irá se abordar os elementos que formam a I4.0, onde será visto os seus princípios, elementos fundamentais e principais tecnologias. Também serão apresentados os principais conceitos da IoT, indo desde o seu vocabulário, até os modelos de referência e suas aplicações. Por fim, serão apresentados os benefícios gerais da EE e como a mesma pode ser aplicada no contexto da I4.0, mais especificamente na IoT e no sistema de iluminação.

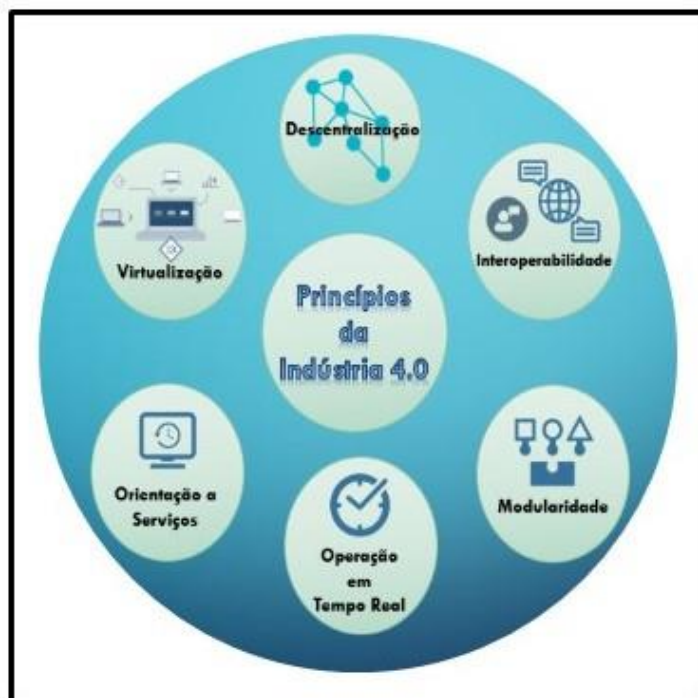
### **2.2 Elementos formadores da I4.0**

De acordo com a literatura (PEREIRA e SIMONETTO, 2018), (SANTOS, ALBERTO e LIMA, 2018), (ABDI), (CNI, 2016), (HERMANN, PENTEK e OTTO, 2015), a I4.0 é composta por seis princípios, quatro elementos fundamentais e nove tecnologias principais. Cada um desses princípios, elementos e tecnologias serão descritos nos próximos subtópicos.

#### **2.2.1 Princípios da I4.0**

Os princípios da I4.0 são: Descentralização, Interoperabilidade, Modularidade, Operação em Tempo Real, Orientação a Serviços e Virtualização (HERMANN, PENTEK e OTTO, 2015). Todos esses princípios estão diretamente interligados entre si, como por exemplo, a descentralização, a virtualização e a operação em tempo real. Através desses três princípios, citados anteriormente, é possível tomar uma decisão de qualquer lugar, porque um processo pode ser acompanhado e visualizado em tempo real. A Figura 8 ilustra esses seis princípios que são a essência da I4.0.

**Figura 8** – Princípios da I4.0



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

**1. Descentralização:** as decisões podem ser tomadas localmente, ou partindo de vários lugares, pelos CPS, de acordo com os dados que estão sendo gerados pelos dispositivos em tempo real. Somente em caso de falhas, o problema é levado a um nível superior.

**2. Interoperabilidade:** objetos, pessoas e todos os componentes dos CPS devem não só estar conectados, mas se comunicando. Na Fábrica Inteligente, a interoperabilidade é a capacidade de comunicação que existe entre todos que fazem parte dos CPS (SMARTFACTORYKL, 2014 apud HERMANN, PENTEK e OTTO, 2015).

**3. Modularidade:** sistemas modulares são capazes de se adaptar as demandas facilmente. Novos módulos podem ser adicionados usando o princípio *plug & play*, o qual é uma tecnologia que permite apenas conectar o módulo/dispositivo na tomada e o mesmo já está pronto para uso.

**4. Operação em tempo real:** como a linha de produção está sendo acompanhada em tempo real, as decisões e ações podem ser tomadas muito mais rapidamente, com

base nos dados que estão sendo gerados e armazenados, e de acordo com a demanda do momento.

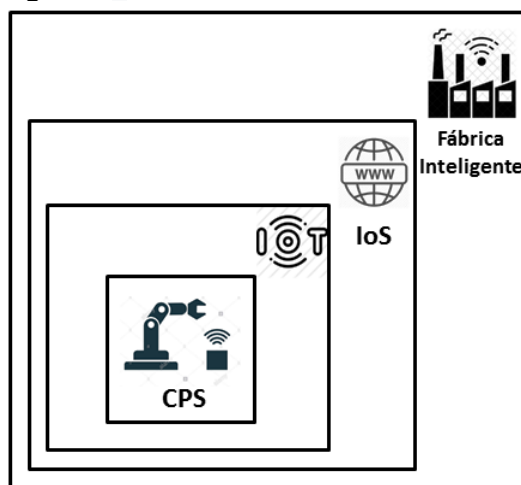
**5. Orientação a serviços:** os serviços (físicos, virtuais ou ambos) devem estar a disposição para serem usados pelos outros participantes da cadeia produtiva de acordo com a demanda do momento. As pessoas e os objetos inteligentes devem poder se conectar através dos serviços oferecido pela Internet para criar produtos com base nas especificações do cliente. É aqui que a Internet dos Serviços (IoS, sigla em inglês) se torna essencial (MARTIN, 2019).

**6. Virtualização:** o CPS é capaz de monitorar um processo físico, através de uma cópia virtual do mundo físico. Os dados dos sensores e atuadores são vinculados a modelos de plantas virtuais e de simulação, possibilitando o monitoramento em tempo real do ambiente.

### 2.2.2 Elementos fundamentais da I4.0

Os elementos fundamentais da I4.0, são: CPS, IoT, IoS e Fábricas Inteligentes (PEREIRA e SIMONETTO, 2018) . Esses elementos também estão interligados, pois a Fábrica ou o Ambiente Inteligente contém todos os outros elementos fundamentais, conforme ilustra a Figura 9.

**Figura 9** – Elementos fundamentais da I4.0



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

**1. Sistemas Ciber-Físico (CPS):** é a fusão entre o mundo físico e digital. De acordo com a ABDI nos CPS, todo objeto e processo físico (seja uma máquina ou uma linha de produção) podem ser digitalizados (ABDI), ou seja, ter um irmão gêmeo digital. Simonetto e Pereira (2018) também dizem que esses sistemas se comunicam facilmente de qualquer lugar.

**2. IoT:** representa a possibilidade de conectar objetos físicos à Internet, podendo assim executar de forma coordenada uma determinada ação (ABDI). A conectividade da I4.0 é obtida através da IoT, que integra os mais diferentes objetos de nosso cotidiano e aumenta a ubiquidade da Internet, construindo uma rede de comunicação entre pessoas e dispositivos (XIA *et al.*, 2012 apud PEREIRA e SIMONETTO, 2018);

**3. IoS:** permite a oferta e demanda de serviços utilizando a estrutura da Internet. Os fornecedores oferecem seus serviços e os consumidores podem acessá-los através de vários canais (BUXMANN, HESS e RUGGABER, 2009).

**4. Fábricas Inteligentes:** é o ambiente formado através da integração entre todos os elementos anteriores (PEREIRA e SIMONETTO, 2018). A Fábrica Inteligente é capaz de gerenciar altas complexidades, como humanos e máquinas, comunicando-se como em uma rede social (KAGERMANN, WAHLSTER e HELBIG, 2013). Vale ressaltar que tal conceito pode ser aplicado em qualquer outro ambiente que seja inteligente, não ficando restrito apenas a uma fábrica ou a indústria propriamente dita.

### 2.2.3 As principais tecnologias da I4.0

As principais tecnologias são consideradas os Pilares da I4.0 (PEREIRA e SIMONETTO, 2018) e de acordo com a ABDI é por causa delas que ocorre a fusão entre o mundo físico, digital e biológico (ABDI). Como pode ser visualizado na Figura 10, as principais tecnologias são: Automação, IoT, *Big Data Analytics*, Computação em Nuvem, Sistemas Integrados, Segurança Cibernética, Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada e Simulação.



**Figura 10** – Tecnologias da Indústria I4.0

Fonte: (ALTUS, 2019).

Rubmann *et al* (2015) descreve sucintamente essas tecnologias:

**1. Automação:** a automação já é uma realidade na indústria há muito tempo, porém ela tende a ser mais autônoma, dando maiores capacidades e trabalhando ao lado dos humanos de forma segura;

**2. Industry Internet of Things:** dependendo do setor ao qual a IoT é aplicada, ela pode ganhar uma nova sigla, como por exemplo, a IIoT, que se refere a aplicação da IoT no setor industrial. Na indústria, assim como nos outros setores, a IoT conecta os vários equipamentos e auxilia na obtenção de resposta em tempo real.

**3. Big Data Analytics (BDA):** com o aumento da quantidade de equipamentos conectados em rede, a quantidade de dados gerados também aumentou, juntamente com a necessidade de analisar os mesmos para transformá-los em informações úteis. A BDA analisa grande quantidade de dados advindos das mais diversas fontes e utiliza essas análises para tomar decisões.

**4. Computação em Nuvem:** vários serviços e infraestrutura de computação já são oferecidos e usados literalmente na “nuvem” (Internet). Um dos melhores exemplos disso são os serviços ofertados pela Google (e-mail, drive, fotos, entre outros). No setor

empresarial a Computação em Nuvem vem sendo bastante usada em aplicações e análise de dados, contribuindo para os ganhos em desempenho das tecnologias envolvidas e auxiliando questões entre companhias.

**5. Integração entre sistemas:** é a integração harmoniosa entre diferentes sistemas. Os sistemas ficam mais integrados, até mesmo em redes de Inter companhias, o que possibilita maior automação dos mesmos.

**6. Segurança:** mais conectividade demandar maiores proteções contra-ataques cibernéticos e impulsionar a construção de novas tecnologias para este fim.

**7. Manufatura aditiva:** é a impressão 3D que torna possível imprimir, praticamente, tudo. Possibilitando a construção de produtos customizados, de forma descentralizada e reduzindo despesas com estoque.

**8. Realidade Aumentada:** usa recursos visuais e gráficos para mostrar, assessorar, ou melhorar processos. Essa tecnologia auxilia no desenvolvimento de procedimentos e na tomada de decisão, além de suportar vários sistemas.

**9. Simulação:** cria uma cópia virtual do mundo físico e é uma importante ferramenta para reproduzir o que aconteceu, está acontecendo ou pode acontecer no mundo real. É uma ferramenta que através dos modelos virtuais utiliza as informações obtidas em tempo real para auxiliar na tomada de decisões e aperfeiçoar parâmetros.

## 2.3 IoT

Como visto anteriormente, a IoT é considerada um dos elementos fundamentais e uma das principais tecnologias da I4.0. Portanto, se faz necessário conhecê-la desde o seu vocabulário, até os seus modelos e aplicações como será visto nos próximos tópicos.

### 2.3.1 Vocabulário da IoT

Este tópico é destinado para definir alguns termos e conhecer os principais componentes da estrutura física e virtual. Para isso, utilizou-se os termos e definições

contidos na Norma Internacional ISO/IEC 20924:2018 (ISO, 2018b) de Vocabulário da IoT. Tem-se, então:

- **Entidade física:** entidade que possui existência material no mundo físico;
- **Entidade virtual:** entidade digital que representa uma entidade física;
- **Entidade digital:** elemento computacional e / ou de dados;
- **Componente:** parte modular, implantável e substituível de um sistema que encapsula a implementação e expõe um conjunto de interfaces;
- **Rede:** infraestrutura que conecta um conjunto de terminais, permitindo a comunicação de dados entre as entidades digitais alcançáveis por meio deles;
- **Sistema IoT:** sistema provendo funcionalidades da Internet das Coisas;
- **Dispositivo IoT:** Entidade de um sistema IoT que interage e se comunica com o mundo físico através da detecção ou ativação;
- **Sensor:** dispositivo IoT que mede uma ou mais propriedades de uma ou mais entidades físicas e gera dados digitais que podem ser transmitidos por uma rede;
- **Atuador:** dispositivo IoT que altera uma ou mais propriedades de uma entidade física em resposta a uma entrada válida;
- **Gateway IoT:** entidade de um sistema IoT que conecta uma ou mais redes de proximidade e os dispositivos IoT nessas redes entre si e a uma ou mais redes de acesso;
- **Usuário IoT:** usuário de um sistema IoT.

### 2.3.2 Características dos Sistemas IoT

Segundo a Norma Interacional ISO/IEC 30141:2018 de Arquitetura de Referência da IoT, as características / propriedades-chave dos sistemas IoT são divididas em três categorias: confiabilidade, estruturais (arquitetura) e funcionais (ISO, 2018a). O Quadro 1 classifica as características de acordo com essas três categorias.

**Quadro 1** – Características dos sistemas de Internet das Coisas

<b>Categorias</b>	<b>Características relacionadas</b>
Características de Confiabilidade do sistema IoT	Disponibilidade Confidencialidade Integridade Proteção de informações de identificação pessoal Confiabilidade Resiliência Segurança
Características da Arquitetura do sistema IoT	Habilidade de composição Separação funcional e de capacidade de gestão Heterogeneidade Sistemas altamente distribuídos Suporte herdado Modularidade Conectividade de rede Escalabilidade Compatibilidade Identificação única Componentes bem definidos
Características Funcionais do sistema IoT	Precisão Configuração automática Conformidade Percepção de conteúdo Percepção do context Características dos dados - volume, velocidade, veracidade, variabilidade e variedade Detectabilidade Flexibilidade Gerenciamento Comunicação de rede Gerenciamento e operação de rede Capacidade em tempo real Autodescrição Subscrição de serviço

**Fonte:** (MUSE, 2019) - Adaptado.

Todas essas características são descritas detalhadamente na Norma Interacional ISO/IEC 30141:2018.

### 2.3.3 Elementos da IoT

Em geral, existem quatro elementos principais que formam um sistema IoT, e podem estar tanto no mundo físico, quanto no mundo virtual, são eles: dispositivos, rede de comunicação, suporte a serviço e aplicações e aplicação. Os dispositivos são (sensores, atuadores e microcontroladores) que estão inseridos diretamente nas entidades físicas, identificando-os de forma única e interagindo com o ambiente físico onde essa entidade está inserida. A rede de comunicação serve para conectar as entidades e transportar os dados entre elas. O suporte a serviços e aplicações tem a capacidade de processar e armazenar dados para serem usados por uma aplicação a qual se destina o sistema. Além desses elementos, há também elementos de gerenciamento e recurso de segurança (ITU, 2012) (IEEE, 2015) (BNDES, 2017) (ISO, 2018b).

#### 2.3.3.1 Dispositivos

De acordo com a ITU (2012) um dispositivo é “um equipamento com as capacidades obrigatórias de comunicação e os recursos opcionais de detecção, atuação, captura de dados, armazenamento de dados e processamento de dados”. Localizados na borda do sistema IoT, eles conectam o mundo físico ao virtual e devem primeiramente possuir a capacidade de se comunicar, pois diferentemente dos dispositivos tradicionais de automação, eles precisam transmitir os dados pelas redes (MUSE, 2019).

Os dispositivos também podem ler informações vindas de um sensor, armazenar ou processar esses dados e transmiti-los por uma rede de comunicação. Ou podem ter atuadores, os quais permitem que eles atuem diretamente no mundo físico, com base nas informações recebidas pela rede. Ainda de acordo com a ITU (2012), os dispositivos podem ser classificados de quatro formas:

- 1. Dispositivos de transporte de dados:** são anexados a uma entidade física e armazenam dados de outros dispositivos ou fornecem dados sobre essa entidade para outros dispositivos.

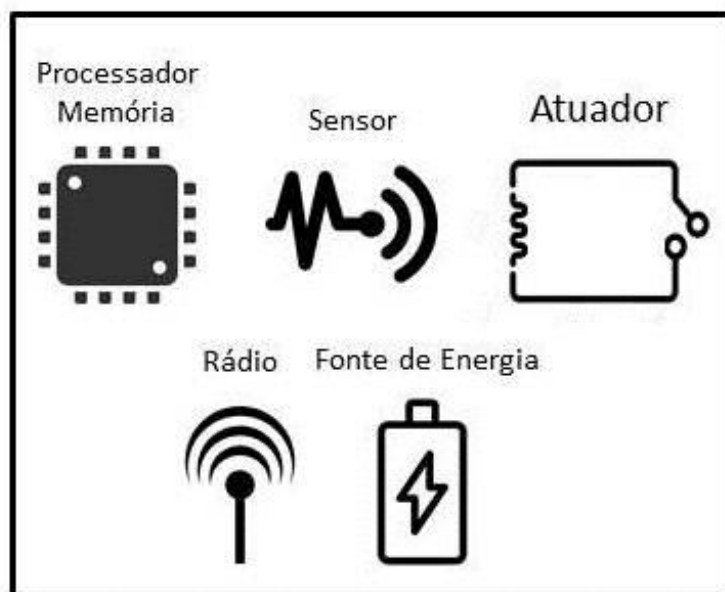
**2. Dispositivos de captura de dados:** podem interagir com as entidades físicas, seja lendo diretamente da entidade ou de um dispositivo de transporte de dados anexado à entidade.

**3. Dispositivos de detecção e acionamento:** contêm sensores (que convertem informações físicas ou medidas em sinais elétricos), atuadores (que convertem sinais elétricos em ações) ou ambos.

**4. Dispositivos gerais:** inclui dispositivos que possuem recursos de processamento e comunicação para apps específicos. Essa classificação inclui apps, telefones e aparelho inteligentes.

De acordo Santos *et al* (2016) arquitetura básica dos dispositivos IoT possui os seguintes itens: processador, memória, sensor, atuador, rádio e uma fonte de energia. A Figura 11, abaixo, ilustra essa arquitetura básica.

**Figura 11** – Arquitetura Básica dos dispositivos de Internet das Coisas



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

A exemplo desses dispositivos se tem os microcontroladores e microprocessadores, que são placas genéricas que servem de base para o desenvolvimento de dispositivos IoT. Eles precisam de uma fonte de energia e normalmente são compostas, por: processador, memória RAM que executa o código,

memória de armazenamento de dados, um rádio embutido e possuem conectores para acoplamento de módulos que possuem funcionalidades. Além disso, os microcontroladores e microprocessadores, geralmente possuem um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE, sigla em inglês) e linguagem de programação própria.

Hoje, existe disponível no mercado os mais diversos tipos de microcontroladores e microprocessadores para serem usados no desenvolvimento de projetos em gerais, dentre eles os de IoT. Os mais populares são Arduino e *Raspberry Pi* que podem ser visualizados na Figura 12.

**Figura 12** – Placa base - a) Arduino Uno VER 3. b) *Raspberry Pi* 3

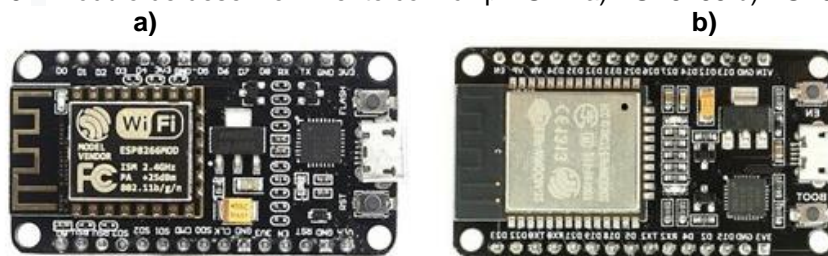


**Fonte:** (ARDUINO, 2019a).

**Fonte:** (RASPERRY PI).

Atualmente os módulos de desenvolvimento com os chips da família ESP também vem sendo bastante empregados em projetos de IoT. Lançado em 2014 pela empresa *Espressif*, o módulo com o chip ESP8266 já possui WiFi integrado. Posteriormente, veio o seu sucessor, lançado em 2016, com o chip ESP32, o qual possui WiFi e *Bluetooth*. Além disso, ele é de ultra baixo consumo energético (ESPRESIF, 2019), pequeno, leve e barato, quando comparado com os outros microcontroladores presentes no mercado, o torna perfeito para ser utilizado em dispositivos IoT (MAIER, SHARP e VAGAPOV, 2017). A Figura 13 mostra os módulos de desenvolvimento ESP8266 e ESP32.

**Figura 13** – Módulo de desenvolvimento com chip ESP - a) ESP8266 b) ESP32

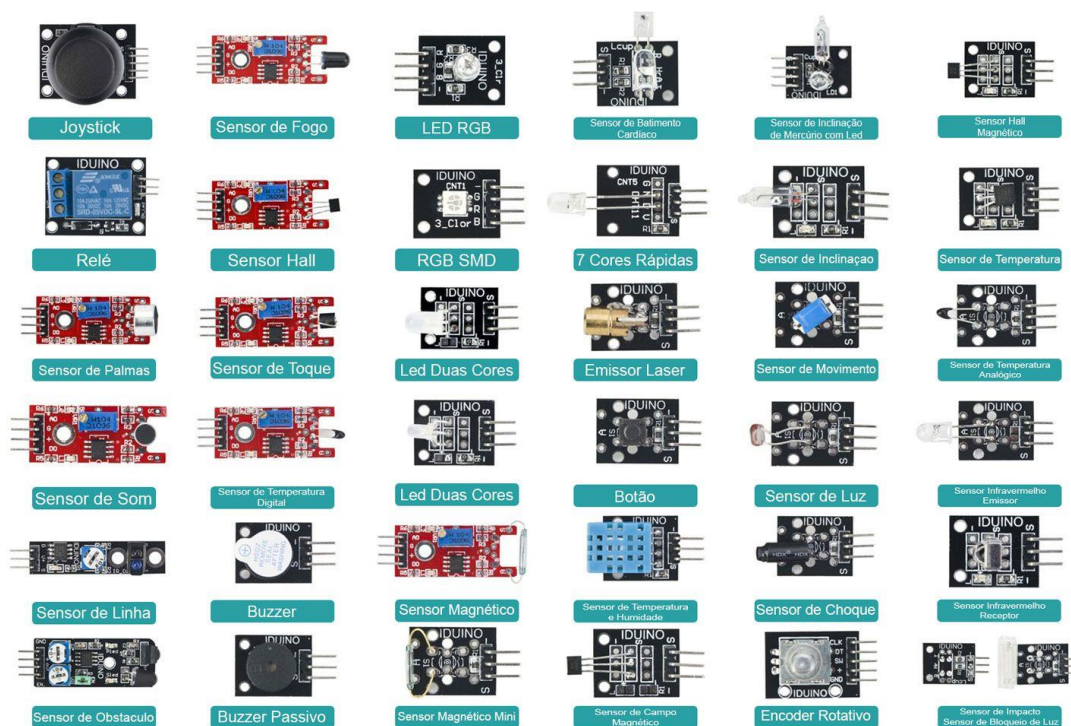


Fonte (GEARBEST).

Fonte: (ALI EXPRESS).

Os microcontroladores e microprocessadores são compatíveis com vários sensores e atuadores. A Figura 14 mostra alguns módulos de sensores e atuadores que existem disponíveis.

**Figura 14** – Módulos de sensores e atuadores



Fonte (CASA DA ROBÓTICA).

De acordo com o IEEE (2015) e a ISO (2018b) os sensores e atuadores irão interagir diretamente com o mundo físico e executar a solução para a qual a o dispositivo IoT foi projeto para resolver ou fazer. Os sensores têm a função de sentir o ambiente ao seu redor e converter informações do mundo físico em dados digitais, enquanto que os



atuadores irão converter as informações digitais em atuações diretas no mundo físico. O relé, por exemplo, é um atuador, o qual pode receber um comando fazendo com que a carga (por exemplo, uma lâmpada) que esteja na mesma seja ligada ou desligada.

### 2.3.3.2 Redes de comunicação

As redes de comunicação têm a função de “transferir dados capturados por dispositivos para apps e outros dispositivos, bem como instruções de apps para dispositivos, além de fornecer recursos para transferência de dados confiável e eficiente” (ITU, 2012). As redes de comunicação são compostas basicamente por **dispositivos** (como *smartphone*, *tablet*, computadores, roteadores, servidores, entre outros), pelo **meio** (com ou sem fio) e pelos **serviços** (são os *softwares* que dão suporte as operações).






Vários fatores devem ser considerados no momento da escolha de qual tipo de rede de comunicação será usada para transferir os dados. De acordo Vermesan e Friess (2013), deve-se considerar:

- O ambiente;
- Volume e velocidade dos dados;
- O custo de aquisição e instalação dos materiais;
- Distância;
- Energia consumida;

Dos fatores anteriormente mencionados, pode-se dizer que o último ponto que diz respeito à energia que será consumida pelos dispositivos para transferir os dados é um dos principais no contexto da IoT. A IEA (2016) afirma que dispositivos que estão o tempo todo conectados na rede e se comunicando, não estão apenas transferindo dados, mas também consumindo energia. Ainda de acordo com Vermesan e Friess (2013) a comunicação é a tarefa que mais consome de energia em dispositivos. Por isso, a EE é um importante quesito a ser considerado na IoT.

Outro ponto que deve ser levado em consideração na IoT é o tipo de rede que será usado, pois como vários objetos estão conectados na rede, o mais indicado é que sejam usadas redes sem fio. No Quadro 2 estão descritas as características das redes sem fio mais utilizadas em IoT.

**Quadro 2** – Redes sem fio

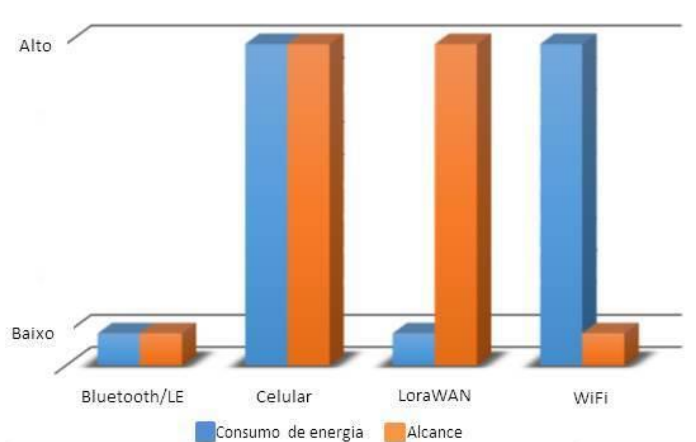
<b>Tecnologias</b>	<b>Características</b>
<b>Zigbee</b> 	<b>Norma:</b> ZigBee 3.0 baseado em IEEE802.15.4 <b>Frequência:</b> 2.4GHz <b>Alcance:</b> 10 a 100 m <b>Taxas de dados:</b> 250kbps
<b>WiFi</b> 	<b>Norma:</b> Baseado em 802.11n (uso mais comum em residências hoje) <b>Frequências:</b> bandas de 2,4 GHz e 5 GHz <b>Alcance:</b> Aproximadamente 50m <b>Taxas de dados:</b> máximo de 600 Mbps, mas 150-200 Mbps é mais típico, dependendo da frequência de canal usada e do número de antenas (o mais recente padrão 802.11-ac deve oferecer de 500 Mbps a 1 Gbps)
<b>Bluetooth</b> 	<b>Norma:</b> especificação do núcleo do Bluetooth 4.2 <b>Frequência:</b> 2.4GHz (ISM) <b>Faixa:</b> 50-150m (Smart / BLE) <b>Taxas de dados:</b> 1Mbps (Smart / BLE)
<b>Rede Móvel</b> <b>2G/3G/4G</b> 	<b>Norma:</b> GSM / GPRS / EDGE (2G), UMTS / HSPA (3G), LTE (4G) <b>Frequências:</b> 900/1800/1900 / 2100MHz <b>Alcance:</b> 35km máx. para GSM; 200km máx. para HSPA <b>Taxas de dados:</b> (download típico): 35-170kps (GPRS), 120-384kbps (EDGE), 384Kbps-2Mbps (UMTS), 600kbps-10Mbps (HSPA), 3-10Mbps (LTE)
<b>LoRaWAN</b> 	<b>Norma:</b> LoRaWAN <b>Frequência:</b> várias <b>Faixa:</b> 2-5km (ambiente urbano), 15km (ambiente suburbano) <b>Taxas de dados:</b> 0,3-50 kbps

**Fonte:** (DESIGN SPARK, 2015) – Adaptado.

Como podemos visualizar no Quadro 2 a característica que mais diverge de uma rede para outra é o alcance, que impacta diretamente no consumo energético. Silva *et al*

(2017) mostra o consumo energético e o alcance do BLE, da Rede Móvel (2G, 3G, 4G), LoRaWAN e WiFi.

**Infográfico 1** – Comparação do consumo energético e alcance das redes de comunicação

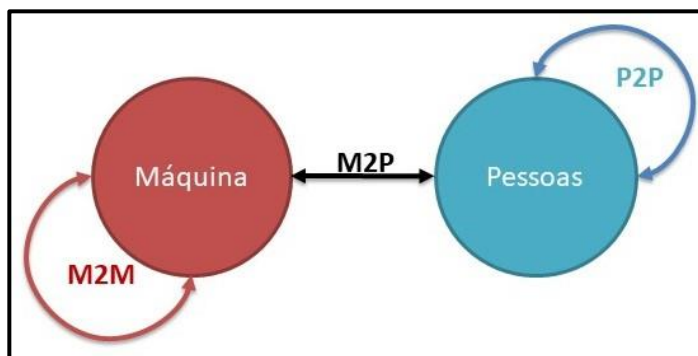


**Fonte:** (SILVA, RODRIGUES, *et al.*, 2017).

Pode-se visualizar que o BLE apresenta o menor consumo e menor alcance; redes móveis de celular possuem maior consumo e maior alcance; LoRaWAN menor consumo e maior alcance; e WiFi com maior consumo e menor alcance. Logo, em aplicações IoT que não se precisam de um longo alcance é mais vantajoso utilizar a comunicação Bluetooth/BLE.

A comunicação também pode se dar de três formas: de Máquina para Máquina, de Máquina para Pessoas e de Pessoas para Pessoas. Essas formas de interação podem ser vistas a seguir na Figura 15.

**Figura 15** – Tipos de comunicação



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

As respectivas siglas dessas formas de comunicação são:

- **M2M**: Máquinas para Máquinas;
- **M2P**: Máquinas para Pessoas;
- **P2P**: Pessoas para Pessoas.

Por conta de tantas entidades envolvidas nessa comunicação é preciso que cada uma seja identificada de forma única dentro da rede de comunicação, para que não ocorra erro durante o envio e recebimento de dados. Entra em cena, o Protocolo de Identificação (IP, sigla em inglês), o qual é como se fosse o nosso número de CPF.

### 2.3.3.3 Suporte a serviços e aplicações

De acordo com a ITU o suporte a serviços e aplicações consiste em dois recursos: os genéricos, como processamento e armazenamento de dados, que são recursos comuns que podem ser usados por diferentes apps de IoT; e os específicos, que atendem aos requisitos de diversos tipos de aplicações (ITU, 2012). Um exemplo mais prático de suporte a serviços e aplicações é a Computação em Nuvem, que é a entrega de serviços sob demanda pela Internet “nuvem”, onde geralmente só se paga pelo o que foi utilizado (MICROSOFT, 2019).

A Computação em Nuvem pode oferecer três categorias de serviços: Software como Serviço (SaaS), Plataforma como Serviço (PaaS) e Infraestrutura como Serviço (IaaS). Tais categorias estão brevemente descritas a seguir.

- **Software como Serviço (SaaS)**: são apps que estão na internet e disponíveis para o usuário, sem que haja a necessidade de armazenar ou instalar a aplicação localmente, voltada para o usuário final;
- **Plataforma como Serviço (PaaS)**: fornece um ambiente para desenvolver, testar e fornecer aplicações e serviços, com todos os kits de ferramentas e recursos, voltada para os desenvolvedores de aplicações;

- **Infraestrutura como Serviço (IaaS):** fornece infraestrutura como servidores e máquinas virtuais, banco de dados e sistemas operacionais. Essa é categoria mais básica de computação em nuvem; voltada para os arquitetos de infraestrutura.

Um exemplo de uma plataforma de suporte a serviço e aplicações é o *Watson IoT*, que possui todas essas quatro categorias de serviços em nuvem vistas anteriormente. Considerado o computador mais inteligente do mundo, ele combina um ambiente de desenvolvimento e produção baseado em nuvem para apps, software e serviços personalizados (IBM).

Outro exemplo é a plataforma *CloudMQTT*. Ela possui servidores *Mosquitto*, localizados na nuvem da *Amazon*, os quais utilizam o protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), que é um protocolo ideal para o mundo da IoT (CLOUD MQTT, 2019). Isso porque ele é leve, simples e funciona através do método de assinatura/ publicação (*subscribe/ publish*) em tópicos (*topic*), como pode ser visto na Figura 16.

**Figura 16** – Modelo do funcionamento do protocolo MQTT



**Fonte:** (CLOUD MQTT, 2019).

A *CloudMQTT* oferece um *broker*, um *Websocket* para exibir mensagens enviadas do dispositivo para o navegador ou publicar mensagens do navegador no dispositivo, suporte 24/7 (vinte e quatro horas por dia, durante os sete dias da semana) e vários tipos de planos e preços, inclusive um plano gratuito que dá direito a até 5 usuários (CLOUD MQTT, 2019).

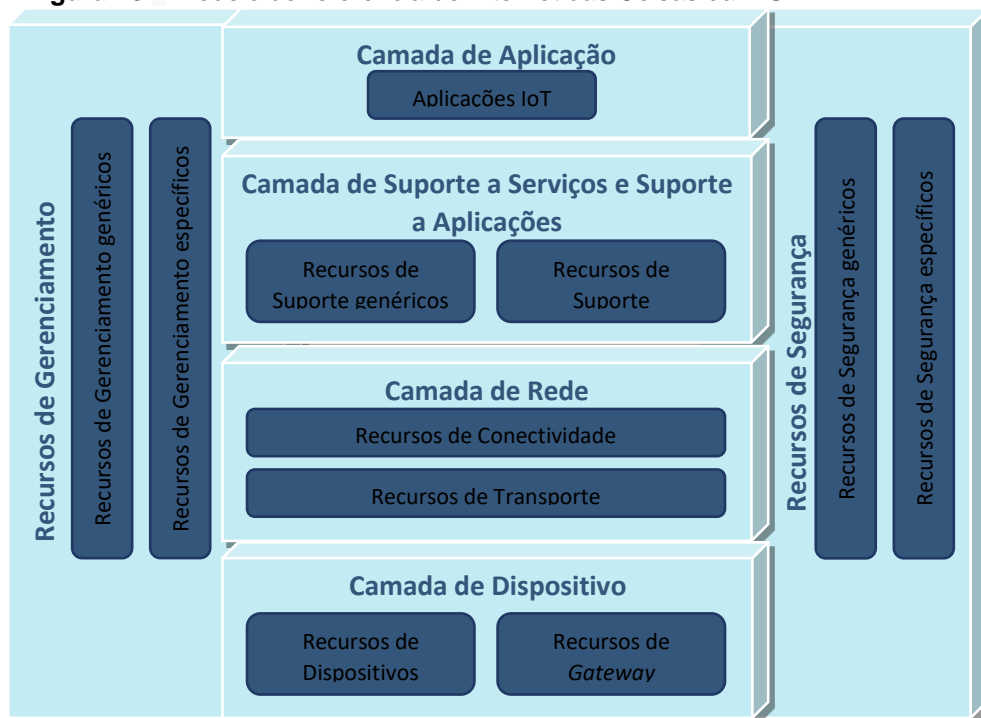
#### 2.3.3.4 Aplicação

A Norma (ISO, 2018b) diz que a aplicação pode ser “um *software* projetado para atender a uma finalidade específica”. A ITU diz que a aplicação é onde estão os apps da



anteriores são abrangidas pelas camadas de recursos de gerenciamento e segurança (ITU, 2012). A Figura 18 ilustra o modelo de referência de IoT da ITU.

**Figura 18** – Modelo de referência de Internet das Coisas da ITU

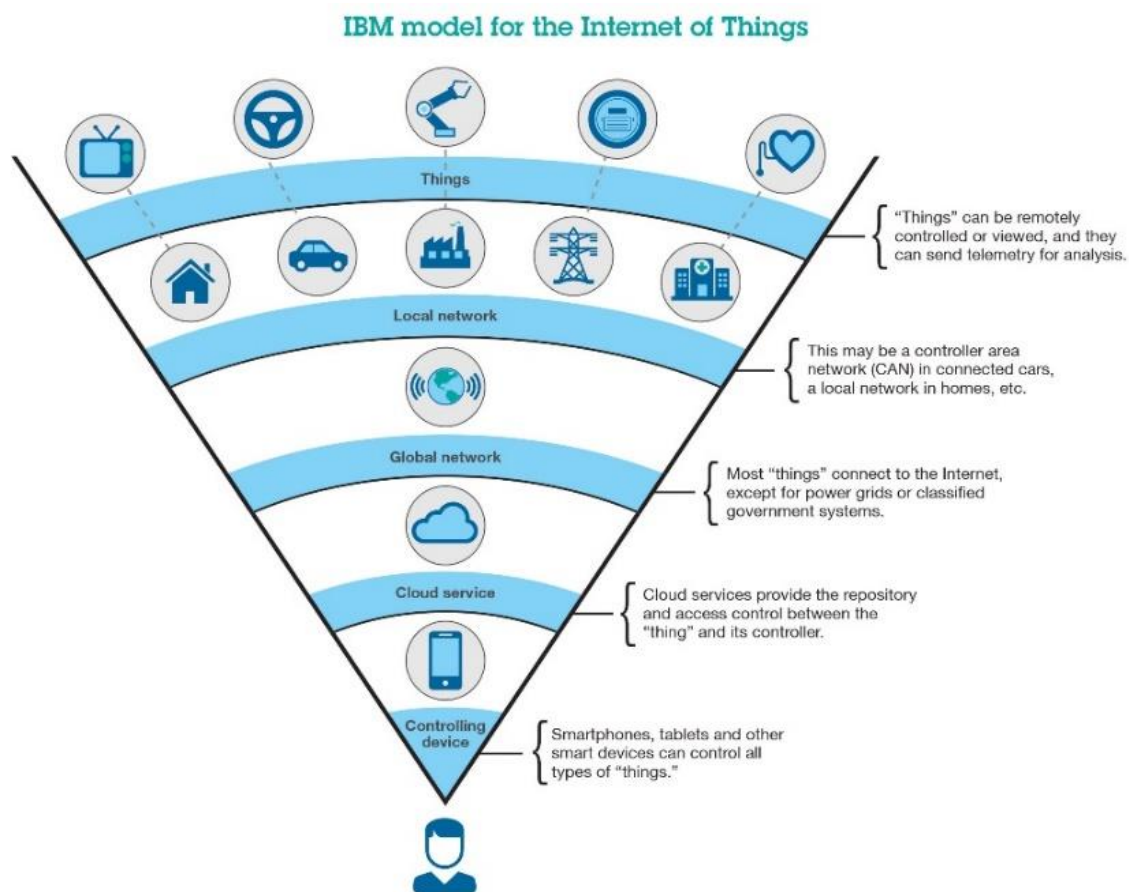


Fonte: (MUSE, 2019) – Adaptado.

- **Modelo da IBM**

Um modelo bastante didático e simplificado é o da IBM, descrevendo-o de baixo para cima, esse modelo inicia com o usuário que pode controlar as “coisas” através de um **Dispositivo de Controle**, que geralmente é um smartphone. O modelo vai se expandindo para camada de **Serviço em Nuvem**, passando pela a **Rede Global** (Internet) e posteriormente por uma **Rede Local** que pode ser desde uma casa, até mesmo a rede elétrica. Por fim, na última camada, estão as “**coisas**” que podem ser as mais diversas possíveis e podem ser controladas ou visualizadas. A Figura 19 ilustra o modelo de referência de IoT da IBM.

**Figura 19** – Modelo de Internet das Coisas da IBM

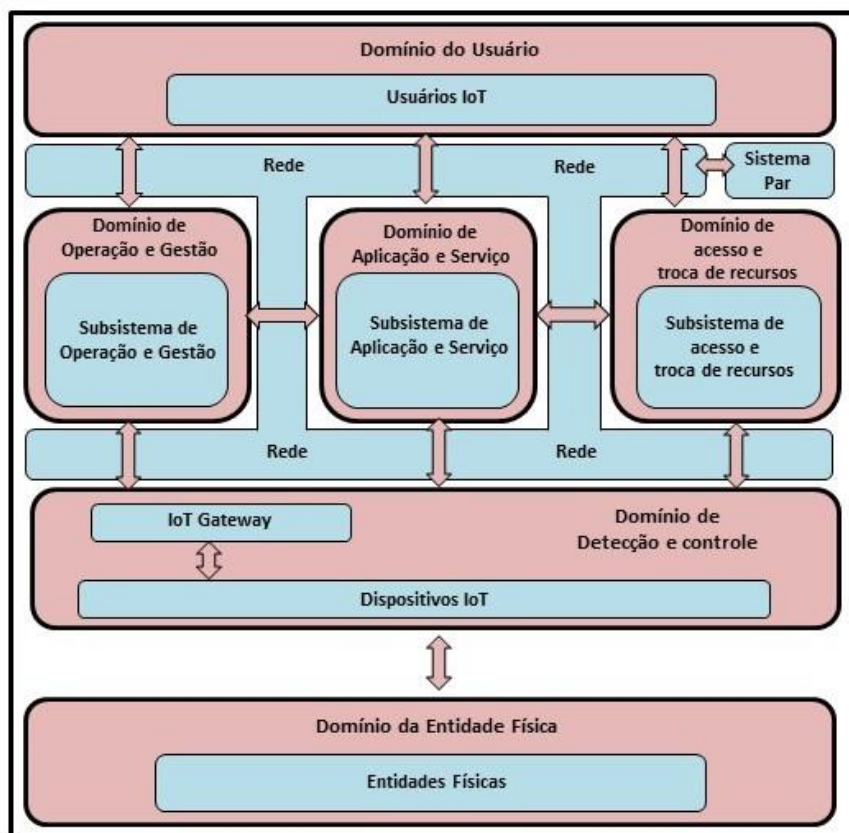


Fonte: (LEMOS, 2017).

- **Modelo Norma Internacional ISO/IEC 30141:2018**

O modelo da ISO/IEC 30141:2018 (2018b) possui **Domínios** (em rosa) e **Entidades** (em azul), onde cada domínio possui diferentes entidades. A Figura 20 ilustra o modelo de referência de IoT da ISO/IEC 30141:2018.



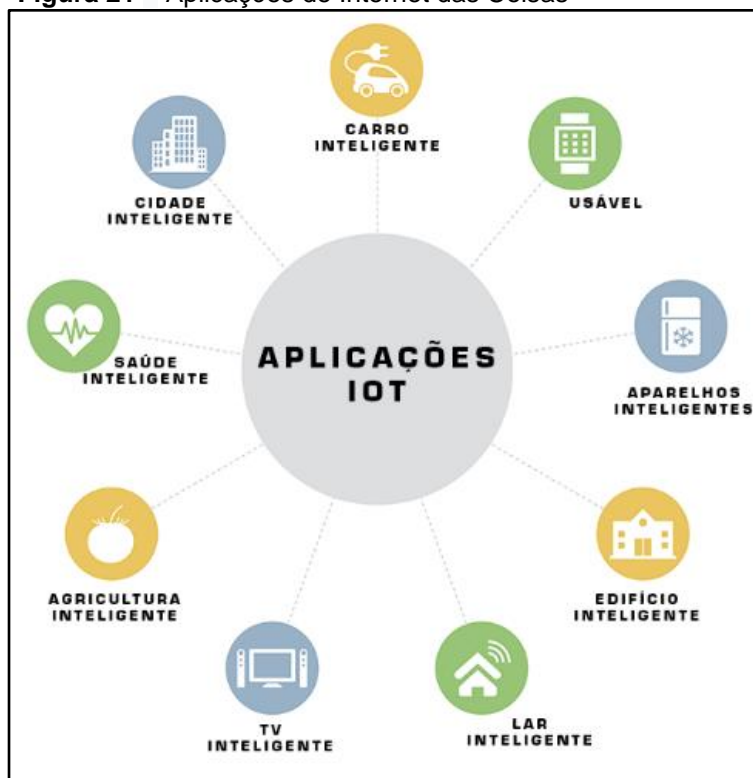
**Figura 20** – Modelos de referência da Norma ISO/IEC 30141:2018

Fonte: (ISO, 2018b) - Adaptado.

De acordo com Muse (2019) esta Norma configura um marco para a caracterização e conceituação da IoT e segundo a própria ISO ela oferece “a estrutura geral dos elementos da arquitetura” e possui entre seus objetivos ser um “ponto de referência tecnologicamente neutro para definir padrões para IoT” (ISO, 2018b).

### 2.2.5 Aplicações da IoT

Por conta do próprio conceito da IoT de conectar as “coisas”, a mesma pode ser aplicada nas mais diversas áreas, tornando objetos e ambientes mais inteligentes. Vermesan e Friess (2013) afirmam que as diversas aplicações da IoT podem estar presentes em qualquer área da vida cotidiana dos indivíduos, das empresas e da sociedade como um todo. A Figura 21 mostra os vários tipos de aplicações IoT.

**Figura 21** – Aplicações de Internet das Coisas

**Fonte:** (AB COMPUTER, 2019).

Por conta de todas essas possibilidades, existem várias aplicações “inteligentes” (*smart*), como Redes Elétricas Inteligentes (*Smart Grid*), Casas Inteligente (*Smart Homes*), Cidades Inteligentes (*Smart Cities*), entre outros. O potencial econômico que as aplicações IoT podem gerar até 2025 é de 11 Trilhões, segundo um estudo realizado pela consultoria McKinsey. A Figura 22 mostra os vários tipos de aplicações IoT e seu respectivos impactos econômicos.

**Figura 22** – Impacto econômico das aplicações de Internet das Coisas

Fonte: (UPPERTOOLS).

Nos próximos tópicos há alguns exemplos de aplicações inteligentes, bem como os possíveis impactos sociais positivos, negativos e desconhecidos, baseadas no relatório de Mudança Profunda do FMI (2015) .

#### 2.2.5.1 Objetos Inteligentes

O objeto inteligente mais popular e usual hoje é, inquestionavelmente, o telefone celular (*smartphone*). Pois, é possível fazer praticamente tudo através desse objeto – desde simplesmente enviar uma mensagem, ou até mesmo “chamar um táxi” – o que o torna uma das mais poderosas aplicações IoT que existem. Além disso, através do *smartphone* é possível também controlar outras aplicações IoT.

Outras aplicações também bastante usuais são as TVs, relógios, cafeteira, tomadas, geladeira, assistentes virtuais (como a *Alexa* da *Amazon*) óculos, entre outros. A Figura 23 mostra alguns desses objetos inteligentes.

**Figura 23** – Objetos inteligentes



**Fonte:** (RUDE BAGUETTE) – Adaptado.

Os Quadros 3 e 4 mostram os possíveis impactos positivos, negativos e desconhecidos, respectivamente, que os *Smartphones* e os Objetos Inteligentes, podem causar.

**Quadro 3** – Impactos do *Smartphone*

Impactos do <i>Smartphone</i>	
Positivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior participação econômica das populações desfavorecidas, localizadas em regiões remotas ou subdesenvolvidas;</li> <li>• Acesso aos serviços de educação, saúde e governo;</li> <li>• Mais informações;</li> <li>• Acesso a informação, ao conhecimento, mais emprego, mudança nos tipos de trabalhos;</li> <li>• Expansão do tamanho do mercado/comércio eletrônico;</li> <li>• Maior participação cívica;</li> <li>• Democratização/mudanças políticas;</li> </ul>
Negativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da manipulação e câmaras de eco;</li> <li>• Jardins murados (ou seja, ambientes limitados, para apenas usuários autenticados) não permitem acesso total a alguns países/regiões;</li> </ul>
Desconhecidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 24/7 - Sempre ligado</li> <li>• Perda da divisão entre as atividades pessoais e comerciais</li> <li>• Estar em qualquer lugar/em toda parte</li> <li>• Impacto ambiental da fabricação</li> </ul>

**Fonte:** Elaboração própria - Baseado no Relatório do FMI (2015).

**Quadro 4** – Impactos dos Objetos Inteligentes

Impactos dos Objetos Inteligentes	
Positivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informações imediatas para que o indivíduo possa tomar decisões informadas para atividades de navegação e pessoais/de trabalho</li> <li>• Melhor capacidade para executar tarefas ou produzir bens e serviços com recursos visuais para fabricação, saúde/cirurgia e entrega de serviços</li> <li>• Capacitar as pessoas com deficiências a gerenciar suas interações e movimentos, bem como para vivenciar o mundo — através da fala, da digitação e do movimento e por meio de experiências imersivas.</li> </ul>
Negativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distração mental, causando acidentes</li> <li>• Trauma originado de experiências imersivas negativas</li> <li>• Aumento da dependência e escapismo.</li> </ul>
Desconhecidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criação de um novo segmento para a indústria do entretenimento.</li> <li>• Aumento das informações imediatas.</li> </ul>

**Fonte:** Elaboração própria - Baseado no Relatório do FMI (2015).

### 2.2.5.2 Casa Inteligente

Uma *Smart Home*, ou Casa Inteligente, pode ser definida como uma plataforma residencial que usa IoT, tecnologias de computação, controle e comunicação, para conectar várias instalações através da rede, atender aos requisitos de automação de todo o sistema e fornecer controle e gerenciamento (LI, GU, *et al.*, 2018).

De acordo com Min Li (2018) o principal objetivo da Casa Inteligente é proporcionar às pessoas um ambiente de vida eficiente, confortável, seguro, conveniente e amigável, através da integração de sistema, serviço e gerenciamento. Para isso a Casa Inteligente conta com vários recursos como: eletrodomésticos inteligentes, sensores (presença, fumaça, temperatura), sistemas automatizados (para controlar a iluminação, ar-condicionado, janelas e porta, irrigação do jardim), sistema de segurança (com câmera e controle de acesso), entre outras funcionalidades. A Figura 24 ilustra uma Casa Inteligente com os seus possíveis objetos e sistemas.

**Figura 24** – Casa Inteligente



**Fonte:** (BREW CITY PC, 2019) - Adaptado.

Com tantos objetos e sistemas conectados a previsão é que 50% do tráfego de internet consumida nas casas sejam para os aparelhos e dispositivos e não para o entretenimento ou a comunicação (FMI, 2015). O Quadro 5 mostra os possíveis impactos positivos, negativos e desconhecidos que a Casa Inteligente pode causar.

**Quadro 5** – Impactos da Casa Inteligente

Impactos da Casa Inteligente	
Positivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiência dos recursos (menor uso e custo de energia)</li> <li>• Conforto</li> <li>• Segurança/proteção e detecção de intrusos</li> <li>• Controle de acesso</li> <li>• Capacidade de viver de forma independente (jovens, idosos e pessoas com deficiências)</li> <li>• Redução de custos com saúde</li> <li>• Monitoramento (em tempo real) e gravação em vídeo</li> <li>• Chamadas de emergência, avisos, alarmes</li> <li>• Controle remoto da casa</li> </ul>
Negativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Privacidade</li> <li>• Vigilância</li> <li>• <i>Ciber</i> ataques, crime, vulnerabilidade</li> </ul>
Desconhecidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto à força de trabalho.</li> <li>• Mudança do local de trabalho (mais em casa e fora dela).</li> <li>• Privacidade, propriedade dos dados</li> </ul>

**Fonte:** Elaboração própria - Baseado no Relatório do FMI (2015).

### 2.2.5.3 Cidades Inteligentes

De acordo com a norma ISO 37122:2019 dentre as várias características que definem uma cidade inteligente está o uso de informações de dados e tecnologias modernas para fornecer melhores serviços e qualidade de vida para todos na cidade (residentes, empresas, visitantes), tanto agora, quanto no futuro (ISO, 2019). Indo de encontro ao conceito de IoT que utiliza dados, informações e tecnologia em suas aplicações. Dentre essas aplicações, tem-se: estacionamento, coleta de lixo, iluminação, rede elétrica inteligente, sensores para o monitoramento da poluição do ar e do clima, entre outras.

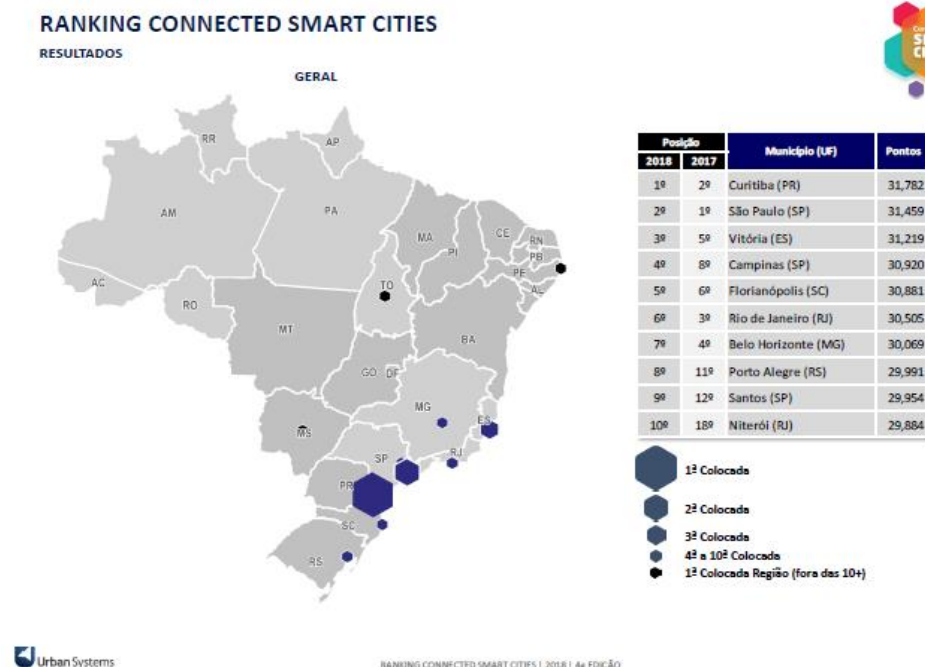
Todos os anos o *IESE Cities in Motion Index* divulga um *ranking* das Cidades mais inteligentes do mundo, esse no (2019) Londres foi considerada a cidade mais inteligente do mundo. A Figura 25 mostra o ranking das dez cidades mais inteligente do mundo.

**Figura 25** – Ranking das 10 Cidades mais inteligentes do mundo – 2019

Ranking	City	Performance	CIMI
1	London - United Kingdom	H	100,00
2	New York - USA	H	94,63
3	Amsterdam - Netherlands	RH	86,70
4	Paris - France	RH	86,23
5	Reykjavík - Iceland	RH	85,35
6	Tokyo - Japan	RH	84,11
7	Singapore - Singapore	RH	82,73
8	Copenhagen - Denmark	RH	81,80
9	Berlin - Germany	RH	80,88
10	Vienna - Austria	RH	78,85

Fonte: (IESE).

No Brasil, também existe um *ranking* das cidades inteligentes, o “*Connected Smart Cities*”. De acordo com o último resultado divulgado em 2018, Curitiba ficou em primeiro lugar e Belém aparece em 85ª posição. A Figura 26 mostra o *ranking* das cidades inteligentes brasileiras.

**Figura 26** – Cidades Inteligentes brasileiras

Fonte: (URBAN SYSTEMS, 2018).



Contudo, vale ressaltar, que o que torna uma cidade inteligente não é apenas a conexão de objetos ou a presença de alta tecnologia e aplicações IoT. Existem vários indicadores, como saúde, educação, mobilidade, meio ambiente e energia, que também são levados em consideração (ISO, 2019) e que se integram as aplicações IoT para oferecer uma melhor qualidade de vida para todos nas cidades.

O Quadro 6 mostra os possíveis impactos positivos, negativos e desconhecidos que as Cidades Inteligentes podem causar.

**Quadro 6** – Impactos das Cidades Inteligentes

Impactos das Cidades Inteligentes	
Positivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da eficiência na utilização dos recursos</li> <li>• Aumento da produtividade</li> <li>• Aumento da densidade</li> <li>• Melhoria da qualidade de vida</li> <li>• Efeito sobre o meio ambiente</li> <li>• Maior acesso da população em geral aos recursos</li> <li>• Menor custo de prestação de serviços</li> <li>• Maior transparência em torno do uso e estado dos recursos</li> <li>• Diminuição da criminalidade</li> <li>• Aumento da mobilidade</li> <li>• Geração e consumo descentralizados de energias alternativas</li> <li>• Produção descentralizada de bens</li> <li>• Aumento da resiliência (aos impactos das mudanças climáticas)</li> <li>• Redução da poluição (ar, ruído)</li> <li>• Aumento do acesso à educação</li> <li>• Acessibilidade mais rápida/acelerada aos mercados</li> <li>• Mais empregos</li> <li>• Governo eletrônico mais inteligente</li> </ul>
Negativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vigilância e privacidade</li> <li>• Risco de colapso (blackout total) caso o sistema de energia elétrica falhe</li> <li>• Maior vulnerabilidade a ataques cibernéticos</li> </ul>
Desconhecidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto à força de trabalho</li> <li>• Mudança do local de trabalho (mais em casa e fora dela)</li> <li>• Privacidade, propriedade dos dados</li> </ul>

**Fonte:** Elaboração própria - Baseado no Relatório do FMI (2015).

## 2.4 Os vários benefícios da Eficiência Energética

Os vários benefícios da EE englobaram melhorias diretamente relacionados à energia e melhorias que afetam outras áreas, como saúde e bem-estar, por exemplo. Na literatura os vários benefícios da EE têm sido rotulados como "co-benefícios" (LIMMEECHOKCHAI e WINYUCHAKRIT, 2014), e "benefícios não energéticos" (MWALLIANCE). Apesar de serem usados termos diferentes o sentido é o mesmo, e diz respeito aos benefícios da EE nas mais diversas áreas. A IEA destaca tais benefícios para mostrar que o investimento em EE pode beneficiar muitos e diferentes participantes (IEA), conforme ilustra a Figura 27.

**Figura 27** – Os vários benefícios da Eficiência Energética



**Fonte:** (IEA) - Adaptado.

Os benefícios visualizados na Figura 27, acima, são descritos pela IEA da seguinte forma:

- **Economia de energia:** no centro de todos os benefícios da EE está a economia de energia, a qual está ligada a muitos outros benefícios econômicos, sociais e ambientais;
- **Segurança energética:** a EE pode reforçar a segurança energética regional ou nacional, evitando importações adicionais de energia e infraestrutura associada;
- **Preços da energia:** pode permitir preços de energia mais baixos, reduzindo a necessidade de adicionar nova geração de energia ou capacidade de transmissão e reduzindo a pressão sobre os recursos energéticos;
- **Acesso à energia:** tanto para o lado da oferta quanto da demanda, a EE tem o papel de aumentar a largura de banda disponível nas redes de geração, transmissão e distribuição. Portanto, a eficiência energética é vital para melhorar o acesso à energia globalmente;
- **Saúde e bem-estar:** as medidas de EE podem ajudar as pessoas a terem uma boa saúde física e mental, principalmente criando ambientes internos com adequadas temperaturas, níveis de umidade, níveis de ruído e melhor qualidade do ar.
- **Qualidade do ar:** a EE pode reduzir as concentrações internas e externas de poluentes do ar, melhorando a qualidade do mesmo.
- **Poupa emissões de GEE:** a EE reduz notavelmente as emissões GEE, tanto as emissões diretas de combustão ou consumo de combustíveis fósseis, quanto às reduções indiretas de emissões causadas pela geração de eletricidade. Proporcionando assim vários benefícios ambientais.
- **Poupanças domésticas:** menos energia consumida leva a menores contas de energia, o que significa que as famílias gastam menos do seu rendimento disponível em energia e conseqüentemente acabam aumentando a renda familiar disponível.

- **Valores do ativo:** os proprietários de edifícios podem ver o aumento do valor de suas propriedades (casas, empresas e serviços públicos) a partir de medidas de EE que reduzem o consumo de energia e os custos operacionais.
- **Produtividade:** além de reduzir o uso de energia e reduzir custos, as medidas de EE criam inúmeros benefícios para setor industrial e de serviços. Pois esses setores ganham em produtividade, maior competitividade, melhorias na qualidade do produto e ambientes de trabalho.
- **Orçamentos públicos:** medidas de EE podem trazer benefícios financeiros para os orçamentos públicos, tanto através de despesas menores, quanto através do aumento de renda.
- **Econômicos:** a EE com boa relação custo-benefício pode promover impactos macroeconômicos positivos, impulsionando a atividade econômica e muitas vezes aumento o número de empregos. Além disso, ela também reduz a quantidade de energia necessária para fornecer serviços, como mobilidade, iluminação, aquecimento e resfriamento e consequentemente libera energia para outros setores.

#### 2.4.1 EE aplicada na Iluminação

O sistema de iluminação está presente em praticamente todas as residências e representa uma significativa parcela do consumo de um domicílio. Tomando como base o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018 (EPE, 2018), o qual diz que o consumo residencial médio da Região Norte equivale a 143 kWh/mês, Sousa *et al* (2019) afirmam que o consumo do sistema de iluminação representa 17 % desse valor, o que equivale a 24,31 kWh/mês. Mediante a esse inevitável consumo é preciso fazer com que esse sistema se torne mais eficiente. Para isso, vários métodos podem ser utilizados, desde o simples hábito como apagar a luz ao sair de um local, até a utilização das mais diversas tecnologias existentes, como sensor de presença e sistemas de automação para o acionamento das lâmpadas.

### 2.4.1.1 Lâmpadas LED

Uma lâmpada Diodo Emissor de Luz, mais conhecida como LED (sigla em inglês) é um tipo de lâmpada que emite luz através de um ou mais diodos. Antigamente as lâmpadas mais utilizadas no Brasil eram as do tipo incandescentes, posteriormente passou-se a utilizar as fluorescentes e hoje as lâmpadas LED estão se popularizando (INMETRO, 2019). A troca dessas lâmpadas menos eficientes (incandescentes e fluorescentes), por lâmpadas LED é o *retrofit* mais fácil e barato de ser realizado no sistema de iluminação. Na Figura 28 mostra um comparativo entre as lâmpadas incandescente, fluorescente e LED.

**Figura 28** – Comparativo entre as lâmpadas incandescente, fluorescente e LED



Fonte: (OPTIMUS) - Adaptado.

Como vemos no comparativo entre as lâmpadas na Figura 28, acima, a lâmpada LED tem maior vida útil, perde menos energia na forma de calor, possui menor consumo de energia e apesar do seu preço ser mais alto em relação às demais lâmpadas, esses investimento inicial é compensado, mediante a economia que será gerada na conta de energia e custo economizado com manutenção.

As lâmpadas LED são mais eficientes em pelos seguintes fatores: emitem menor carga térmica e sua eficiência luminosa é maior em relação às outras lâmpadas, assim

acabam gastando menos energia para gerar a mesma iluminação, consumindo até 80% a menos de energia, quando comparada com as lâmpadas incandescentes; possuem maior vida útil, chegando ao valor de 25000 h, o qual equivale a aproximadamente 5 anos; oferecem menos risco a saúde dos consumidores; e são sustentáveis, pois como não possuem filamento de metálico, de mercúrio ou qualquer outra substância tóxica, não emitem poluentes ao meio ambiente, podendo até mesmo ser descartadas no lixo comum e ser recicladas. (ELÉTRICA), (INMETRO, 2019).

#### 2.4.1.2 Sensores de movimento e presença

Outros dispositivos que podem ajudar a promover EE no sistema de iluminação são os sensores de movimento e de presença. Porém, é importante ressaltar que não basta apenas instalá-los, além disso, é preciso usar produtos de boa qualidade e escolher o tipo de sensor adequando para cada ambiente. Esses cuidados podem evitar desligamentos indesejados, os quais diminuem a vida útil das lâmpadas e aumentando o consumo de energia (FINDER). Tais sensores podem ser de três tipos, possuindo as seguintes formas de detecção:

- **Infravermelho:** detectar os movimentos, mediante a variação de temperatura;
- **Ultrassônico:** detecta a presença, através das ondas sonoras, assim a presença da pessoa é detectada mesmo que ela não esteja se movimentando;
- **Misto (Infravermelho-Ultrassônico):** esse tipo é mais preciso, pois possui ambas as formas de detecção supracitadas.

Na Figura 29, tem-se um sensor de presença do modelo soquete E27, compatível com lâmpadas de até 48 W, que pode ser regulado com o tempo entre 30 segundo até 15 minutos, possui a função relé que aciona a lâmpada ao escurecer, mantendo-a acionada por até 4 horas e após esse período ele volta a funcionar como sensor. Segundo o fabricante, ele pode gerar uma economia de energia de até 75% (EXATRON).

**Figura 29** – Sensor de presença soquete



Fonte: (EXATRON).

#### 2.4.1.3 Sonoff

O *Sonoff* é um interruptor inteligente que pode ser conectado ao WiFi. Apesar de poder acionar qualquer carga elétrica, o mesmo vem sendo bastante utilizado para o acionamento de lâmpadas (SONOFF, 2018). É constituído de um relé eletromecânico e um microcontrolador ESP8266, o qual possibilita que o mesmo se conecte à internet, para efetuar o acionamento das cargas remotamente, através do seu app próprio chamado de *eWeLink*. Na Figura 30 é possível visualizar um dos modelos do interruptor *Sonoff*.

**Figura 30** – Sonoff



Fonte: (SONNOFF, 2019)

#### 2.4.1.4 Sistemas de Automação

De acordo com Marques e Toggweiler (2017) os sistemas de automação de iluminação podem gerar uma economia de até 60% do consumo de energia elétrica consumida pelo sistema de iluminação de uma residência. Por isso, tais sistemas podem ser importantes aliados da EE.

Existe hoje disponível no mercado vários produtos para automatizar o sistema de iluminação como o *HomeKit* da *Apple* (APPLE, 2019a) e a linha *Hue* da *Phillips*, onde um dos seus kits pode controlar até 4 lâmpadas, usa comunicação WiFi e conta com um aplicativo próprio (PHILIPS, 2019). Existem os dispositivos inteligentes como a lâmpada LED *Bluetooth 4.0 Smart Bulb* que como o seu próprio nome já sugere usa a comunicação BLE (ALIEXPRESS, 2019) e o interruptor *Smart Switch Light* (APPLE, 2019b).

Há também os sistemas proprietários desenvolvidos pelas próprias empresas especialistas em automação residencial e os sistemas propostos em trabalhos acadêmicos. A exemplo desse último caso, Oliveira (2017) desenvolveu um sistema capaz de controlar até 5 lâmpadas, via WiFi, porém utilizando o ESP8266 e relés eletromecânicos. Além disso, o sistema proposto por esse autor, possui um interruptor *threeway*, o qual permite que a lâmpada seja controlada tanto pelo relé, quanto pelo interruptor.

#### 2.4.1.5 Recomendações práticas

Seguindo algumas recomendações bem práticas e simples para diminuir o uso da energia gasta com iluminação, também é possível aplicar a EE no sistema de iluminação. É possível encontrar na literatura (ANEEL, 2017) (ISO, 2018) (EPE) (ABESCO, 2017) (CELPA, 2019), diversas ações e dicas que podem ser colocadas em prática para tornar esses sistemas mais eficientes, algumas delas são:

- Manter janelas e persianas abertas para aproveitar o máximo possível da luz natural durante o dia;



- Dar preferência a janelas e portas de vidro, que permitem mais entrada da luz natural;
- Pintar as paredes e teto de branco ou cores claras, pois essas cores ajudam a refletir melhor a luz;
- Apagar as luzes quando sair de um ambiente, ou se o mesmo estiver desocupado;
- Limpar as luminárias, pois a sujeira reduz o fluxo luminoso, exigindo maior número de lâmpadas acesas;
- Usar interruptores para o acionamento independente da fileira de luminárias paralelas à janela, para o melhor aproveitamento da luz natural.

## **2.5 Considerações Finais**

Neste capítulo foram abordados os elementos formadores da I4.0, os quais são os seus princípios, elementos fundamentais e principais tecnologias que também são consideradas os pilares da I4.0. Destaca-se dentre os elementos fundamentais a IoT e dentre as principais tecnologias, a Automação, Computação em Nuvem e novamente a IoT.

A IoT por sua vez possui seu próprio vocabulário e características que lhe são peculiares. A mesma é composta basicamente pelos seguintes elementos: dispositivos, rede de comunicação, suporte a serviços e aplicações, e a aplicação aos qual é destinada. Como se viu, em 2018 foi apresentada a Norma Internacional ISO/IEC 30141:2018 de Arquitetura de Referência para IoT (ISO, 2018a), a qual é considerada um marco neste cenário, pois antes dessa ISO diferentes modelos foram propostos. Tão grande quanto o universo da IoT é a possibilidade de aplicações da mesma, abrangendo objetos, casa e cidades inteligentes. Tais aplicações podem melhorar a qualidade de vida das pessoas, proporcionar mais conforto e gerar ganho de eficiência.

Nesse contexto que engloba desde a I4.0 até mais especificamente a IoT, os ganhos de eficiência que podem ser conquistados são inúmeros, principalmente no que se refere aos benefícios provenientes da EE. Tais ganhos podem ser energéticos, de

produtividade, econômicos, de saúde e ambientais, demonstrando assim que existem vários benefícios que a EE pode gerar. Além disso, é importante que os dispositivos e tecnologias que compõem os sistemas IoT sejam eficientes energeticamente.

Quando a EE é aplicada especialmente na iluminação, várias estratégias podem ser adotadas, desde o *retrofit* de substituição de lâmpadas menos eficientes por LED, até a instalação de um sistema de automação para o controle das mesmas. No próximo capítulo será mostrado o sistema IoT para o controle de iluminação, o qual foi a aplicação desenvolvida neste trabalho.

### 3 APLICAÇÃO DESENVOLVIDA NO ESTUDO DE CASO

#### 3.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo será abordada a aplicação ao qual este trabalho se propôs a desenvolver em seu estudo de caso. Serão descritas as tecnologias e materiais utilizados, o *script* com os códigos usados para programar o microcontrolador ESP32, a maquete montada para representar uma casa popular e o protótipo do módulo do sistema IoT criado. Além disso, também será relatado o experimento realizado em laboratório para a medição do consumo do sistema desenvolvido.

#### 3.2 Tecnologias e Materiais utilizados

Neste tópico serão descritas todas as tecnologias e matérias que foram utilizadas no desenvolvimento deste projeto, incluindo *softwares*, *hardwares* e outros materiais diversos.

##### 3.2.1 Módulo ESP32 DEV KIT V1

Foi utilizado um módulo de desenvolvimento ESP32 DEV KIT V1 no protótipo criado. Esse módulo microcontrolador pode ser considerado o dispositivo central do sistema e irá armazenar e processar os dados, além de conectar e comunicar todos os componentes que compõem o sistema. Foi escolhido porque tem disponível as duas interfaces de comunicação (BLE e WiFi), por ser de ultrabaixo consumo energético e de baixo custo em relação a todos os seus benefícios. Na Figura 31 é possível visualizar o Módulo ESP 32 DEV KIT V1.

**Figura 31** – Módulo ESP 32 DEV KIT V1

Fonte: (DOIT).

Fabricado pela DOIT, dentre suas vantagens, pode-se destacar o fato dele ser uma plataforma de *hardware* livre e ser programado em linguagem C/C++, que é uma linguagem *Open Souce*. Outras vantagens é que ele pode ser programado através do Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduino e possui entrada USB o que facilita a sua alimentação e o seu manuseio. O Anexo A, contém o *PinOut* do Módulo ESP 32 DEV KIT V1. Esse módulo é composto pelo chip ESP 32 versão ESP-WROOM-32, que pode ser visualizado na Figura 32.

**Figura 32** – Chip ESP32-WROOM-32

Fonte: (ESPRESSIF, 2019).

A Tabela 1, apresenta as especificações do chip ESP 32 versão ESP-WROOM-32.

**Tabela 1** – Especificações ESP-WROOM-32

ESP-WROOM-32		
Certificações	RF Wi-Fi Bluetooth Ecológica	FCC/CE- RED/IC/TELEC/KCC/SRRC/NCC Aliança Wi-Fi BQB RoHS/REACH
WiFi	Protocolos Faixa de Frequência	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps), A-MPDU e A-MSDU 2.4 GHz a 2.5 GHz
Bluetooth	Protocolos Rádio Áudio	Bluetooth v4.2 BR/EDR e BLE specification Receptor NZIF com sensibilidade de - 97 dB Transmissor Classe-1, classe-2 e classe- AFH CVSD and SBC
Hardware	Interfaces do módulo  Sensor Integrado Cristal Integrado Flash SPI integrado Memória interna ROM Memória interna SRAM Tensão de Operação Tensão de Operação (Recomendada)  Dimensões do chip Dimensões do módulo ESP32 DEV KIT V1	Cartão SD, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR, contador de pulso, GPIO, sensor de toque capacitivo, ADC, DAC Sensor Hall (magnético) Cristal de 40 MHz Padrão 4 MB (pode variar) 448 KB 520 KB 2,7 V a 3,6 V 3,3 V (18.00±0.10) mm × (25.50±0.10) mm × (3.10±0.10) mm 27,5 x 51,0 mm

**Fonte:** (ESPRESSIF, 2019) – Adaptado.

De acordo com o *Datasheet* da fabricante do chip ESP32, a *Espressif* (2019), ele contém um sensor de temperatura interno, tem o total de 36 GPIOs, dos quais 2 são Conversores Digital-Analógico (DAC), 18 pinos são Conversores Analógico-Digital (ADC), 10 podem funcionar como sensor de toque capacitivo e os pinos de tensão, sendo eles:

- Vin (5V) – Pino de saída que fornece 5V;
- 3.3V – Pino de saída que fornece 3.3V e uma corrente máxima de 80 mA;
- GND – Pino mais conhecido como “Terra”.

### 3.2.2 Módulo Relé de Estado Sólido (SSR)

Foram utilizados 4 módulos SSR, cada um com 2 canais, totalizando 8 relés. Os SSR são os atuadores do sistema, pois são eles quem recebe os comandos para ligar e desligar as lâmpadas. Foram escolhidos porque são mais eficientes quando comparados com os relés de estado mecânicos. Dentre as vantagens do SSR, pode-se destacar o fato de não possuir componentes mecânicos, não gera arcos voltaicos, não consome muita energia, reduzida produção de ruídos, ter longa durabilidade e rápida velocidade de comutação, menor sensibilidade a choques (ZHANG e ZHANG, 2011) (FILIPEFLOP). A Figura 33 mostra um Módulo Relé de Estado Sólido com dois canais.

**Figura 33** – Módulo Relé de Estado Sólido com dois canais



**Fonte:** (FILIPEFLOP).

Esse módulo possui o total de 4 pinos, sendo eles 2 dois pinos de controle (CH1 e CH2), um pino de alimentação (DC+) e o pino GND (DC-). Esse tipo de relé é ligado estado lógico baixo (*LOW*), com tensão entre 0 e 2,5V e desligado quando é aplicada uma tensão de 3 a 5V nos pinos CH1 e CH2. Devem ser usados apenas para cargas que utilizam tensão de Corrente Alternada (AC, sigla em inglês), como é o caso das lâmpadas. De acordo com Filipeflop, esse módulo possui as seguintes especificações da Tabela 2.

**Tabela 2** – Especificações Módulo Relé de Estado Sólido

Módulo SSR	
Tensão de Operação	5VDC
Tensão máxima de carga	240VAC
Corrente máxima de carga	2A
Quantidade de canais	2
Pinos	CH1, CH2, DC+ e DC-
Dimensões	55 x 33 x 25 mm

**Fonte:** (FILIPEFLOP) – Adaptado.

### 3.2.3 Fonte Hi-Link

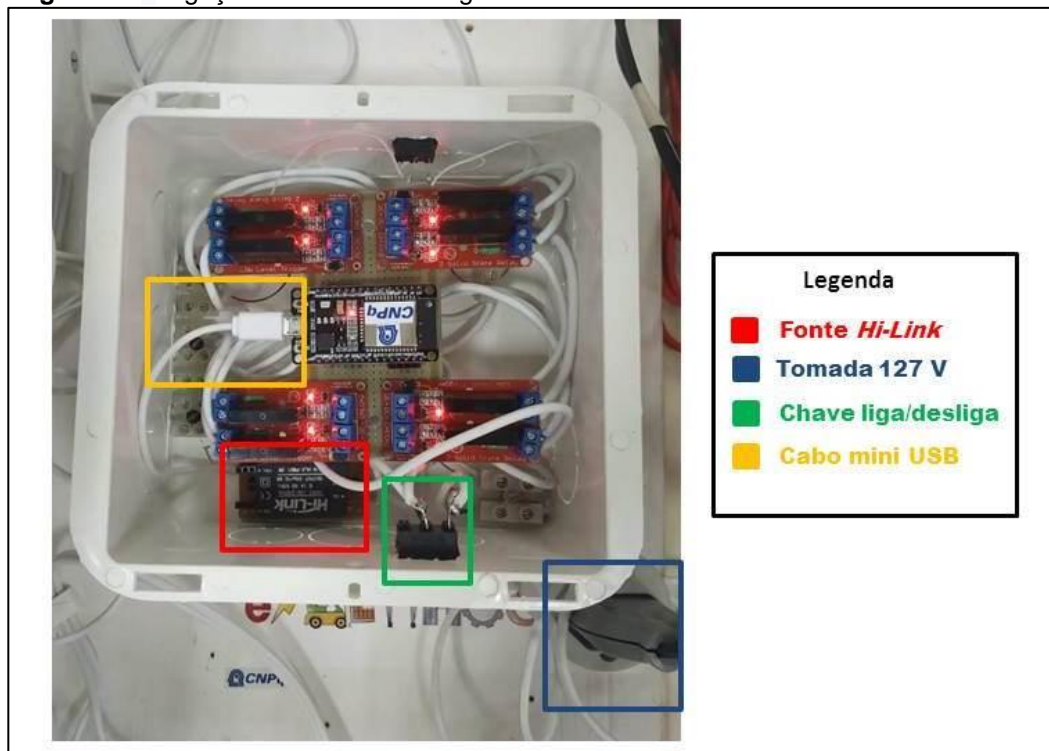
Como fonte de energia para o protótipo do módulo criado, foi utilizada uma minifonte *Hi-Link*. Essa fonte recebe entre 100 e 240 V em Tensão Alternada na sua entrada (AC) e diminui para 5V em Tensão Contínua (DC) na sua saída. A Figura 34 mostra a fonte de energia *Hi-Link*.

**Figura 34** – Fonte de energia *Hi-Link*

**Fonte:** (MERCADO LIVRE, 2019).

Ela foi escolhida, justamente por causa dessa conversão a qual realiza, enquadrando-se perfeitamente a aplicação desenvolvida neste caso de estudo. Pois, o protótipo do módulo criado possui uma tomada que é ligada diretamente na tensão alternada da casa, a qual é de 127 V, porém os seus componentes eletrônicos (módulo ESP 32 e módulos SSR) operam em Tensão Contínua de no máximo 5 V. Foi inserida uma chave de liga e desliga na sua entrada e um cabo mini USB na sua saída para facilitar a sua conexão ao Módulo ESP 32, como pode ser visualizado na Figura 35.

**Figura 35** – Ligação da fonte de energia *Hi-Link* ao módulo ESP32



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

### 3.2.4 Interruptor de Três Posições

Esse interruptor foi criado especialmente para o sistema IoT desenvolvido neste trabalho. No total foram produzidos 8 interruptores, onde 7 foram destinados as lâmpadas e 1 para uma tomada. Foram utilizados espelhos cego e botões de 3 posições. Tais interruptores servem para garantir que o usuário continue tendo o controle do acionamento das lâmpadas, em caso de uma eventual falha do sistema, ou até mesmo se ele estiver sem celular ou sem Internet. A Figura 36 mostra o Interruptor de Três Posições.



**Figura 36** – Interruptor de Três Posições



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

As três posições, estão configuradas para operar da seguinte forma:

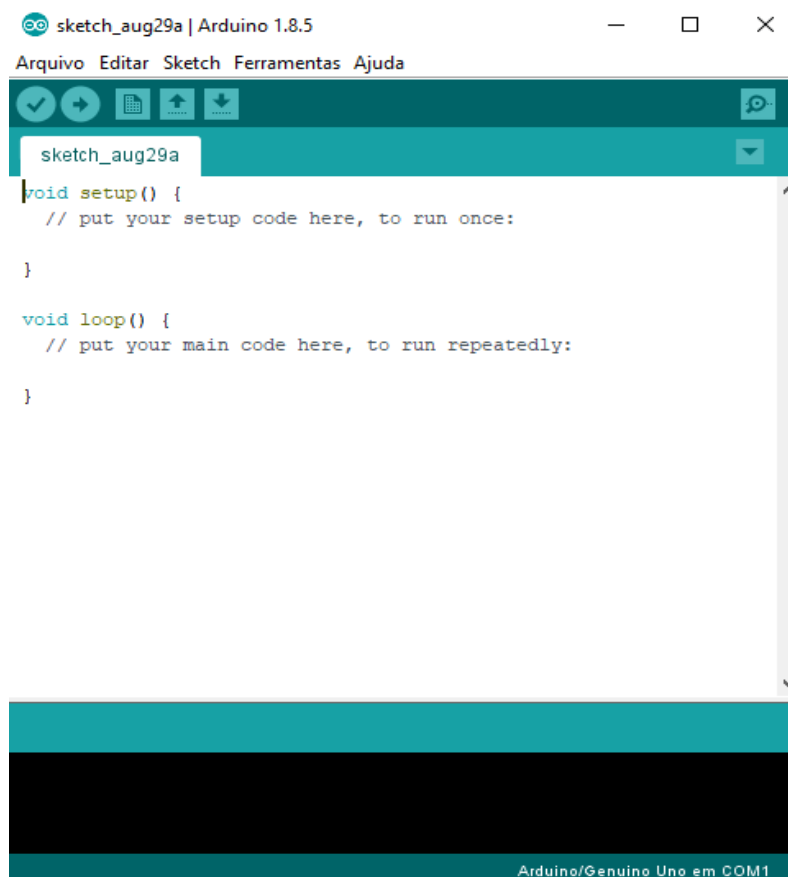
- 1º posição (I):** a lâmpada é ligada ou desligada pelo sistema IoT;
- 2º posição (0):** a lâmpada é desligada manualmente;
- 3º posição (II):** a lâmpada é ligada manualmente.

### 3.2.5 Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduino

O IDE do Arduino é um *software* livre desenvolvido especialmente para programar o módulo Arduino em linguagem C. Quando comparado com ambiente de desenvolvimento da *Espressif*, o ESP-IDF, o IDE do Arduino mostra-se bem mais didático e de fácil manuseio para ser usado para programar o Módulo ESP32, por isso ele foi escolhido. O Arduino chama o programa que contém o código de *sketch*. Todo *sketch* é composto por duas funções: a função **setup**, a qual é executada uma única vez e realiza as configurações necessárias, como configurar o modo dos pinos, por exemplo,

e inicializa bibliotecas; e a função **loop** que é executada repetidamente e pode ser considerado o coração do *sketch* (ARDUINO, 2019b). A Figura 37 mostra a janela principal do IDE do Arduino com um *sketch* e suas principais funções.

**Figura 37** – Janela principal do IDE Arduino



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Existem alguns pré-requisitos para que o Módulo ESP32 seja reconhecido neste IDE, são eles:

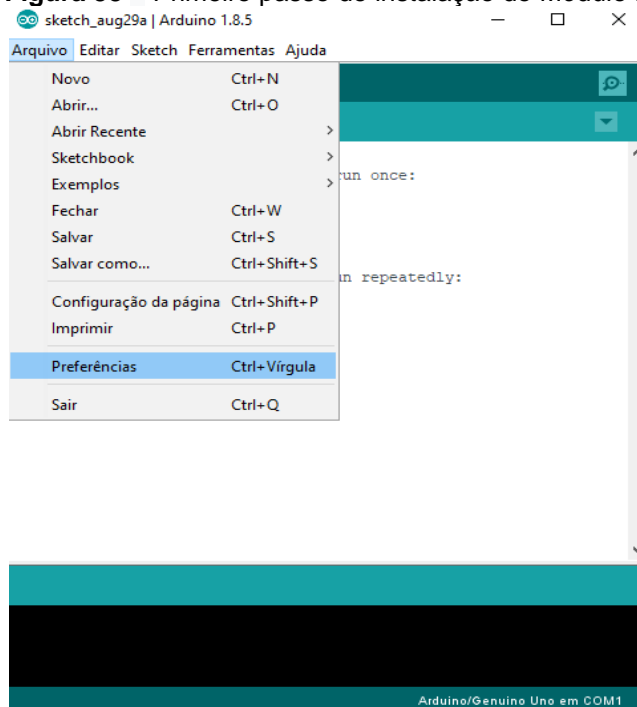
1º Pré-requisito: o drive “CP210x USB to UART Bridge” precisa estar previamente instalado no computador;

2º Pré-requisito: o instalador (.exe) da IDE do Arduino deve ser baixado diretamente do site do oficial do Arduino e não da loja do sistema operacional do computador.

Mediante a esses pré-requisitos, basta executar os seguintes passos na IDE do Arduino para instalar o módulo ESP32:

**1º Passo:** abrir o menu “Arquivo>Preferências”, conforme mostra a Figura 38;

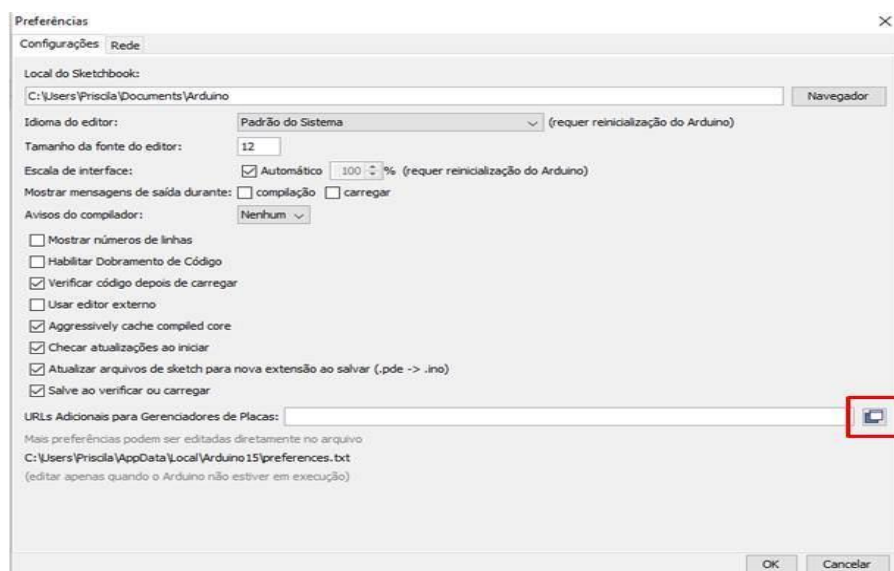
**Figura 38** – Primeiro passo de instalação do Módulo ESP 32 no IDE do Arduino



Fonte: Elaborado pela autora do trabalho.

**2º Passo:** clicar no ícone (destacado em vermelho) ao lado do campo “URLs Adicionais para Gerenciadores de Placas”, conforme mostra a Figura ;

**Figura 39** – Segundo passo de instalação do Módulo ESP 32 no IDE do Arduino



Fonte: Elaborado pela autora do trabalho.

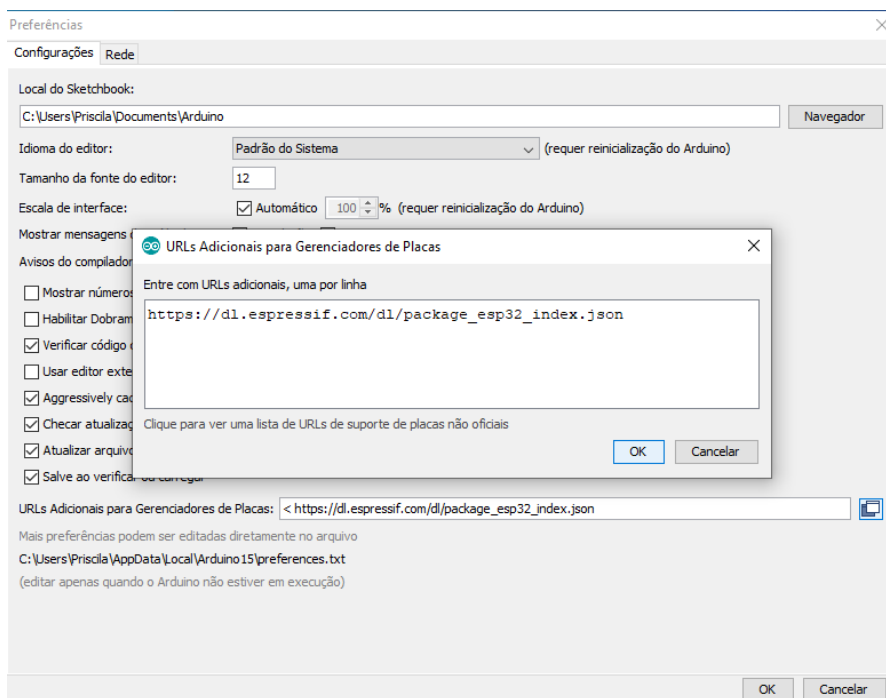
**3º Passo:** na nova janela que será aberta adicionar o link `<https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json>` e clicar em “OK”, conforme mostra a Figura 40;

**4º Passo:** abrir o menu “Ferramentas>Placa>Gerenciador de Placas, conforme mostra a Figura 41;

**5º Passo:** pesquisar por “ESP32” e após aparecer o arquivo de instalação “**esp2** by **Espressif System**”, então se deve clicar em “Instalar” e quando a instalação terminar clicar em “Fechar”, conforme mostra a Figura 42;

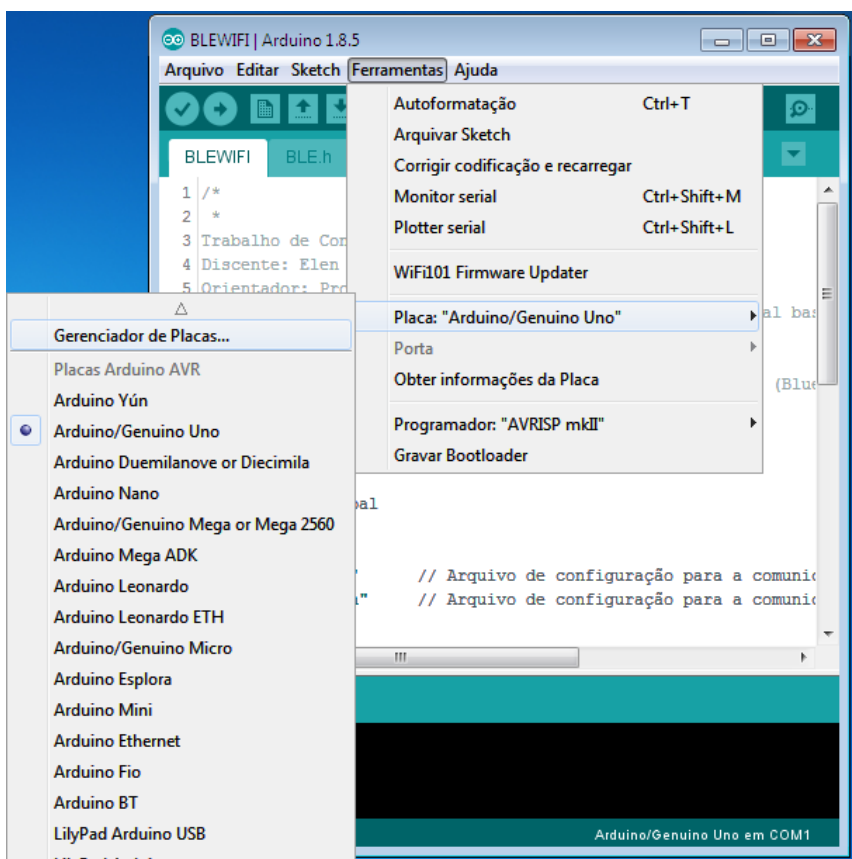
**6º Passo:** abrir o menu Ferramentas>Placa e verificar se a placa “DOIT ESP32 DEV KIT V1” aparece na lista das placas disponíveis, caso sim basta seleciona-la, selecionar a porta e a mesma já está pronta para uso, conforme mostra a Figura 43.

**Figura 40** – Terceiro passo de instalação do Módulo ESP 32 no IDE do Arduino



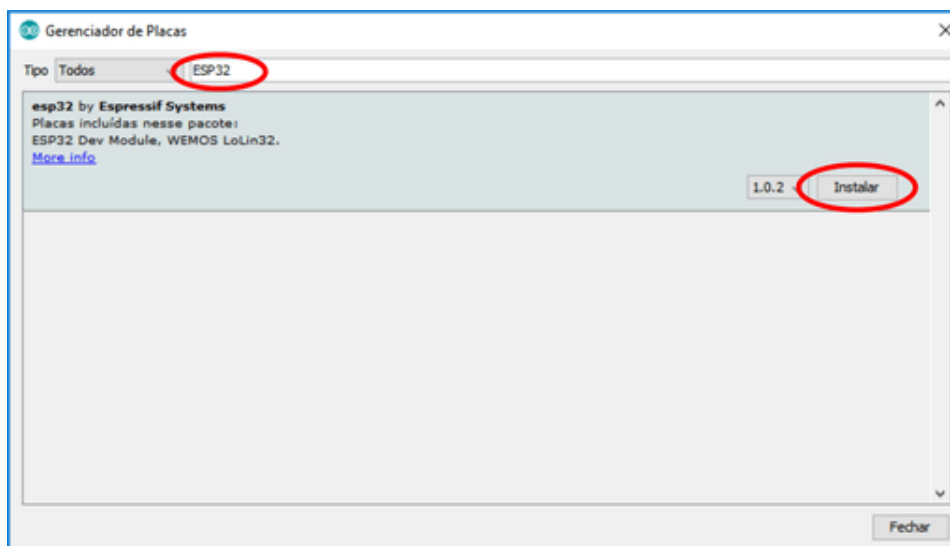
**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

**Figura 41** – Quarto passo de instalação do Módulo ESP 32 no IDE do Arduino



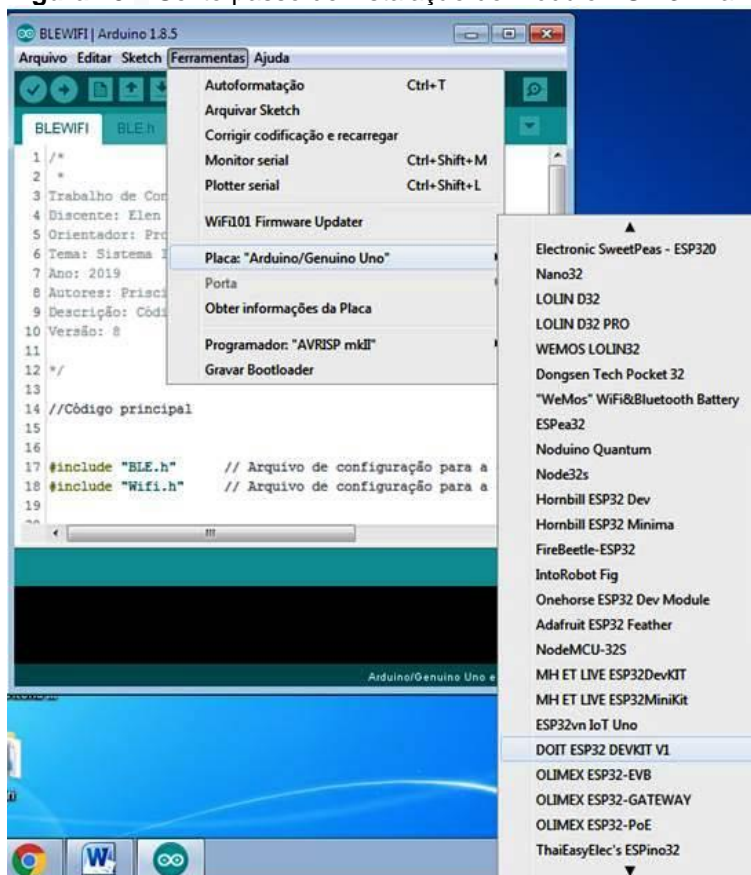
Fonte: Elaborado pela autora do trabalho.

**Figura 42** – Quinto passo de instalação do Módulo ESP 32 no IDE do Arduino



Fonte: Elaborado pela autora do trabalho.

**Figura 43** – Sexto passo de instalação do Módulo ESP 32 na IDE do Arduino



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

### 3.2.6 BLE

Conhecido como *Bluetooth Smart* ou *Bluetooth 4.0*, o BLE foi implementado na família *Bluetooth* a partir da versão 4.0. Esse tipo de comunicação já vem disponível no Módulo ESP 32 DEV KIT V1 na versão 4.2 e é usada quando o módulo está programado para se comunicar via *Bluetooth*. O mais indicado é que essa comunicação seja usada quando usuário está na sua casa, ou em caso de uma eventual falta de internet. A comunicação BLE foi escolhida porque possui baixo consumo de energia.

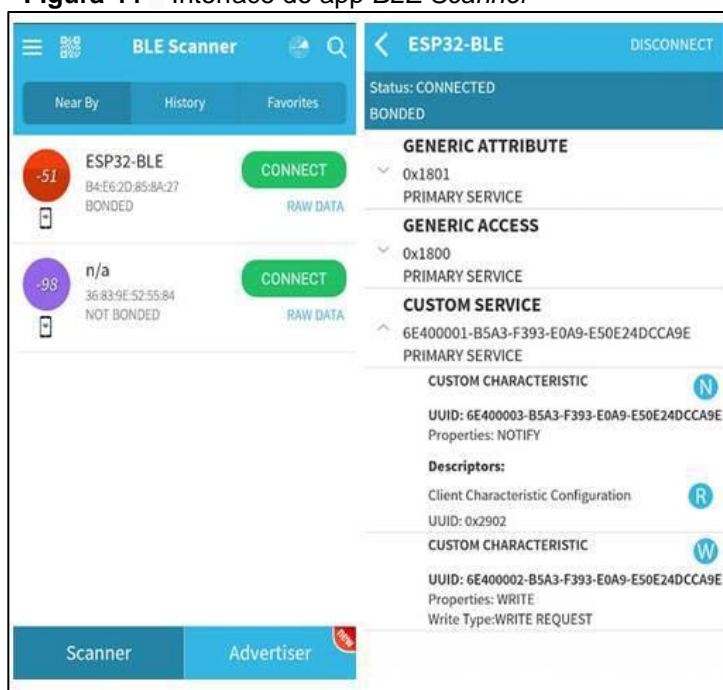
### 3.2.7 WiFi

Essa interface de comunicação também já vem implementada no Módulo ESP 32 DEV KIT V1 na versão 802.11 b/g/n. Ela é usada quando módulo ESP32 DEV KIT V1 está programado para se comunicar via WiFi. Quando somada ao serviço de Computação em Nuvem, a *CloudMQTT*, ela possibilita que o usuário opere o sistema tanto localmente, quanto remotamente.

### 3.2.8 Aplicativo BLE Scanner

É um app gratuito (*freeware*), disponível para *smartphones* com sistema operacional *Android*. O mesmo é usado para controlar o sistema, quando módulo ESP32 DEV KIT V1 está programado para se comunicar via BLE. A interface do app pode ser visualizada na Figura 44.

**Figura 44** – Interface do app *BLE Scanner*



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Ao se conectar no BLE do Módulo ESP32, nomeado de “ESP32 - BLE”, o usuário pode enviar os comandos para ligar ou desligar as lâmpadas. A Tabela 3 mostra os

ambientes, juntamente como os respectivos comandos que devem ser enviados através do app BLE *Scanner* para ligar e desligar as lâmpadas.

**Tabela 3** – Ambientes e comandos de ligar e desligar as lâmpadas

Ambiente	Liga	Desliga
Sala	0	100
Pátio	1	101
Quarto 1	2	102
Quarto 2	3	103
Banheiro	4	104
Cozinha	5	105
Tomada	6	106
Área de trás	7	107

**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

O primeiro dígito pode ser “0” ou “1”, onde “0” liga lâmpada e “1” desliga a lâmpada, pois como supracitado, o SSR liga em estado lógico baixo (*Low*), ligando também a lâmpada. Os outros dois dígitos são referentes ao número das lâmpadas, podendo variar de “00” até “0N”, onde “N” equivale ao número total de lâmpadas.

### 3.2.9 Aplicativo *MQTTDash*

Também é um app gratuito (*freeware*), disponível para *smartphones* com sistema operacional *Android*. O mesmo é usado para controlar o sistema, quando módulo ESP32 DEV KIT V1 está programado para se comunicar via WiFi. Nele foram configurados os detalhes da *CloudMQTT* e foi criado um *dashboard* com 7 lâmpadas e 1 tomada (simbolizada pela carga da cafeteira). A Figura 45 mostra interface do app *MQTTDash* para o sistema IoT desenvolvido neste trabalho.



**Figura 45** – Interface do app *MQTTDash* para o sistema desenvolvido



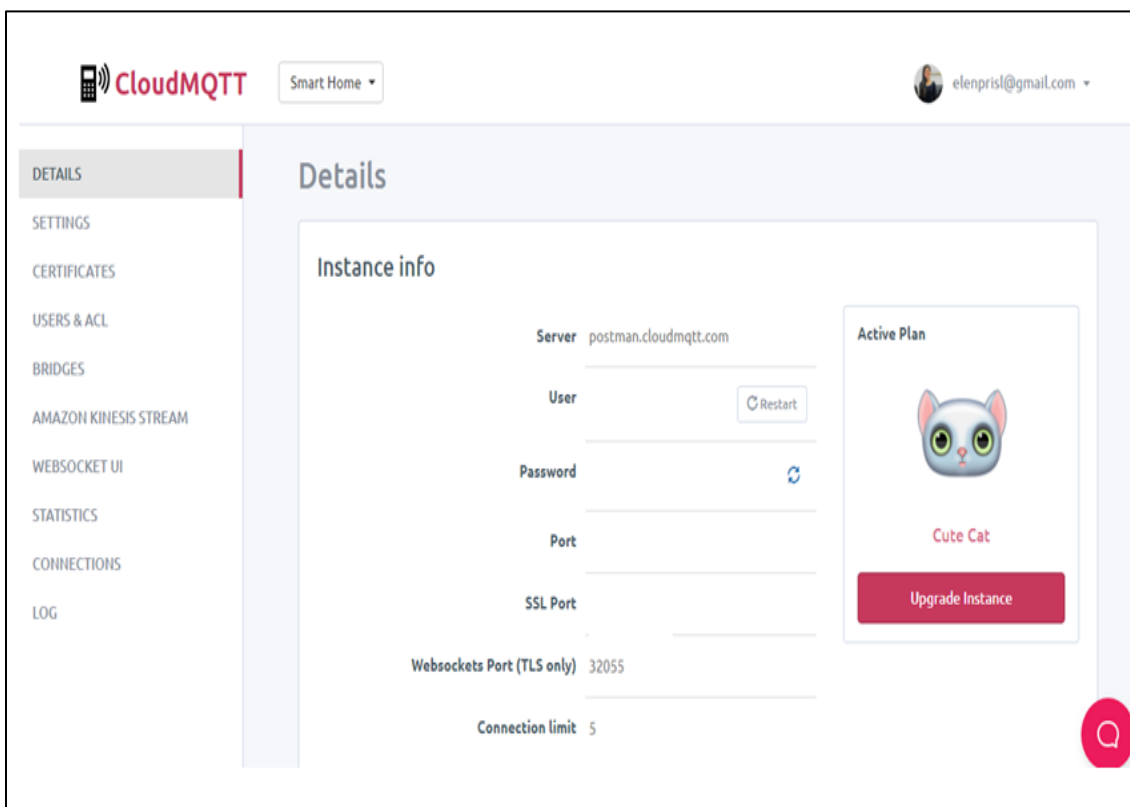
**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Os comandos enviados para ligar e desligar as lâmpadas são os mesmos utilizados na comunicação BLE mostrados na Tabela 3.

### 3.2.10 *CloudMQTT*

Foi criada uma conta especialmente para este trabalho na *CloudMQTT*, a qual oferta servidores *Mosquitto* na Nuvem que utilizam o protocolo MQTT. A *CloudMQTT* é usada quando módulo ESP32 DEV KIT V1 está programado para se comunicar via WiFi. Assim, é possível enviar comandos remotamente ao sistema, de qualquer lugar do mundo. Foi escolhida porque possui utiliza o protocolo MQTT, possui Qualidade de Serviço (QoS), *Websocket* para publicar ou visualizar mensagens e porque possui um plano gratuito que comporta a aplicação do sistema IoT desenvolvido. A instância criada para este trabalho possui as informações que podem ser visualizadas na Figura 46.

**Figura 46** – Informações da *CloudMQTT* para o sistema desenvolvido



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Como podemos visualizar na Figura 46, a instância criada possui as seguintes informações:

- **Plano Ativado:** *Cute Cat*;
- **Instância:** *Smart Home*;
- **Endereço do servidor:** *postman.CloudMQTT.com*;
- **Tópico:** *casa/lâmpadas*;

Algumas informações da Figura 46 como usuário, senha e porta foram ocultadas por questão de segurança.

### 3.5.11 Software Eagle

O *Eagle* é um *software* da *Autodesk* usado para criação de projetos de placas de Circuito Impresso (CI), onde é possível criar esquemáticos, realizar o roteamento das trilhas do CI de forma automática e contar com uma gama de bibliotecas (AUTODESK, 2019). O seu *download* é gratuito (*freeware*) e para usá-lo é preciso criar uma conta da *Autodesk* como estudante ou educador para obter a licença de uso. Foi escolhido por causa de todos esses recursos, mas principalmente porque tem disponível em seus componentes o módulo ESP32 DEV KIT V1.

## 3.3 Script

O *Script* com o código principal corresponde ao *sketch* do IDE do Arduino. Como referência foram usados: códigos de exemplo que são disponibilizados quando se instala o módulo ESP32 no IDE do Arduino e códigos disponíveis no *GitHub*. Esses códigos de referência foram alterados e adaptados para a aplicação deste estudo de caso, a qual é destinada ao controle de 8 pinos/relés.

Inicialmente, utilizou-se um código para cada tipo de comunicação (BLE e WiFi). Posteriormente, ambos os códigos foram unificados, gerando-se um *script* com o código principal de extensão “.ino” e outros 3 arquivos de extensão “.h”. Em relação aos 3 arquivos “.h” um é destinado a comunicação BLE, outro para a comunicação WiFi e outro para a definição dos pinos controlaram os relés. Todos esses *scripts* estão nos Apêndices deste trabalho. A Figura 47 apresenta o *script* com o código principal.

**Figura 47 – Script principal**

```
//Script principal

#include "BLE.h"      // Arquivo de configuração para a comunicação BLE
#include "Wifi.h"     // Arquivo de configuração para a comunicação WiFi

//Macro de controle para configurar o código para a conectar via WiFi
#define WIFI_CON // Comente essa linha caso deseje usar a comunicação BLE

void setup()
{

    #ifdef WIFI_CON    //Configuração inicial da comunicação WiFi
        WifiSetup();
    #else
        BLESetup();    //Configuração inicial da comunicação BLE
    #endif

}

void loop()
{

    #ifdef WIFI_CON
        WifiLoop();    //Função de conexão com WiFi
    #endif

}
```

**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

A seguir é feita uma breve descrição do *script* principal e os respectivos arquivos “.h”:

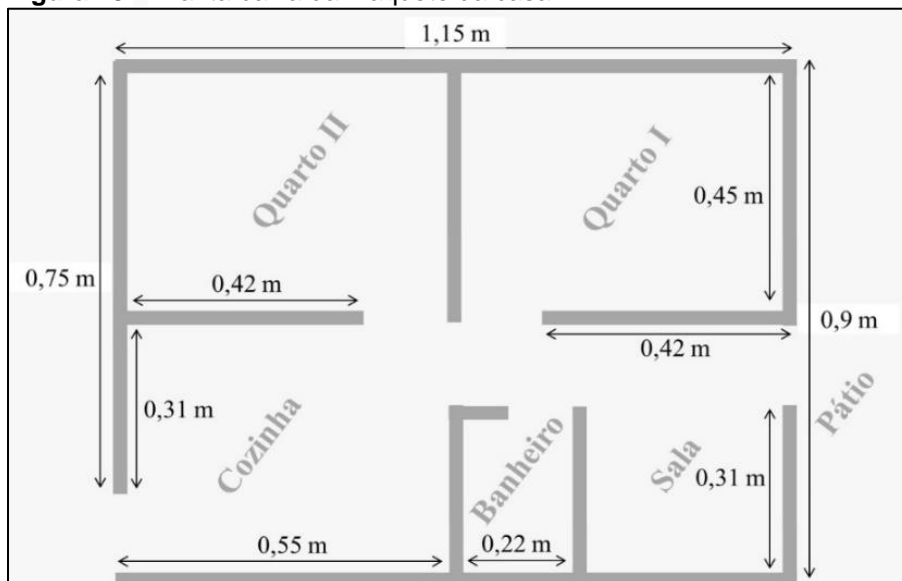
- **BLEWIFI.ino:** é o *script* com o código principal onde são realizados os *setups* e chamadas de função dos arquivos presentes nos arquivos “.h”. Como forma de simplificar a escolha de qual comunicação será usada, foi adicionada uma macro de controle chamada “WIFI\_CON”. Assim, para que a comunicação WiFi seja usada basta que a linha 22 do *script* principal (Apêndice A) seja comentada, adicionando-se duas barras “//” na frente de “#define WIFI\_CON”, para que fique da seguinte forma “//#define WIFI\_CON”.
- **BLE.h:** é o arquivo com o código de programação para a comunicação BLE. Nele são definidas as características, o serviço e os *callbacks* dos eventos;

- **Wifi.h:** é o arquivo com o código de programação para a comunicação WiFi. Nele são inseridas as informações da *CloudMQTT*, além das funções para se conectar e reconectar ao WiFi e a nuvem;
- **PINS.h:** é o arquivo de configuração dos pinos. Nesse arquivo são definidos: quais pinos serão usados; a função para salvar o estado dos pinos na memória; a função para recuperar o estado dos pinos em caso de uma possível falta de energia, ou reinicialização do sistema; e a função que executa o comando recebido;

### 3.4 Maquete da casa

Foi construída a maquete de uma casa, para representa o modelo de uma casa popular e instalar o circuito elétrico e o sistema IoT desenvolvido. A maquete possui as seguintes dimensões: 1,15 m de comprimento e 0,90 m de largura. Na Figura 48 é possível visualizar a planta baixa da maquete da casa.

**Figura 48** – Planta baixa da maquete da casa



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

A maquete possui 5 compartimentos, sendo eles: sala, cozinha, banheiro, quarto I e quarto II. Além de 2 ambientes externos representando o pátio e a área de trás. Na Figura 49 é possível visualizar a maquete da casa com a identificação dos ambientes.

**Figura 49** – Maquete da casa



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Foi realizada a instalação elétrica do circuito de iluminação, composto por cabo elétrico de 1,5 mm, 7 receptáculos, 7 lâmpadas LED de 9 W, 7 interruptores de 3 posições e uma tomada onde foi colocado o Roteador *Wireless*, mas também pode ser colocado qualquer outro tipo de carga, como por exemplo uma cafeteira. Na Figura 50 é possível visualizar a maquete da casa com a instalação do circuito elétrico de iluminação.

**Figura 50** – Maquete da casa com a instalação do circuito elétrico de iluminação

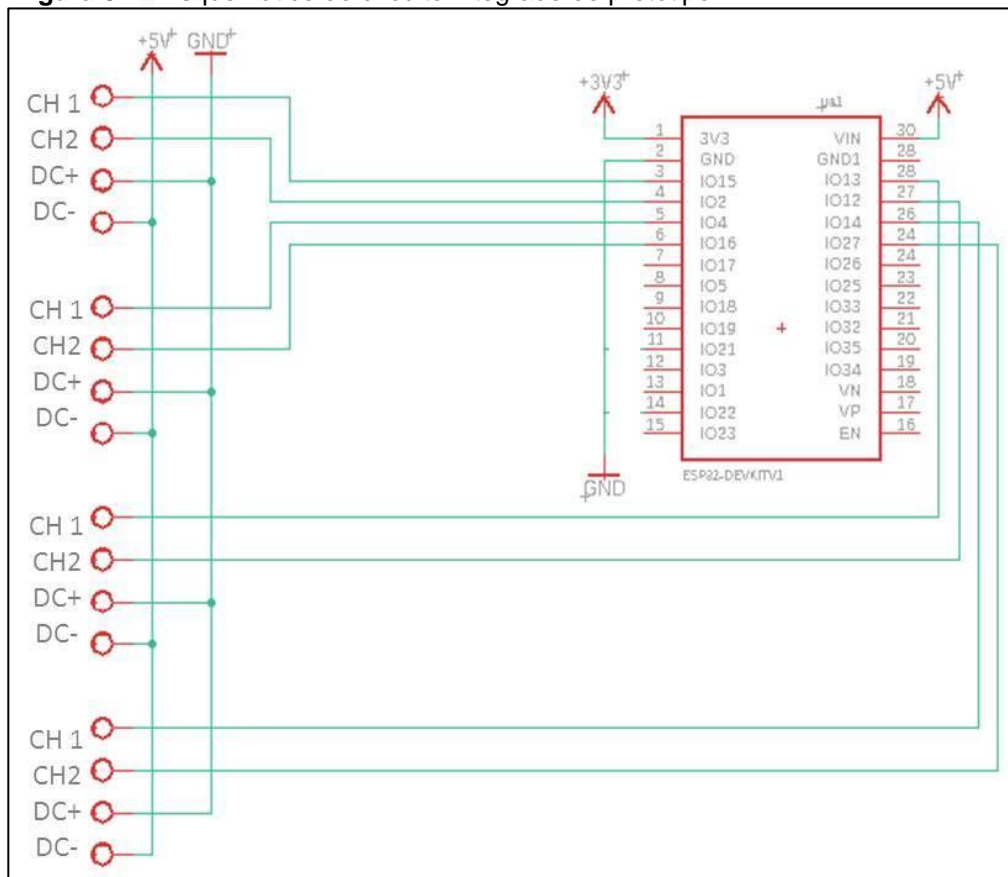


**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

### 3.5 Protótipo

Foi criado um protótipo do módulo do sistema IoT desenvolvido. Para a modelagem do módulo foi utilizado o *software Eagle*. Na Figura 51 é possível visualizar o esquemático do circuito integrado.

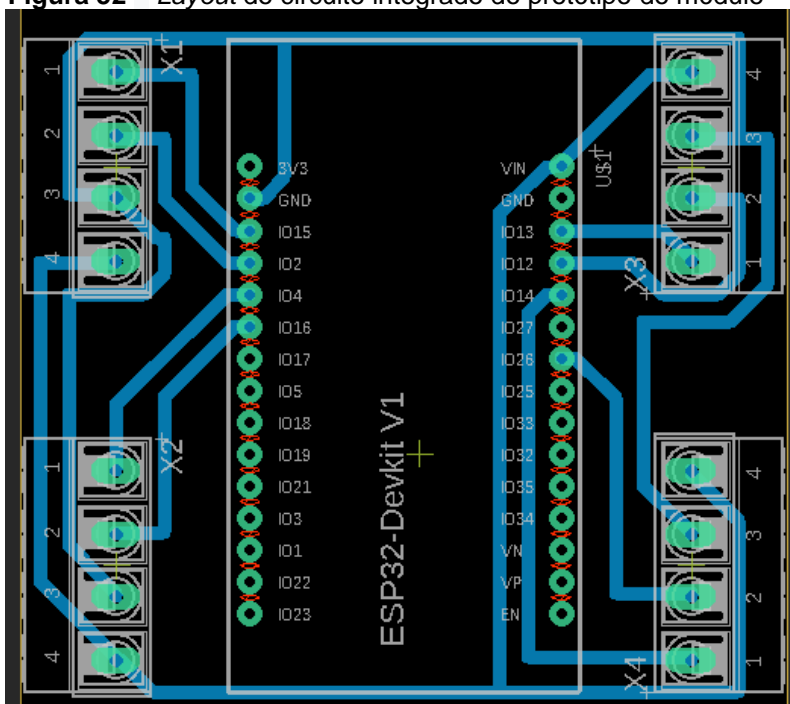
**Figura 51** – Esquemático do circuito integrado do protótipo



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Como o *software* utilizado para a modelagem, não possuía módulos SSR, foi inserido *bornes* para representá-los. A Figura 52 mostra o *layout* do circuito integrado do módulo.

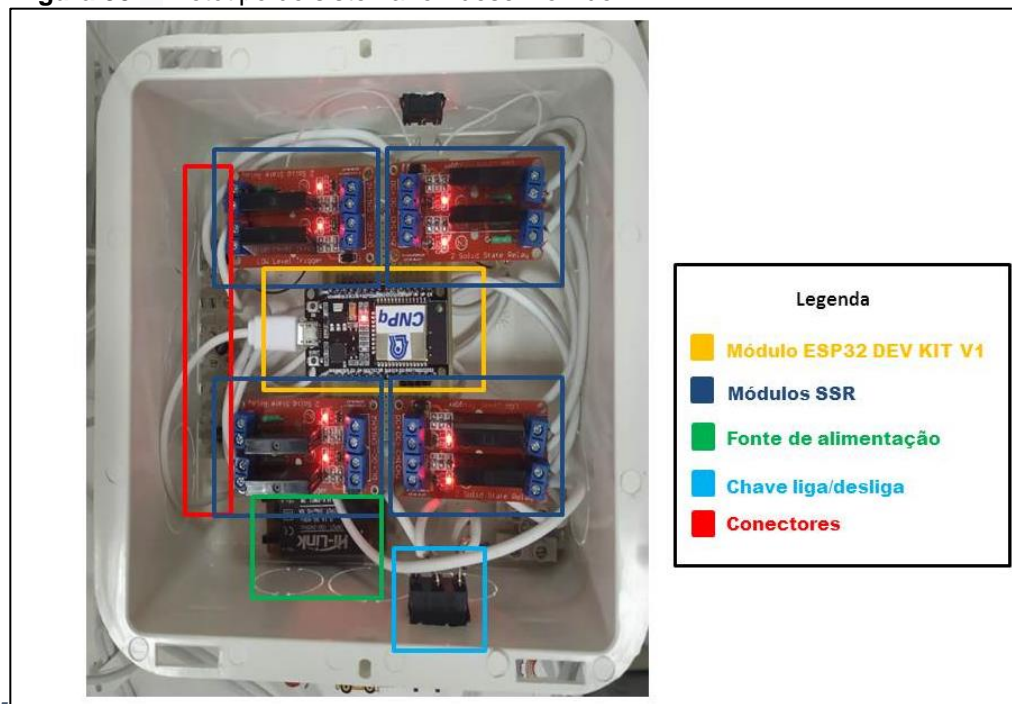
**Figura 52** – Layout do circuito integrado do protótipo do módulo



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

O protótipo do módulo foi produzido manualmente, em uma placa de fenolite perfurada. O protótipo completo é composto pelos seguintes componentes: um módulo ESP 32 DEV KIT V1, 4 módulos RSS com 2 canais cada, uma fonte de energia *Hi-Link*, uma chave geral para ligar e desligar o módulo, e conectores para alocar os fios elétricos que saem dos relés e vão para as lâmpadas. Todos esses componentes foram alocados em uma caixa de passagem elétrica que mede 15x15 cm, conforme pode ser visualizado na Figura 53.



**Figura 53** – Protótipo do sistema IoT desenvolvido

**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Os materiais utilizados na construção deste protótipo, bem como os seus respectivos preços, estão na Tabela 4, que mostra o custo total do mesmo.

**Tabela 4** – Custo do protótipo

<b>Componentes</b>	<b>Valor unitário (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Total (R\$)</b>
Módulo ESP32 DEV KIT V1	55,90	1	55,90
Módulo Relé de Estado Sólido (2 canais)	37,90	4	151,60
Interruptor de 3 posições (Botão + Espelho cego)	8,00	8	64,00
Caixa de passagem elétrica	20,00	1	20,00
Mini Fonte de energia <i>Hi-Link</i> - 110V / 5V	29,90	1	29,90
Placa de fenolite perfurada (5x7cm)	1,90	1	1,90
Fio elétrico (1,5mm)	2,00	3	6,00
Conectores	0,70	18	12,60
<b>Valor total do protótipo</b>			<b>341,90</b>

**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Caso esse protótipo seja replicado será necessário aproximadamente R\$341,90, porém esse valor total pode variar para mais ou para menos, dependendo da quantidade de interruptores de três posições e de fio elétrico que serão necessários. A quantidade

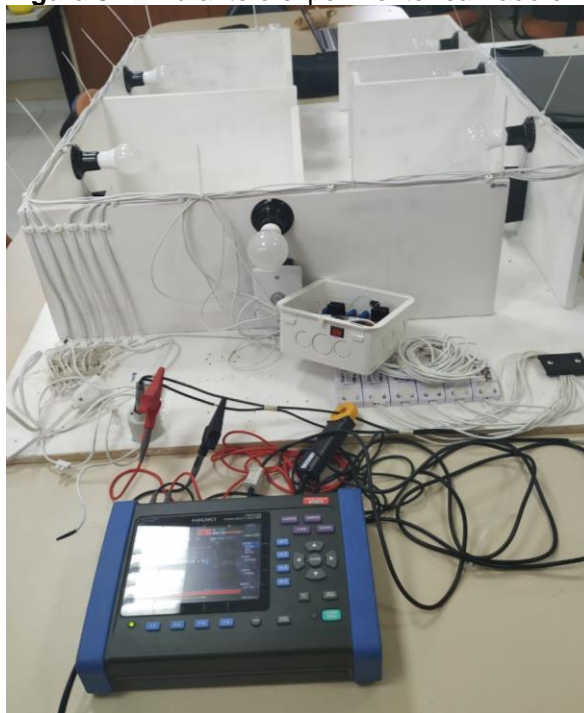
desses itens altera dependendo do tamanho da maquete ou até mesmo da de uma casa real. Vale ressaltar também que não foi levado em consideração o custo com a mão de obra para a instalação do sistema, já que o mesmo foi instalado apenas na maquete da casa construída, porém se o sistema for instalado em uma casa real, esse valor também deve ser considerado.

Outro ponto a se destacar, diz respeito à gratuidade da *CLOUMQTT* e dos apps *BLE SCANNER* e *MQTTDASH*. O que não acarreta em nenhum custo adicional ao valor total do protótipo e do sistema como um todo.

### 3.6 Experimento

Para verificar o consumo do sistema IoT desenvolvido, foram realizadas medições em laboratório utilizando o Analisador de Energia *Hioki* modelo PW3198-90 para medir corrente e tensão. A Figura 54 mostra o Analisador, juntamente com a maquete da casa e o protótipo, durante a realização do experimento.

**Figura 54** – Durante o experimento realizado em laboratório



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

A Tabela 5 abaixo mostra as ligações entre os relés, os pinos do módulo ESP 32, quais os ambientes da maquete da casa e quais os comandos devem ser enviados pelos apps para ligar e desligar as lâmpadas.

**Tabela 5** – Ligações entre os componentes, ambientes e comandos de acionamento

Módulo RSS		Pinos do Módulo ESP32	Ambientes	Comandos	
				Ligar	Desligar
Módulo 1	Relé 1 (CH1)	13	Sala	000	100
	Relé 2 (CH2)	12	Pátio	001	101
Módulo 2	Relé 3 (CH1)	14	Quarto 1	002	102
	Relé 4 (CH2)	27	Quarto 2	003	103
Módulo 3	Relé 5 (CH1)	16	Banheiro	004	104
	Relé 6 (CH2)	4	Cozinha	005	105
Módulo 4	Relé 7 (CH1)	2	Tomada	006	106
	Relé 8 (CH2)	5	Área de trás	007	107

**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Foram criados oito cenários que simulam a rotina de um dia em uma casa real para o acionamento das luzes. A Tabela 6 mostra a rotina adotada no experimento realizado em laboratório.

**Tabela 6** – Rotina da casa

Cenários	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
Ambientes / Horário	00 às 03	03 às 06	06 às 09	09 às 12	12 às 15	15 às 18	18 às 21	21 às 24
Pátio	Ligado	Ligado					Ligado	Ligado
Sala					Ligado	Ligado	Ligado	
Quarto I			Ligado				Ligado	
Quarto II			Ligado				Ligado	
Banheiro			Ligado		Ligado		Ligado	
Cozinha			Ligado	Ligado			Ligado	
Área							Ligado	Ligado

**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Foram realizadas três medições, seguindo a seguinte ordem:

**1º Medição:** as lâmpadas sendo ligadas e desligadas manualmente através dos interruptores de três posições. Assim, foi medido apenas o consumo das lâmpadas;

**2º Medição:** as lâmpadas sendo ligadas e desligadas pelo sistema IoT utilizado a comunicação BLE. Assim, foi medido o consumo das lâmpadas e do sistema com comunicação BLE.

**3º Medição:** as lâmpadas sendo ligadas e desligadas pelo sistema IoT utilizado a comunicação WiFi. Assim, foi medido o consumo das lâmpadas e do sistema com comunicação WiFi.

Como as medições foram realizadas em laboratório, ou seja, em um ambiente controlado, cada cenário foi medido durante o intervalo de 9 minutos. Assim, o tempo total da rotina para os 8 cenários foi de 72 minutos, o que equivale a 1 hora e 12 minutos, que é 5% de um dia. Fazendo as devidas proporções, foi possível encontrar o consumo do sistema IoT desenvolvido em Wh e a projeção do seu consumo mensal do em kW/h, como veremos no Capítulo 4.

### 3.7 Considerações Finais

Neste capítulo, inicialmente, foram descritas quais tecnologias e materiais foram utilizados na aplicação desenvolvida no estudo de caso deste trabalho, destacando-se os seguintes itens: o módulo ESP32 DEV KIT V1 com o seu ultrabaixo consumo de energia, a presença dos dois tipos de comunicação (WiFi e BLE) no mesmo, e o seu baixo preço; o módulo SSR, o qual é mais eficiente quando comparado com o relé eletromecânico; o interruptor de três posições criado especialmente para esta aplicação; e a gratuidade dos apps e do plano escolhido na *CloudMQTT*.

Neste capítulo também houve a descrição do *script* com o código principal utilizado para programar o módulo ESP 32, foi mostrada a maquete da casa de modelo popular, abordado sobre o protótipo do módulo criado e detalhado como foi realizado o experimento em laboratório para a medição do consumo do sistema IoT desenvolvido. Os resultados e análises dessas medições serão vistos próximo Capítulo.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

### 4.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo serão mostrados os resultados e as análises obtidos com o desenvolvimento deste trabalho. No subtópico 4.2 serão vistos quais os princípios, elementos fundamentais e tecnologias da I4.0 foram aplicados. Além disso, também serão abordados os resultados obtidos relação ao sistema como um todo. No subtópico 4.3, serão mostrados os resultados das medições do experimento realizado em laboratório e por fim, subtópico 4.4 o tempo de retorno (*Payback*) do investimento inicial feito no sistema IoT desenvolvido.

### 4.2 Sistema final

O sistema IoT desenvolvido, atende aos princípios da I4.0, no que se refere a **descentralização, interoperabilidade e operação em tempo real**. Pois, o mesmo é **descentralizado** em relação a dois quesitos: a **comunicação** que será usada (BLE ou WiFi) e o **local** de onde será tomada a decisão de desligar/ligar as lâmpadas, podendo tanto ser presencialmente na residência (utilizando uma das duas comunicações, BLE ou WiFi), quanto remotamente (utilizando a comunicação WiFi e a *CloudMQTT*).

Assim, o usuário não fica condicionado a operar o sistema apenas se tiver com acesso à Internet, pois em caso de uma eventual ausência da mesma, ele pode utilizar a comunicação (BLE). E em casos extremos, onde o usuário não está com o seu *smartphone*, ele continua tendo total controle sobre o acionamento das lâmpadas, por causa da presença do interruptor de 3 posições. Além disso, a tomada de decisão de ligar/desligar as lâmpadas, não fica restrita ao fato do usuário estar presente ou não na sua casa, pois ele pode fazer isso até mesmo de qualquer lugar do mundo.

Em relação à **interoperabilidade**, têm-se diferentes tipos de sistemas se comunicando, indo desde o sistema de iluminação, até o serviço de Computação em Nuvem da *CloudMQTT*. Esses diferentes sistemas, não estão apenas conectados, mas se comunicando, demonstrando assim a sua interoperabilidade.

No tocante a **operação em tempo real**, quando o usuário escolhe a forma mais adequada para operar o sistema (seja via BLE, WiFi ou pelo interruptor de 3 posições), de acordo com a sua necessidade no momento em que se encontra, pode-se afirmar que o sistema criado trabalha em tempo real.

Dos elementos fundamentais da I4.0, pode-se identificar o **CPS, IoT e IoS**. Todo o sistema desenvolvido pode ser considerado um **CPS**, pois ele une o mundo físico (pessoas, casa, circuito de iluminação, *smartphone*), ao mundo virtual e através dele é possível controlar um processo do mundo real (ligar/desligar as lâmpadas). Tal controle, evita que os usuários deixem luzes acesas desnecessariamente, economizando energia e consequentemente gerando economia de dinheiro.

A **IoT** é quem faz a conectividade de todo o sistema, através do microcontrolador ESP32, do atuador (SSR) e das redes de comunicações. Em relação ao **IoS**, há tanto o uso de serviços disponíveis (*CloudMQTT* e Internet), quanto a oferta de um serviço (ligar/desligar as lâmpadas). Das principais tecnologias da I4.0, aplicou-se a **automação** no sistema de iluminação, a **Computação em Nuvem** ao usar a *CloudMQTT* e novamente a **IoT**.

Em relação a **EE**, o sistema IoT desenvolvido já nasce eficiente energeticamente, por conta de todas as tecnologias de baixo consumo energético que ele utiliza e por causa da própria aplicação a qual ele se destina: controlar o sistema de iluminação residencial.

Se o sistema IoT desenvolvido neste trabalho for instalado em uma casa real, a instalação não será tão trabalhosa, considerando a parte elétrica do circuito de iluminação composta por lâmpadas, receptáculos e interruptores já está pronta. Além disso, se a casa onde o sistema for instalado seguir os padrões de instalação elétrica e tiver um circuito dedicado apenas para o sistema de iluminação, tal instalação pode ser ainda mais fácil. O que demandará mais trabalho é a troca dos interruptores tradicionais para os de três posições.

Feito isso, bastará ligar o protótipo na tomada, para ser alimentado pela tensão da residência (127 V), ter os dois apps instalados no *smartphone* (*BLE Scanner* e *MQTT*

*Dash*) e para o caso de o sistema utilizar a comunicação WiFi será preciso que a residência tenha acesso à Internet e um roteador.

Considerando as tecnologias e materiais que foram utilizados neste trabalho, o custo total do sistema IoT foi de R\$341,90, tal valor é relativamente baixo, quando comparado com os sistemas disponíveis no mercado, como o clássico *HomeKit* da *Apple* (APPLE, 2019a), a linha *Hue* da *Phillips* (PHILIPS, 2019) e os valores cobrados pelas empresas de automação residencial que custam no mínimo R\$ 6 mil (WI TECNOLOGIA, 2019).

### 4.3 Consumo energético do sistema IoT

Neste tópico, será visualizado a variação da corrente, potência e o consumo de energia do sistema IoT desenvolvido para este estudo de caso. No primeiro momento, será apresentado o consumo das cargas (lâmpadas) somado ao consumo do sistema utilizando as comunicações BLE e WiFi. Depois, será mostrado apenas o consumo do sistema usando as comunicações BLE e WiFi, sem considera as cargas (lâmpadas).

Todos os gráficos a seguir têm cores em comum, onde cada cor corresponde as formas como as lâmpadas foram acionadas, são elas:

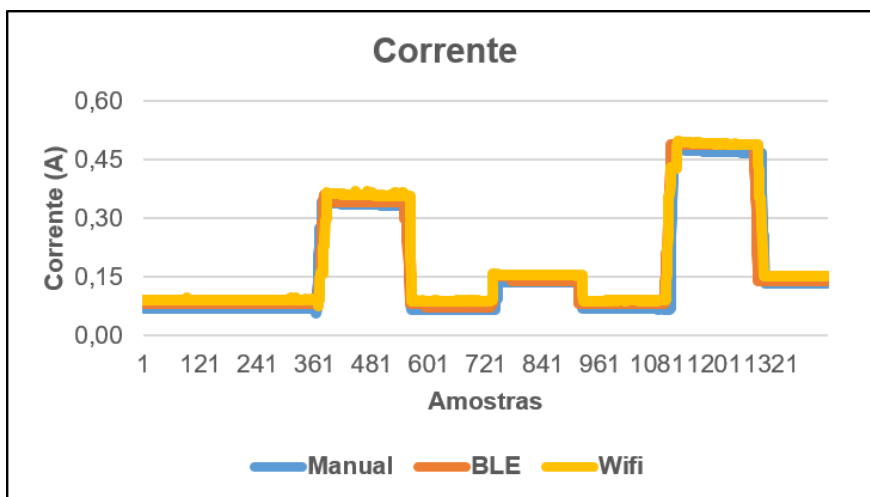
- **Azul:** lâmpadas acionadas de forma manual através do interruptor de três posições;
- **Alaranjado:** lâmpadas acionadas através do sistema IoT desenvolvido utilizando a comunicação BLE;
- **Amarelo:** lâmpadas acionadas através do sistema IoT desenvolvido utilizando a comunicação WiFi.

Os Gráficos 1 e 2 irão mostra, respectivamente, a variação da corrente e da potência durante a rotina do experimento descrita na Tabela 6, com duração de 1 hora e 12 minutos. Além disso, nesses mesmos gráficos também será possível visualizar os 8 cenários (Tabela 6).

Entre as amostras 1 e 361, tem-se os dois primeiros cenários, que correspondem ao período de 0 às 6 h da manhã, onde apenas a lâmpada do pátio está ligada, apresentando assim a corrente e potência mínima. Entre as amostras 1081 e 1321, tem-se o 7º cenário, que correspondem ao período de 18 a 21 h da noite, onde todas as lâmpadas estão ligadas, apresentando a máxima corrente e potência.

O Gráfico 1, abaixo, mostra a variação da corrente do sistema IoT durante a rotina do experimento.

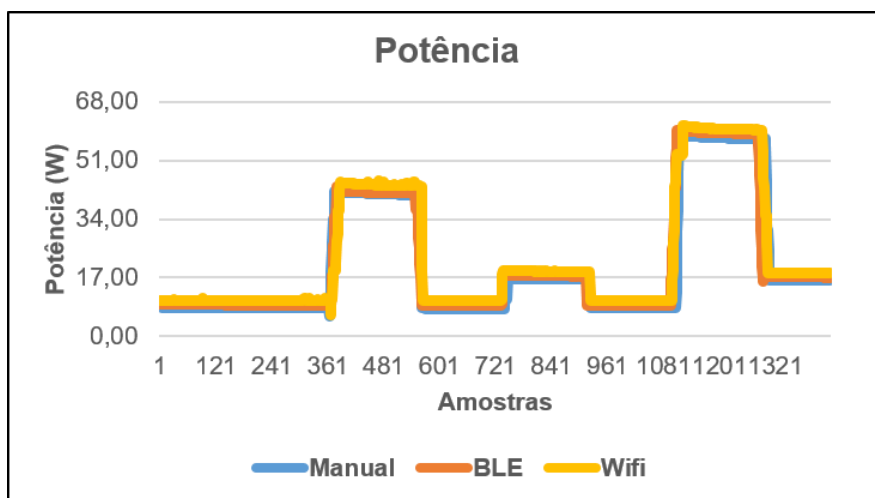
**Gráfico 1** – Corrente do sistema IoT durante a rotina do experimento



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

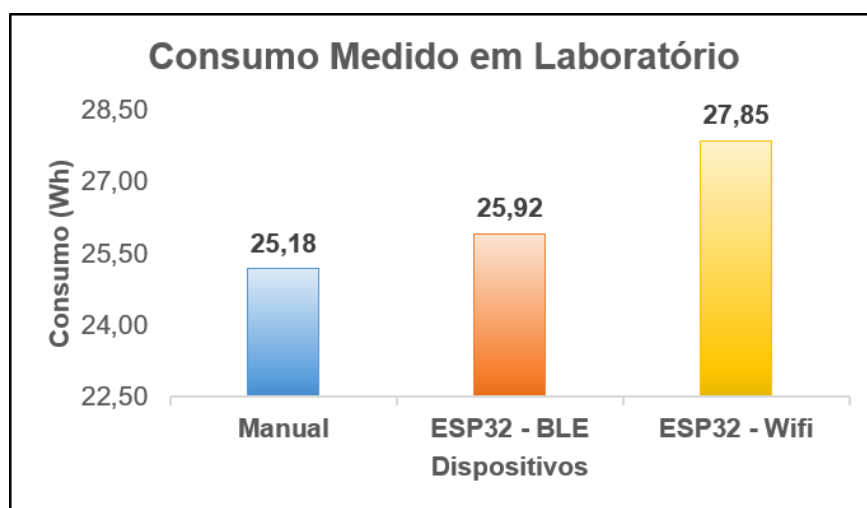
Nota-se que entre a comunicação BLE e WiFi, o sistema consome uma maior corrente quando utiliza a comunicação WiFi. O Gráfico 2, mostra a potência do sistema para a mesma rotina, os mesmos cenários e o mesmo tempo. A maior potência continua sendo apresentada quando o sistema utiliza a comunicação WiFi. Sabe-se que a variação da corrente e da potência interfere no consumo, assim se ambas aumentarem ou diminuïrem o consumo também é diretamente alterado.



**Gráfico 2** – Potência do sistema IoT durante a rotina do experimento

**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

O Gráfico 3, abaixo, mostra o consumo do sistema em Wh medido em laboratório.

**Gráfico 3** – Consumo do sistema IoT medido em laboratório

**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

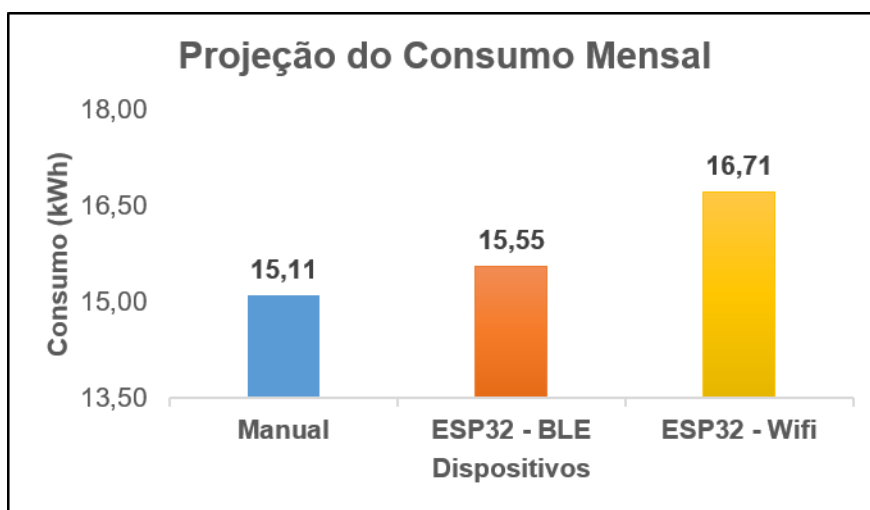
Pode-se visualizar no Gráfico 3 que quando as lâmpadas são acionadas de forma manual o consumo é de 25,18 Wh, adicionando-se o sistema e acionando as mesmas usando a comunicação BLE o consumo é de 25,92 Wh e quando é utilizada a comunicação WiFi o consumo aumenta para 27,85 Wh. Por tanto, após inserir o sistema há aumento do consumo de apenas 0,74 Wh (BLE) e 2.18 Wh (WiFi), o que equivale,

respectivamente a 3% e 8%. Se fossem adicionadas, mais lâmpadas esse aumento seria proporcional.

Porém, é importante destacar que o aumento do consumo com a inserção do sistema desenvolvido, é descontado na economia de até 60% que pode ser gerada, justamente por conta do maior controle sob o acionamento das lâmpadas que tais sistemas podem possibilitar (MARQUES e TOGGWEILER, 2017).

Fazendo a projeção desse consumo para o período de um mês e convertendo esses valores para kWh, tem-se os resultados do Gráfico 4.

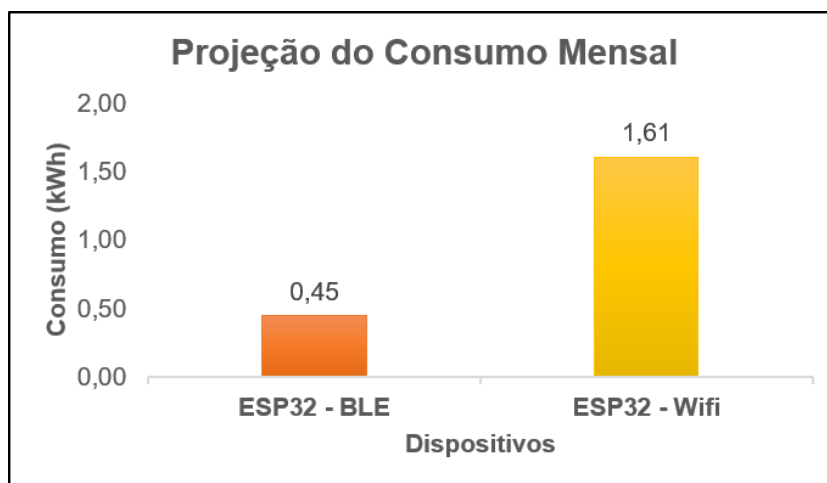
**Gráfico 4** – Projeção do consumo mensal do sistema



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

O consumo seria de 15,55 kWh/mês para a comunicação BLE e 16,71 kWh/mês para a comunicação WiFi, ou seja, a comunicação BLE continua sendo mais vantajosa energeticamente. Então, recomenda-se que o usuário do sistema use esse tipo de comunicação quando estiver em casa, ou se estiver sem acesso à Internet, em virtude do seu menor consumo energético.

O Gráfico 5 mostra o consumo mensal apenas do protótipo do sistema desenvolvido, sem considerar a carga das lâmpadas que foi de 15, 11 kWh/mês.

**Gráfico 5** – Consumo mensal apenas do protótipo do sistema IoT desenvolvido

**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Nota-se que o consumo do sistema utilizando comunicação BLE e WiFi é, respectivamente, de 0,45 kWh/mês e 1,6 kWh/mês. Logo, constata-se que o sistema desenvolvido é eficiente energeticamente, independentemente de qual comunicação esteja sendo utilizada, pois o seu máximo consumo de energia, nesse estudo de caso, seria de 1,6 kWh/mês.

#### 4.4 Payback

Para calcular o tempo de retorno do investimento feito no sistema IoT desenvolvido foram consideradas as seguintes informações: o custo total do sistema no valor de R\$ 341,90 (Tabela 4); o consumo médio de energia com iluminação de 24,31 kWh/mês na região Norte (EPE, 2018), (SOUSA, SANTOS, *et al.*, 2019) ; R\$ 0,67 para o valor do kWh/mês (ANEEL, 2019); economia de 60% com a instalação do sistema (MARQUES e TOGGWEILER, 2017); e a SELIC como taxa de inflação de 6,5% ao ano.

De posse dessas informações foi calculado que o consumo de 24,31 kWh/mês gera um custo mensal de R\$16,28. Porém, se o sistema IoT desenvolvido for instalado, esse consumo diminuiria para 9,72 kWh/mês e o custo mensal passaria R\$6,51. Gerando-se uma economia mensal de 14 kWh/mês e R\$10,07, que equivalem a uma

economia anual de 175 kWh e R\$120,84. Assim, a Tabela 7 mostra o *Payback* descontado do sistema desenvolvido.

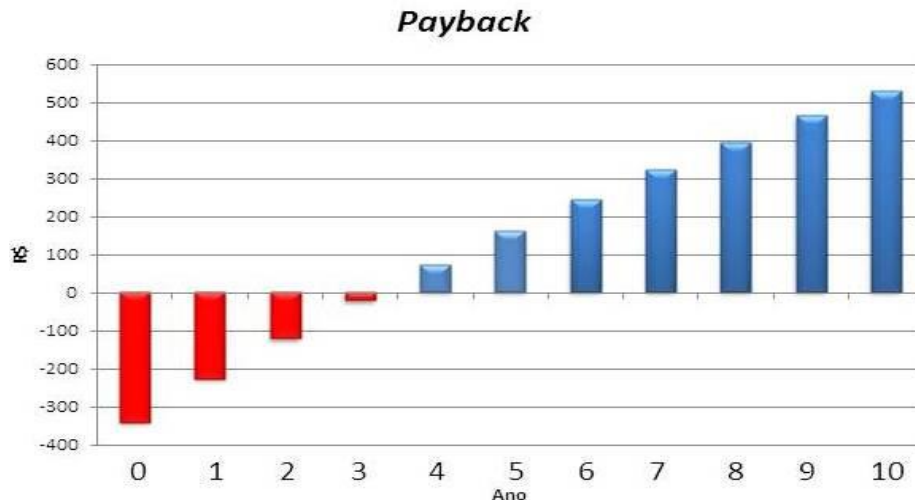
**Tabela 7 – Payback**

Ano	Fluxo de caixa descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-341,9	-341,9
1	113,46	-228,44
2	106,54	-121,90
3	100,04	-21,86
4	93,93	72,07
5	88,20	160,27
6	82,82	243,09
7	77,76	320,85
8	73,02	393,86
9	68,56	462,42
10	64,37	526,80

**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

No Gráfico 6, abaixo, é possível visualizar o tempo *Payback* ao longo dos anos e o valor economizado.

**Gráfico 6 – Consumo mensal apenas do protótipo do sistema IoT desenvolvido**



**Fonte:** Elaborado pela autora do trabalho.

Como podemos visualizar tanto na Tabela 7, quanto no Gráfico 6 com 3 anos e 3 meses o investimento inicial é recuperado. Vale ressaltar foi considerado apenas o preço do kWh estabelecido pela ANEEL, sem considerar os impostos, horários de ponta e fora ponta. Caso, essas variáveis sejam consideradas, o tempo de retorno diminui ainda mais.

#### 4.5 Considerações Finais

Dentre os principais resultados obtido, destaca-se a aplicação dos conceitos da I4.0 no sistema desenvolvido, onde o mesmo atende aos **princípios da I4.0**, no que se refere a **descentralização**, **interoperabilidade** e **operação em tempo real**. Utiliza os seus **elementos fundamentais**, sendo eles **CPS**, **IoT** e **IoS**, e da suas **principais tecnologias**, aplicou-se a **automação** no sistema de iluminação, a **Computação em Nuvem** ao usar a *CloudMQTT* e novamente a **IoT**.

Em relação ao consumo energético do sistema IoT desenvolvido, quando o mesmo utiliza a comunicação BLE ele consome 0,45 kwh/mês e quando utiliza a comunicação WiFi seu consumo é de 1,6 kWh/mês. O investimento inicial com o custo do sistema é de R\$341,90 e o tempo de *Payback* desse valor é de 3 anos e 3 meses.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusão

Mediante ao que foi apresentado no decorrer deste trabalho, conclui-se que a I4.0 está literalmente revolucionando a humanidade, através de seus princípios, elementos fundamentais e tecnologias. A IoT é apenas uma das vertentes desta maravilhosa revolução e ela também está mudando o mundo através da conexão de tudo e todos a Internet. Nesse contexto a EE é uma grande aliada para potencializar a I4.0 e a IoT, seja tornando os dispositivos, sistemas e processos mais eficientes, ou desenvolvendo aplicações que ajudem a promover a EE.

Assim, o sistema IoT desenvolvido neste trabalho, abrange esses dois casos, pois o mesmo já nasce eficiente energeticamente, por conta das tecnologias e materiais utilizados, e a aplicação ao qual o sistema destina-se, também favorece a economia de energia. Pois, o usuário pode ter maior controle sob o acionamento das lâmpadas de sua residência, gerando também economia de dinheiro.

O controle do sistema pode ser tanto localmente através do BLE, usando o app *BLE Scanner*, quanto remotamente pelo app *MQTTDash* e a *CloudMQTT*. O sistema também apresenta baixo consumo energético, pois de acordo com as medições do experimento realizado em laboratório o sistema consumiu 0,74 Wh quando utiliza a comunicação BLE e no máximo 2,67 Wh quando utiliza a comunicação WiFi. Fazendo a projeção do consumo mensal desses valores, eles correspondem a, respectivamente, 0,45 kWh/mês e 1,61 kWh/mês. Logo, a comunicação BLE é a mais eficiente energeticamente, porém mesmo utilizando a comunicação WiFi, ainda assim é um representa um baixo consumo.

Além disso, o custo do sistema IoT desenvolvido de R\$ 341,90 pode ser considerado um baixo valor, comparado com os sistemas IoT para iluminação presentes no mercado. Esse valor pode ser considerado ainda mais em conta, se comparado os valores cobrados pelas empresas especialistas em automação residencial para instalar um sistema de automação para iluminação. Além de poder ser recuperado em aproximadamente em 3 anos e 3 meses.

Logo, o sistema IoT desenvolvido alcançou o seu objetivo principal, ao qual visava controlar o circuito de iluminação residencial utilizando as comunicações BLE e WiFi, além de ser eficiente energeticamente e de baixo custo. Utilizando uma das principais tecnologias da I4.0, a IoT.

Contudo, é importante ressaltar que essa revolução está apenas começando e que é preciso buscar conhece-la para poder usufruir da melhor forma possível de seus benefícios, mitigar seus impactos negativos e usar a fusão entre o mundo físico, biológico e virtual, para termos um mundo melhor, através de aplicações, como a proposta neste trabalho.

## **5.2 Propostas de trabalhos futuros**

- Usar o WiFi e BLE simultaneamente, por mais que seja necessário trocar o microcontrolador.
- Fazer a detecção automática de qual tipo de comunicação (BLE e WiFi) utilizar, sem que o usuário precise escolher e ter que reprogramar o módulo ESP32.
- Criar um app especialmente para o sistema e que seja único para os dois tipos de comunicação (BLE e WiFi).

## **5.3 Dificuldades**

Alguns problemas e dificuldades surgiram durante o desenvolvimento deste trabalho, porém as soluções foram sendo encontradas (algumas na literatura e outras na prática) e os desafios foram sendo superados aos poucos, como por exemplo:

- Como o ESP 32 é relativamente novo (2016), a maioria dos códigos (em linguagem C ou C++) são para o seu antecessor o ESP8266 (ESP12), assim para esta aplicação os códigos de referência encontrado eram para a ESP8266 (ESP12), por isso foi preciso modificá-lo para o ESP 32.
- As bibliotecas também foram algo que deram bastante trabalho, pois algumas nativas do IDE do Arduino não funcionam adequadamente para o ESP 32,

então foi preciso realizar a troca ou modificação das mesmas, porém realizar a sua modificação é muito mais complexo. Além disso, elas também precisam estar localizadas adequadamente para que não ocorra erro de localização ou duplicidades.

- Como o ESP32 possuir as duas comunicações (BLE e WiFi), inicialmente achou-se que seria possível utilizá-las simultaneamente, porém isso não é possível, por conta de uma limitação de hardware, pois ele só possui uma antena para ambas as comunicações. Mais informações no que diz respeito a esse assunto podem ser encontradas no fórum da *Espressif*: < <https://esp32.com/viewtopic.php?t=6707> >
- Observou-se que o pino “Vin” não pode estar ligado diretamente no circuito, pois impede que o Módulo ESP 32 inicialize corretamente, mediante a isso foi inserida uma chave de ligar e desligar diretamente a esse pino.



## REFERÊNCIAS

AB COMPUTER. IoT: Internet das Coisas. **AB Computer**, 2019. Disponível em: <<https://www.abcomputer.com/iot>>. Acesso em: 30 maio 2019.

ABDI. Agenda brasileira para a I4.0. **Indústria4.0**. Disponível em: <<http://www.industria40.gov.br/>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

ABESCO. Conheça dicas para economizar energia na Bandeira Vermelha. **Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia**, 2017. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/novidade/conheca-dicas-para-economizar-energia-na-bandeira-vermelha/>>. Acesso em: fev. 2019.

ABESCO. O que é Eficiência Energética? (EE), **Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia**, 2019. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>>. Acesso em: fev. 2019.

ABINC. Sobre a ABINC. **Associação Brasileira de Internet das Coisas**, 2019. Disponível em: <<https://abinc.org.br/abinc/>>. Acesso em: fev. 2019.

ALIEXPRESS. Bluetooth 4.0 Smart Bulb. **Ali Express**, 2019. Disponível em: <[https://pt.aliexpress.com/item/32839093642.html?src=google&albslr=202585590&albh=shopping&acnt=494-037-6276&isdl=y&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google\\_7\\_shopping&aff\\_platform=google&aff\\_short\\_key=UneMJZVf&albagn=888888&albcpr=1626568036&albag=65942329430&trgt](https://pt.aliexpress.com/item/32839093642.html?src=google&albslr=202585590&albh=shopping&acnt=494-037-6276&isdl=y&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&aff_platform=google&aff_short_key=UneMJZVf&albagn=888888&albcpr=1626568036&albag=65942329430&trgt)>. Acesso em: 21 abr. 2019

ALTUS. Conheça os nove pilares da Indústria 4.0 e sua relevância para a atividade industrial. **Altus Sistemas de Automação**, 2019. Disponível em: <<https://www.altus.com.br/blog/categoria/2/detalhe/212/conheca-os-nove-pilares-da-industria-4-0-e-sua-relevancia-para-a-atividade-industrial>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

AMAZON. Philips Hue Bulb Starter Kit Com 4 Lâmpadas Inteligentes. **Amazon**, 2019. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/Philips-Bulb-Starter-L%C3%A2mpadas-Inteligentes/dp/B07354SP1C>>. Acesso em: jul. 2019.

ANEEL. **Manual do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica**. Brasília, 2012.

ANEEL. Programa de Eficiência Energética. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica>>. Acesso em: fev. 2019.

ANEEL. Programa de Eficiência Energética. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/ped-eficiencia-energetica>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

ANEEL. Dicas de economia e uso racional de energia. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2017. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/17-05\\_materia2\\_3.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/17-05_materia2_3.pdf)>. Acesso em: fev. 2019.

ANEEL. Ranking das Tarifas. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2019. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

ANTHONY, S. IBM unveils world's first 5nm chip. **Ars Technica**, 2017. Disponível em: <<https://arstechnica.com/gadgets/2017/06/ibm-5nm-chip/>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

APPLE. Apple Home Kit. **Apple**, 2019a. Disponível em: <<https://www.apple.com/shop/accessories/all-accessories/homekit>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

APPLE. Apple HomeKit. **Apple**, 2019b. Disponível em: <<https://www.apple.com/shop/product/HL432ZM/A/eve-light-switch?fnode=f61157da48a84cb9498c24d29b2f662b5a57bf47b8c13b807c8c29b5c3124d8f29008c8eb3f24f1a25bfb747c72bba6b0a57e8e29da7c250fbe55661019ff493d2e48b488f50e7cbb0d92aeb73f35ffeb82eb9936840162352baf9a2ebf>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

ARDUINO. Sketch. **Arduino**, 2019b. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/tutorial/sketch>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

ARDUINO. ARDUINO UNO REV 3. **Arduino**, 2019a. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em: 21 abril 2019.

AURÉLIO. Dicionário do Aurélio Online. **Dicionário do Aurélio**, 2018. Disponível em: <<https://dicionariodoaurelio.com/eficiencia>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

AUTODESK. EAGLE. **Autodesk**, 2019. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/products/eagle/overview#>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

SANTOS, Beatrice; ALBERTO, Agostinho; LIMA, Tânia Miranda. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 11, p. 111-124, 2018.

BEENERGY. O que é Eficiência Energética e quais seus benefícios. **Beenergy**, 2019. Disponível em: <<https://beenergy.com.br/eficiencia-energetica-beneficios/>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

BNDES. **Estudo "Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil" - Produto 2A Roadmap Tecnológico**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, Rio de Janeiro, v. 2.0, 2017.

BRASIL. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Lei para obrigatoriedade de investimentos em pesquisa e desenvolvimento em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 jul. 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9991.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9991.htm)>. Acesso em: fev. 2019.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Lei de Eficiência Energética. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 out. 2001. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/leis\\_2001/l10295.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm)>. Acesso em: mar. 2019.

BRASIL; Ministério de Minas e Energia; Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético e Departamento de Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética: premissas e diretrizes básicas**, 2008. Disponível em: <<http://bibspi.planejamento.gov.br/handle/iditem/183>>. Acesso em: mar. 2019.

BRASIL. Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019. **Plano Nacional de Internet das Coisas**, 2019. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2019/decreto/D9854.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9854.htm)>. Acesso em: mar. 2019.

BRASIL. Portal interinsitucional. **Frente Parlamentar Mista em apoio às Cidades Inteligentes**, 2019. Disponível em: <<http://fpcidadesinteligentes.com.br/>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

BREW CITY PC. Illustration: elenabs/adobe stock. **Brew City PC**, 2019. Disponível em: <<https://brewcitypc.com/home-services/illustration-elenabs-adobe-stock/>>. Acesso em: mar. 2019.

SANTOS, Bruno; SILVA, Lucas; CELES, Clayson; BORGES NETO, João; PERES, Bruna; VIEIRA, Marcos Augusto; VIEIRA, Luiz Filipe; GOUSSEVSKAIA, Olga; LOUREIRO, Antonio. **Internet das Coisas: da Teoria à Prática**. In: XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2016, Salvador. **Livro de Minicursos**. p. 1-50, 2016.

LIMMEECHOKCHAI, Bundit; WINYUCHAKRIT, Pornphimol. **Development of Thailand's Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) for Low Carbon Society**: Energy security and co-benefit aspects. In: International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE). Pattaya, Thailand: IEEE. 2014.

BUXMANN, Peter; HESS, Thomas; RUGGABER, Rainer. Internet of services. **Business & Information Systems Engineering**, v. 1, n. 5, p. 341, 2009.

CASA DA ROBÓTICA. Sensores & Módulos. **Casa da Robótica**, 2019. Disponível em: <<https://www.casadarobotica.com/sensores-e-modulos/kit-com-37-modulos-e-sensores-caixa>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

CASTRO, Degmar Felgueiras. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA A INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS**. 2015. 138 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

CELPA. Dicas de economia. **CELPA**, 2019. Disponível em: <<http://www.celpe.com.br/corporativo/informacoes/dicas-de-economia>>. Acesso em: 8 fev. 2019.

CESAR. União Internacional de Telecomunicações aprova recomendação do CESAR para Internet das Coisas. **CESAR**, 2019. Disponível em: <<https://www.cesar.org.br/index.php/2019/04/22/uniao-internacional-de-telecomunicacoes-aprova-recomendacao-do-cesar-para-internet-das-coisas/>>. Acesso em: mar. 2019.

CLOUD MQTT. Hosted message broker for the Internet of Things. **CloudMQTT**, 2019. Disponível em: <<https://www.cloudmqtt.com/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

CNI. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Confederação Nacional da Indústria. Brasília, p. 34. 2016.

BLAAUW, D; SYLVESTER, D.; DUTTA, P.; LEE, Y.; LEE, I.; BANG, S.; KIM, Y.; KIM, G.; PANNUTO, P.; KUO, Y-S.; YOON, D.; JUNG, W; FOO, Z.; CHEN, Y.-P. ; OH, S.; JEONG, S.; CHOI, M. **IoT Design Space Challenges: Circuits and Systems**. In: Symposium on VLSI Technology: Digest of Technical Papers. Honolulu, HI, EUA: IEEE. 2014. p. 2.

DESIGN SPARK. 11 Internet of Things (IoT) Protocols You Need to Know About. **Designspark**, 2015. Disponível em: <<https://www.rs-online.com/designspark/eleven-internet-of-things-iot-protocols-you-need-to-know-about>>. Acesso em: 2 maio 2018.

DOIT. DOIT Esp32 DevKit v1. **Zerynth**, 2019. Disponível em: <[https://docs.zerynth.com/latest/official/board.zerynth.doit\\_esp32/docs/index.html](https://docs.zerynth.com/latest/official/board.zerynth.doit_esp32/docs/index.html)>. Acesso em: mar. 2019.

ELÉTRICA, M. D. Como funcionam as lâmpadas LED. **Mundo da Elétrica**. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funcionam-as-lampadas-led/>>. Acesso em: jun. 2019.

ELETROBRÁS. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil - Ano base 2005 - Classe residencial - Relatório Brasil**. ELETROBRÁS / PROCEL. [S.l.], p. 15. 2007.

ELETROBRÁS. **Dicionário da Energia Elétrica da Eletrobrás**. [S.l.]: Eletrobrás, 2012.

EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>>. Acesso em: mar. 2019.

EPE. Eficiência Energética. **Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/abcedenergia/eficiencia-energetica>>. Acesso em: fev. 2019.

ESPRESSIF. Esp32 Overview. **Espressif**, 2019. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp32/overview>>. Acesso em: mar. 2018.

ESPRESSIF. ESP-WROOM-32 Datasheet. Versão 2.9. 2019.

LOUREIRO, Rodrigo. Segurança ainda é o desafio para a internet das coisas decolar no Brasil. **Exame**, 2019. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/tecnologia/seguranca-ainda-e-o-desafio-para-a-internet-das-coisas-decolar-no-brasil/>>. Acesso em: jul. 2019.

EXATRON. Sensor de Presença Soquete E27. **Exatron**, 2019. Disponível em: <<https://www.exatron.com.br/produtos/sensor-de-presenca-soquete-e27>>. Acesso em: mar. 2019.

FILIPEFLOP. Módulo Relé de Estado Sólido SSR 2 Canais 5V. **Filipe Flop**, 2019. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-de-estado-solido-ssr-2-canais-5v/>>. Acesso em: mar. 2019.

FINDER. Sensores de movimento e presença x Economia de Energia. **Finder**, 2019. Disponível em: <<https://www.findernet.com/pt-br/brazil/news/sensores-de-movimento-e-presenca-x-economia-de-energia>>. Acesso em: 01 jul. 2019.

FIRJAN. **Indústria 4.0: Panorama da Inovação**. [S.l.]. 2016.

FMI. **Deep Shift - Technology Tipping Points and Societal Impact**. World Economic Forum. [S.l.]. 2015.

GARTNER. Hype Cycle Emerging Technologies. **Gartner**, 2018. Disponível em: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-08-20-gartner-identifies-five-emerging-technology-trends-that-will-blur-the-lines-between-human-and-machine>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

GARTNER. Gartner Hype Cycle. **Gartner**, 2019. Disponível em: <<https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

GEARBEST. NodeMCU ESP8266. **Gearbest**. Disponível em: <[https://br.gearbest.com/transmitters-receivers-module/pp\\_366523.html](https://br.gearbest.com/transmitters-receivers-module/pp_366523.html)>. Acesso em: 21 abr. 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.

GUIMARÃES, N. Experiências conectadas. **Medium**. Disponível em: <<https://medium.com/ux-design-natal/experi%C3%AAs-conectadas-5af7b2f59dde>>. Acesso em: 23 Março 2019. Acesso em: 23 mar. 2019.

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física 2 - Gravitação, Ondas, Termodinâmica**. 10ª. ed. Brasil: LTC, 2016.

HELLER. **As 12 tecnologias disruptivas que vão mudar nossa sociedade e a economia, 2017**. Disponível em: <<https://www.hellerdepaula.com.br/tecnologias-disruptivas/>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. **ResearchGate**, 2015.

IBM. IBM Watson IoT Platform. **IBM**, 2019. Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/marketplace/internet-of-things-cloud>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

IEA. **Energy Efficiency of the Internet of Things: Technology and Energy Assessment Report Prepared for IEA 4E EDNA**. Paris: International Energy Agency - IEA, 2016. Disponível em: <<https://www.iea-4e.org/document/384/energy-efficiency-of-the-internet-of-things-technology-and-energy-assessment-report>>. Acesso em: 4 dez. 2018.

IEA. **Picture of Market Report Series: Energy Efficiency 2018**. IEA. [S.l.], p. 174. 2018. Acesso em: 21 abr. 2019.

IEA. Multiple benefits of energy efficiency. **IEA**, 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/energyefficiency/multiplebenefits/>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

IEEE. **Towards a Definition of the Internet of Things (IoT)**. Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE, 2015. 86 p. Disponível em: <[https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE\\_IoT\\_Towards\\_Definition\\_Internet\\_of\\_Things\\_Revision1\\_27MAY15.pdf](https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf)>. Acesso em: 11 jan. 2019.

IESE. **IESE Cities in Motion Index**, 2019. Disponível em: <<https://blog.iese.edu/cities-challenges-and-management/2019/05/10/iese-cities-in-motion-index-2019/>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

INMETRO. Lâmpada LED. **INMETRO**, 2019. Disponível em: <<http://inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

INTEL. Processador Intel® Core™ i9-7900X. **Intel Corporation**, 2018. Disponível em: <<https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/products/processors/core/x-series/i9-7900x.html>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

ISO. ISO/IEC 29161:2016 (en) - Information technology — Data structure — Unique identification for the Internet of Things. **ISO/IEC**, 2016. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:29161:ed-1:v1:en>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

ISO. ISO/IEC TR 22417:2017(en) - Information technology — Internet of things (IoT) use cases. **ISO/IEC**, 2017. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/73148.html>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

ISO. ABNT NBR ISO 50.001. **Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso**, 2018.

ISO. ISO/IEC 30141:2018(en) - Internet of Things (IoT) — Reference Architecture, 2018b. **ISO/IEC**, 2018a. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/69470.html>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

ISO. ISO/IEC 20924: 2018(en): Information technology — Internet of Things (IoT) — Vocabulary. Genebra: International Organization for Standardization - ISSO. **ISO/IEC**, 2018b. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:20924:ed-1:v1:en>>. Acesso em: 6 mar. 2019.

ISO. ISO 37122:2019 Sustainable cities and communities - Indicators for smart cities. **ISO**, 2019. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:37122:ed-1:v1:en>>. Acesso em: abr. 2019.

ISO. ISO/IEC 21823:2019 (en) - Internet of things (IoT) - Interoperability for internet of things systems -- Part 1: Framework. **ISO/IEC**, 2019. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/71885.html>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

ITU. **The Internet of the Internet of**. [S.l.], p. 28. 2005.

ITU. **ITU-T Y.2060: Overview of the Internet of Things**. Genebra: International Communications Union. **ITU**, 2012.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. **Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. Forschungs Union; Acatech. [S.l.]. 2013.

LASI, Heiner; FETTKE, Peter; FELD, Thomas; HOFFMANN, Michael. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, Springer, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.

LEMOS, A. IBM Model for Internet of Things. **Research Gate**, 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/IBM-Model-for-Internet-of-Things-IBM-X-Force-Threat-Intelligence-Quarterly-2014\\_fig1\\_315933732](https://www.researchgate.net/figure/IBM-Model-for-Internet-of-Things-IBM-X-Force-Threat-Intelligence-Quarterly-2014_fig1_315933732)>. Acesso em: 23 ago. 2018.

LUTRON. Conciencia y prácticas de consumo energético en los hogares de Latinoamérica 2016. **LUTRON**, 2016. Disponível em: <<http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/research-strudy-brasil.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

MAGRANI, E. **A Internet das Coisas**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas - FGV, 2018. 190 p.

MAIER, Alexander; SHARP, Andrew; VAGAPOV, Yuriy. **Comparative Analysis and Practical Implementation of the ESP32**. 7th International Conference on Internet Technologies and Applications. Wrexham: IEEE. 2017.

MARQUES, L. D. S.; TOGGWEILER, J. G. **Automação residencial para conservação e eficiência energética por meio de técnicas de inteligência artificial**. Florianópolis.: Trabalho de conclusão de curso da Faculdade de Sistema de Informação da Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

MARTIN. Indústria 4.0: Definição, Princípios de Design, Desafios e o Futuro do Emprego. **Cleverism**, 2019. Disponível em: <<https://www.cleverism.com/industry-4-0/>>. Acesso em: 2019. Acesso em: 21 abr. 2019.

MERCADO LIVRE. 25x Mini Fonte Hi-link 5v Hlk-pm01 100~240vac - Esp8266. **Mercado Livre**, 2019. Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1158103581-25x-mini-fonte-hi-link-5v-hlk-pm01-100240vac-esp8266-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1158103581-25x-mini-fonte-hi-link-5v-hlk-pm01-100240vac-esp8266-_JM)>. Acesso em: 16 abr. 2019.

RÜßMANN, Michael; LORENZ, Markus; GERBERT, Philipp; WALDNER, Manuela; JUSTUS, Jan; ENGEL, Pascal; HARNISCH, Michael. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing. **The Boston Consuting Group**, v. 9, 2015.  
MICROSOFT. O que é computação em nuvem?. **Microsoft**, 2019. Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/pt-br/overview/what-is-cloud-computing/>>. Acesso em: 2019.



LI, Min; GU, Wenbin; Chen, WEI; HE, Yeshen; WU, Yannian; ZHANG, Yiyang. Smart Home: Architecture, Technologies and Systems. **Procedia Computer Science**, v. 131, p. 393-400, 2018.

MOORE, Gordon E. Cramming more components onto integrated circuits. **Intel Corporation**, 1965. Disponível em: <<https://newsroom.intel.com/wp-content/uploads/sites/11/2018/05/moores-law-electronics.pdf>>. Acesso em: 2019.

MUSE, Larissa Paredes. **Iluminação Pública No Contexto Das Cidades Inteligentes: Matriz Multicritério para Aplicação do LED e da IoT**. Dissertação de Mestrado – Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

MUTSCHLER, Ann Steffora. Semiconductor Engineerier. **Site da Semiconductor Engineerier**, 2018. Disponível em: <<https://semiengineering.com/designing-for-ultra-low-power-iot-devices/>>. Acesso em: 28 Abril 2019.

MWALLIANCE. Non-Energy Benefits of Energy Efficiency, **MWALLIANCE**. Disponível em: <[http://www.mwalliance.org/sites/default/files/media/NEBs-Factsheet\\_0.pdf](http://www.mwalliance.org/sites/default/files/media/NEBs-Factsheet_0.pdf)>.

NEPIOT. Sobre a NEPIoT. **NEPIoT**, 2019. Disponível em: <<http://www.nepiot.com.br/WP/sobre/>>. Acesso em: 16 mar. 2019.

OLIVEIRA NETO, Célio Pereira. **Trabalho em ambiente Virtual: causas, efeitos e coformação**. São Paulo: Tese de outorado em direito do trabalho - Pontifícia Unversidade Católica de São Paulo - PUC/SP, 2017.

OLIVEIRA, Ricardo Rodrigues. **Uso do Microcontrolador ESP8266 para automação**. Rio de Janeiro: Projeto de Graduação Curso de Engenharia de Controle e Automação da Escola Politécnica, 2017.

ONU. ONU - Agenda 2030. **ONU**, 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 8 Fevereiro 2019.

OPTIMUS. LED X Incandescente X Fluorescente. **Optimus**. Disponível em: <<http://optimusprojetos.com.br/?p=674>>. Acesso em: jun. 2019.

PEREIRA, Adriano; SIMONETTO, Eugênio de Oliveira. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.

PHILIPS. Philips Hue. **Philips**, 2019. Disponível em: <<https://www2.meethue.com/pt-br/about-hue>>. Acesso em: abr. 2018.

PLAY STORE. MQTT Dash. **Play Store.** Disponível em: <[https://play.google.com/store/apps/details?id=net.routix.mqttdash&hl=pt\\_BR](https://play.google.com/store/apps/details?id=net.routix.mqttdash&hl=pt_BR)>. Acesso em: 16 abr. 2019.

RASPBERRY PI. Raspberry Pi 3 Modelo B +. **Raspberry Pi Foundation.** Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

RUDE BAGUETTE. Mobile and smart devices set to drive turnaround in France's tech device market. **Rude Baguette.** Disponível em: <<https://www.rudebaguette.com/2014/02/mobile-smart-devices-set-drive-turnaround-frances-tech-device-market/?lang=en>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

SACOMANO, José Benedito; GONÇALVES, Rodrigo Franco; BONILLA, Sílvia Helena. **Indústria 4.0: Conceitos e fundamentos.** [S.l.]: Edgard Blücher, 2018.

SCHWAB, K. **A quarta Revolução Industrial.** 1ª. ed. São Paulo: Edipro, 2016.

SILVA, Jonathan de Carvalho; RODRIGUES, Joel JPC; ALBERTI, Antonio M.; SOLIC, Petar; AQUINO, Andre LL. **LoRaWAN — A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities.** In: 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech). Split: IEEE. 2017.

SINGER, T. **Tudo conectado: conceitos e representações da internet das coisas.** II Simpósio em tecnologias digitais e sociabilidade. [S.l.]: [s.n.]. 2012.

SONNOFF. Sonnoff Tech. **Sonnoff**, 2019. Disponível em: <<https://sonoff.tech/>>. Acesso em: 2019. Acesso em: 16 mar. 2019.

SOUSA, Antonio Roniel M.; SANTOS, Paulo R.; FONSECA, Wellington da Silva; MANITO, Allan R. A.; ARAÚJO, Ramon C. F.; LOBATO, Elen P. S. **Automação Residencial e Eficiência Energética: Um Estudo De Caso.** COBENGE 2019, Fortaleza, 2019.

SOUSA, Rafaela. Primeira Revolução Industrial. **Brasil Escola**, 2019. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/primeira-revolucao-industrial.htm>>. Acesso em: 1 junho 2019.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica.** Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2016.

TOSTE, Maria Emília. Aula 1 - Tópicos Especiais: Introdução a Eficiência Energética. **Google Drive**, Belém, 2019. Disponível em: <[https://drive.google.com/drive/folders/1vnPzQ1WMcR2mH\\_nre22iYf5CQsBalzxi](https://drive.google.com/drive/folders/1vnPzQ1WMcR2mH_nre22iYf5CQsBalzxi)>. Acesso em: jun. 2019.

UPPERTOOLS. A Internet das Coisas e seu potencial econômico. **Uppertools**. Disponível em: <<https://www.uppertools.com.br/blog/internet-das-coisas-e-seu-potencial-economico/>>. Acesso em: 30 maio 2019.

URBAN SYSTEMS. Ranking Connected Cities 2018. **Urban Systems**, 2018. Disponível em: <[https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/48668/1540214167CSC\\_2018\\_Urban.pdf](https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms/files/48668/1540214167CSC_2018_Urban.pdf)>. Acesso em: jun. 2019.

VALENTE, Fredy J.; NETO, Alfredo C. **Intelligent steel inventory tracking with IoT / RFID**. IEEE International Conference on RFID Technology & Application (RFID-TA). Warsaw, Poland: [s.n.]. 2017.

VERMESAN, Ovidiu; FRIESS, Peter. **Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems**. Aalborg: River Publishers, 2013. 363 p.

WI TECNOLOGIA. Preço médio sistema de automação, Belém, 2019. Disponível em: <[https://drive.google.com/drive/folders/1-PyUIh1GIF-moX5pEbhw\\_ykdLaFFHJmi?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1-PyUIh1GIF-moX5pEbhw_ykdLaFFHJmi?usp=sharing)>. Acesso em: jul. 2019.

ZHANG, Xiaowen; ZHANG, Hudong. **The Accelerated Life Experiment Study**. 2011 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering. Xi'an, China: IEEE. 2011.

## APÊNDICE A – Script principal

```

/*
 *
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
Discente: Elen Priscila de Souza Lobato
Orientador: Prof. Dr. Wellington Fonseca
Tema: Sistema IoT para o controle de iluminação residencial baseado nos
princípios da Indústria 4.0
Ano: 2019
Autores: Priscila Lobato e Fernando Paiva
Descrição: Código para ESP32 de controle de relés via BLE (Bluetooth Low
Energy) ou WiFi
Versão: 7

 */

//Código principal

#include "BLE.h"          // Arquivo de configuração para a comunicação BLE
#include "Wifi.h"         // Arquivo de configuração para a comunicação WiFi

//Macro de controle para configurar o código para a conectar via WiFi
#define WIFI_CON          // Comente essa linha caso deseje usar a comunicação
BLE

void setup()
{

    #ifndef WIFI_CON      //Configuração inicial da comunicação WiFi
        WifiSetup();
    #else
        BLESetup();      //Configuração inicial da comunicação BLE
    #endif

}

void loop()
{

    #ifndef WIFI_CON
        WifiLoop();      //Função de conexão com WiFi
    #endif

}

```

## APÊNDICE B – Arquivo de configuração para a comunicação BLE

```
// Arquivo de configuração para a comunicação BLE
//
// Este código é baseado no projeto disponível no link abaixo
// Código base: https://www.fernandok.com/2018/08/esp32-bluetooth-low-energy.html

// Bibliotecas
#include <BLEDevice.h>
#include <BLEServer.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLE2902.h>
#include "PINS.h" // Arquivo de configuração do pinos

BLECharacteristic *characteristicTX; // Através desse objeto iremos
enviar dados para o cliente

// Macros que definem o UUID da característica usada na troca de mensagem
#define SERVICE_UUID "6E400001-B5A3-F393-E0A9-E50E24DCCA9E" //
UART service UUID
#define CHARACTERISTIC_UUID_RX "6E400002-B5A3-F393-E0A9-E50E24DCCA9E"
#define CHARACTERISTIC_UUID_TX "6E400003-B5A3-F393-E0A9-E50E24DCCA9E"

// Callback para receber os eventos de conexão de dispositivos
class ServerCallbacks: public BLEServerCallbacks {
    void onConnect(BLEServer* pServer) {

    };

    void onDisconnect(BLEServer* pServer) {

    };
};

// Callback para eventos das características
class CharacteristicCallbacks: public BLECharacteristicCallbacks {
    void onWrite(BLECharacteristic *characteristic)
    {
        //retorna ponteiro para o registrador contendo o valor atual da
        característica
        std::string BLEmessage = characteristic->getValue();

        //verifica se existe dados (tamanho maior que zero)
        if (sizeof(BLEmessage) > 0)
        {
            // Envia o comando para ser executado
            executeCommand(atoi(BLEmessage.c_str()));
        }
    }
}
```

```

void BLESetup()
{
    setupPins();    //Realiza a configuração inicial do pinos

    Serial.begin(115200);

    // Cria o dispositivo BLE
    BLEDevice::init("ESP32-BLE"); // Define o nome do dispositivo Bluetooth
    // Cria o servidor BLE
    BLEServer *server = BLEDevice::createServer();
    // Configura o callback do servidor
    server->setCallbacks(new ServerCallbacks());
    // Cria o serviço serviço do BLE
    BLEService *service = server->createService(SERVICE_UUID);
    // Cria a característica do BLE para enviar os dados
    characteristicTX = service->createCharacteristic(
        CHARACTERISTIC_UUID_TX,
        BLECharacteristic::PROPERTY_NOTIFY
    );

    //Adiciona um descritor n característica
    characteristicTX->addDescriptor(new BLE2902());

    // Cria a característica do BLE para receber os dados
    BLECharacteristic *characteristic = service->createCharacteristic(
        CHARACTERISTIC_UUID_RX,
        BLECharacteristic::PROPERTY_WRITE
    );

    characteristic->setCallbacks(new CharacteristicCallbacks());

    // Inicia o serviço
    service->start();
    // Anuncia o dispositivo BLE
    server->getAdvertising()->start();

    Serial.println("Esperando uma conexão do cliente para notificar ...");
}

```

## APÊNDICE C – Arquivo de configuração para a comunicação WiFi

```
// Arquivo de configuração para a comunicação WiFi

//Bibliotecas
#include <FS.h>
#include <WiFi.h>
#include <DNSServer.h>
#include <WebServer.h>
#include <WiFiManager.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <SPIFFS.h>
#include "PINS.h"          // Arquivo de configuração do pinos

// defina seus valores padrão aqui, se houver valores diferentes em
// config.json, eles serão sobrescritos.
char servidor_mqtt [40] = "INSIRA AQUI O ENDEREÇO DA SUA NUVEM";
char servidor_mqtt_porta [6] = " INSIRA AQUI O N° DA POSTA DA SUA NUVEM";
char servidor_mqtt_usuario [20] = " INSIRA AQUI O USUÁRIO DA SUA NUVEM ";
char servidor_mqtt_senha [20] = " INSIRA AQUI A SENHA DA SUA NUVEM ";
char mqtt_topico_sub [30] = " INSIRA AQUI O TÓPICO";

WiFiClient espClient;    //Instância do WiFiClient
PubSubClient client(espClient); //Passando a instância do WiFiClient como
//parâmetro do PubSubClient

// Sinalizador para salvar dados
bool shouldSaveConfig = false;

// Callback que notifica a necessidade de salvar configurações
void saveConfigCallback () {
    Serial.println ("deve salvar configurações");
    shouldSaveConfig = true;
}

//Função que reconecta ao servidor MQTT
void reconectar() {
    //Repete até conectar
    while (!client.connected()) {
        Serial.print("Tentando conectar ao servidor MQTT...");

        bool conectado = strlen(servidor_mqtt_usuario) > 0 ?
            client.connect("ESP32Client", servidor_mqtt_usuario,
servidor_mqtt_senha) :
            client.connect("ESP32Client");
    }
}
```

```

    if(conectado) {
        Serial.print("Conectado ao broker MQTT");

        //Assina o tópico para receber as mensagem
        client.subscribe(mqtt_topico_sub, 1); //QoS 1
    }
    else {
        Serial.print(false, "Falhou ao tentar conectar ao broker MQTT.
Código de erro: ");
        Serial.print(false, String(client.state()).c_str());
        Serial.print(false, "Tentando novamente em 5 segundos...");
        //Aguarda 5 segundos para tentar novamente
        delay(5000);
    }
}

//Função que será chamada ao receber mensagem do servidor MQTT
void retorno(char* topico, byte* mensagem, unsigned int tamanho) {
    if(sizeof(mensagem) > 0)
    {
        executeCommand(atoi((const char*)mensagem));
    }
}

//Configuração inicial da comuninação WiFi
void WifiSetup()
{
    setupPins();    // Função para a configuração do pinos

    Serial.begin(115200);
    Serial.println("...");

    //Formata a memória interna
    //(descomente a linha abaixo caso queira apagar o sistema de arquivo
    //SPIFFS.format();

    //Iniciando o SPIFSS (SPI Flash File System)
    Serial.println("Iniciando o SPIFSS (SPI Flash File System)");
    if (SPIFFS.begin()) {
        Serial.println("Sistema de arquivos SPIFSS montado!");
        if (SPIFFS.exists("/config.json")) {

            //Arquivo de configuração existe e será lido.
            Serial.println("Abrindo o arquivo de configuração...");
            File configFile = SPIFFS.open("/config.json", "r");
            if (configFile) {
                Serial.println("Arquivo de configuraçãoo aberto.");
                size_t size = configFile.size();

```



```

//Alocando um buffer para armazenar o conteúdo do arquivo.
std::unique_ptr<char[]> buf(new char[size]);

configFile.readBytes(buf.get(), size);
DynamicJsonBuffer jsonBuffer;
JsonObject& json = jsonBuffer.parseObject(buf.get());
json.printTo(Serial);
if (json.success()) {
    //Copia as variáveis salvas previamente no arquivo json para a
memória do ESP.
    Serial.println("Arquivo json analisado.");
    strcpy(servidor_mqtt, json["servidor_mqtt"]);
    strcpy(servidor_mqtt_porta, json["servidor_mqtt_porta"]);
    strcpy(servidor_mqtt_usuario, json["servidor_mqtt_usuario"]);
    strcpy(servidor_mqtt_senha, json["servidor_mqtt_senha"]);
    strcpy(mqtt_topico_sub, json["mqtt_topico_sub"]);

    } else {
        Serial.println("Falha ao ler as configurações do arquivo
json.");
    }
}
} else {
    Serial.println("Falha ao montar o sistema de arquivos SPIFSS.");
}
//Fim da leitura do sistema de arquivos SPIFSS

//Parâmetros extras para configuração
//Depois de conectar, parameter.getValue() vai pegar o valor
configurado.
//Os campos do WiFiManagerParameter são: id do parâmetro, nome, valor
padrão, comprimento
WiFiManagerParameter custom_mqtt_server("server", "Servidor MQTT",
servidor_mqtt, 40);
WiFiManagerParameter custom_mqtt_port("port", "Porta",
servidor_mqtt_porta, 6);
WiFiManagerParameter custom_mqtt_user("user", "Usuario",
servidor_mqtt_usuario, 20);
WiFiManagerParameter custom_mqtt_pass("pass", "Senha",
servidor_mqtt_senha, 20);
WiFiManagerParameter custom_mqtt_topic_sub("topic_sub", "Topico para
subscrever", mqtt_topico_sub, 30);

```

```

//Inicialização do WiFiManager. Uma vez iniciado não é necessário mantê-lo
em memória.
WiFiManager wifiManager;

//Definindo a função que informará a necessidade de salvar as
configurações
wifiManager.setSaveConfigCallback (saveConfigCallback);

//Adicionando os parâmetros para conectar ao servidor MQTT
wifiManager.addParameter(&custom_mqtt_server);
wifiManager.addParameter(&custom_mqtt_port);
wifiManager.addParameter(&custom_mqtt_user);
wifiManager.addParameter(&custom_mqtt_pass);
wifiManager.addParameter(&custom_mqtt_topic_sub);

//Busca o ID e senha da rede wifi e tenta conectar.
//Caso não consiga conectar ou não exista ID e senha,
//cria um access point com o nome "AutoConnectAP" e a senha "senha123"
//E entra em loop aguardando a configuração de uma rede WiFi válida.
if (!wifiManager.autoConnect("ESP32 AutoConnectAP", "senha123")) {
    Serial.println("Falha ao conectar. Excedeu o tempo limite para
conexão.");
    delay(3000);
    //Reinicia o ESP.
    ESP.restart();
    delay(5000);
}

Serial.println("Conectado ao WiFi!!!");

//Ler os parâmetros atualizados
strcpy(servidor_mqtt, custom_mqtt_server.getValue());
strcpy(servidor_mqtt_porta, custom_mqtt_port.getValue());
strcpy(servidor_mqtt_usuario, custom_mqtt_user.getValue());
strcpy(servidor_mqtt_senha, custom_mqtt_pass.getValue());
strcpy(mqtt_topico_sub, custom_mqtt_topic_sub.getValue());

//Salva os parâmetros informados na interface do WiFiManager
if (shouldSaveConfig) {
    Serial.println("Salvando as configurações");
    DynamicJsonBuffer jsonBuffer;
    JsonObject& json = jsonBuffer.createObject();
    json["servidor_mqtt"] = servidor_mqtt;
    json["servidor_mqtt_porta"] = servidor_mqtt_porta;
    json["servidor_mqtt_usuario"] = servidor_mqtt_usuario;
    json["servidor_mqtt_senha"] = servidor_mqtt_senha;
    json["mqtt_topico_sub"] = mqtt_topico_sub;
}

```

```
File configFile = SPIFFS.open("/config.json", "w");
if (!configFile) {
    Serial.println("Houve uma falha ao abrir o arquivo json.");
}

json.printTo(Serial);
json.printTo(configFile);
configFile.close();
}

Serial.println("Local IP: ");
Serial.println(WiFi.localIP());

//Informa ao cliente do PubSub o endereço do servidor e a porta.
int portaInt = atoi(servidor_mqtt_porta);
client.setServer(servidor_mqtt, portaInt);
client.setCallback(retorno);

}

//Função de repetição (será executada até o ESP ser desligado)
void WifiLoop() {
    if (!client.connected()) {
        reconectar();
    }
    client.loop();
}
```

## APÊNDICE D – Arquivo de configuração dos pinos

```
// Arquivo de configuração dos pinos
#include <EEPROM.h>

#ifndef _PINS_H_
#define _PINS_H_

#define N_PINS 8    //Macro que define o número de relés (lâmpadas)

bool pinsInit = false;

//Pinos dos relés (lâmpadas)
const int L1 = 13;
const int L2 = 12;
const int L3 = 14;
const int L4 = 27;
const int L5 = 15;
const int L6 = 2;
const int L7 = 4;
const int L8 = 16;

// Vetor usado para a declaração do pinos
uint8_t pins[N_PINS] = {L1,L2,L3,L4,L5,L6,L7,L8};
//Vetor pra armazenar estado dos pinos
uint8_t statePins[N_PINS];

//Função para salvar o estado dos pinos na memória
void savePinsState()
{
    EEPROM.begin(N_PINS);
    for(uint8_t k = 0; k < N_PINS; k++)
    {
        statePins[k] = digitalRead(pins[k]);
        EEPROM.write(k,statePins[k]);
    }
    EEPROM.end();
}

// Função para recuperar o estado dos pinos na memória
void recoverPinsState()
{
    EEPROM.begin(N_PINS);
    for(uint8_t k = 0; k < N_PINS; k++)
    {
        statePins[k] = EEPROM.read(k);
        digitalWrite(pins[k],statePins[k]);
    }
    EEPROM.end();
}
```

```
// Função para a configuração dos pinos
void setupPins()
{
    if(!pinsInit)
    {
        for(uint8_t k = 0; k < N_PINS; k++)
        {
            pinMode(pins[k],OUTPUT);
        }
        recoverPinsState();
        pinsInit = true;
    }
}

//Função que executa o comando
void executeCommand(uint8_t cmd)
{
    setupPins();

    uint16_t pin;
    uint8_t state;

    if(cmd >= 100)
    {
        pin = abs(100 - cmd);
        state = 1;
    }
    else
    {
        pin = cmd;
        state = 0;
    }

    digitalWrite(pins[pin],state ? HIGH : LOW);
    savePinsState();
}

#endif
```

## ANEXO A – Pinout Módulo ESP32 DEV KIT V1

