



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE RUSSAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE SOFTWARE

THAYANE SHEYLA MOREIRA REBOUÇAS

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO
BLUETOOTH E WI-FI NO CONTEXTO DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL**

RUSSAS

2019

THAYANE SHEYLA MOREIRA REBOUÇAS

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO
BLUETOOTH E WI-FI NO CONTEXTO DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Software da Universidade Federal do Ceará – Campus Russas, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Software.

Orientador: Prof. Ms. João Victor Castelo Martins

RUSSAS

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R242a Rebouças, Thayane Sheyla Moreira.
 Análise comparativa entre as tecnologias de comunicação Bluetooth e Wi-Fi no contexto de Automação Residencial / Thayane Sheyla Moreira Rebouças. – 2019.
 90 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, , Russas, 2019.
Orientação: Prof. Me. João Victor Castelo Martins .

1. Casas Inteligentes . 2. Bluetooth. 3. Wi-Fi. 4. Experimento Controlado. I. Título.

CDD

THAYANE SHEYLA MOREIRA REBOUÇAS

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS TECNOLOGIAS DE COMUNICAÇÃO
BLUETOOTH E WI-FI NO CONTEXTO DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Software da Universidade Federal do Ceará – Campus Russas, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Software.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ms. João Victor Castelo Martins (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ms. Alex Lima Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ms. José Osvaldo Mesquita Chaves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Deus, que diariamente manifesta em nós o seu zelo e o seu amor. Sua paz e sua misericórdia têm me dado fé, sua presença tem sido minha infinita fonte de motivação.

AGRADECIMENTOS

Toda honra e glória, toda gratidão e toda reverência àquele que é digno, portanto, meu agradecimento à Deus, inteligência suprema, inquestionável e incomparável. Não apenas pela conclusão deste trabalho, ou pelo encerramento de um ciclo, mas, simplesmente por tudo. Desde aquilo que já se foi até o que virá. Cada conquista, cada aprendizado, cada oportunidade. Dou-lhe graças pela dádiva de viver um novo dia a cada dia.

Meu agradecimento à minha família, meus pais Maria de Fátima e Evandro Rebouças pelo carinho, amor e dedicação. Por acreditarem em mim e serem minha base, não tenho palavras para descrever o quanto os amo! Aos meus irmãos e irmã, Tiago, Tasso e Thaysa Rebouças pelas risadas, pela força e por cada frase de incentivo! Os quero de mais! Deus soube, antes mesmo de que eu me “desse conta”, o quanto estar na presença de vocês me faria querer ser uma pessoa melhor, pois fez de vocês o meu ideal de irmandade, parceria, família.

Às minhas cunhadas Laênia Almeida e Camila Silva e ao meu cunhado Wellington Rodrigues Júnior por alegrarem minha vida com suas companhias e por se fazerem presentes em todos os momentos me aconselhando e me dando suporte. Wellington Júnior, obrigada por compartilhar seu conhecimento técnico comigo e tornar a realização dos experimentos tratados neste trabalho possível, sem seu auxílio eu não teria conseguido nem metade.

Dedico minha gratidão e meu mais amplo sorriso aos meus amores, vulgo sobrinhos! Lucas, Miguel e Maria Luísa Rebouças. Se alguma vez eu fui meio “coruja” na vida, a culpa é de vocês.

Meu muito obrigada aos meus orientadores, professor João Victor Castelo Martins e professor Francisco Nauber Bernardo Gois, pela paciência e dedicação, este trabalho não seria nem a sombra do que é sem o compromisso e a instrução de vocês. Também estendo meu agradecimento aos professores José Osvaldo Mesquita Chaves, Anna Beatriz dos Santos Marques e Alex Lima Silva, minha banca nos TCCs I e II, pelos profissionais atenciosos e gentis que são e por terem aceitado meu convite e comporem minhas bancas. De modo geral, agradeço a todos os meus professores da UFC Campus de Russas por compartilharem comigo e com meus colegas seus conhecimentos e suas experiências. Gratidão aos amigos que a faculdade me apresentou, incluindo meu time no Núcleo de Soluções em Software, vocês são incríveis!

“O temor do Senhor ensina a sabedoria, e a
humildade antecede a honra.”

(Provérbios 15:33, Bíblia Sagrada)

RESUMO

A automação residencial consiste na utilização de tecnologias para realizar o controle do ambiente doméstico, provendo a minimização da intervenção humana e trazendo mais conforto, praticidade e segurança, além de promover uma gestão eficiente desse ambiente. O uso destas tecnologias em prol da automatização faz da camada de comunicação um aspecto importante para sistemas de casas inteligentes. Dito isto, é interessante observar a existência de uma diversidade de padrões, modelos e protocolos de comunicação que têm potencial para serem utilizados em sistemas de controle residencial. Tecnologias de comunicação como o Bluetooth e o Wi-Fi se destacam como umas das mais utilizadas neste contexto. Deste modo, este trabalho visou analisar as tecnologias Bluetooth e Wi-Fi através de um estudo experimental envolvendo aplicações reais de automação residencial, além de que, esta análise comparativa permitiu explorar as singularidades destes modelos de comunicação. Para isto, os módulos Bluetooth 2.0 e o ESP8266-01 foram submetidos a um experimento controlado em um cenário real de atuação, no qual, parâmetros como eficiência energética e performance, no que diz respeito ao tempo de resposta, foram investigados para averiguar a existência de diferença significativa entre tais módulos nos parâmetros considerados. Como resultado obtido, verificou-se, formalmente via teste de *Mann-Whitney*, que existe diferença significativa entre o Bluetooth 2.0 e o ESP8266-01 em relação à eficiência energética e performance. Outra conclusão obtida, dentro do cenário utilizado para os testes, é a de que o Bluetooth demonstrou ser uma tecnologia de comunicação mais interessante para a Domótica do que o Wi-Fi.

Palavras-chave: Casas Inteligentes. Bluetooth. Wi-Fi. Experimento Controlado.

ABSTRACT

Home automation consists of the use of technologies to control the home environment, providing the minimization of human intervention and bringing more comfort, practicality and safety, besides promoting an efficient management of this environment. Using these technologies for automation makes the communication layer an important aspect for smart home systems. That said, it is interesting to note the existence of a diversity of communication standards, models and protocols that have the potential to be used in home control systems. Communication technologies such as Bluetooth and Wi-Fi stand out as one of the most used in this context. Thus, this work aimed to analyze the Bluetooth and Wi-Fi technologies through an experimental study involving real home automation applications, besides that, this comparative analysis allowed to explore the singularities of these communication models. For this, the Bluetooth 2.0 modules and the ESP8266-01 were subjected to a controlled experiment in a real performance scenario, in which parameters such as energy efficiency and response time were investigated to verify the existence. significant difference between such modules in the considered parameters. As a result, it was found, formally via the Mann-Whitney test, that there is a significant difference between Bluetooth 2.0 and ESP8266-01 regarding energy efficiency and performance. Another conclusion, within the scenario used for testing, is that Bluetooth proved to be a more interesting communication technology for home automation than Wi-Fi.

Keywords: Smart Houses. Bluetooth. Wi-Fi. Controlled Experiment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de divisão das funções da Domótica	19
Figura 2 – Elementos básicos em casas inteligentes	23
Figura 3 – Arduino Pro Mini	27
Figura 4 – Representação do ATmega328p	27
Figura 5 – <i>Quick Control</i>	28
Figura 6 – <i>SnuHome</i>	29
Figura 7 – Esquemático geral do sistema de automação residencial usado	30
Figura 8 – Pesquisa comparativa	40
Figura 9 – Processo de um experimento controlado.....	41
Figura 10 – Planejamento do experimento	42
Figura 11 – Processo geral de operação de um experimento	43
Figura 12 – Representação de um gráfico de caixas (<i>Box-Plot</i>)	43
Figura 13 – Exemplo de gráfico de caixas (<i>Box-Plot</i>).....	44
Figura 14 – Passo a passo para a escolha do tipo de teste de hipóteses	47
Figura 15 – Distribuição simétrica e assimétrica	48
Figura 16 – Esquemático do circuito de medição do consumo energético	52
Figura 17 – Circuito da placa de controle	55
Figura 18 – Tabulação dos dados de consumo	60
Figura 19 – Teste de normalidade do consumo nos estados ocioso e ativo	65
Figura 20 – Variáveis para as transformações do consumo	66
Figura 21 – Teste de normalidade das transformações do consumo	67
Figura 22 – Teste <i>Mann-Whitney</i> do consumo nos estados ocioso e ativo	68
Figura 23 – Teste <i>Mann-Whitney</i> das transformações para o consumo	69
Figura 24 – Visualização do canal de atuação do ESP8266-01 via InSSIDer	70
Figura 25 – Tabulação dos dados de tempo de resposta	71
Figura 26 – Teste de normalidade do tempo de resposta	74
Figura 27 – Variáveis para as transformações do tempo de resposta.....	75
Figura 28 – Teste de normalidade das transformações para o tempo de resposta.....	75
Figura 29 – Teste <i>Mann-Whitney</i> do tempo de resposta	76
Figura 30 – Teste <i>Mann-Whitney</i> das transformações para o tempo de resposta.....	77
Figura 31 – Teste <i>Mann-Whitney</i> para a variação da transformação recíproca e para a amostra com a remoção de valores máximos.....	78

Figura 32 – Circuito da placa de medição de consumo.....	87
Figura 33 – Estatística descritiva do consumo no estado ocioso.....	88
Figura 34 – Estatística descritiva do consumo no estado ativo.....	89
Figura 35 – Estatística descritiva do tempo de resposta.....	90

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Ano de publicação e número de citações dos Trabalhos Relacionados	33
Gráfico 2 – Mapeamento da revisão dos Trabalhos Relacionados.....	38
Gráfico 3 – Histogramas do consumo em estado ocioso.....	62
Gráfico 4 – Histogramas do consumo em estado ativo	62
Gráfico 5 – Gráfico de caixas (<i>Box-Plot</i>) do consumo nos estados ativo e ocioso	64
Gráfico 6 – Histogramas do tempo de resposta.....	72
Gráfico 7 – Gráfico de caixas (<i>Box-Plot</i>) do tempo de resposta	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo da Fundamentação Teórica do Bluetooth e Wi-Fi.....	26
Tabela 2 – Comparação entre as aplicações	31
Tabela 3 – <i>Strings</i> consideradas para a busca de Trabalhos Relacionados	32
Tabela 4 – <i>Goal, Question, Metric</i> (GQM)	41
Tabela 5 – Tipos de transformação de dados	46
Tabela 6 – Variáveis do experimento	50
Tabela 7 – Recursos usados nas medições para aplicação das métricas	51
Tabela 8 – Ameaças à validade	56
Tabela 9 – Fontes da pesquisa comparativa	57
Tabela 10 – Síntese da pesquisa comparativa	58
Tabela 11 – Alguns indicadores da estatística descritiva do consumo.....	61
Tabela 12 – Alguns indicadores da estatística descritiva do tempo de resposta	72
Tabela 13 – Modelo de ficha de extração adotado	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACK	<i>Acknowledgement</i>
ACM	<i>Association for Computing Machinery</i>
AWGN	<i>Additive White Gaussian Noise</i>
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
CEDOM	Asociación Española de Domótica e Inmótica
CONTECSI	<i>International Conference on Information Systems and Tecnology Management</i>
CSV	<i>Comma-separated values</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FHSS	<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>
GHz	Giga-hertz
GQM	<i>Goal, Question, Metric Method</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HTTP	<i>Hyper Text Transfer Protocol</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrial and Electronic Engineers</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPS	<i>Indoor positioning system</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific, Medical</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
mA	<i>Miliampèr</i>
Mbps	Megabit por Segundo
MHz	Mega-hertz
Ms	Milissegundos
mW	Miliwatts
N/A	Não se aplica
NFC	<i>Near Field Communication</i>

PIC	<i>Peripheral Interface Controller</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
SD	<i>Secure Digital</i>
SmartBAN	<i>Smart Body Area Network</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memories</i>
SSP	<i>Secure Simple Pairing</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UHF	<i>Ultra Hight Frequency</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
USP	Universidade de São Paulo
UWB	<i>Ultrawideband</i>
TTL	<i>Transistor-transistor Logic</i>
TI	Tecnologia da Informação
TR	<i>Technical Reports</i>
WBAN	<i>Wireless Body Area Network</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	21
2.1	Objetivo geral.....	21
2.2	Objetivos específicos	21
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
3.1	Automação Residencial.....	22
3.2	Bluetooth.....	24
3.3	Wi-Fi.....	25
3.4	Arduino Pro Mini e ATmega328p	26
3.5	Quick Control.....	28
3.6	SnuHome.....	28
3.6.1	Comunicação entre aplicação e placa de controle	29
4	TRABALHOS RELACIONADOS	32
4.1	Pesquisas cuja metodologia envolve estudo comparativo	33
4.2	Pesquisas cuja metodologia envolve estudo experimental.....	35
4.3	Pesquisa cuja metodologia envolve estudo de caso	35
4.4	Pesquisas cuja metodologia envolve estudo comparativo e experimental.....	36
4.5	Diferenças e semelhanças dos Trabalhos Relacionados e esta pesquisa.....	37
5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	40
5.1	Pesquisa Comparativa	40
5.2	Experimento Controlado	41
5.2.1	Definir escopo	41
5.2.2	Planejar experimento	42
5.2.3	Colocar experimento em prática.....	43
5.2.4	Analisar e interpretar dados	45
5.2.5	Apresentar resultados	48
5.3	Plano do experimento controlado.....	48
5.3.1	Aplicações de automação residencial usadas no experimento	49
5.3.2	Seleção de contexto	49
5.3.3	Definição de hipóteses.....	49
5.3.4	Seleção de variáveis	50
5.3.5	Aplicação das métricas	51

5.3.6	Seleção de participantes	53
5.3.7	Projeto do experimento	53
5.3.8	Definição da instrumentação	54
5.3.8.1	<i>Circuito da placa de controle</i>	54
5.3.9	Ameaças à validade do experimento	55
6	RESULTADOS	57
6.1	Resultado da Pesquisa Comparativa	57
6.2	Resultado do Experimento Controlado	58
6.2.1	Eficiência Energética.....	59
6.2.1.1	<i>Estatística Descritiva do consumo médio</i>	60
6.2.1.2	<i>Análise de dados e tratamento de outliers para o consumo médio</i>	63
6.2.1.3	<i>Teste de hipóteses do consumo médio</i>	67
6.2.2	Performance.....	69
6.2.2.1	<i>Estatística Descritiva do tempo de resposta</i>	71
6.2.2.2	<i>Análise de dados e tratamento de outliers para o tempo de resposta</i>	73
6.2.2.3	<i>Teste de hipóteses do tempo de resposta</i>	75
7	CONCLUSÃO	79
	REFERÊNCIAS	81
	APÊNDICE A – FICHA DE EXTRAÇÃO PARA TRABALHOS RELACIONADOS ..	86
	APÊNDICE B – CIRCUITO DA PLACA DE MEDIÇÃO DE CONSUMO	87
	ANEXO A – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS AMOSTRAS	88

1 INTRODUÇÃO

Conhecida como Casa do Futuro, Domótica ou simplesmente Residência Inteligente, a automação residencial pode ser considerada uma forma de aplicação da Internet das Coisas, que se trata, em resumo, da utilização da internet para que a comunicação, via rede, seja estabelecida entre diferentes objetos, o que inclui eletrônicos, eletrodomésticos, dentre outros. De acordo com Muratori e Dal Bó (2014) os primeiros resquícios de uso da Domótica datam da década de 70.

Segundo Waghmare *et al.* (2017), a automação residencial consiste na extensão das atividades realizadas no ambiente doméstico contemplando sistemas que podem ser desenvolvidos facilmente hoje em dia, graças ao suporte dado por diversas tecnologias existentes que vão desde dispositivos computacionais poderosos até redes de sensores sem fio.

Para Karimi e Krit (2018), uma casa inteligente se resume a uma casa provida de tecnologia para controlar remotamente os sistemas domésticos, em outras palavras, trata-se da aplicação de tecnologias da internet das coisas constituindo um sistema de operação que faz uso de dispositivos eletrônicos a fim de minimizar a intervenção humana. As principais finalidades de uma residência inteligente são: Conforto, praticidade e serviços de segurança.

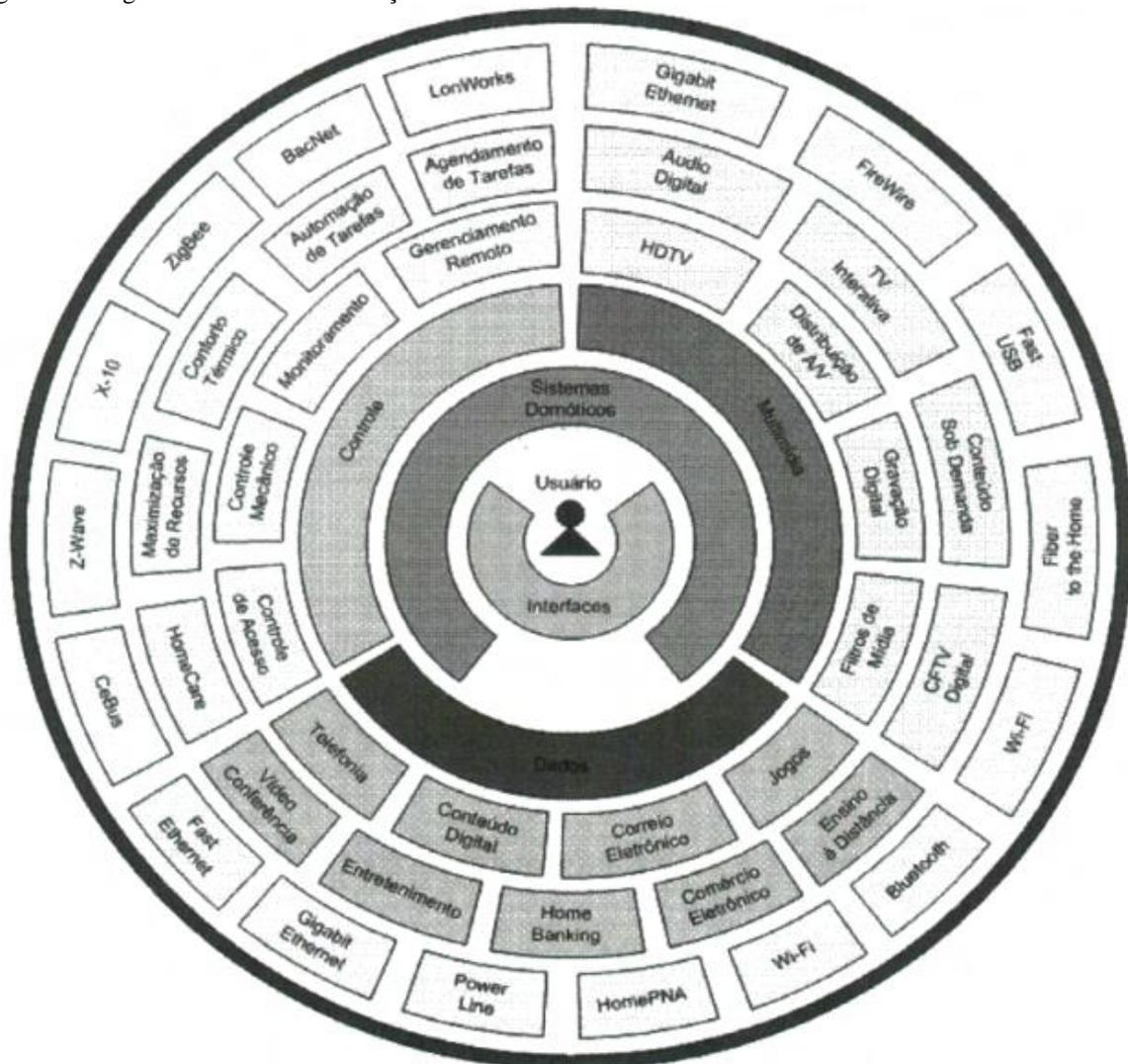
Junto com a disseminação da automatização do ambiente doméstico veio o aumento da demanda de integração entre diferentes aparelhos nesse ambiente. A conexão entre diferentes objetos do mundo real requer uma tecnologia de comunicação adequada, eficaz e que possa garantir uma transferência de dados remota confiável em um ambiente sem fio (MAIER; SHARP; VAGAPOV, 2017).

El-Shweky *et al.* (2018), apontam que a camada de comunicação funciona como a espinha dorsal dos sistemas IoT (do inglês *Internet of Things*) e que para se conseguir interconectar adequadamente o sistema físico com os dispositivos passíveis de controle é necessário escolher um protocolo de comunicação que atenda às necessidades do sistema IoT pretendido. Há diversos protocolos existentes difundidos em diferentes categorias, destes existem aqueles que foram trazidos de outros setores e adaptados para a automação, como também aqueles que foram criados especialmente para a automação (ACCARDI; DODONOV, 2012).

Seguindo o esquema proposto por Bolzani (2007), retratado na Figura 1, que ilustra a domótica em um diagrama planejado de suas funções, é possível observar que Wi-Fi e Bluetooth compõem o grupo dos principais padrões de comunicação identificados ao se

considerar apenas as soluções para residência inteligente cujo tipo de comunicação se dá por radiofrequência.

Figura 1 - Diagrama de divisão das funções da Domótica.



Fonte: Extraído de Bolzani (2007) p. 19.

Diversos trabalhos na literatura comparam diferentes tecnologias dentro do contexto de automação residencial e IoT considerando microcontroladores além dos modelos de comunicação sem fio em seus estudos comparativos. Entretanto, poucos trabalhos analisam o tempo de resposta e a eficiência energética dessas tecnologias.

A razão de se analisar o tempo de resposta no contexto de automação doméstica relaciona-se ao interesse de determinar se há uma diferença significativa entre ambas as tecnologias no dito contexto, bem como qual tecnologia de comunicação pode fornecer uma resposta mais ágil nesse âmbito. Quanto à eficiência energética, tal interesse se restringe na observação da eficiência do consumo de energia entre as mesmas tecnologias.

De acordo com o *survey* conduzido por Waghmare *et al.* (2017), é possível agrupar os sistemas de automação residencial atualmente existentes no mundo em três grupos: sistemas de automação e segurança doméstica baseada em sensores, sistemas inteligentes de autoaprendizagem para automação residencial usando IoT e, por fim, sistemas de residência inteligente usando aplicação Android. Uma inferência interessante obtida por meio desta pesquisa é a de que as conexões Bluetooth ou GSM (*Global System for Mobile Communications*) e de Internet são os principais meios de comunicação nos quais esses sistemas se estabeleceram. Tendo isto como motivação, pretende-se realizar um estudo comparativo entre os padrões Bluetooth e Wi-Fi que configuram umas das mais comuns alternativas de comunicação atuantes na automação doméstica.

Para fomentar este estudo comparativo se realizou um experimento controlado. A realização deste experimento, para abranger o contexto no qual esta pesquisa se concentra, fez uso de dois sistemas reais de automação residencial, cada um relacionado a um dos padrões de conexão em foco.

Tal estudo comparativo e experimental é particularmente útil aos projetistas e/ou desenvolvedores de sistemas de automação residencial dado que lhes fornece um suporte na escolha da tecnologia de comunicação que mais se adequa ao seu propósito por estabelecer um paralelo entre duas das mais utilizadas nesse contexto. Dentre as contribuições almejadas com a realização deste trabalho têm-se a possibilidade de verificar, o tempo de resposta, em termos de performance, e a eficiência energética do padrão de comunicação adotado por cada sistema real adotado no experimento.

O presente trabalho encontra-se estruturado da seguinte forma: No Capítulo dois é apresentado o objetivo geral e os objetivos específicos; no Capítulo três é abordada a fundamentação teórica; no Capítulo quatro os trabalhos relacionados estão dispostos; no Capítulo cinco estão caracterizados os procedimentos metodológicos utilizados e o planejamento do experimento que trata, inclusive, dos métodos de análise e tratamento dos dados obtidos na condução desse experimento; no Capítulo seis estão apresentados os resultados deste estudo e, por fim, o capítulo sete fornece a conclusão e perspectiva futura. Ademais, as referências bibliográficas, os apêndices e o anexo estão dispostos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar os padrões Bluetooth e Wi-Fi dentro do contexto de Automação Residencial visando dispor aos projetistas e desenvolvedores de sistemas de domótica um paralelo entre ambas as alternativas de comunicação observando, experimentalmente, parâmetros como tempo de resposta e eficiência energética.

2.2 Objetivos específicos

- Especificar semelhanças e diferenças entre as tecnologias Bluetooth e Wi-Fi;
- Entender como tais tecnologias se aplicam à automação residencial e explorar suas características;
- Selecionar técnicas de estudo utilizadas em análises comparativas realizadas envolvendo as tecnologias de comunicação Bluetooth e Wi-Fi;
- Envolver aplicações reais de automação residencial que usam Bluetooth e Wi-Fi como padrão de conexão com o intuito de obter dados para mensurar o tempo de resposta e a eficiência energética.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma análise bem estruturada deve considerar a fundamentação teórica por trás do estudo tratado. Neste capítulo são apresentados os conceitos chave deste trabalho. Sua explanação leva em consideração aspectos conceituais e técnicos visando uma fundamentação precisa, concisa e esclarecedora.

3.1 Automação Residencial

Na literatura é possível observar que o termo Automação Residencial também é conhecido como Casa Inteligente, Residência inteligente e Domótica. Lins e Moura (2010) caracterizam esta última como sendo diretamente relacionada a automação e controle de ambientes residenciais, e com isto, compreende-se a utilização do termo Domótica como sinônimo à Automação Residencial.

Uma residência automatizada é aquela que pode ser administrada através do uso de tecnologias para tornar as funções pertinentes à sua operação e controle otimizadas. Uma casa inteligente possibilita que todos os sistemas, em qualquer ponto da casa, possam ser acessados (WORTMEYER; FREITAS; CARDOSO, 2005).

Muratori e Dal Bó (2014) definem Automação Residencial como sendo um conjunto de serviços promovidos por sistemas tecnológicos introduzidos como a melhor forma de satisfazer as necessidades básicas relacionadas a conforto, praticidade, gestão energética e segurança em uma residência.

De acordo com a *Asociación Española de Domótica e Inmótica* (CEDOM) Sistemas de domótica tem a capacidade de coletar informações oriundas de sensores ou entradas, processar tais informações e realizar solicitações aos atuadores ou saídas podendo acessar redes externas de comunicação ou informação.

Segundo Bolzani (2007), a integração de dispositivos eletroeletrônicos e eletromecânicos, que é uma característica da automação doméstica, eleva de maneira notável os benefícios em comparação com sistemas isolados que detém de uma eficiência limitada.

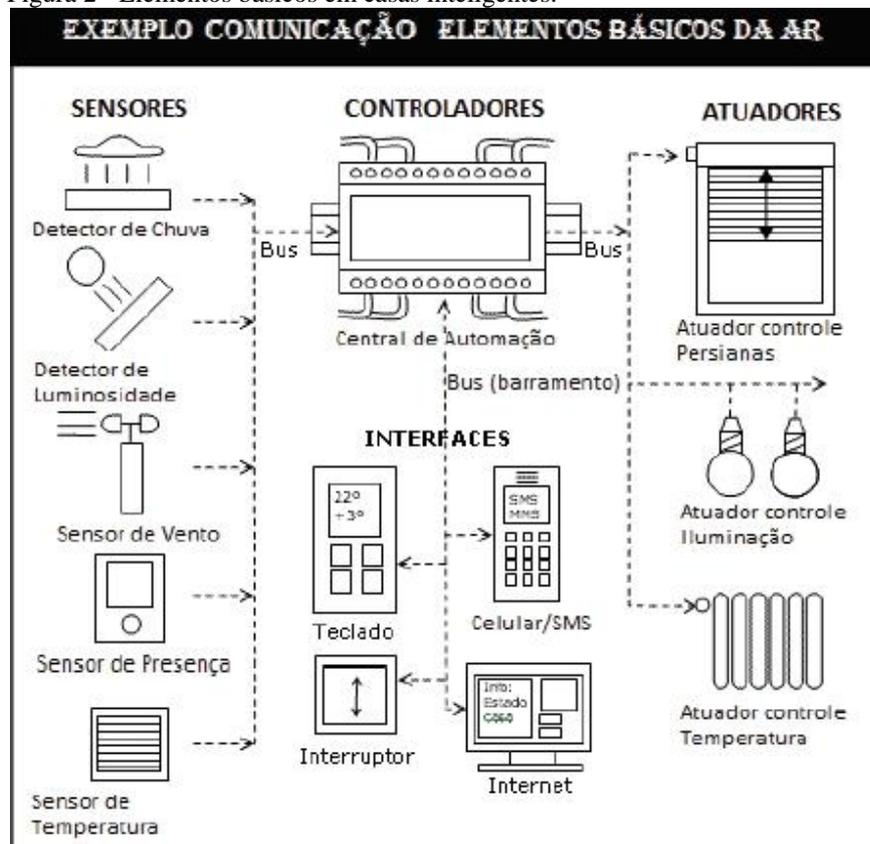
Na Figura 2 é ilustrado de modo geral, os elementos básicos que compõem a Automação Residencial e o modo como a comunicação entre esses elementos normalmente é disposta. Accardi e Dodonov (2012) reforçam que dificilmente se encontra uma residência inteligente que não contenha algum dos elementos descritos a seguir:

- Controladores: dispositivos ativos capazes de controlar outros equipamentos de

alta potência por intermédio de microcontroladores;

- Microcontroladores: pequenos computadores em um único chip integrado que manipulam saídas digitais ou analógicas;
- Atuadores: equipamentos eletrônicos ou eletromecânicos, que na automação residencial, produzem movimentos através de sinais elétricos fornecidos pelos microcontroladores;
- Sensores: dispositivos ativos ou resistivos que captam estímulos e são capazes de fornecer aos microcontroladores valores específicos de tensões elétricas que, geralmente, variam de 0 a 5 volts (com base no padrão *Transistor-transistor Logic-TTL* inerente ao microcontrolador) para repassar ao microcontrolador informações sobre esses estímulos;
- Barramentos: em automação residencial são constituídos de material condutivo (como cobre ou alumínio) sendo sua principal função interligar pontos específicos do sistema;
- Interfaces: expressam o meio de acesso pelo qual o usuário interage com o sistema de automação residencial.

Figura 2 - Elementos básicos em casas inteligentes.



Fonte: Extraído de Casadomo (2010, apud Accardi; Dodonov, 2012, p.157).

3.2 Bluetooth

Em 1998 diversas empresas como a Ericsson, IBM, Nokia, Intel e Toshiba se uniram para criar uma associação cujo objetivo era desenvolver padrões que permitissem a comunicação entre diversificados tipos de dispositivos. O projeto Bluetooth surgiu para manipular o sinal de dados e o sinal de voz, através de comutação de pacotes. Seu nome é um tributo ao rei dinamarquês Harald Blatand, mais conhecido como Harald Bluetooth (Harald Dente-Azul), que curiosamente possuía um tom azulado nos dentes (LUGLI; SANTOS, 2014).

De acordo com Siqueira (2006), o módulo Bluetooth se encontra em mais de 2100 companhias mundo afora. A tecnologia de *Wireless Personal Area Network* (WPAN), que se baseia na especificação Bluetooth, ganhou tanta notoriedade que em 1999 passou a se tratar de um padrão da IEEE sob a designação 802.15.1 que hoje representa uma solução acessível e econômica para a comunicação fim-a-fim em aplicações, fornecendo uma taxa de transmissão que pode chegar a 1 Mbps.

Este módulo de comunicação sem fio permite que a troca de dados entre dispositivos aconteça a curtas distâncias. Seu funcionamento tem como principal característica a radiofrequência, mais especificamente, o uso de ondas de rádio *Ultra High Frequency* (UHF) que são particularmente usadas em redes de área pessoal. Além disso, para inibir interferências o Bluetooth usa um mecanismo que estabelece um padrão de salto de frequência em intervalos de 1 mega-hertz (MHz) dentro da faixa *industrial, scientific, medical* (ISM). Em relação a outra tecnologia de comunicação da família IEEE 802.15, vulgo ZigBee, o custo do Bluetooth é relativamente menor e sua configuração é menos exigente de uma grande potência computacional (BAIG *et al.*, 2014; SIQUEIRA, 2006).

Para Karimi e Krit (2018), o Bluetooth é considerado a base de centenas de produtos e soluções de TI. Atuando em uma frequência de 2,4 giga-hertz (GHz), ele possui uma estrutura física que mede de 10 a 100 milímetros e a sua nova versão Bluetooth *Low Energy* (BLE), projetada para se adequar ainda mais a IoT, fornece um potencial de economia de energia, que o torna uma das tecnologias comercialmente eminentes para o ramo de automação. Atualmente o Bluetooth se encontra na versão 5.1 que permite serviços de localização com uma precisão de centímetros (CABRAL, 2019).

3.3 Wi-Fi

Nos últimos anos, uma variedade de padrões e tecnologias para rede sem fio surgiu visando suprir a demanda de novas aplicações e coberturas. Neste contexto, o padrão 802.11 vem conseguindo ganhar destaque no mercado desde então por sua popularidade, baixo custo e vasta aplicabilidade (ESTES, 2018).

Frequentemente o termo Wi-Fi vem sendo usado como sinônimo ao padrão IEEE 802.11, muitos o consideram uma abreviação da expressão “*Wireless Fidelity*”, ou fidelidade sem fio. Além disso, por norma, o Wi-Fi é constituído de três camadas físicas que definem modos de transmissão alternativos, são elas: *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS), *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) e Infravermelho. Tais camadas, de modo geral, são responsáveis pela especificação do meio de transmissão, por codificar e decodificar os sinais além de recepcionar e transmitir bits (LUGLI; SANTOS, 2014).

O padrão IEEE 802.11 originalmente fornecia uma velocidade de transmissão de, no máximo, 2 Mbps atuando em uma banda de 2,4 GHz em redes locais sem fio (WLANs). Os subpadrões definidos posteriormente amplificaram essa velocidade. O 802.11b permite 11 Mbps, o 802.11a, por sua vez, fornece um máximo de 54 Mbps em uma banda de 5 GHz e o 802.11g fornece os mesmos 54 Mbps em relação a uma banda de 2.4 GHz. Por fim, ainda há o 802.11n que pode atuar em redes com banda de 2,4 e/ou 5 GHz fornecendo cerca de 65 a 600 Mbps. A organização deste padrão pode se definir em dois diferentes modelos de operação: O modelo Ad-Hoc, que estabelece um ponto central de acesso na rede, e o modelo infraestrutura que utiliza somente um ponto de comunicação, sendo este cercado por vários clientes (RUFINO, 2007; LUGLI; SANTOS, 2014).

Segundo Carballar e Falcón (2010), uma das principais vantagens associadas ao uso do Wi-Fi é que esse utiliza o conhecido protocolo TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*). Outro aspecto é o seu preço que, por ser uma tecnologia que está há bastante tempo no mercado, detém de ampla oferta.

Na Tabela 1 é estabelecida uma síntese caracterizando a conceituação geral citada em torno do Bluetooth e Wi-Fi abordada neste capítulo, nela têm-se em suma aspectos básicos de ambos os padrões de rede sem fio.

Tabela 1 - Resumo da Fundamentação Teórica do Bluetooth e Wi-Fi.

	Bluetooth	Wi-Fi
Surgiu com a finalidade de:	Manipular sinais de dados e de voz.	Suprir a demanda de novas aplicações e coberturas no contexto de redes locais sem fio.
Padrão associado:	IEEE 802.15.1	IEEE 802.11
Tipo de rede:	WPAN	WLAN
Taxa máxima de transmissão:	Originalmente até 1 Mbps.	Originalmente até 2 Mbps. Entretanto, sua versão 802.11n fornece de 65 a 600 Mbps.
Característica de funcionamento:	Usa ondas de rádio UHF e para inibir interferências utiliza um mecanismo que estabelece um padrão de salto de frequência em intervalos de 1 MHz.	Estabelece um ponto central de acesso na rede ou utiliza um único ponto de comunicação envolto por vários clientes.
Ano de concepção:	1999	1997

Fonte: Elaboração própria adaptada da Tabela 5.2 de Lugli e Santos (2014) p. 60.

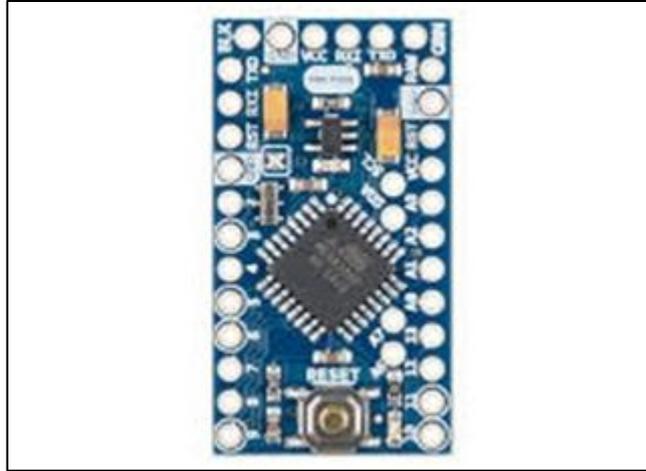
3.4 Arduino Pro Mini e ATmega328p

O Arduino é uma plataforma projetada para fornecer meios mais práticos e menos dispendiosos para que estudantes, projetistas e profissionais possam criar dispositivos que estabeleçam uma interação com o ambiente através de sensores e atuadores. Possui código aberto e pode ser programado e reprogramado facilmente. Criado em 2005, é capaz de atuar como um mini computador gerenciando entradas e saídas para uma diversidade de eletrônicos (LOUIS, 2016).

Em uma variedade de Arduinos, existe o modelo Pro Mini constituído por: 1 microcontrolador ATmega328p, 14 portas digitais, 8 portas analógicas, memória flash de 32 kB, RAM de 2 kB e EEPROM de 1024 bytes. Dispõe de conexão serial ou módulo USB (*Universal Serial Bus*) externo. Existe duas variações do Arduino Pro Mini, uma que opera em uma tensão de 5.0 volts e tem frequência de 16 MHz e outra que opera em uma tensão de 3.3 volts e tem frequência de 8 MHz, esta segunda versão é a utilizada na placa de controle

neste trabalho. Na Figura 3 é apresentado o Arduino Pro Mini (ARDUINO, 2014).

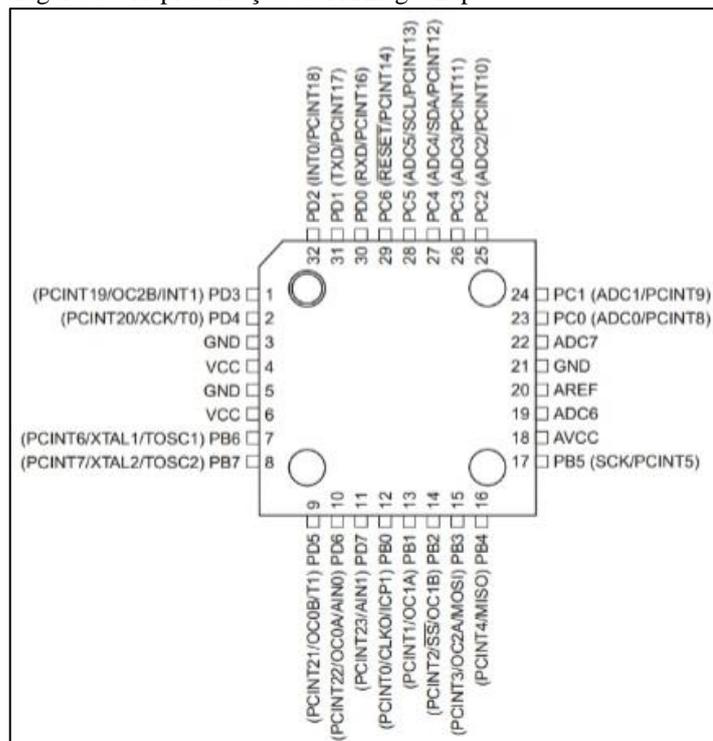
Figura 3 - Arduino Pro Mini.



Fonte: Extraído de Baú da Eletrônica (2019).

O ATmega328p é um microcontrolador cuja fundamentação se estabelece na arquitetura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) composto por memória *Flash* e memória SRAM (*Static Random Access Memories*) sendo muito utilizado em placas Arduino dos tipos Uno, Nano e Pro Mini (ATMEGA328P DATASHEET, 2015). Na Figura 4 a seguir é ilustrado o chip do ATmega328p com suas respectivas identificações das portas lógicas.

Figura 4 – Representação do ATmega328p.



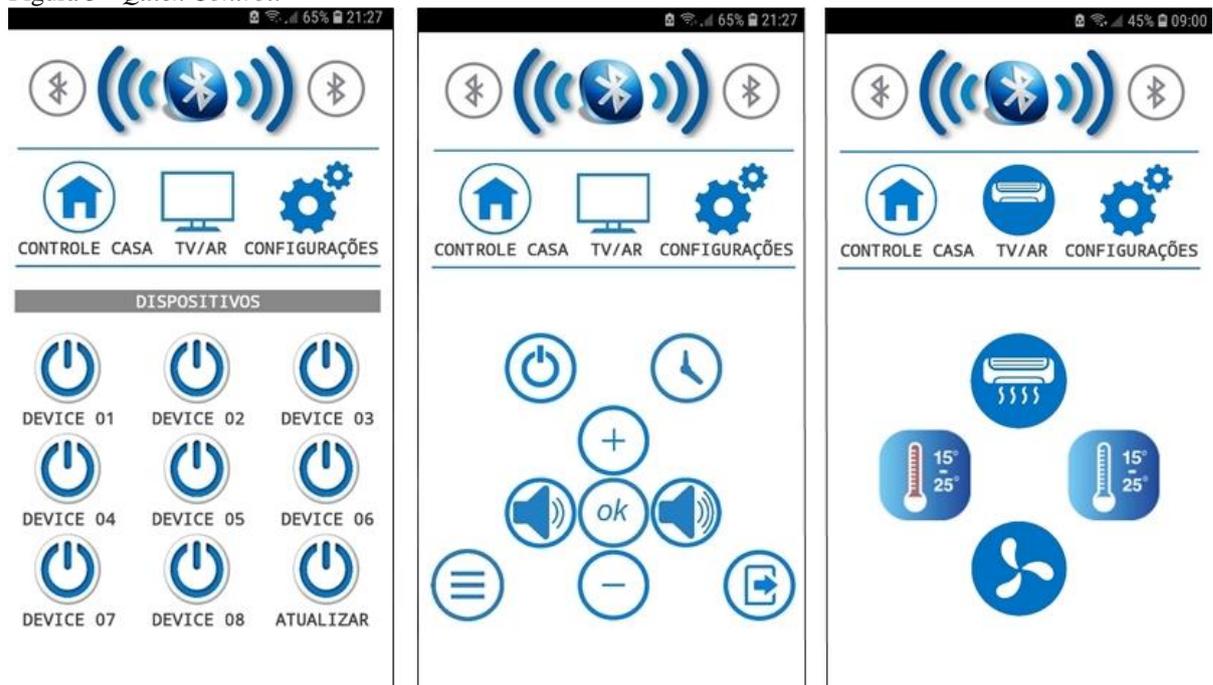
Fonte: Extraído de ATmega328p Datasheet (2015) p. 3.

3.5 Quick Control

O sistema de automação *Quick Control* foi criado em 2016 e adota a plataforma Arduino com conexão via Bluetooth. Faz uso de uma placa de automação composta por um microcontrolador ATmega328P, que possibilita o controle de dispositivos eletrônicos. Além disto, a placa fornece um tratamento específico para o controle da TV e do ar condicionado, uma vez que o aplicativo dispõe de uma função que ajusta os caracteres de controle enviados à placa e com isso os dados recebidos via Bluetooth são tratados para atuar nesses eletrodomésticos.

Foi particularmente desenvolvido para plataformas Android de versão 1.6 ou superior, atualmente conta com mais de 1.000 downloads na Google Play Store. Sua última atualização ocorreu em agosto de 2017 estando na versão 1.2.2. Na Figura 5 é apresentada a tela de dispositivos e as telas para controle da TV e do Ar condicionado.

Figura 5 - *Quick Control*.



Fonte: Elaboração própria.

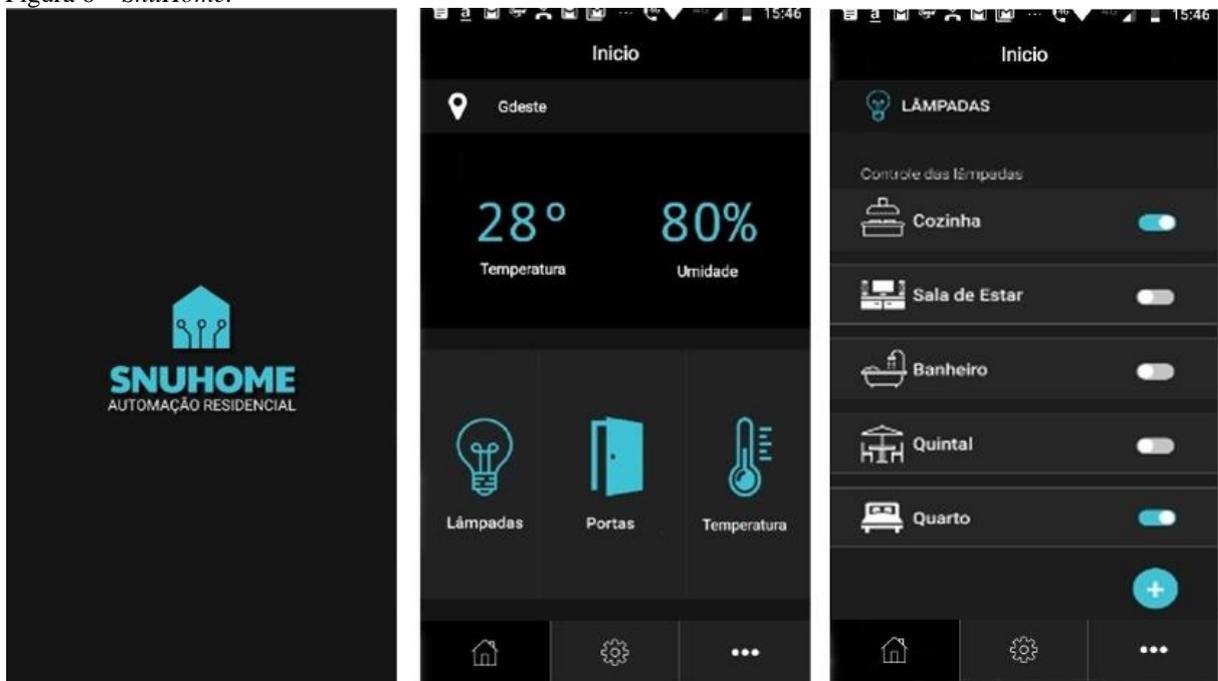
3.6 SnuHome

O sistema de automação intitulado *SnuHome* foi criado em 2018 e se destina à plataforma Android com conexão via Wi-Fi e ainda não está em produção. É baseado no conceito de Internet das Coisas e envia caracteres de controle para o chip ESP8266-01 via

Hyper Text Transfer Protocol (HTTP). A linha ESP8266 caracteriza uma tecnologia na qual uma das finalidades é prover meios de conexão sem fio aos microcontroladores. O ATmega328P é o microcontrolador utilizado, sendo abundantemente usado nas placas Arduino Uno, Nano e Pro Mini (MELO JÚNIOR, 2018).

Segundo Melo Júnior (2018) esta aplicação é capaz de se comunicar à rede de internet e gerenciar dispositivos de entrada e saída. Possui duas rotinas principais: As funções *Setup* e *Loop*, inerentes ao ESP8266 e que são responsáveis pela inicialização do sistema e pelo recebimento e envio de informações via serial. Na Figura 6 é ilustrado a tela de inicialização, a tela principal e a tela de controle de lâmpadas da aplicação.

Figura 6 – *SnuHome*.

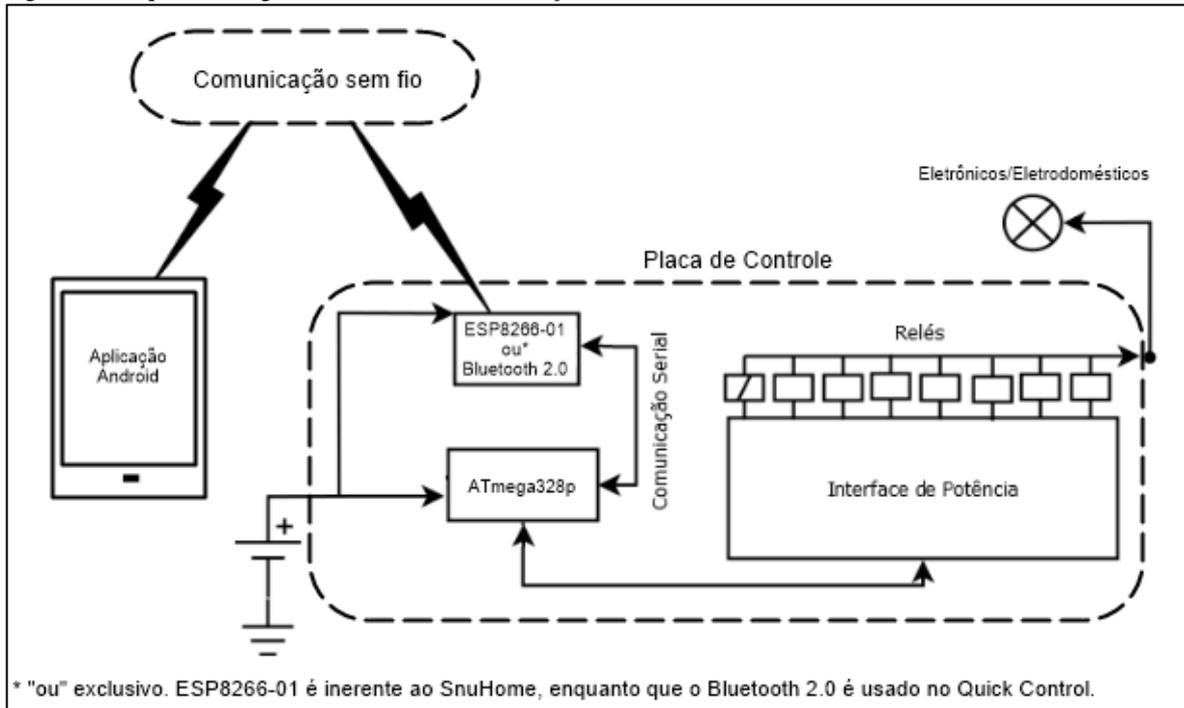


Fonte: Elaboração adaptada de Melo Júnior (2018) p. 34.

3.6.1 Comunicação entre aplicação e placa de controle

O esquemático disposto na Figura 7 ilustra o funcionamento e a interação entre os elementos do sistema de automação usado nesta pesquisa. Esta representação geral é constituída por uma aplicação Android (*Quick Control* ou *SnuHome*), por uma placa de controle que acomoda o módulo de comunicação e o Arduino Pro Mini, no qual o microcontrolador ATmega328p se insere, além dos relés que são os atuadores do sistema de automação e, por fim, há os dispositivos controláveis eletrônicos/eletrodomésticos.

Figura 7 - Esquemático geral do sistema de automação residencial usado.



Fonte: Elaboração própria baseada na Figura 22 de Melo Júnior (2018) p. 33.

O meio de interação entre a aplicação e o sistema de controle acoplado na placa de comunicação é *wireless*, dependendo do tipo de módulo de comunicação, os tipos de rede utilizados são WPAN, no caso do Bluetooth, ou WLAN, no caso do ESP8266-01.

Para o *SnuHome*, o ESP8266-01 é programado na IDE Arduino e atua como um ponto de acesso, gerando uma rede, na qual a aplicação *SnuHome* torna-se capaz de se conectar, uma vez que, é atribuída à essa aplicação o endereço IP (*Internet Protocol*) correspondente a rede gerada pelo módulo ESP8266-01. Deste modo, a comunicação entre módulo e aplicação é possível. O controle dos dispositivos domésticos acontece quando o usuário da aplicação seleciona um botão. Cada botão é associado a um dispositivo, deste modo, o *SnuHome* envia (via Web) um byte, o ESP8266-01 intercepta esse envio, trata essa informação e fornece uma mensagem *Acknowledgement*, ou simplesmente mensagem ACK. Assim que recebido, tais valores são direcionados via conexão serial para o Arduino Pro Mini, que por sua vez, contém uma estrutura de decisão que interpreta o byte obtido acionando uma porta específica na interface de acoplamento. A interface de acoplamento é constituída por um circuito lógico que aciona um relé capaz de ligar/desligar qualquer eletrônico ou eletrodoméstico atribuído.

Para o *Quick Control*, o usuário da aplicação precisa parear o *smartphone* ao módulo Bluetooth presente na placa de controle. Quando este pareamento é estabelecido, o aplicativo fornece um reporte positivo ao usuário, que pode confirmar que a conexão foi feita.

Uma vez conectado, de modo análogo ao funcionamento do *SnuHome*, para o controle de um eletrônico ou eletrodoméstico seleciona-se o botão correspondente a este eletrônico ou eletrodoméstico na aplicação e, desta forma, um caractere específico é enviado ao módulo Bluetooth que, ao interceptá-lo, direciona-o via serial para o Arduino Pro Mini responsável por interpretá-lo. A interpretação é feita com base em uma estrutura de decisão programada no Arduino. Após esta interpretação, a ação de controle é direcionada ao eletrônico ou eletrodoméstico por intermédio de um atuador, no caso, um relé na interface de acoplamento.

É importante salientar que ambas as aplicações usam a mesma placa de controle, sendo que a única diferença entre ambas está restrita aos módulos de comunicação. No caso do *Quick Control* é utilizado o Bluetooth 2.0 ou o BLE. Enquanto que, o *SnuHome* faz uso do ESP8266-01. Na Tabela 2 é fornecida uma comparação entre tais aplicativos.

Tabela 2 - Comparação entre as aplicações.

	<i>Quick Control</i>	<i>SnuHome</i>
Plataforma	Mobile – Android (1.6 ou superior)	Mobile – Android (2.3 ou superior)
Classificação	Livre	Livre
Disponível em	Google Play Store	Versão beta disponível para desenvolvedores
Versão	1.2.2	1.0
Ano de criação	2016	2018
Data de Lançamento	04 de dezembro de 2016	10 de dezembro de 2018 (versão alfa)
Última atualização	26 de Agosto de 2017	----
Desenvolvedor	W2TTEC	W2TTEC
Tecnologia usada	ATmega328p + Bluetooth 2.0	ATmega328p + ESP8266-01
Categoria	Comunicação	Comunicação
Tamanho	3.3 MB	5.4 MB
Plataforma de desenvolvimento	App Inventor II (Linguagem de Blocos)	Kodular (Linguagem de Blocos) baseada em App Inventor
Funcionalidade	Controle de dispositivos	Controle de dispositivos

Fonte: Elaboração própria.

4 TRABALHOS RELACIONADOS

Ter um embasamento na produção literária científica é imprescindível para qualquer pesquisa em construção. É por meio do estado da arte que se averiguam as contribuições de uma determinada temática, e por meio da comparação entre estes trabalhos e a proposta de pesquisa almejada é possível chegar às conclusões sobre a necessidade e relevância de se realizar mais um estudo.

Sendo assim, para a obtenção deste embasamento, realizou-se uma seleção de publicações, na qual foram considerados artigos que se relacionam com a proposta de pesquisa deste trabalho. Para garantir uma boa cobertura da literatura sobre a temática que envolve análises comparativas entre as tecnologias Bluetooth e Wi-Fi, bem como a confiabilidade dos artigos analisados, optou-se por seguir de modo menos pontual a estratégia da metodologia de revisão sistemática da literatura na obtenção dos trabalhos relacionados. Deste modo, *strings* de busca com termos diretamente correlatos ao tema deste estudo foram geradas e executadas em bases de dados comumente utilizadas em pesquisas acadêmicas, como é o caso da ACM Digital Library, IEEE Xplore, Science Direct e Scopus.

A escolha dos termos das *strings*, especificadas na Tabela 3, é justificada pelo interesse de buscar, além de artigos no mesmo contexto desta pesquisa, artigos cujas metodologias condissessem com as metodologias escolhidas para este trabalho de conclusão. Além disso, através da obtenção de uma abstração mais ampla em torno dos conceitos de Bluetooth e Wi-Fi foi possível refinar a primeira *string* ao considerar os padrões nos quais tais tecnologias de comunicação estão relacionadas obtendo uma segunda *string* de busca.

Para apoiar a construção de um mapa de revisão e, portanto, o agrupamento dos trabalhos analisados foi utilizado uma ficha de coleta de informações (outro aspecto inerente a revisões sistemáticas) disposta no Apêndice A deste projeto de pesquisa.

Tabela 3 - *Strings* consideradas para a busca de Trabalhos Relacionados.

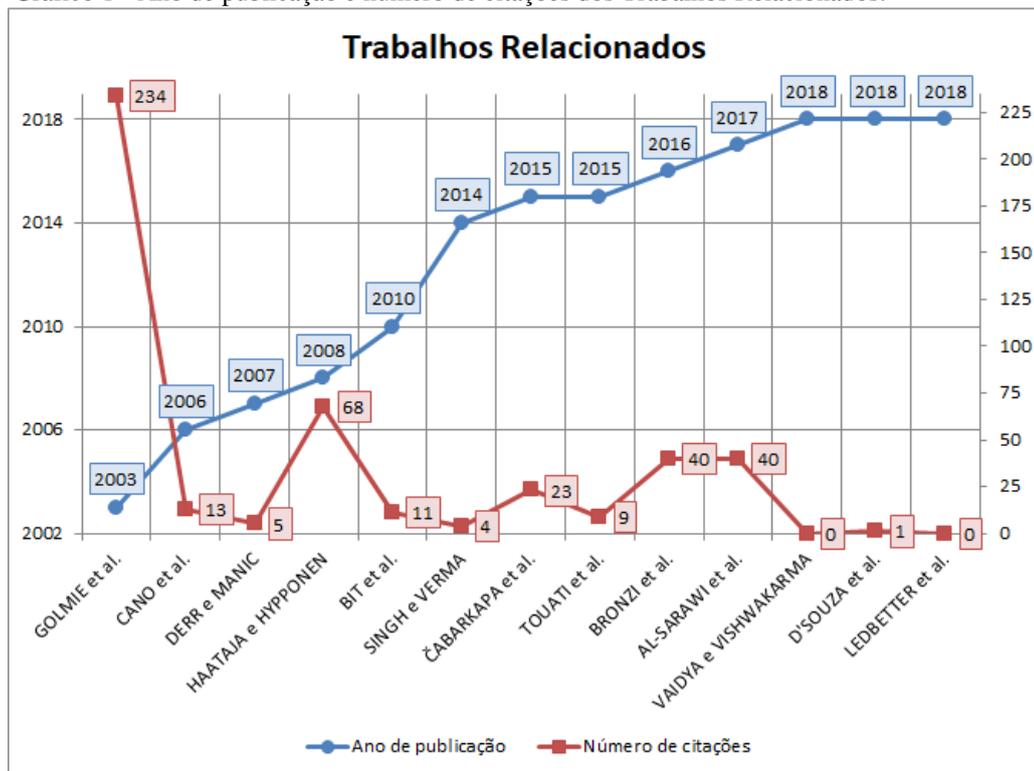
DATA DE EXECUÇÃO NAS BASES	STRINGS
16/03/2019	((“home automation” OR “smart home”) AND (“comparison” OR “comparative analysis”) AND (“bluetooth”) AND (“wireless”))
07/04/2019	((“home automation” OR “smart home”) AND (“comparison” OR “comparative analysis”) AND (“bluetooth” OR “IEEE 802.15.1”) AND (“wireless” OR “wi-fi” OR “IEEE 802.11”))

Fonte: Elaboração Própria.

Por meio da leitura do título, resumo e palavras-chave: 18 artigos foram selecionados, destes apenas 13 foram considerados como trabalhos relacionados. Diferente de uma revisão sistemática, não foram analisados todos os artigos retornados com a execução das *strings*. Inicialmente considerou-se estudos atuais, sendo analisados primeiramente artigos datados entre os anos de 2016 e 2019. Outro critério considerado foi o número de citações, logo, trabalhos de 2008, 2006 e 2003 também foram selecionados. Por fim, além do ano e número de citações, a filtragem inicial considerava que, no mínimo, as pesquisas mostrassem um paralelo entre tecnologias, protocolos ou padrões de comunicação independentemente do contexto, mas preferivelmente relacionado à automação residencial, seja a nível de pesquisa comparativa e/ou a nível experimental.

No Gráfico 1 é ilustrado o ano de publicação e a quantidade de citações para cada um dos 13 artigos analisados. É possível observar que os trabalhos antigos detêm os maiores índices de citação e que há trabalhos atuais que ainda não foram citados.

Gráfico 1 - Ano de publicação e número de citações dos Trabalhos Relacionados.



Fonte: Elaboração própria.

4.1 Pesquisas cuja metodologia envolve estudo comparativo

Entende-se como estudo comparativo a abordagem que envolve o uso da literatura

como recurso no estabelecimento de um paralelo entre diferentes fatos, indivíduos, elementos a fim de caracterizá-los entre si, explorando semelhanças e divergências. Dito isto, os seguintes autores estão agrupados por adotarem este método em suas pesquisas.

Vaidya e Vishwakarma (2018), estabelecem uma discussão sobre sistemas de casa inteligente fornecendo uma descrição de suas características gerais e fazendo uma análise comparativa de algumas tecnologias inerentes a sistemas de automação residencial. Para este estudo comparativo tecnologias como GSM, Bluetooth e microcontrolador PIC (*Peripheral Interface Controller*) com modulação ZigBee foram consideradas, além da própria IoT. Observa-se que artigos de autores que propuseram sistemas de automação residencial são sumariamente descritos.

Al-Sarawi *et al.* (2017), realizaram um estudo comparativo cujo objetivo é analisar diferentes protocolos de comunicação, tais como: ZigBee, Bluetooth de baixo consumo, Z-Wave e NFC (*Near Field Communication*). Esta análise enfatiza as principais características e comportamentos de várias métricas de segurança, consumo de energia, taxa de dados e outros recursos. A ideia é fornecer aos pesquisadores diretrizes que os auxiliem na escolha do protocolo correto à sua pretensão.

Čabarkapa, Grujić e Pavlović (2015), investigaram sobre o Bluetooth de baixo consumo (*Bluetooth Low Energy*). No âmbito de sua pesquisa, o BLE é considerado como uma das mais recentes criações para IoT, especialmente adequado para sensores com potência ultra-baixa e uma excelente alternativa para sistemas de precisão razoável e implantação de baixo custo. Uma análise comparativa das soluções contemporâneas envolvendo BLE é explanada, os autores consideram aspectos como: Classificação e comparação, além de uma variedade de parâmetros necessários para se projetar novas abordagens destinadas aos chamados sistemas de posicionamento indoor (IPS).

Bit, Orehek e Zia (2010), fizeram uma pesquisa na qual uma análise comparativa entre dois protocolos diferentes que usam, ou poderiam usar, a tecnologia de rádio WideBand-UWB (*Ultrawideband*) são considerados. O estudo compara os protocolos *Certified Wireless-USB* e Bluetooth 3.0 com UWB considerando: Arquitetura básica, tecnologias de rádio utilizadas, suporte a transmissão, número de dispositivos suportados por um anfitrião, extensão da célula básica e a taxa de transferência (*throughputs*).

Haataja e Hypponen (2008), em uma análise comparativa, listaram uma série de ataques *Man-in-the-Middle* existentes em Bluetooth. Deste modo, verificaram a segurança do protocolo e propuseram melhorias a fim de torná-lo mais seguro dado que provavelmente essa segurança é limitada pelas capacidades do tipo de dispositivo utilizado. Neste campo de

estudo os autores fornecem uma visão geral do Bluetooth no âmbito de segurança propondo melhorias para o SSP (*Secure Simple Pairing*).

Derr e Manic (2007), conduziram uma análise cujo objetivo era a compreensão do comportamento do tráfego de dados em tecnologias de comunicação sem fio, como uma questão fundamental sobre manter a integridade dos sistemas de computador e aumentar o uso eficiente dessas tecnologias em aplicações com foco em controle. Para isto é proposto um algoritmo de controle inteligente do padrão de tráfego com base em um controlador Neuro-Fuzzy, além de realizada uma comparação entre aplicações semelhantes.

4.2 Pesquisas cuja metodologia envolve estudo experimental

O que esta pesquisa considera como estudo experimental envolve experimentos em um contexto ou cenário real de aplicação. Os autores a seguir consideraram alguma destas vertentes de experimento em suas pesquisas.

Bronzi *et al.* (2016), pesquisaram sobre o potencial do Bluetooth de baixo consumo (BLE) no contexto de veículos. O experimento foi realizado em um contexto envolvendo dois automóveis, nos quais aplicações com o BLE estabeleciam pareamento e realizavam troca de informações a partir desses veículos que se locomoviam em uma rodovia. Os autores avaliaram as características da tecnologia sem fio definindo, para isso, um conjunto de cenários de teste para observar como o BLE é afetado por diferentes condições de velocidade, distância e tráfego. Com o estudo experimental foram obtidos dados com relação ao desempenho em termos de taxa de entrega e tempo de ida e volta na transferência de dados envolvendo veículos dinâmicos, além de cenários com interferência estática.

Cano *et al.* (2006), realizaram uma investigação das características associadas à potência e consumo de um protótipo de comunicação sem fio, baseado em Bluetooth, desenvolvido para suportar a computação ubíqua, vários dispositivos de computação inerentes a um ambiente físico. O experimento envolve o processo de inicialização e coleta de dados a respeito do tempo e energia consumidos na mudança de estado do protótipo, de ocioso para ativo. No mais, o consumo médio é mensurado em termos de corrente e potência sob uma tensão de 3.3 volts. A pesquisa faz uso de um circuito de medição no contexto testado.

4.3 Pesquisa cuja metodologia envolve estudo de caso

Estudos de casos normalmente são estudos exaustivos no qual o contexto real de

atuação de um fenômeno é observado. Para Yin (2015), representam uma investigação que envolve a observação de um fenômeno atuando em seu contexto real, sendo particularmente útil quando se deseja estudar um fenômeno e os limites desse objeto de estudo em relação ao contexto não estão claros.

Ledbetter *et al.* (2018), conduziram um estudo que fornece informações sobre o uso dos protocolos Bluetooth no mundo real. Para tal, eles analisaram pesquisas publicadas com foco na vulnerabilidade do Bluetooth e realizaram um estudo de caso que coletou dados em uma cafeteria local durante uma semana. Os autores assumem que a proliferação do uso da tecnologia Bluetooth como meio de comunicação entre dispositivos foi o ápice motivacional dessa investigação junto com o levantamento dos ataques de segurança documentados na literatura.

4.4 Pesquisas cuja metodologia envolve estudo comparativo e experimental

Quando se deseja estabelecer uma comparação e realizar um estudo experimental para apoiá-la, a abrangência da análise pode se expandir desencadeando resultados mais satisfatórios à pesquisa. Os autores citados em sequência fizeram uso de ambos os métodos seguindo a mesma tendência de metodologia que este projeto de pesquisa utilizou: Um estudo comparativo e experimental.

D'Souza *et al.* (2018), estudaram a performance entre o ETSI SmartBAN e o Bluetooth de baixo consumo (BLE) realizando uma análise comparativa (com foco em desempenho) entre ambos no contexto de canais aditivos de ruído branco Gaussiano (AWGN). A fim de apoiar o estudo comparativo foi realizada uma simulação (ou experimento virtual). Ambas as tecnologias são consideradas, pelos autores, como possíveis soluções de redes WBAN (*Wireless Body Area Network*) úteis na transmissão de dados relacionados aos sinais vitais de um indivíduo.

Touati *et al.* (2015), afirmam que o Bluetooth clássico é conhecido por seu alto consumo, no entanto, o Bluetooth de baixo consumo (BLE) oferece recursos mais atraentes. Os autores apresentam uma plataforma remota baseada em BLE para monitoração dos cuidados médicos, como monitoração de eletrocardiogramas, e realizaram um estudo cuja finalidade é apresentar uma comparação sistemática de tecnologias como ZigBee e as soluções baseadas em BLE, ambas vistas como tecnologias emergentes. Tal análise considera aspectos como a corrente de pico de potência, a taxa de transferência e a latência. Além disso, a plataforma experimental baseada em BLE é apresentada e a descrição dos parâmetros para

um estudo experimental, bem como as medidas de desempenho obtidas são fornecidas.

Singh e Verma (2014), realizaram um experimento virtual (simulação) com o objetivo de comparar os padrões IEEE 802.15.4 WSN (*Wireless Sensor Network*), conhecido como *ZigBee Wireless Sensor Network*, e IEEE 802.15.6 BAN ou WBAN. Além disto, uma análise comparativa com dados provenientes da literatura foi feita. Tal pesquisa explora as diferenças entre tais padrões submetendo-os à uma simulação em um ambiente pessoal criado para determinado padrão e que, para fins experimentais, faz uso do outro padrão em substituição com o objetivo de estudar seus funcionamentos em condições de uso semelhantes.

Golmie, Chevrollier e Rebala (2003) realizaram um estudo que investiga os desafios e as soluções relacionadas à coexistência de redes Bluetooth com outras redes locais sem fio (WLANs). Deste modo, é feita uma análise comparativa com o auxílio de um estudo experimental que investiga o uso de duas técnicas para solucionar o problema de interferência quando há diferentes frequências próximas e em operação. Cenários realistas são considerados para discutir as tendências de desempenho, de modo que, o desempenho do Bluetooth é avaliado.

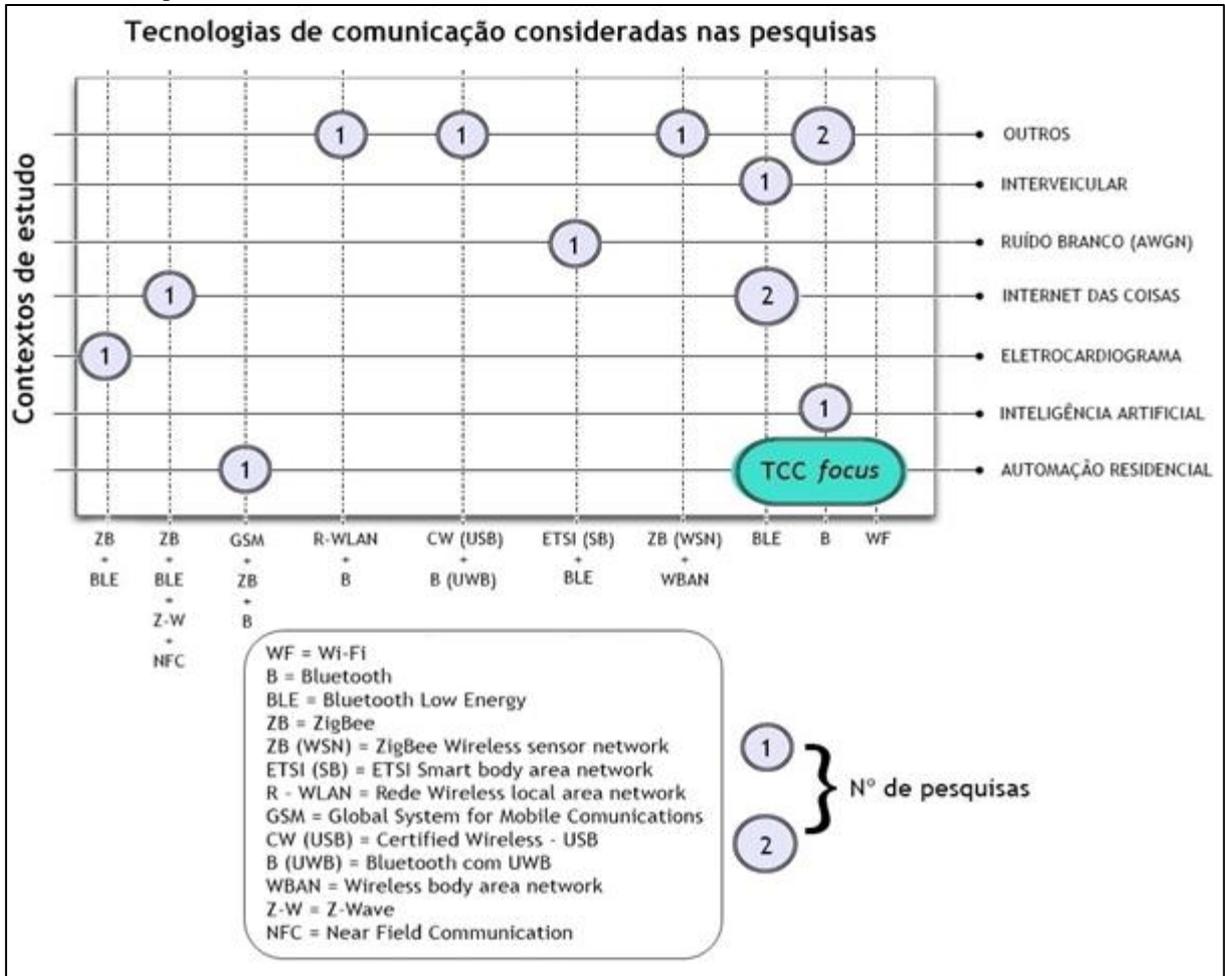
4.5 Diferenças e semelhanças dos Trabalhos Relacionados e esta pesquisa

De acordo com a análise dos trabalhos selecionados foi possível identificar aspectos que os diferenciam desta proposta de estudo. Observa-se que o foco desta pesquisa associa um contexto, no caso automação residencial, pouco explorado pelas demais, apenas pelo trabalho de Vaidya e Vishwakarma (2018). O mesmo ocorre com o conjunto de tecnologias de comunicação abordado, apesar de que 12 dos 13 trabalhos usam o Bluetooth em seus estudos, nenhum trabalho aborda o Wi-Fi. Outro diferencial é que este estudo experimental envolve um experimento real, diferente de estudos como os de D'Souza *et al.* (2018) e Singh e Verma (2014) que utilizam experimento virtual (simulação).

Com relação a semelhanças: A maioria das metodologias adotadas pelos autores trazem características que se assemelham com a metodologia adotada neste trabalho. Por essa razão, é interessante observar que, este estudo aplica alguns aspectos de métodos para análise e comparação encontrados nas pesquisas destes autores, como é o caso de pesquisa bibliográfica, na qual características dos módulos de comunicação podem ser extraídas, e aspectos como consumo e performance na qual especificações de teste são consideradas. No Gráfico 2 é feito um agrupamento destes artigos com base em seus contextos de estudo e as

tecnologias de comunicação por eles adotadas.

Gráfico 2 - Mapeamento da revisão dos Trabalhos Relacionados.



Fonte: Elaboração própria baseada na estrutura da Figura 3.3 de Gois (2017) p. 57.

Ainda sobre o Gráfico 2, nota-se que se fosse estabelecido um *ranking* de tecnologias consideradas neste escopo de pesquisas: Tecnologias como Bluetooth e a sua mais nova versão: BLE, ocupariam o primeiro e segundo lugar respectivamente como as mais cogitadas. Por fim, o ZigBee ocuparia o terceiro lugar e o Wi-Fi nem seria uma das tecnologias consideradas.

Uma vez que o ZigBee representa, de acordo com a análise dos trabalhos relacionados, uma tecnologia bastante abordada em estudos comparativos e conforme Bolzani (2007) e Elinoff (2017) compõe um dos principais meios de comunicação para sistemas de casa inteligente, junto ao Bluetooth e o Wi-Fi, vale salientar as razões do mesmo não ser considerado tão instigante a fim de compor esta análise comparativa junto ao Bluetooth e Wi-Fi:

- A primeira razão é o custo, devido ao uso de dispositivos especializados, como

hubs inteligentes, a instalação e uso do padrão ZigBee torna seu custo benefício menos chamativo que o do Bluetooth, por exemplo. É certo que o Wi-Fi necessita de roteadores para atuar, entretanto permite ao usuário um controle residencial a partir de qualquer lugar no mundo, desde que o sistema de controle possua um endereço IP associado, podendo tornar o custo adicional compensável;

- Em segundo, tem-se a questão da disponibilidade, uma vez que, os únicos módulos de comunicação, dos quais esta pesquisa dispõe de acesso para a condução do experimento é o Bluetooth e o Wi-Fi via ESP8266-01.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste Capítulo estão descritos os métodos escolhidos para condução deste trabalho. Para o estudo comparativo fez-se uso de pesquisa comparativa. O estudo experimental, por sua vez, é caracterizado por meio de um experimento controlado.

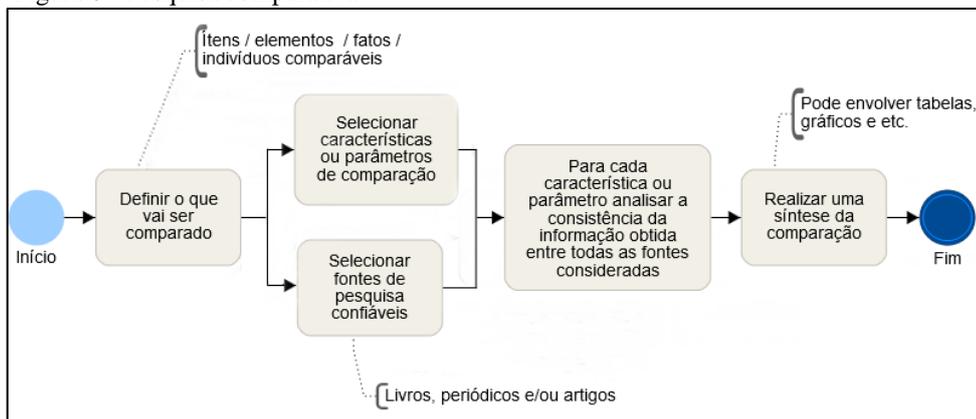
Dada à importância de se ter um planejamento e operação de um experimento controlado adequados em prol da validade dos resultados da pesquisa, além da complexidade inerente a estudos empíricos, principalmente os que fazem uso de análise quantitativa, e, por fim, para apoiar a definição do tipo de estudo experimental selecionado recorreu-se aos livros *Experimentation in Software Engineering* de Wohlin *et al.* (2012) e *Guide to Advanced Empirical Software Engineering* de Shull, Singer e Sjøberg (2008) para definir adequadamente o experimento controlado, assim como o próprio plano deste experimento (seção 5.3) servindo-lhes de referência.

5.1 Pesquisa Comparativa

A pesquisa comparativa, neste contexto, se trata de uma metodologia subdividida em atividades com o objetivo de encontrar características entre os elementos comparados, podendo-se explorar semelhanças e diferenças dentro dessa caracterização.

Compreende-se que na literatura há muitos critérios estabelecidos que comparam as tecnologias Bluetooth e Wi-Fi e que já são inerentes de sua construção, como capacidade máxima da rede, frequência de operação dentre outras, sendo, deste modo, dispensável a consideração destas no estudo experimental. Na Figura 8 estão descritas as atividades que compõem a pesquisa comparativa.

Figura 8 - Pesquisa comparativa.

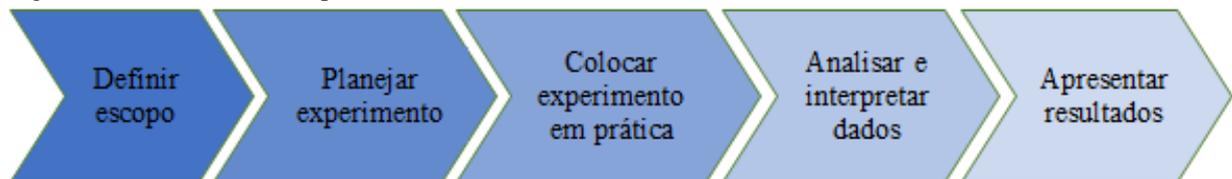


Fonte: Elaboração própria.

5.2 Experimento Controlado

Estudos empíricos dispõem algum grau de evidência na pesquisa com base na experiência de quem o conduz. Wohlin *et al.* (2012) dita que Experimentos Controlados representam um tipo de estudo empírico que permite, por meio de uma análise estatística, submeter hipóteses a testes para obter informações sobre variáveis e seus relacionamentos de causa e efeito. Na Figura 9 é fornecida a esquemática desta metodologia. Nela é possível visualizar as etapas que compõem o processo de um experimento controlado. As subseções definidas na sequência explanam cada etapa.

Figura 9 - Processo de um experimento controlado.



Fonte: Elaboração própria baseada em Wohlin, *et al.*, (2012) p. 77.

5.2.1 Definir escopo

A construção do escopo do experimento compreende a definição dos objetivos, feitos com base no problema tratado pela pesquisa. Para apoiar a construção, o método *Goal, Question, Metric* (GQM) fornece uma estrutura que facilita a interpretação do problema ou da questão de pesquisa tratados em prol dos objetivos declarados. Na Tabela 4 é apresentada a especificação deste método mostrando como cada item deve ser interpretado e considerado dentro da proposta abordada por esta pesquisa.

Tabela 4 - *Goal, Question, Metric* (GQM).

	Interpretação e exemplos	Este trabalho
Analisar:	Objetos de estudo da pesquisa. Ex.: Processos, produtos, modelos, teorias, tecnologias, etc.	Tecnologias de comunicação sem fio Bluetooth e Wi-Fi.
Com propósito de:	Finalidade do estudo. Ex.: Comparar, avaliar, prever, controlar, etc.	Comparar.
Em relação a:	Foco de qualidade. Ex.:	Performance e Eficiência

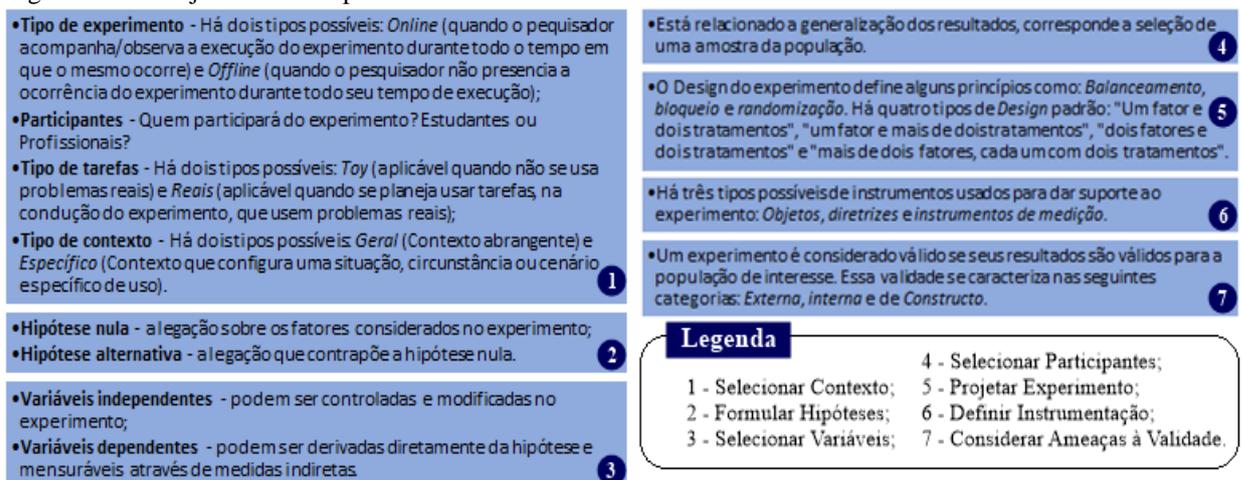
	Manutenibilidade, custo, portabilidade, desempenho, etc.	energética.
Do ponto de vista do:	Perspectiva. Ex.: Desenvolvedor, usuário, pesquisador, etc.	Pesquisador.
No contexto de:	Ambiente (pode considerar os papéis dos participantes inerentes a esse ambiente). Ex.: estudantes de graduação da área de TI, etc.	Um ambiente real de atuação (no caso, uma residência) com elementos (eletrônicos ou eletrodomésticos) previamente definidos.

Fonte: Elaboração própria baseada em Wohlin, *et al.*, (2012) p. 29 e Shull, Singer e Sjøberg (2008) p. 157.

5.2.2 Planejar experimento

Esta etapa do processo tem por finalidade definir como o experimento é conduzido, deste modo, o plano de um experimento subdivide-se em sete partes que vão desde selecionar o contexto no qual o experimento será realizado especificando as dimensões deste contexto até considerar as ameaças à validade do experimento e como evitá-las. Esta subdivisão encontra-se ilustrada na Figura 10, que fornece uma breve explicação de cada uma das partes. Por se tratar de uma etapa bastante ampla sua aplicação neste estudo se encontra descrita na seção 5.3 deste documento, nela o plano do experimento será apresentado.

Figura 10 - Planejamento do experimento.

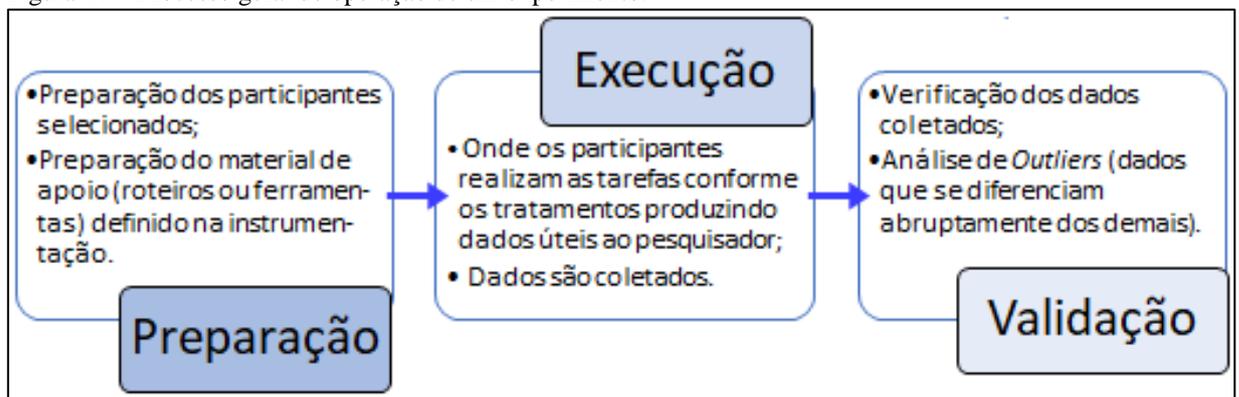


Fonte: Elaboração própria baseada em Wohlin, *et al.*, (2012) p. 89 - 116.

5.2.3 Colocar experimento em prática

A operação do experimento é a etapa do processo na qual o experimento é realizado e como consequência dados podem ser coletados para análise em etapas posteriores. Para melhor especificá-la, considerou-se que colocar o experimento em prática envolve a preparação, a execução e a validação dos dados. Dentro deste estudo a operação do experimento se baseou na sequência lógica abordada pela Figura 11, apesar de que o experimento não conta com pessoas interagindo com as aplicações que estabelecem a comunicação com a placa de controle.

Figura 11 – Processo geral de operação de um experimento.

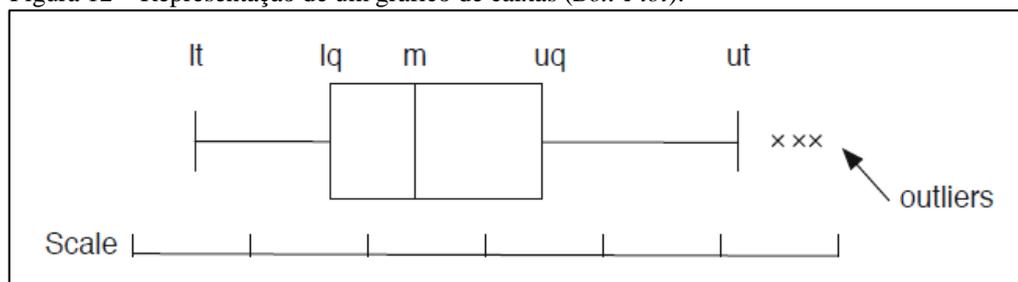


Fonte: Elaboração própria baseada em Wohlin, *et al.*, (2012) Capítulo 9, p. 118.

Como pode ser observada na figura anterior a análise de *outliers*, ou valores discrepantes como também são conhecidos, é uma questão importante na etapa de validação. *Outliers* são definidos como valores atípicos que “[...] podem introduzir tendências no modelo que ajustamos aos dados [...]” (FIELD, 2009, p. 95).

Wohlin, *et al.* (2012) define que, graficamente, o gráfico de caixas (*Box-Plot*) é uma boa opção para a visualização de *outliers*. Na Figura 12 é mostrada a representação de um gráfico de caixas.

Figura 12 – Representação de um gráfico de caixas (*Box-Plot*).



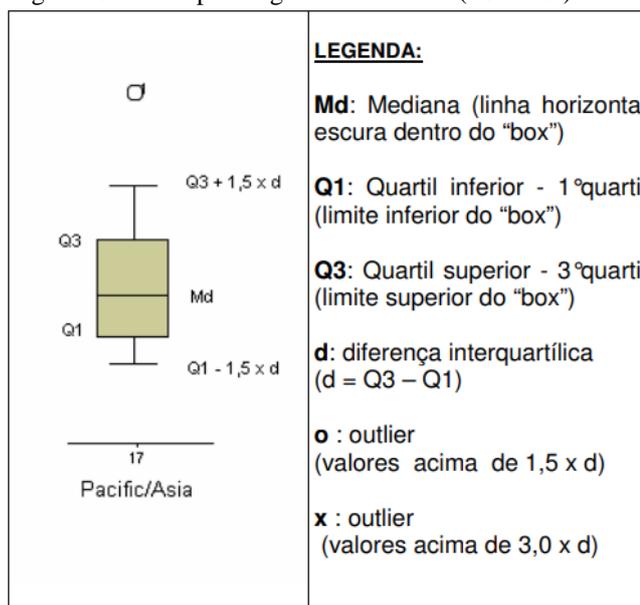
Fonte: Extraído de Wohlin, *et al.*, (2012) p. 129.

A linha ao centro da caixa (m) representa a mediana da amostra. O valor de quartil inferior (lq) é dado pela média dos dados que são menores que a mediana (percentil 25%) e o quartil superior (uq) é caracterizado pela média dos dados que são maiores que a mediana (percentil 75%). Os valores de máximo (ut) e mínimo (it) são as chamadas “caudas” da caixa. Valores que se encontram fora das caudas inferior (it) e superior (ut) são chamados *outliers* (WOHLIN, *et al.*, 2012).

Mundstock, *et al.* (2006) ensina como interpretar um *Box-Plot* no IBM SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), de modo que, por intermédio do gráfico de caixas, seja possível observar como as variáveis estão distribuídas de acordo com a homogeneidade dos valores da amostra, a tendência central, os valores de máximo e mínimo, além dos *outliers*, se existirem. Se a caixa no *Box-Plot* for muito “pequena”, isso indica que os escores se encontram muito acumulados em torno da mediana, caso contrário, então interpreta-se que tais dados da amostra analisada são mais heterogêneos.

Na Figura 13 é fornecido um exemplo de um gráfico de caixa na ferramenta SPSS no qual uma legenda descreve os aspectos desse tipo de representação facilitando a compreensão da notação do *Box-Plot*. Observa-se que as “caudas” da caixa são estabelecidas conforme o cálculo do quartil correspondente somado ao valor resultante da multiplicação de uma constante pelo valor obtido com a diferença entre os valores do primeiro e terceiro quartis (diferença interquartílica). Deste modo, são considerados *outliers* os pontos caracterizados por “x” e “o”.

Figura 13 - Exemplo de gráfico de caixas (*Box-Plot*).



Fonte: Extraído de Mundstock, *et al.* (2006) p. 29.

5.2.4 Analisar e interpretar dados

A análise e interpretação de dados, em resumo, busca atribuir alguma inferência ao estudo. No que diz respeito à análise é feito inicialmente a tabulação dos dados provindos da operação do experimento, em seguida são gerados os gráficos e tabelas associados à estatística descritiva da amostra. Por meio destas informações, a interpretação passa a ser responsável por fazer com que o pesquisador escolha o tipo de teste de hipótese que melhor se adequa, com base na tendência de distribuição dos dados e no *Design* do experimento.

No entanto, como pode ser visto na subseção 5.2.3 é interessante que a análise e, possível tratamento, de *outliers* seja realizada antes de submeter a tabulação da amostra ao teste de hipóteses.

Wohlin, *et al.*, (2012) determina que a partir da identificação de *outliers* é necessário decidir o que fazer com esses valores. É fortemente sugerido identificar as razões para a existência dos valores discrepantes obtidos. Caso o *outlier* ocorra devido a algum evento estranho ou raro que nunca vai acontecer novamente é recomendado que seja excluído. Caso este evento raro, que gerou tal (tais) *outlier(s)*, tenha a tendência de ocorrer de novo, a exclusão não é aconselhada, pois existem informações relevantes neste(s) valor(es) discrepante(s).

Field (2009) e Vasconcelos e Feitosa (2017) ditam que há três estratégias para corrigir/evitar possíveis problemas causados pela existência de *outliers*. Uma observação importante é que o pesquisador deve se atentar a possíveis erros de digitação antes de realizar qualquer tipo de correção. Tais estratégias são, em resumo:

- **Remover os outliers:** aconselhável apenas quando há uma boa razão para se entender que estes valores, de fato, não representem a população;
- **Transformar os dados:** aconselhável quando se tem uma distribuição anormal (não normal) e, desse modo, não se pode caracterizar que os *outliers* encontrados, de fato, não sejam da distribuição já que “[...] distribuições assimétricas terão, por natureza, valores atípicos, pois são eles os responsáveis pela falta de simetria! [...]” (FIELD, 2009, p. 99).
- **Substituir os dados:** aconselhável para casos em que a transformação falha, desse modo, pode ser considerada a substituição dos valores não representativos e que distorcem o modelo. Das opções de substituição possíveis, Field (2009) traz:
 - Alterar o dado discrepante para uma unidade maior que o próximo valor mais alto do grupo de valores;

- Inverter o valor do escore-z: Adicionar o triplo do desvio padrão à média e trocar o dado discrepante por esse valor gerado;
- Outro tipo de inversão é a variação da estratégia acima: Só que desta vez, é adicionado o dobro do desvio padrão (ao invés do triplo).

Vale salientar que Field (2009, p. 100) defende que, de todas as opções de estratégias para o tratamento de *outliers* dispostas acima, “[...] a transformação dos dados é talvez a melhor [...]”. Além disto, o autor sugere que, caso a aplicação da transformação não corrija os problemas, cabe ao pesquisador utilizar testes estatísticos que desconsiderem a necessidade de se ter dados normalmente distribuídos como pré-condição de aplicação de tais testes na análise estatística feita.

Na Tabela 5 encontram-se três opções de transformação em que X é o conjunto de dados (amostra) e “ i ” representa cada dado (escore) dessa amostra. Uma observação importante é que a transformação de dados não interfere no relacionamento entre variáveis. O único aspecto afetado é as diferenças entre tais variáveis, uma vez que, as unidades de medida mudam (FIELD, 2009).

Tabela 5 - Tipos de transformação de dados.

Tipo de Transformação	Observações	Equação
Logarítmica	Diminui a cauda direita da distribuição por reduzir a assimetria positiva.	$\log(X_i)$
Radiciação	Reverte os valores, de modo que, valores originalmente grandes tornam-se pequenos e originalmente pequenos tornam-se grandes.	$\sqrt{X_i}$
Recíproca	Valores grandes podem ficar mais próximos do centro de concentração de valores.	$1/(X_{\text{Máximo}} - X_i)$

Fonte: Elaboração própria baseada na subseção 3.3.3 de Field (2009) p. 100 - 101.

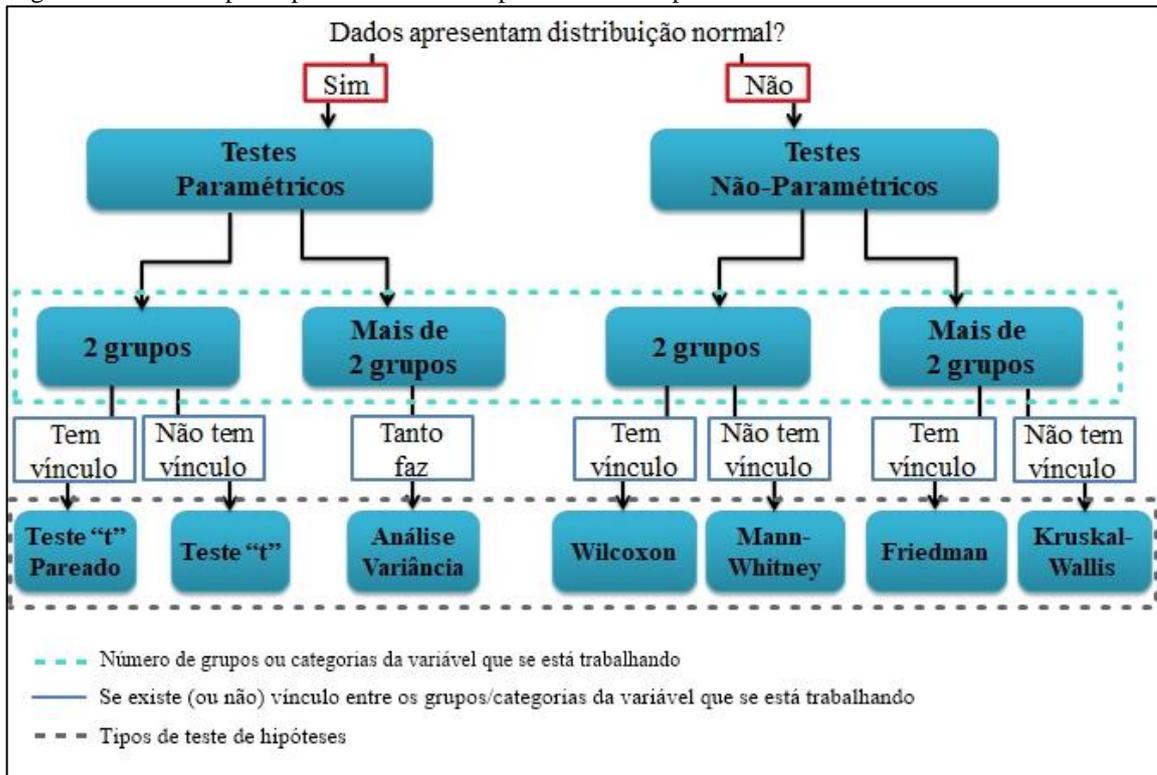
Por fim, a realização do teste de hipótese e a interpretação do valor obtido com ele permitem que conclusões acerca das hipóteses conduzam o experimentador a apresentar algum resultado que aceite ou rejeite sua dedução inicial. Na estatística clássica é observado o valor *p-value*, calculado no teste de hipóteses, e definido como “[...] a probabilidade de se observar um valor da estatística de teste maior ou menor ao encontrado.” O *p-value* é usado na comparação onde é observada se a hipótese nula é rejeitada (FERREIRA; PATINO, 2015,

p. 485).

Na Figura 14 é exposta uma esquemática que direciona o pesquisador para o teste estatístico que melhor se proporciona à amostra, conforme o tipo de comportamento distributivo dos dados.

Para saber se os dados apresentam um comportamento de distribuição normal é necessário analisar, com base na estatística descritiva obtida com a tabulação e análise, a medida de tendência central da amostra.

Figura 14 – Passo a passo para a escolha do tipo de teste de hipóteses.



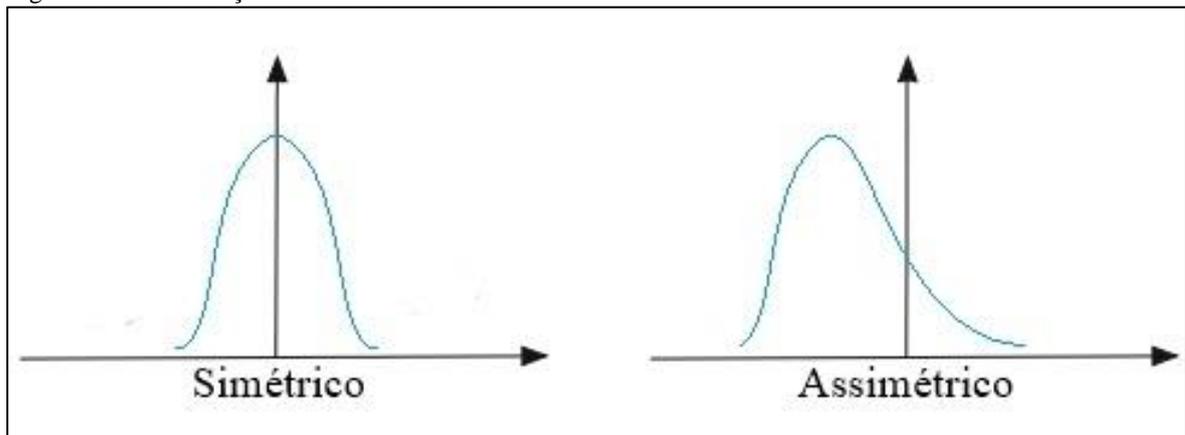
Fonte: Elaboração própria adaptada da esquemática fornecida pelo prof. Dr. Angelo Roncalli, UFRN (2008, apud profa. Dra. Anna Beatriz Marques, UFC, 2018, p. 36).

Visualmente observa-se a tendência da distribuição da amostra através de um histograma. Um princípio para a interpretação dos gráficos estatísticos, outrora citados na busca por determinar se existe ou não distribuição normal, sugere que quanto mais simétricos os dados estiverem, mais tendência à normalidade a distribuição apresenta. Na Figura 15 é ilustrada esta ideia. A simetria é o resultado da igualdade entre média, moda e mediana.

Outra forma de descobrir se uma distribuição é normal ou anormal é através dos valores de assimetria e curtose da amostra. Pilati e Porto (2008), afirmam que quanto mais próximo de zero forem os valores de assimetria e curtose, mais tendência à normalidade apresenta a distribuição. Por fim, existem os testes de *Kolmogorov-Smirnov* e *Shapiro-Wilk*

usados para a verificação de normalidade da amostra. Ferramentas como o SPSS da IBM fornecem estes e outros tipos de testes estatísticos (LOPES; BRANCO; SOARES, 2013). Testes como *Kolmogorov-Smirnov* e *Shapiro-Wilk* são usados para verificar se os dados são normalmente distribuídos (WOHLIN *et al.*, 2012).

Figura 15 – Distribuição simétrica e assimétrica.



Fonte: Elaboração própria.

5.2.5 Apresentar resultados

Uma vez realizado o teste de hipóteses, a apresentação dos resultados envolve relatar as inferências obtidas sobre o estudo experimental. Se a hipótese nula for rejeitada, então isso implica que o pesquisador encontrou indícios de que os tratamentos (ou variáveis independentes) influenciam, de alguma maneira, as variáveis dependentes relacionadas ao estudo.

Caso a hipótese nula seja aceita, então apenas pode-se chegar à conclusão de que, como lição aprendida, constata-se a ausência de uma distinção significativa entre os fatores considerados nos aspectos avaliados.

5.3 Plano do experimento controlado

A estratégia definida abrange dois fatores não relacionados entre si e que serão mensurados de modo independente: Performance e eficiência energética. O aspecto de performance observado é o tempo que a informação leva para ser transferida através do meio de comunicação e passar pelo processamento necessário para ser retransmitida pelo mesmo meio. Já a eficiência energética está associada ao consumo.

5.3.1 Aplicações de automação residencial usadas no experimento

Como os fatores deste experimento relacionam-se às tecnologias de comunicação, os tratamentos são o Bluetooth e o Wi-Fi responsáveis pela interação entre o usuário (*smartphone*) e a placa de controle em que se situa o microcontrolador. Como já vem sendo dito, cada um destes fatores é adjunto de uma aplicação de automação residencial:

- *Quick Control*: sistema de automação residencial que faz uso da tecnologia Bluetooth;
- *SnuHome*: sistema de automação residencial que faz uso da tecnologia Wi-Fi.

5.3.2 Seleção de contexto

O processo é de caráter online, uma vez que, as aplicações de Domótica atuaram no ambiente doméstico do pesquisador durante todo o período de experimentação necessário à obtenção de dados suficientes para a análise estatística. Deste modo, o pesquisador observou diretamente a execução do experimento.

Dado que um ambiente residencial é o cenário do experimento, isso implica que o tipo de tarefa realizada pelas aplicações faz uso dos elementos inerentes a esse ambiente, de modo que, as tarefas realizadas são de caráter real. Por fim, o contexto abrange uma situação habitual de uso, como o controle da iluminação, logo, configura um contexto geral.

5.3.3 Definição de hipóteses

As seguintes hipóteses retratam as alegações feitas (hipóteses nulas), bem como suas contraposições (hipóteses alternativas), em torno de cada tecnologia de comunicação associada a cada sistema de Domótica, respectivamente.

- **Hipótese Nula 1 (H0-1)**: não há diferença significativa com relação à performance entre as tecnologias de comunicação adotadas pelas aplicações de automação residencial *Quick Control* e *SnuHome*;
- **Hipótese Nula 2 (H0-2)**: não há diferença significativa com relação à eficiência energética entre as tecnologias de comunicação adotadas pelas aplicações de automação residencial *Quick Control* e *SnuHome*;
- **Hipótese Alternativa 1 (HA-1)**: há diferença significativa com relação à

performance entre as tecnologias de comunicação adotadas pelas aplicações de automação residencial *Quick Control* e *SnuHome*;

- **Hipótese Alternativa 2 (HA-2):** há diferença significativa com relação à eficiência energética entre as tecnologias de comunicação adotadas pelas aplicações de automação residencial *Quick Control* e *SnuHome*.

5.3.4 Seleção de variáveis

O experimento contempla variáveis dependentes e independentes. Variáveis independentes, também são conhecidas como os tratamentos do experimento e podem ser controladas e modificadas no experimento. Já as variáveis dependentes, são tidas como fatores e podem ser diretamente derivadas da hipótese podendo fazer uso de medidas indiretas para serem mensuráveis. Na Tabela 6 estão caracterizadas as métricas usadas em cada variável dependente definida.

Tabela 6 - Variáveis do experimento.

Variável	Tipo	Métrica	Precisão
Bluetooth	Independente	N/A	N/A
Wi-Fi	Independente	N/A	N/A
Performance (tempo de resposta)	Dependente	$Tr = Tc - Ts.$	Milissegundos
Eficiência energética	Dependente	Potência/tempo	Miliwatts/minuto

Fonte: Elaboração própria.

Tr é a abreviação usada para tempo de resposta, Tc significa tempo de chegada dos bits de informação e Ts é o tempo de saída desses bits. Com a métrica para “tempo de resposta” foi possível analisar quanto tempo os caracteres/bytes levaram para serem enviados do *smartphone* até a placa de controle e serem retransmitidos para o ponto de saída, é nessa retransmissão que um *feedback* da operação de controle é obtido.

Por meio desta métrica de performance, espera-se obter uma taxa de tempo aproximado de transmissão destes bits. Dada a equação citada é possível observar que também se mostra incluso nesta mensuração o tempo de processamento. Entretanto, a norma ISO 9126, que define métricas externas e internas para uma série de atributos de qualidade, caracteriza que, por vezes, o tempo de transmissão se mostra mais expressivo do que o tempo

de processamento (ISO/IEC TR 9126-2, 2002), além disso, Valadares (2015) definiu o tempo de resposta, como uma variável dependente em seu experimento controlado envolvendo a rede 802.11g no contexto de uma usina termelétrica. Tendo estes fatos como motivação, o uso da dita métrica se mostra conveniente à esta pesquisa.

Segundo Shamieh e McComb (2011), elétrons fornecem potência. O termo “trabalho”, em física, implica em uma medida da energia consumida por um dispositivo, em que, uma voltagem, durante algum tempo, é aplicada nesse dispositivo. Logo, esta energia consumida dentro de um período de tempo tem como unidade de medida Watts e é tida como potência. Deste modo, $Potência = voltagem \times corrente$.

5.3.5 Aplicação das métricas

Na Tabela 7 estão descritos os recursos usados na obtenção de dados para a aplicação das métricas. Para fins de confiabilidade de um dos recursos usados: O recurso (2) da métrica “potência/tempo” foi comparado com um multímetro certificado e usado em bancadas de laboratório para medições de corrente e tensão. Nesta comparação foi averiguado que ambos os meios de medição apresentaram resultados precisamente semelhantes, demonstrando que os valores obtidos com a atuação do recurso (2) são autênticos.

Tabela 7 - Recursos usados nas medições para aplicação das métricas.

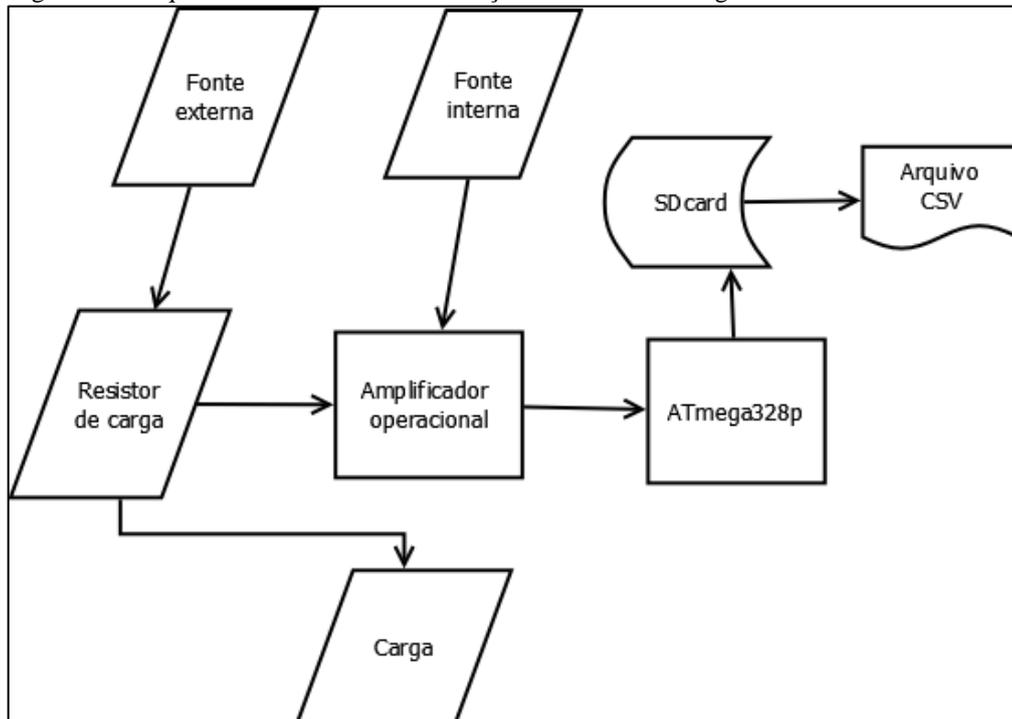
Métrica	Recurso
Tempo de resposta: tempo de chegada – tempo de saída.	(1) Os aplicativos mobile <i>Quick Control</i> e <i>SnuHome</i> foram responsáveis por armazenar o tempo em milissegundos de transmissão de um caractere ou byte. Dado o envio da informação de controle o tempo de saída (ts) é registrado. A placa de controle recepta esse caractere e o retransmite. Assim que o aplicativo recepta a retransmissão o tempo de chegada (tc) é obtido.

Potência/tempo	<p>(2) Placa com circuito de medição de consumo energético;</p> <p>Detalhes: A placa é constituída por um microcontrolador interno (ATmega328p), um resistor de carga e um amplificador operacional, que são responsáveis por converter a corrente consumida em tensão elétrica. Em seguida, o microcontrolador recebe estes valores através de um pino analógico, que posteriormente os converte em dados relativos a corrente de consumo dos módulos. O módulo <i>SD card</i> se conecta ao microcontrolador via conexão <i>SPI (Serial Peripheral Interface)</i> e grava estes dados no cartão de memória.</p>
----------------	--

Fonte: Elaboração própria.

O esquemático ilustrado na Figura 16 traz a representação do sistema de captura de dados de corrente, que é composto por oito blocos, e constituído, basicamente, por: Fonte de alimentação, amplificador operacional, resistor de carga, microcontrolador ATmega328p e módulo *SD card*. No Apêndice B está disposto o circuito desta placa de medição.

Figura 16 - Esquemático do circuito de medição do consumo energético.



Fonte: Elaboração própria.

A razão de se escolher tais meios para a obtenção dos dados necessários à

aplicação das métricas é basicamente: Manter a igualdade, quanto ao meio de coleta de dados, entre os diferentes tratamentos. E pela praticidade de obter um arquivo CSV (*Comma Separated Values*) gerado a partir do próprio mecanismo usado, abrangendo tudo que for armazenado em SD card.

5.3.6 Seleção de participantes

É comum associar a seleção de participantes à amostra da população. Para este caso, a coleta de uma amostra plausível ao contexto e aos tratamentos analisados é mais precisamente associada aos elementos (itens) controláveis da residência (TVs, lâmpadas, ventiladores dentre outros), dado que dependem mais da atuação das tecnologias de comunicação, na execução das tarefas de controle sobre esses elementos, do que necessariamente da quantidade ou perfil dos usuários que as aplicam.

Para a amostra de dados necessários ao estudo da performance e do consumo energético, o uso dos aplicativos ocorreu por função programada, desse modo, foi estabelecido um intervalo de tempo, no qual a ação de ligar/desligar os eletrônicos e eletrodomésticos envolvidos foi agendada. Isto foi particularmente útil para garantir que, para ambas as aplicações, houvesse a mesma frequência de uso.

5.3.7 Projeto do experimento

A obtenção de conclusões significativas em um experimento depende da análise estatística aplicada ao mesmo e esta, por sua vez, depende do *design* escolhido. Para projetar adequadamente este experimento, os seguintes princípios foram considerados:

- **Balanceamento:** para garantir um *design* equilibrado, cada aplicação de automação deve atuar sob a mesma quantidade e tipo de elementos do ambiente doméstico. Como se trata do mesmo ambiente residencial para as duas aplicações e, conseqüentemente, dos mesmos itens, este princípio é atendido;
- **Bloqueio:** diferente do Bluetooth, que no ambiente testado sofre menos risco de interferências devido ao seu próprio mecanismo, o Wi-Fi pode se encontrar suscetível à interferências, desde que, não se tenha a precaução de observar os canais de frequência das redes sob o padrão IEEE 802.11 dispostas no ambiente do experimento. Para isto, foi utilizado o software inSSIDer que é capaz de rastrear as redes sem fio próximas do contexto de teste fornecendo informações

sobre os canais de frequência dessas redes (INSSIDER, 2010). Com isto, pode-se garantir que o canal utilizado pelo Wi-Fi do sistema de automação foi usado apenas por ele. O bloqueio de possíveis interferências e a análise das redes dispostas no local permite uma maior confiabilidade dos dados.

Dada a definição das variáveis, na subseção 5.3.4 deste capítulo, o tipo de *design* padrão correspondente a este estudo é: “Um fator com dois tratamentos”. É observado que há dois fatores, entretanto esses fatores não interagem entre si. Logo, foram mensurados de modo independente um do outro com os mesmos tratamentos cada. “Dois fatores com dois tratamentos” é uma definição aplicável quando existe alguma interação ou dependência entre ambos os fatores considerados, o que não é o caso.

5.3.8 Definição da instrumentação

A instrumentação envolve os seguintes equipamentos necessários para colocar o que foi planejado em operação, são eles: a placa de comunicação aplicável a cada sistema de Domótica, o Bluetooth 2.0 para a comunicação Bluetooth, o ESP8266-01 para a comunicação Wi-Fi, a plataforma Arduino Pro Mini com o microcontrolador ATmega328p. Por fim, o dispositivo do ambiente controlável pelo sistema de automação, como é o caso da lâmpada LED (*Light Emitting Diode*) de sete Watts de potência.

Estabeleceu-se um roteiro, composto pelos seguintes passos:

- Configurar o equipamento junto aos dispositivos do ambiente de implantação;
- Verificar as redes sem fio existentes no ambiente (possíveis interferências) para o experimento de performance (tempo de resposta);
- Realizar teste piloto antes da execução do experimento;
- Verificar se os dados para o cálculo das métricas estão sendo capturados adequadamente.

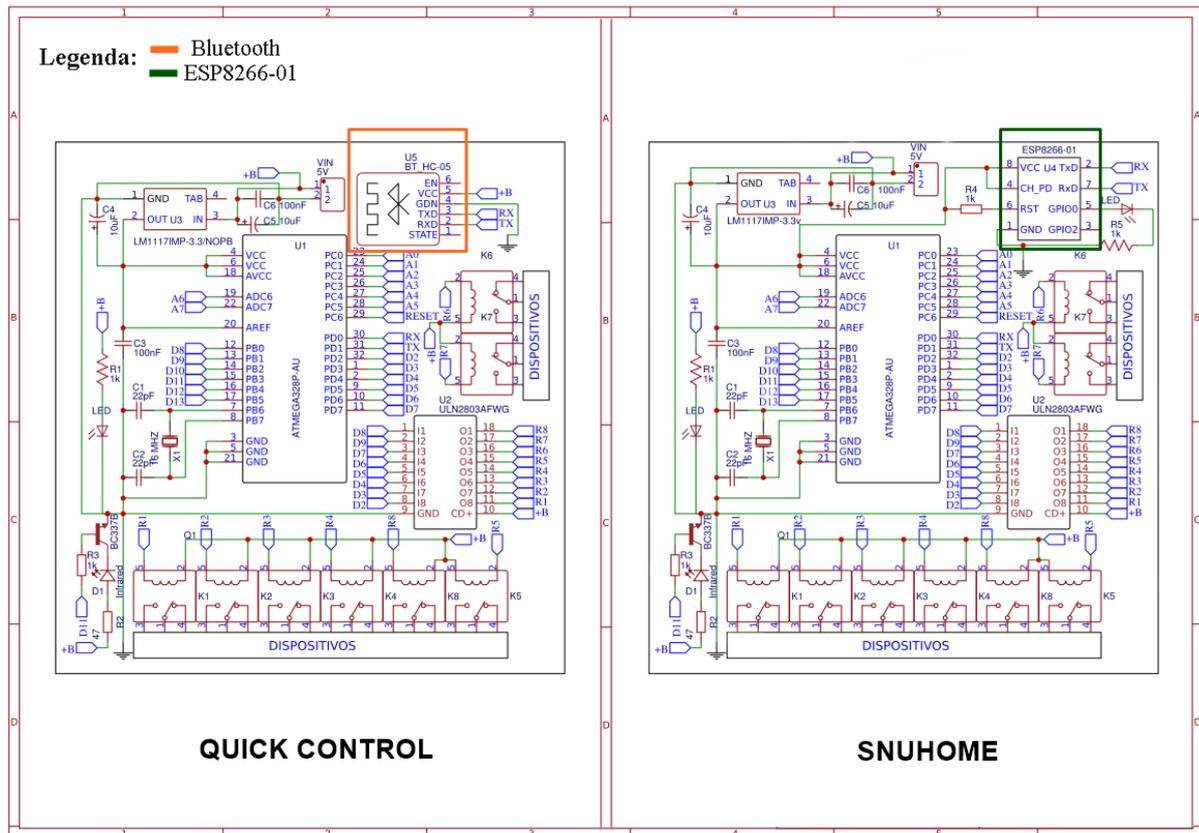
5.3.8.1 Circuito da placa de controle

Na Figura 17 é apresentado o circuito da placa de controle usada pelos aplicativos. Note que há dois circuitos, no entanto, a única diferença entre eles é o módulo de comunicação. A composição deste esquema exhibe com mais riqueza de detalhes, do que o esquemático fornecido na seção 3.5, como se dá a intercomunicação entre os elementos que

compõem a placa. É possível observar as trilhas da comunicação serial de cada módulo com o ATmega328p.

É usado um regulador de tensão para que a tensão correta seja estabelecida para um funcionamento adequado destes componentes. Além deste, há o drive responsável por acoplar o Arduino aos relés e o barramento dos dispositivos que é, basicamente, a ligação física com a estrutura. Considerando o ESP8266-01, há o acréscimo de mais pinos de conexão, se comparado ao Bluetooth, tais pinos são o CHPD (pino de *enable*) e o reset, que precisa estar com um nível lógico alto, já que o circuito do ESP8266-01 é resetado com um valor lógico baixo, precisando haver alimentação neste para que não haja o risco de, devido a ruídos, o módulo em questão se “autoresetar”.

Figura 17 - Circuito da placa de controle.



Fonte: Elaboração própria.

5.3.9 Ameaças à validade do experimento

As seguintes ameaças à validade do experimento são consideradas na Tabela 8, além disso, é definido como cada precaução descrita pode ser aplicada.

Tabela 8 - Ameaças à validade.

Ameaça relacionada a	Precaução	Como a precaução é aplicada
Baixo poder estatístico	Amostra grande o suficiente para que um padrão possa ser encontrado nos dados.	Foi disposto um período de teste experimental suficiente para que as tarefas de controle fossem realizadas uma porção de vezes. Período este que compreendeu cinco ou oito horas de experimento gerando um dado de amostra por minuto.
Confiabilidade das medidas	Instrumentação bem direcionada e definida.	Todos os recursos físicos estiveram disponíveis e funcionando como o esperado. Tanto os que compõem a instrumentação, como os recursos que deram suporte a aplicação das métricas.
Explicação de constructo	Explicação pré-operacional de constructo deve ser compreensível e não ambígua.	Definir o mais detalhado possível cada aspecto no plano do experimento.

Fonte: Elaboração própria.

6 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com a realização da pesquisa comparativa e do experimento controlado.

6.1 Resultado da Pesquisa Comparativa

Para a pesquisa comparativa, têm-se as tecnologias Bluetooth e Wi-Fi definidas. Quando se considera Bluetooth e Wi-Fi, suas variantes são comparadas entre si. Para o Bluetooth, foram consideradas sua versão clássica 2.0 e o BLE. Quanto ao Wi-Fi, foram consideradas as versões a, b, g e n do padrão IEEE 802.11.

As fontes de pesquisa se resumem a livros e apostilas, em sua maioria, e estão sintetizados na Tabela 9.

Tabela 9 - Fontes da pesquisa comparativa.

Ref.	Autoria	Detalhes
1	Alexandre Baratella Lugli; Max Mauro Dias Santos.	[Livro] Redes sem fio para automação industrial.
2	Alexandre Fernandes de Moraes	[Livro] Redes sem fio: instalação, configuração e segurança: fundamentos.
3	Naresh Gupta	[Livro] <i>Inside Bluetooth Low Energy</i> .
4	Joe Decuir	[IEEE <i>factsheet</i>] Bluetooth 4.0: <i>Low Energy</i> .
5	Nelson Murilo de O. Rufino	[Livro] Segurança em redes sem fio: aprenda a proteger suas informações em ambientes Wi-Fi e Bluetooth.
6	Allan Francisco Forzza Amaral	[Apostila] Redes de Computadores.
7	----	[Site oficial] www.bluetooth.com

Fonte: Elaboração própria.

As características ou parâmetros de comparação definidos para se comparar ambas as tecnologias e suas versões são: frequência de operação, velocidade de comunicação, técnica de modulação e distâncias alcançadas. O resultado da aplicação desta metodologia se encontra na Tabela 10.

De modo geral, a frequência de operação é o que as diferentes versões mais têm em comum, visto que, com exceção da 802.11a, todas são aptas a atuar em uma frequência de 2,4 GHz. É possível observar que a capacidade ou velocidade de comunicação é uma característica que evoluiu com o surgimento de versões mais recentes, como é o caso das

variantes do padrão IEEE 802.11.

Tabela 10 - Síntese da pesquisa comparativa.

Versão	IEEE 802.15.1		IEEE 802.11				Ref.
	2.0	BLE	A	b	g	n	
Frequência de operação	2,4 GHz	2,4 GHz	5 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 e/ou 5 GHz	1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Capacidade teórica (velocidade)	1 Mbps	1 Mbps	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	65 a 600 Mbps	1, 2, 5, e 6
Técnica de Modulação	GSFK	GSFK	OFDM	DSSS	OFDM	MIMO-OFDM	1, 3, 4, 5 e 7
Distância máxima Alcançada	100 metros	150 metros	50 metros	50 a 400 metros	50 a 400 metros	50 a 400 metros	4, 5 e 6

Fonte: Elaboração própria.

6.2 Resultado do Experimento Controlado

Em relação ao experimento controlado é considerada, além da conclusão do teste estatístico propriamente dito acerca das hipóteses definidas, uma análise descritiva da amostra, bem como, a análise e tratamento de *outliers*.

Tanto o teste experimental para eficiência energética quanto para performance contaram com toda a instrumentação definida em planejamento, ocorrendo no ambiente doméstico previamente considerado e fazendo uso de lâmpadas LED de sete Watts de potência. Ademais, foi seguido um roteiro no qual um teste piloto introdutório ao teste experimental foi realizado.

É importante salientar que, durante o teste piloto, se chegou à conclusão de que o uso de televisores e ventiladores dificultaria a frequência de teste para casos em que o tempo de “ligar/desligar” acontecesse sucessivamente rápido. Logo, optou-se apenas pelo uso de lâmpadas LED devido a disponibilidade desse tipo de item, o que permite sua substituição imediata caso haja algum contratempo. Como o tipo de eletrônico ou eletrodoméstico usado não influencia no valor de consumo ou no tempo de resposta, e como os dados obtidos se restringem apenas aos módulos de comunicação, então o não uso de uma variedade de dispositivos não compromete a validade da amostra ou a generalização das conclusões obtidas com o estudo.

6.2.1 Eficiência Energética

Durante um período que compreendeu oito horas de funcionamento os módulos Bluetooth 2.0 e ESP8266-01 foram submetidos ao teste experimental atuando em cada um de dois possíveis estados:

- **Ativo:** com conexão, ou pareamento, estabelecida (o) com o módulo de comunicação na placa de controle no qual o dispositivo controlado, no caso, a lâmpada, esteve periodicamente um minuto ligado e um minuto desligado nos 480 minutos de duração do teste experimental;
- **Ocioso:** sem conexão estabelecida, ou sem pareamento, com o módulo de comunicação na placa de controle deixando, durante 480 minutos, o sistema de automação ocioso, logo, não houve controle da lâmpada, apenas o módulo buscando estabelecer conexão ou pareamento.

Ao findar a coleta de dados de corrente (mA) foi aplicada a métrica potência/tempo para se estabelecer o consumo médio por minuto. Logo, quatro tabelas com 480 linhas foram geradas.

Em síntese, há duas tabulações de dados de consumo para o Bluetooth 2.0, uma para cada estado caracterizado em teste, e outras duas tabulações para o ESP8266-01 que, assim como no caso do Bluetooth 2.0, apresenta uma para cada estado. A variável “Modulo_de_comunicacao”, na Figura 18, considera “1” para o Bluetooth 2.0 e “2” para o ESP8266-01, só é possível visualizar valores “1” nesta coluna, pois essa figura é meramente ilustrativa e, deste modo, apenas as primeiras células da tabulação estão aparentes. Para realização deste estudo estatístico foi utilizado o software IBM SPSS *Statistic* versão 20.0.0.

Figura 18 - Tabulação dos dados de consumo.

	Name	Type	Width	Decimals
1	Modulo_de_comunicacao	Numeric	8	0
2	Consumo_medio_ocioso	Numeric	8	3
3	Consumo_medio_ativo	Numeric	8	3
4	Variáveis definidas			
5				

Índices das células	Modulo_de_comunicacao	Consumo_medio_ocioso	Consumo_medio_ativo
1	1	230,700	15,300
2	1	188,000	15,400
3	1	184,550	15,400
4	1	223,900	20,500
5	1	182,850	13,650
6	1	217,050	15,400
7	1	193,100	15,400
8	1	225,600	15,400
9	1	186,300	15,400
10	1	186,300	15,400
11	1	88,850	22,200
	Dados por coluna/variável		

Fonte: Elaboração própria.

6.2.1.1 Estatística Descritiva do consumo médio

Um dos primeiros passos para analisar um conjunto de dados, ou uma amostra, é gerar os valores descritivos destes dados, principalmente se estes forem quantitativos (MUNDSTOCK *et al.*, 2006). A estatística descritiva traz diversos indicadores, como mediana, média, variância, desvio padrão dentre outros, necessários para observar a tendência dos valores (escores) das amostras (FIELD, 2009).

Deste modo, os valores de média, desvio padrão, mediana, dentre outros, do consumo médio por minuto nas amostras tratadas podem ser visualizados na Tabela 11, estes valores foram retirados das Figuras 32 e 33 no Anexo A deste trabalho. O consumo médio apresentado é em escala de Miliwatts.

Tabela 11 - Alguns indicadores da estatística descritiva do consumo.

Estatística descritiva do consumo (mW)				
	Bluetooth 2.0 não pareado (ocioso)	Bluetooth 2.0 pareado (ativo)	ESP8266-01 não conectado (ocioso)	ESP8266-01 conectado (ativo)
Média	198,14219	22,26260	460,17544	225,36140
Desvio Padrão	26,355397	30,200597	3,239445	40,137526
Mediana	189,70000	15,40000	460,18500	219,94500
Variância	694,607	912,076	10,494	1611,021
Mínimo	15,400	13,650	455,697	204,171
Máximo	240,950	232,400	496,287	833,547
Assimetria	-2,591	5,770	6,619	14,469
Curtose	14,764	34,779	60,783	217,401
Total p/ amostra	480			

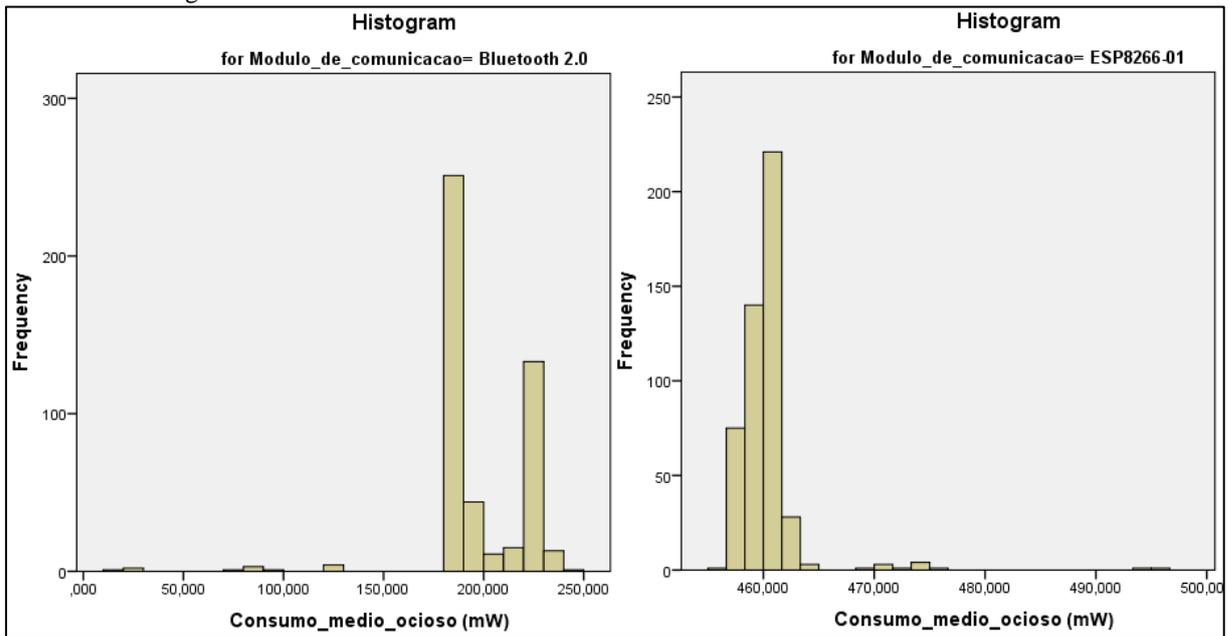
Fonte: Elaboração própria baseada nas tabelas geradas pelo SPSS dispostas nas Figuras 33 e 34 no Anexo A.

É possível observar, em termos quantitativos, que as amostras do Bluetooth 2.0 e ESP8266-01 em estado ativo, apresentam elevado grau de dispersão dos dados se comparada às amostras em estado ocioso, visto que apresentam os maiores valores de desvio padrão.

Os histogramas a seguir permitem visualizar o comportamento destes valores. No Gráfico 3 são apresentados os histogramas do Bluetooth 2.0 (à esquerda) e do ESP8266-01 (à direita) no estado ocioso. De modo semelhante, no Gráfico 4 estão dispostos os histogramas destes mesmos módulos de comunicação, no entanto, para o estado ativo.

É importante salientar que histogramas apresentam na escala vertical as frequências absolutas das classes de valores. Frequências absolutas correspondem ao número de ocorrências de cada valor, incluindo repetições. Na escala horizontal temos as classes formadas por intervalos de valores de consumo médio em Miliwatts (LOPES, 2001).

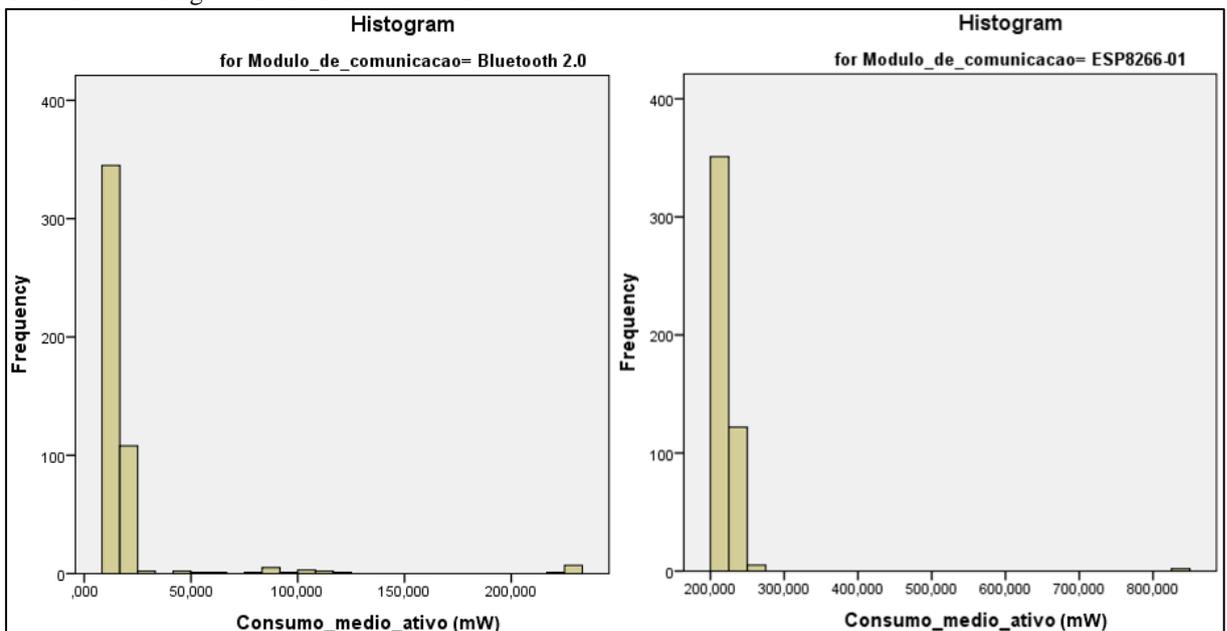
Gráfico 3 - Histogramas do consumo em estado ocioso.



Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

No Gráfico acima fica clara a assimetria da distribuição das amostras do Bluetooth 2.0 e ESP8266-01 no estado ocioso. Observa-se que o Bluetooth 2.0 apresenta assimetria positiva (média > mediana) e o ESP8266-01 apresenta assimetria negativa (média < mediana). Alguns intervalos de classes de valores se encontram distantes das classes de maior frequência absoluta, em ambos os histogramas, e isso sugere uma provável existência de valores atípicos nestas distribuições (LUZ, 2012).

Gráfico 4 – Histogramas do consumo em estado ativo.



Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

O mesmo ocorre para os dados no estado ativo (Gráfico acima), ambas as amostras apresentam assimetria positiva. A assimetria é um forte indicativo de anormalidade da distribuição. Além disto, observa-se que as maiores frequências absolutas se concentram em dois únicos intervalos de classes de valores em todo um conjunto de dados.

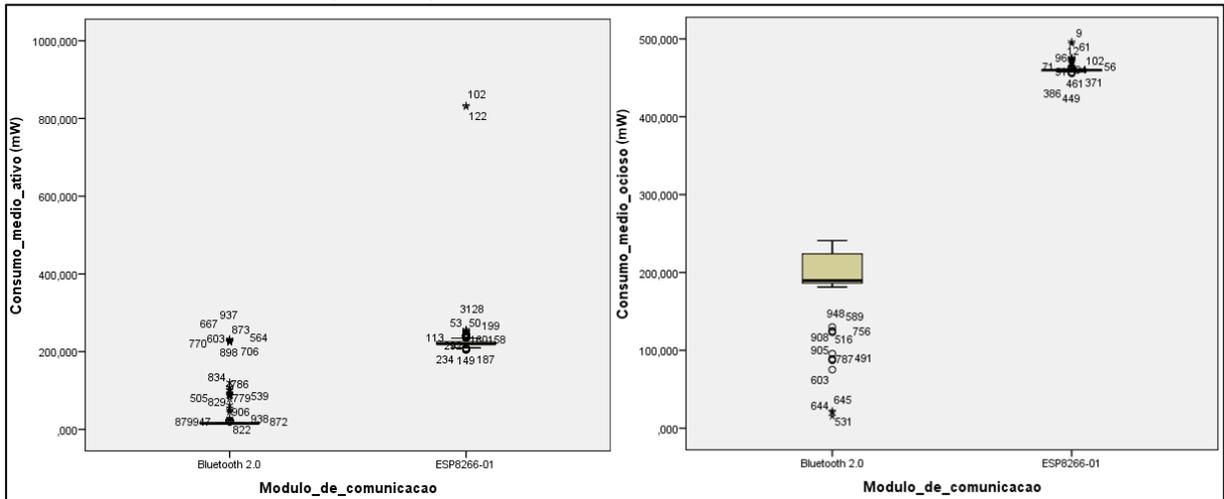
Com a análise da média dos 480 valores de consumo médio (Miliwatts) por minuto para cada amostra (Tabela 11) e considerando na escala gráfica (eixo horizontal) os intervalos de classes nos histogramas de consumo, no qual a escala do Bluetooth apresenta intervalos com valores bem inferiores aos apresentados no histograma do ESP8266-01, observa-se que o ESP8266-01 é o módulo que apresenta maior consumo, independentemente do estado neste estudo. Deste modo, dentro do contexto de automação residencial, o Bluetooth mostrou possuir mais eficiência energética.

O cálculo de aumento percentual entre as médias do Bluetooth 2.0 e do ESP8266-01 sugere que o ESP8266-01 mostra um aumento de, aproximadamente, 132% no consumo em estado ocioso, se comparado ao Bluetooth 2.0 para esse caso. Analogamente, o aumento percentual do consumo do ESP8266-01 no estado ativo é de, aproximadamente, 912% em relação ao Bluetooth 2.0.

Outro ponto interessante é que no estado ocioso as taxas de consumo são superiores as do estado ativo, e isso indica que o consumo enquanto os módulos de comunicação testados aguardam conexão ou pareamento é maior.

6.2.1.2 Análise de dados e tratamento de outliers para o consumo médio

No Gráfico 5 tem-se a representação em gráfico de caixa, ou *Box-Plot*, das amostras do Bluetooth 2.0 e ESP8266-01 considerando o consumo em estado ocioso, gráfico à direita, e ativo, gráfico à esquerda. Observa-se que tal representação permite a visualização de dados discrepantes (*outliers*).

Gráfico 5 – Gráfico de caixas (*Box-Plot*) do consumo nos estados ativo e ocioso.

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

Mundstock, *et al.* (2006) descreve que caixas “pequenas”, como é possível observar no caso do Bluetooth 2.0 no estado ativo, e no ESP8266-01 tanto no estado ativo como no estado ocioso, indicam que os valores dessas amostras estão bastante concentrados em torno da mediana, revelando uma natureza homogênea para tais amostras. Em contraposição, quanto maior a caixa mais heterogeneidade há nos dados.

Cada valor numérico exposto e representado por “★” ou “o” nos gráficos do Gráfico 5 indica um *outlier*. Entretanto, é possível observar que há *outliers* mais discrepantes, como o aglomerado de “★” enumerado por: 937, 667, 873, 603, 770, 898, 706 e 564 no gráfico de caixa do Bluetooth 2.0 em estado ativo, por exemplo. Ou, para o ESP8266-01, os identificados pelos números: 102 e 122, no mesmo estado. O *Box-Plot* do Bluetooth 2.0 no estado ocioso indica o aglomerado: 491, 516, 531, 589, 603, 644, 645, 756, 787, 905 e 908, dos quais, os identificados por 644, 645 e 531 se mostram mais discrepantes que os demais desse mesmo aglomerado. Esta interpretação considera o consumo médio na escala vertical dos gráficos (Gráfico 5), na qual, compreende-se por “mais discrepantes” aqueles que se distanciam mais da caixa.

É imprescindível citar que os números, que servem de identificadores para os *outliers*, no Gráfico 5, fazem referência ao índice que enumera cada célula no SPSS (Figura 18), outra questão é que algumas zonas, bem próximas das caixas “pequenas”, apontam um grande acúmulo de *outliers*, mais do que é visualmente perceptível através dos números identificadores.

Na subseção 5.2.4 é sugerido formas de tratamento de *outliers*, a exclusão é uma alternativa desde que haja evidências de que tais valores não representam a população

(FIELD, 2009) ou que não haverá novas ocorrências que gerem estes valores atípicos (WOHLIN *et al.*, 2012). É difícil chegar a alguma conclusão sobre ambos os casos considerando que tais variações exacerbantes de consumo (*outliers*) podem ser derivadas do próprio hardware, e como a determinação dessa ocorrência é algo bastante intermitente, por se tratar de rádio e radiofrequência, é difícil de prever a causa destes valores atípicos.

A estratégia de tratamento baseada em substituição, também é uma alternativa. Entretanto, sugere uma substituição pontual, valor por valor, dos valores atípicos (FIELD, 2009) e isso torna a análise bastante exaustiva, dado que, as amostras apresentam muitos pontos discrepantes e que, devido a análise em dois tipos de estado, faz com que a quantidade de amostras sejam em dobro. Deste modo, a única estratégia de tratamento viável para esta pesquisa é a transformação de dados.

Observando as tabelas de teste de normalidade destas amostras, na Figura 19, é interessante notar que todas apresentam significância (Sig.) menor do que 0,05. Isto implica que a distribuição normal não é uma distribuição possível para tais dados, uma vez que, o valor de significância 0,000 é menor que 0,05. 0,05 é o nível de significância estatística adotado como referência, nessa comparação, dado que estes testes estatísticos foram realizados com um intervalo de confiança de 95%, logo, o nível de significância é complementar a esse intervalo (5%). A razão de se analisar a coluna do teste de *Kolmogorov-Smirnov* é, basicamente, devido ao tamanho das amostras serem maiores do que 50, para amostras que possuam menos de 50 escores a coluna do teste de *Shapiro-Wilk* é analisada (MARQUES, 2018).

Figura 19 - Teste de normalidade do consumo nos estados ocioso e ativo.

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Modulo de comunicacao	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Consumo_medio_ocioso	Bluetooth 2.0	,245	480	,000	,689	480	,000
	ESP8266-01	,286	480	,000	,471	480	,000
Consumo_medio_ativo	Bluetooth 2.0	,442	480	,000	,234	480	,000
	ESP8266-01	,365	480	,000	,139	480	,000

a. Lilliefors Significance Correction

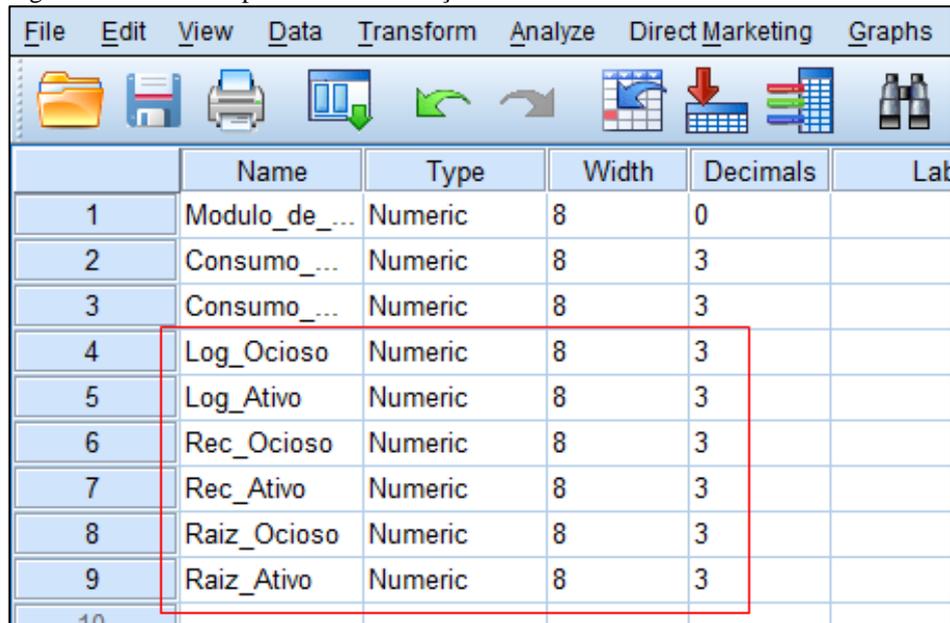
Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

Como a distribuição dos dados para as amostras é anormal, fez-se uso de transformação de dados para aplicar algum tratamento às amostras, uma vez que não se possa justificar a remoção destes *outliers*, logo, a aplicação de transformação envolvendo diferentes tipos de transformações teve como intuito averiguar se há mudanças no comportamento

distributivo dos dados e, conseqüentemente, uma melhora na simetria destas distribuições, além de ser a opção mais atraente de tratamento de *outlier* se comparada às demais.

Na Figura 20 é possível identificar as variáveis criadas para aplicação de transformações dos tipos logarítmica (Log_Ocioso e Log_Ativo), recíproca (Rec_Ocioso e Rec_Ativo) e envolvendo radiciação (Raiz_Ocioso e Raiz_Ativo). Assim como há variáveis para os valores de consumo nos estados ocioso e ativo, tais transformações geram novas variáveis na tabulação original como pode ser observado na figura.

Figura 20 - Variáveis para as transformações do consumo.



	Name	Type	Width	Decimals	Label
1	Modulo_de_...	Numeric	8	0	
2	Consumo_...	Numeric	8	3	
3	Consumo_...	Numeric	8	3	
4	Log_Ocioso	Numeric	8	3	
5	Log_Ativo	Numeric	8	3	
6	Rec_Ocioso	Numeric	8	3	
7	Rec_Ativo	Numeric	8	3	
8	Raiz_Ocioso	Numeric	8	3	
9	Raiz_Ativo	Numeric	8	3	
10					

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

Para a transformação logarítmica foi calculado o logaritmo na base 10 de cada valor da amostra ($\log_{10}(X_i)$). A transformação recíproca foi calculada pela divisão de “1” para cada valor resultante da diferença entre o valor máximo e cada dado do conjunto de valores ($1/(X_{\text{Máximo}} - X_i)$) e, por fim, a transformação usando radiciação estabelece a raiz quadrada para cada valor de amostra ($\sqrt{X_i}$). Na Figura 21 é observado que não houve variação nos testes de significância após a realização das transformações.

Figura 21 - Teste de normalidade das transformações do consumo.

Tests of Normality					Tests of Normality				
Modulo de comunicacao		Kolmogorov-Smirnov ^a			Modulo de comunicacao		Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Statistic	df	Sig.			Statistic	df	Sig.
Log_Ocioso	Bluetooth 2.0	,352	480	,000	Rec_Ativo	Bluetooth 2.0	,490	479	,000
	ESP8266-01	,285	480	,000		ESP8266-01	,513	479	,000
Log_Ativo	Bluetooth 2.0	,398	480	,000	Rec_Ocioso	Bluetooth 2.0	,289	479	,000
	ESP8266-01	,311	480	,000		ESP8266-01	,451	479	,000

a. Lilliefors Significance Correction

a. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality				
Modulo de comunicacao		Kolmogorov-Smirnov ^a		
		Statistic	df	Sig.
Raiz_Ocioso	Bluetooth 2.0	,291	480	,000
	ESP8266-01	,286	480	,000
Raiz_Ativo	Bluetooth 2.0	,419	480	,000
	ESP8266-01	,340	480	,000

a. Lilliefors Significance Correction

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

O fato de os valores de “Sig.” para os testes de normalidade envolvendo as transformações terem se mantido os mesmos, se comparado com a Figura 19, indica que a estratégia para tratamento de *outliers* não foi bem sucedida na “mitigação” dos efeitos desses valores discrepantes sobre a simetria das amostras. Como a tendência de distribuição continua anormal, logo, chega-se a conclusão de que nada foi resolvido pós-transformação e, portanto, seguindo a sugestão de Field (2009), foi considerado aplicar um teste de hipóteses que dispense a necessidade de dados normalmente distribuídos, no caso, testes não paramétricos.

6.2.1.3 Teste de Hipóteses do consumo médio

Os testes não paramétricos são mais adequados quando não existe distribuição normal nas amostras (LEOTTI; COSTER; RIBOLDI, 2012). Seguindo o esquema tratado na subseção 5.2.4 (caracterizado na Figura 12) o teste que mais se adequa é o *Mann-Whitney*. Deste modo, é exibido na sequência, os resultados da aplicação do teste *Mann-Whitney* nos estados ativo e ocioso envolvendo os módulos Bluetooth 2.0 e ESP8266-01.

O teste *Mann-Whitney* é um tipo de teste não paramétrico utilizado na estatística para analisar se duas amostras independentes foram retiradas de populações com médias idênticas. Trata-se de uma alternativa para o teste “t”, teste do tipo paramétrico, também utilizado para amostras independentes. No entanto, quando o tamanho da amostra é pequeno e/ou a distribuição dos dados dessa amostra não for normal, o teste de *Mann-Whitney* é mais indicado, visto que, sua única exigência é que as escalas das medições sejam do tipo ordinal ou numérica (NETO; STEIN, 2003).

Logo, o teste *Mann-Whitney* foi aplicado nas três transformações (logarítmica,

recíproca e radiciação) para fins de dar procedência ao estudo que se desencadeou desta maneira e também para, a título de curiosidade, comparar o resultado do teste para ambas as versões de cada amostra, e isto inclui o conjunto de dados original além dos conjuntos de dados transformados. Mesmo que as transformações tenham se mostrado ineficazes na melhoria da simetria, seu uso no teste de hipótese vai permitir comparar os resultados de ambas as versões das amostras entre si para o teste de *Mann-Whitney*.

Percebe-se nas Figuras 22 e 23 que o teste revelou um *p-value*, linha “Asymp. Sig.(2-tailed)”, de significância igual a 0,000 para ambas as versões das amostras. Como este valor é menor do que 0,05, que, como dito, é o nível de significância usado como referência, chega-se a conclusão de que, como definido na H0-2 (subseção 5.3.3), existe diferença significativa entre os consumos médios do Bluetooth 2.0 e o ESP8266-01 tanto no estado ocioso, quanto no estado ativo.

Esta inferência é justificada pela comparação entre o *p-value* e o nível de significância, sendo assim, a hipótese nula H0-2 foi rejeitada neste teste visto que o *p-value* obtido é inferior a 0,05 (MARQUES, 2018).

Figura 22 - Teste *Mann-Whitney* do consumo nos estados ocioso e ativo.

Ranks				
	Modulo de comunicacao	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Consumo_medio_ocioso	Bluetooth 2.0	480	240,50	115440,00
	ESP8266-01	480	720,50	345840,00
	Total	960		
Consumo_medio_ativo	Bluetooth 2.0	480	246,86	118491,00
	ESP8266-01	480	714,14	342789,00
	Total	960		

Test Statistics ^a		
	Consumo_m edio_ocioso	Consumo_m edio_ativo
Mann-Whitney U	,000	3051,000
Wilcoxon W	115440,000	118491,000
Z	-26,948	-26,730
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000	,000

a. Grouping Variable: Modulo_de_comunicacao

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

Figura 23 - Teste *Mann-Whitney* das transformações para o consumo.

Ranks					Ranks				
	Modulo de comunicacao	N	Mean Rank	Sum of Ranks		Modulo de comunicacao	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Log_Ocioso	Bluetooth 2.0	480	240,50	115440,00	Rec_Ocioso	Bluetooth 2.0	479	408,18	195518,00
	ESP8266-01	480	720,50	345840,00		ESP8266-01	479	550,82	263843,00
	Total	960				Total	958		
Log_Ativo	Bluetooth 2.0	480	246,86	118491,00	Rec_Ativo	Bluetooth 2.0	479	718,00	343923,00
	ESP8266-01	480	714,14	342789,00		ESP8266-01	479	241,00	115438,00
	Total	960				Total	958		

Test Statistics ^a			Test Statistics ^a		
	Log_Ocioso	Log_Ativo		Rec_Ocioso	Rec_Ativo
Mann-Whitney U	,000	3051,000		80558,000	478,000
Wilcoxon W	115440,000	118491,000		195518,000	115438,000
Z	-26,948	-26,730		-8,017	-27,318
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000

a. Grouping Variable:
Modulo_de_comunicacao

a. Grouping Variable:
Modulo_de_comunicacao

Ranks				
	Modulo de comunicacao	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Raiz_Ocioso	Bluetooth 2.0	480	240,50	115440,00
	ESP8266-01	480	720,50	345840,00
	Total	960		
Raiz_Ativo	Bluetooth 2.0	480	246,86	118491,00
	ESP8266-01	480	714,14	342789,00
	Total	960		

Test Statistics ^a		
	Raiz_Ocioso	Raiz_Ativo
Mann-Whitney U	,000	3051,000
Wilcoxon W	115440,000	118491,000
Z	-26,948	-26,730
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000	,000

a. Grouping Variable:
Modulo_de_comunicacao

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

6.2.2 Performance

Como dito, o aspecto de performance considerado neste estudo é o tempo de resposta. No projeto do experimento (seção 5.3.7) foi prevista a utilização do software inSSIDer (INSSIDER, 2010) que permitiu observar os canais de frequência do ambiente, de modo a garantir que o ESP8266-01 ocupa um canal disjunto de qualquer outro pertencente a qualquer outra rede, sob o padrão IEEE 802.11, presente no cenário. Na Figura 24 observa-se que o ESP8266-01 não sofre possível interferência de outra rede.

Figura 24 - Visualização do canal de atuação do ESP8266-01 via InSSIDer.



Fonte: Gerado pela ferramenta InSSIDer.

Para este experimento de performance a duração do teste experimental foi de 300 minutos e o teste aconteceu sucessivamente rápido com um “ligar/desligar” em intervalos de um minuto.

A mensuração do tempo de resposta seguiu o esquema proposto em planejamento, de modo que, as aplicações usadas coletaram o tempo de saída e chegada das informações de controle transferidas. A precisão da medição foi em uma escala de milissegundos. Logo, as amostras obtidas são do tempo de resposta do Bluetooth 2.0 e do ESP8266-01, sendo assim, foram geradas duas tabulações de dados, uma para cada um desses módulos. Na Figura 25 essa tabulação é mostrada na ferramenta SPSS.

Figura 25 - Tabulação dos dados de tempo de resposta.

The image shows two screenshots from a software application. The top screenshot displays a 'Variáveis definidas' (Defined Variables) table with the following data:

	Name	Type	Width	Decimals
1	Modulo_de_comunicacao	Numeric	8	0
2	Tempo_de_resposta	Numeric	8	2
3				
4	Variáveis definidas			
5				

The bottom screenshot displays a data table with the following data:

	Modulo_de_comunicacao	Tempo_de_resposta
1	1	176,00
2	1	126,00
3	1	118,00
4	1	35,00
5	1	153,00
6	1	134,00
7	1	155,00
8	1	150,00
9	1	120,00
10	1	133,00
11	1	117,00
12	1	130,00
13	1	154,00

Dados por coluna/variável

Fonte: Elaboração própria.

6.2.2.1 Estatística Descritiva do tempo de resposta

A estatística descritiva para o conjunto de dados de tempo de resposta expõe uma variedade de indicativos, dos quais, destaca-se a média, mediana, variância, desvio padrão, valores de máximo e mínimo, assimetria e curtose. Na Tabela 12 é possível observar as singularidades das amostras e percebe-se que, são tênues as diferenças entre as médias e medianas para os dois conjuntos de dados, se comparado, por exemplo, com os dados da estatística descritiva das amostras de consumo. Esta tabela traz os valores da Figura 34 disposta no Anexo A deste trabalho.

Entretanto, a média de tempo de resposta do Bluetooth 2.0 indica que, possivelmente, sua performance, em relação ao ESP8266-01, pode ser melhor, apesar de que, analisando os valores de desvio padrão, o nível de dispersão dos dados de tempo de resposta para o ESP8266-01 supera o do Bluetooth 2.0, indicando que os valores obtidos com o teste

experimental do ESP8266-01 se encontram mais distantes da média do que os valores obtidos com o teste envolvendo o Bluetooth 2.0.

O cálculo de aumento percentual para as médias das amostras do ESP8266-01 e do Bluetooth 2.0 demonstrou que o ESP8266-01 possui um aumento de, aproximadamente, 16% no tempo de resposta, se comparado ao Bluetooth 2.0 para este caso.

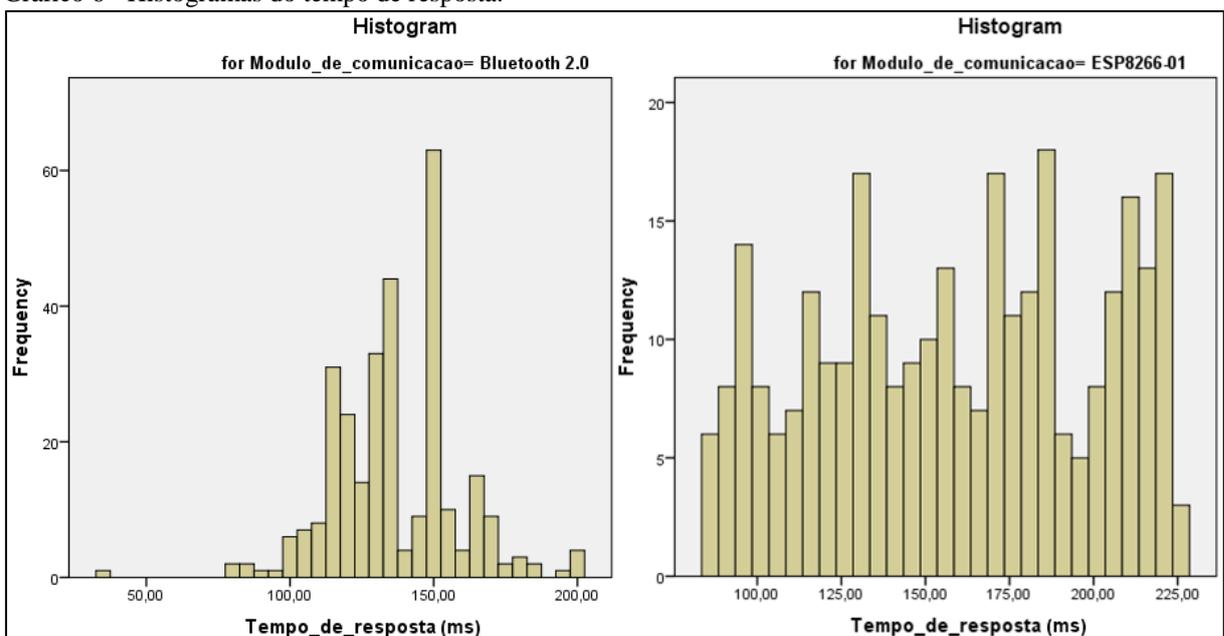
Tabela 12 - Alguns indicadores da estatística descritiva do tempo de resposta

Estatística descritiva do tempo de resposta (ms)		
	Bluetooth 2.0	ESP8266-01
Média	136,5067	159,3067
Desvio Padrão	21,92180	40,53413
Mediana	134,0000	161,5000
Variância	480,565	1643,016
Mínimo	35,00	86,00
Máximo	201,00	225,00
Assimetria	-0,048	-0,095
Curtose	1,550	-1,167
Total p/ amostra	300	

Fonte: Elaboração própria baseada na tabela gerada pelo SPSS disposta na Figura 35 no Anexo A.

Por fim, os histogramas do Bluetooth 2.0 (à esquerda) e do ESP8266-01 (à direita) no Gráfico 6, permitem observar o quão simétrico, ou assimétrico, os valores para ambas as amostras se encontram. A escala horizontal traz o tempo de resposta em Milissegundos (ms).

Gráfico 6 - Histogramas do tempo de resposta.



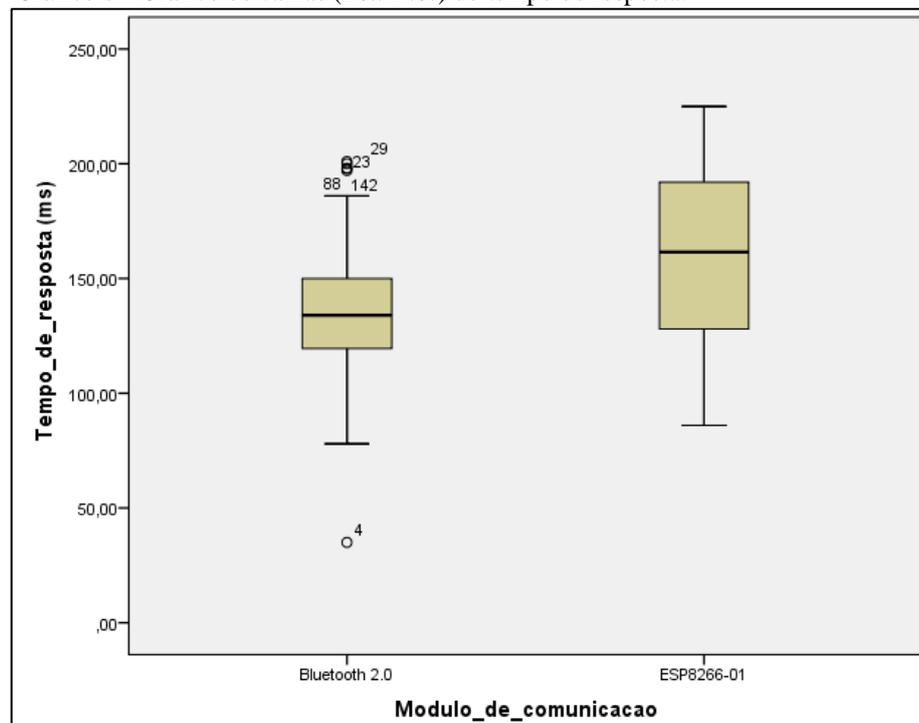
Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

O histograma do Bluetooth 2.0 indica que, provavelmente, existem alguns valores atípicos, já que é perceptível a existência de um intervalo de classe de valores, inferiores a 50 milissegundos, posicionada à extrema esquerda da distribuição. Para o ESP8266-01 não é visivelmente perceptível a presença de *outliers*, mas, é interessante observar que a maneira com que as “barras” estão dispostas pressupõe uma possível tendência anormal para esta distribuição, essa interpretação se baseia no posicionamento dessas “barras”, em que, não há um efeito de “sino” comum de distribuições normais. No entanto, a assimetria negativa é observada para o ESP8266-01 (média < mediana) e a positiva para o Bluetooth 2.0 (média > mediana).

6.2.2.2 Análise de dados e tratamento de outliers para o tempo de resposta

No Gráfico 7 o gráfico de caixas das amostras do Bluetooth 2.0 e ESP8266-01 mostra que os dados do ESP8266-01 são mais heterogêneos que os do Bluetooth, uma vez que, o tamanho da caixa é maior. Como suspeitado, na análise do histograma, o Bluetooth 2.0 apresenta alguns *outliers*.

Gráfico 7 - Gráfico de caixas (*Box-Plot*) do tempo de resposta.



Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

Os identificadores 4, 23, 29, 88 e 142, no Gráfico acima, são os valores

discrepantes observados pelo SPSS. Deste modo, como vem sendo feito, o tratamento de *outliers* é aplicado visto que estes valores atípicos podem afetar a normalidade da distribuição dos dados, indicada pelo teste de *Kolmogorov-Smirnov* na sequência. Logo, na Figura 26 exibe-se o resultado do teste de normalidade para estas amostras.

Além disto, o *Box-Plot* do ESP8266-01 mostra que não existem *outliers* neste conjunto de dados, mesmo com um desvio padrão mais elevado se comparado com o do Bluetooth 2.0. Logo, compreende-se que a heterogeneidade apresentada pelos valores do ESP8266-01 indica que, ao comparar ambas as amostras, o Bluetooth 2.0 mostra um tempo de resposta mais estável.

Figura 26 - Teste de normalidade do tempo de resposta.

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Modulo de comunicacao	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Tempo_de_resposta	Bluetooth 2.0	,087	300	,000	,972	300	,000
	ESP8266-01	,070	300	,001	,953	300	,000

a. Lilliefors Significance Correction

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

O valor de significância (Sig.) apresentado indica que a distribuição normal não é possível para estes conjuntos de dados, já que 0,000 e 0,001 são menores que 0,05, que é o referencial de significância adotado neste estudo, uma vez que, o nível de confiança do teste estatístico é de 95% para o tempo de resposta, assim como na eficiência energética. Com isto, a aplicação de algum tipo de tratamento deve ser experimentada antes de se optar por um teste não paramétrico, para o caso de que, talvez o tratamento melhore o comportamento distributivo das amostras.

Para este estudo, dado que o tamanho da informação transferida é de 1 byte para ambas as aplicações, mesmo que o Wi-Fi tenha uma taxa de transferência maior que a do Bluetooth, uma vez que o tamanho do dado transferido, nesse caso, é pequeno, é difícil determinar qual obteve melhor performance, isso no sentido de generalizar esta conclusão. Apesar de que nestes testes, o tempo médio do Bluetooth indica que este foi mais veloz.

Na Figura 27 segue as variáveis acrescentadas na tabulação original para aplicação das transformações logarítmica, recíproca e por radiciação.

Figura 27 - Variáveis para as transformações do tempo de resposta.

	Name	Type	Width	Decimals	Label
1	Modulo_de_...	Numeric	8	0	
2	Tempo_de_r...	Numeric	8	3	
3	Rec_Tempo	Numeric	8	3	
4	Log_Tempo	Numeric	8	3	
5	Raiz_Tempo	Numeric	8	3	
6					
7					
8					
9					
10					

Fonte: Elaboração própria.

Os tratamentos logarítmico (Log_Tempo), recíproco (Rec_Tempo) e por radiciação (Raiz_Tempo) foram aplicados as amostras de tempo de resposta do Bluetooth 2.0 e ESP8266-01 de modo semelhante a aplicação nas amostras para eficiência energética. As fórmulas usadas para cada tipo de transformação são as mesmas definidas na subseção 5.2.4 e citadas na subseção 6.2.1, logo, os testes de normalidade, na Figura 28, confirmam a suposição de que, dado que o resultado do teste de normalidade anterior mostra valores tão extremistas, como 0,000 e 0,001, as transformações têm um efeito nulo no comportamento distributivo destes dados.

Figura 28 - Teste de normalidade das transformações para o tempo de resposta.

Tests of Normality					Tests of Normality				
		Kolmogorov-Smirnov ^a					Kolmogorov-Smirnov ^a		
Modulo de comunicacao		Statistic	df	Sig.	Modulo de comunicacao		Statistic	df	Sig.
Log_Tempo	Bluetooth 2.0	,084	300	,000	Rec_Tempo	Bluetooth 2.0	,407	299	,000
	ESP8266-01	,096	300	,000		ESP8266-01	,323	297	,000
a. Lilliefors Significance Correction					a. Lilliefors Significance Correction				
Tests of Normality					Tests of Normality				
		Kolmogorov-Smirnov ^a					Kolmogorov-Smirnov ^a		
Modulo de comunicacao		Statistic	df	Sig.	Modulo de comunicacao		Statistic	df	Sig.
Raiz_Tempo	Bluetooth 2.0	,083	300	,000					
	ESP8266-01	,077	300	,000					
a. Lilliefors Significance Correction									

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

6.2.2.3 Teste de Hipóteses do tempo de resposta

O teste de hipóteses escolhido, seguindo o esquema da Figura 14, é o teste de *Mann-Whitney*. Assim como na subseção 6.2.1.3, este teste foi aplicado nas três

transformações. Observa-se, nas Figuras 29 e 30, que a hipótese nula H0-1 é rejeitada nos testes com a amostra original e as amostras transformadas por logaritmo e raiz quadrada, uma vez que, o *p-value* do teste indica uma significância inferior a 0,05. Entretanto, a transformação recíproca indica que a hipótese nula H0-1 não é rejeitada, dado que, o *p-value* obtido, que é 0,736, é maior que 0,05. Deste modo, três das quatro versões do mesmo tipo de teste de hipóteses mostram que há diferença significativa, com relação ao tempo de resposta, entre o Bluetooth 2.0 e o ESP8266-01. Entretanto, o teste *Mann-Whitney* para os valores transformados por reciprocidade mostra que não há diferença significativa entre os módulos em termos de tempo de resposta.

Figura 29 - Teste *Mann-Whitney* do tempo de resposta.

Ranks				
	Modulo de comunicacao	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Tempo_de_resposta	Bluetooth 2.0	300	249,73	74918,50
	ESP8266-01	300	351,27	105381,50
	Total	600		

Test Statistics ^a	
	Tempo_de_resposta
Mann-Whitney U	29768,500
Wilcoxon W	74918,500
Z	-7,175
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000

a. Grouping Variable:
Modulo_de_comunicacao

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

Figura 30 - Teste *Mann-Whitney* das transformações para o tempo de resposta.

Ranks					Ranks				
	Modulo de comunicacao	N	Mean Rank	Sum of Ranks		Modulo de comunicacao	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Log_Tempo	Bluetooth 2.0	300	249,73	74918,50	Rec_Tempo	Bluetooth 2.0	299	300,87	89960,50
	ESP8266-01	300	351,27	105381,50		ESP8266-01	297	296,11	87945,50
	Total	600				Total	596		

Test Statistics ^a		Test Statistics ^a	
	Log_Tempo		Rec_Tempo
Mann-Whitney U	29768,500	Mann-Whitney U	43692,500
Wilcoxon W	74918,500	Wilcoxon W	87945,500
Z	-7,175	Z	-,337
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000	Asymp. Sig. (2-tailed)	,736

a. Grouping Variable:
Modulo_de_comunicacao

Ranks				
	Modulo de comunicacao	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Raiz_Tempo	Bluetooth 2.0	300	249,73	74918,50
	ESP8266-01	300	351,27	105381,50
	Total	600		

Test Statistics ^a	
	Raiz_Tempo
Mann-Whitney U	29768,500
Wilcoxon W	74918,500
Z	-7,175
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000

a. Grouping Variable:
Modulo_de_comunicacao

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

Não se deve desconsiderar que o teste de hipóteses na amostra transformada por reciprocidade refuta os demais. Logo, para investigar quais das conclusões, que são rejeitar ou não rejeitar a hipótese nula H-01, de fato se aplica a este estudo, foi analisada a equação da transformação recíproca, que é $1/(X_{\text{Máximo}} - X_i)$, e observado que os valores de máximo são desconsiderados na amostra ao aplicar esse tipo de transformação, visto que, para estes valores máximos a transformação pressupõe divisão por zero e, sempre que isso acontece, o campo deste dado na ferramenta SPSS é deixado “em branco”.

Para confirmar que a desconsideração dos valores máximos afeta o *p-value* obtido e que, deste modo, é a causa deste teste ter indicado não rejeição da hipótese nula em contraposição aos demais, realizou-se a aplicação de uma variação desta transformação, sugerida por Field (2009), de modo que, a equação usada para essa variação não anula os campos de valor máximo nas amostras: $1/X_i$ (Rec_Tempo2). Também foi feita a retirada, manualmente, dos valores máximos para ambas as amostras originais (Tempo_de_resposta2) para tornar mais enfática que esta é a causa do teste ter sido avesso aos demais. Os testes de *Mann-Whitney* foram realizados para estes casos citados (Rec_Tempo2 e Tempo_de_resposta2), o resultado pode ser verificado na Figura 31.

Figura 31 - Teste *Mann-Whitney* para a variação da transformação recíproca e para a amostra com a remoção de valores máximos.

Ranks					Ranks				
	Modulo de comunicacao	N	Mean Rank	Sum of Ranks		Modulo de comunicacao	N	Mean Rank	Sum of Ranks
Tempo_de_resposta2	Bluetooth 2.0	299	248,77	74383,50	Rec_Tempo2	Bluetooth 2.0	300	351,27	105381,50
	ESP8266-01	297	348,56	103522,50		ESP8266-01	300	249,73	74918,50
	Total	596				Total	600		

Test Statistics ^a		Test Statistics ^a	
	Tempo_de_resposta2		Rec_Tempo2
Mann-Whitney U	29533,500	Mann-Whitney U	29768,500
Wilcoxon W	74383,500	Wilcoxon W	74918,500
Z	-7,075	Z	-7,175
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000	Asymp. Sig. (2-tailed)	,000

a. Grouping Variable:
Modulo_de_comunicacao

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

O *p-value* obtido indica que a desconsideração dos valores máximos das amostras do Bluetooth 2.0 e ESP8266-01 afetou o teste *Mann-Whitney* realizado para tais amostras com transformação recíproca (Figura 30) e, por essa razão, a H-01 não era rejeitada. Com isto, chega-se a conclusão de que, como o teste recíproco removeu dados relevantes das amostras, o resultado do teste foi um reflexo dessa manipulação inconsciente dos dados da amostra transformada. Portanto, comprova-se que a H-01 é rejeitada em deferência a esta circunstância, e com isto, que existe diferença significativa entre o Bluetooth 2.0 e o ESP8266-01 em relação ao tempo de resposta.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho abordou um estudo comparativo e experimental de duas das tecnologias de comunicação mais comumente utilizadas no contexto de automação residencial (BOLZANI, 2007; ELINOFF, 2017). Para o estudo comparativo, uma síntese de características básicas foi feita verificando a consistência das informações obtidas entre diversas fontes na literatura. Deste modo, a pesquisa comparativa considerou as variações 2.0 e 4.0 (BLE) do padrão IEEE 802.15.1 e as versões a, b, g e n do padrão IEEE 802.11. Como resultado foi observado que existem singularidades e aspectos em comum entre tais variações do Bluetooth e Wi-Fi. Das dificuldades encontradas, correlacionar a consistência das informações encontradas entre o conjunto de livros e demais fontes de referência, bem como, selecionar um conjunto de características, de modo que, fossem cabíveis para ambas as variações, podem ser citadas.

Visando uma análise formal, um experimento controlado resultou em amostras provenientes de testes realizados em um ambiente doméstico. Estas amostras foram submetidas a testes estatísticos para que conclusões acerca da existência de diferença significativa entre o Bluetooth 2.0 e o Wi-Fi, via ESP8266-01, fossem obtidas. Além disto, a realização de tratamentos nos dados evidenciou com mais veemência a natureza da distribuição destas amostras e, com base nisso, foi possível adotar um teste de hipóteses condizente para estes casos. Apesar de que, eventualmente, a operação do experimento tomou um tempo considerável do estudo, é interessante salientar que a análise de dados se mostrou mais custosa em relação ao tempo dedicado. No entanto, engrandeceu o estudo por apresentar na prática tipos de transformações de dados pouco abordados em sala de aula nos cursos de graduação, conforme a afirmação de autores como Field (2009).

Das contribuições deste trabalho, ficou claro que, tanto em relação a eficiência energética, caracterizada pela análise do consumo médio em Miliwatts, quanto em relação a performance, no que diz respeito ao tempo de resposta dado em milissegundos, o Bluetooth 2.0 e o ESP8266-01 mostraram uma distinção evidente, uma vez que, os teste de *Mann-Whitney* para estes casos negaram as hipóteses nulas.

Em termos de valores, as médias gerais de consumo do ESP8266-01, nos estados ativo e ocioso, mostraram um aumento percentual de 132% (ocioso) e 912% (ativo) em relação ao Bluetooth 2.0, logo, dentro do contexto de automação residencial, em um cenário real de atuação, pode-se entender que a eficiência energética do Bluetooth é superior a do Wi-Fi. Outra conclusão interessante é a de que a atuação dos módulos em busca de conexão

mostra um consumo mais elevado em relação ao estado de conectado ou pareado. Estas conclusões puderam ser confirmadas pela observação dos histogramas de consumo, onde verificou-se que a concentração dos valores na escala gráfica do ESP8266-01 se encontram em intervalos de classes bem mais elevados do que os valores nos intervalos de classe da escala gráfica do Bluetooth 2.0.

O teste de hipóteses de *Mann-Whitney* inferiu que existe diferença significativa na performance de ambas as tecnologias. Com relação as médias gerais de tempo de resposta, o ESP8266-01 mostrou um aumento percentual de, aproximadamente, 16% em relação ao Bluetooth 2.0 nos testes realizados.

Deste modo, diante dos resultados obtidos, neste estudo o Bluetooth 2.0 pode ser uma tecnologia de comunicação mais interessante, em termos de eficiência energética, para a Domótica do que o Wi-Fi sob o módulo ESP8266-01. Ademais, a análise da amostra do tempo de resposta para o Bluetooth 2.0 indica que este módulo se mostrou mais estável se comparado ao ESP8266-01.

Como perspectiva futura os próximos passos envolvem investigar outros aspectos de performance, como a perda de pacotes, por exemplo, se viável. Além de que, realizar um estudo experimental com outras tecnologias usadas na automação residencial, não necessariamente tecnologias de comunicação, mas podendo haver um estudo envolvendo tais tecnologias, dado que, outra possibilidade é a realização de testes experimentais comparando as versões dos modelos de comunicação foco deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ACCARDI, Adonis; DODONOV, Eugeni. **Automação residencial: elementos básicos, arquiteturas, setores, aplicações e protocolos**. Revista TIS, v. 1, n. 2, 2012. Disponível em: <http://revistatis.dc.ufscar.br/index.php/revista/article/view/27>. Acesso em: 24 abr. 2019.
- AL-SARAWI, Shadi *et al.* **Internet of Things (IoT) communication protocols**. In: 2017 8th International Conference on Information Technology (ICIT). IEEE, 2017. p. 685-690. Disponível em: <https://ieeexplore-ieee-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/abstract/document/8079928/>. Acesso em: 04 abr. 2019.
- AMARAL, Allan Francisco Forzza. **Redes de Computadores**. e-Tec Brasil – Escola técnica aberta do Brasil. IFCE Espírito Santo. 2016. Disponível em: http://www.lcvdata.com/redes/402283130_redes-computadores.pdf. Acesso em: 01 nov. 2019.
- ARDUINO. **Arduino-Pro-Mini Design**. Arduino uploads, 2014. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino-Pro-Mini-schematic.pdf>. Acesso em: 29 out. 2019.
- ATMEGA328P DATASHEET. **ATmega328P**. Atmel, 2015. Disponível em: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf. Acesso em: 17 out. 2019.
- BAIG, Mirza Qutab *et al.* **A comparative analysis on home automation techniques**. In: 2014 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Modelling and Simulation. IEEE, 2014. p. 109-114.
- BAÚ DA ELETRÔNICA. **Componentes Eletrônicos: Arduino Pro Mini 328 - 5V/16MHz**, 2019. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/arduino-pro-mini-328-5v-16mhz.html>. Acesso em: 18 out. 2019.
- BIT, Abhishek; OREHEK, Martin; ZIA, Waqar. **Comparative analysis of Bluetooth 3.0 with UWB and Certified Wireless-USB protocols**. In: 2010 IEEE International Conference on Ultra-Wideband. IEEE, 2010. p. 1-4.
- BLUETOOTH. **Technology Radio Versions**, 2019. Bluetooth. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/radio-versions/>. Acesso em: 01 nov. 2019.
- BOLZANI, Caio. **Desmistificando a domótica**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.
- BRONZI, Walter *et al.* **Bluetooth low energy performance and robustness analysis for inter-vehicular communications**. Ad Hoc Networks, v. 37, p. 76-86, 2016.
- ČABARKAPA, Danijel; GRUJIĆ, Ivana; PAVLOVIĆ, Petar. **Comparative analysis of the bluetooth low-energy indoor positioning systems**. In: 2015 12th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS). IEEE, 2015. p. 76-79.

CABRAL, Isabela. **Bluetooth 5.1 vai oferecer serviço de localização mais preciso.** TechTudo, 2019. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/2019/01/bluetooth-51-vai-oferecer-servico-de-localizacao-mais-preciso.ghtml>. Acesso em: 01 dez. 2019.

CANO, Juan-Carlos *et al.* **Evaluation of the energetic impact of bluetooth low-power modes for ubiquitous computing applications.** In: Proceedings of the 3rd ACM international workshop on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor and ubiquitous networks. ACM, 2006. p. 1-8.

CARBALLAR, José Antonio; FALCÓN, José A. Carballar. **Wi-Fi: lo que se necesita conocer.** RC libros, 2010.

CEDOM. **Qué es Domótica.** Asociación Española de Domótica e Inmótica. Disponível em: <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-domotica>. Acesso em 20 mar. 2019.

DECUIR, Joe. **Bluetooth 4.0: low energy.** Cambridge, UK: Cambridge Silicon Radio SR plc, v. 16, 2010.

DERR, Kurt; MANIC, Milos. **Intelligent control in automation based on wireless traffic analysis.** In: 2007 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (EFTA 2007). IEEE, 2007. p. 249-256.

D'SOUZA, Andrea *et al.* **Performance Comparison Between ETSI SmartBAN and Bluetooth.** In: 2018 12th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT). IEEE, 2018. p. 1-5.

ELINOFF, Gary. **Bluetooth vs Wi-Fi vs ZigBee.** Electronic Products, 2017. Disponível em: https://www.electronicproducts.com/Computer_Peripherals/Communication_Peripherals/Bluetooth_vs_Wi-Fi_vs_ZigBee.aspx. Acesso em: 02 abr. 2019.

EL-SHWEKY, Bahaa Eldin *et al.* **Internet of Things: a comparative study.** In: 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC). IEEE, 2018. p. 622-631.

ESTES, Adam Clark. Como começou essa história de transmitir informações sem fio. Gizmodo Brasil – UOL, 2018. Disponível em: <https://gizmodo.uol.com.br/como-comecou-essa-historia-de-transmitir-informacoes-sem-fio/>. Acesso em: 24 maio 2019.

FERREIRA, Juliana Carvalho; PATINO, Cecilia Maria. **O que realmente significa o valor-p?** Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 41, n. 5, p. 485-485, 2015.

FIELD, Andy. **Descobrimo a estatística usando o SPSS-2.** Bookman Editora, 2009.

GOIS, Francisco Nauber Bernardo. **Search-based Stress Test: na approach applying evolutionary algorithms and trajectory methods.** 2017. 169 f. Tese (Doutorado em Informática Aplicada) – Programa de Doutorado em Informática Aplicada. Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2017.

GOLMIE, Nada; CHEVROLLIER, Nicolas; REBALA, Olivier. **Bluetooth and WLAN coexistence: challenges and solutions**. IEEE Wireless Communications, v. 10, n. 6, p. 22-29, 2003.

GUPTA, Naresh Kumar. **Inside Bluetooth low energy**. Artech house, 2016.

HAATAJA, Keijo MJ; HYPPONEN, Konstantin. **Man-in-the-middle attacks on bluetooth: a comparative analysis, a novel attack, and countermeasures**. In: 2008 3rd International Symposium on Communications, Control and Signal Processing. IEEE, 2008. p. 1096-1102.

INSSIDER. **Graphical wireless scanning for Windows**. Uptodown, 2010. Disponível em: <https://inssider.br.uptodown.com/windows>. Acesso em: 22 out. 2019.

ISO/IEC TR 9126-2. **Software Engineering – Product quality – Part2: External metrics**, Committee identification: ISO/IEC JTC1 /SC 7/WG 6, v. 3.0, Japan, 2002. Disponível em: https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0ahUKEwi91pXOnbzWAhWKfZAKHXZxApUQFgg-MAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.cse.unsw.edu.au%2F~cs3710%2FPMmaterials%2FResources%2F9126-2%2520Standard.doc&usg=AFQjCNGTq0QzuzDhH-_OybIc_1FD8ibWIw. Acesso em: 24 maio 2019.

KARIMI, Khaoula; KRIT, Salah-ddine. **Systems and technologies for Smart Homes/Smart Phones: A study and comparison**. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Engineering & MIS 2018. ACM, 2018. p. 8.

LEDBETTER, William *et al.* **Digital Blues: An Investigation Into the Use of Bluetooth Protocols**. In: 2018 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE). IEEE, 2018. p. 498-503.

LEOTTI, Vanessa Bielefeldt; COSTER, Rodrigo; RIBOLDI, João. **Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação**. Revista HCPA. Porto Alegre. Vol. 32, no. 2 (2012), p. 227-234, 2012.

LINS, Vitor; MOURA, Waldson. **Domótica: Automação Residencial**. 2010.

LOPES, Paulo Afonso. **Probabilidades & estatística**. Reichmann & Affonso, 2001.

LOPES, Manuela de Mesquita; BRANCO, Verônica Teixeira Franco Castelo; SOARES, Jorge Barbosa. **Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação**. Transportes, v. 21, n. 1, p. 59-66, 2013.

LOUIS, Leo. **WORKING PRINCIPLE OF ARDUINO AND U SING IT**. International Journal of Control, Automation, Communication and Systems (IJCACS), v. 1, n. 2, p. 21-29, 2016.

LUGLI, Alexandre Baratella; SANTOS, Max Mauro Dias. **Redes sem fio para Automação Industrial**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2014.

LUZ, João Alessandro da. **Medidas de Assimetria e Curtose**. Faculdade Integrado de Campo Mourão. SlideShare, 2012. Disponível em: <https://es.slideshare.net/JoaoAlessandro/aula-20-medidas-de-assimetria/4>. Acesso em: 26 out. 2019.

MAIER, Alexander; SHARP, Andrew; VAGAPOV, Yuriy. **Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things**. In: 2017 Internet Technologies and Applications (ITA). IEEE, 2017. p. 143-148.

MARQUES, Anna Beatriz. **Análise e Interpretação de Resultados de Experimentos**. Slide, aula da disciplina de Experimentação em Engenharia de Software, Universidade Federal do Ceará - Campus de Russas, 2018. 46 p. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/1D2HVJbIqRQbA_SXbz5JF_aQe4zB05Uw-/view?usp=sharing. Acesso em: 22 maio 2019.

MELO JUNIOR, Francisco Wellington Rodrigues de. **Sistema de automação residencial via aplicativo utilizando conceitos de internet das coisas**. 2018. 41 f. TCC (Graduação) Engenharia de Telecomunicações - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará/ Campus Fortaleza, Fortaleza, 2018. Disponível em: biblioteca.ifce.edu.br/index.asp?codigo_sophia=80186. Acesso em: 24 mai. 2019.

MORAES, Alexandre Fernandes de. **Redes Sem Fio: instalação, configuração e segurança: fundamentos**. São Paulo: Érica, 2010.

MUNDSTOCK, Elsa et al. **Introdução à Análise Estatística utilizando o SPSS 13.0**. Cadernos de Matemática e Estatística Série B. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2006.

MURATORI, José Roberto; DAL BÓ, Paulo Henrique. **Automação Residencial conceitos e aplicações**. Minas Gerais: Educere, 2013

NETO, Arthur Alexandre Hackbarth; STEIN, Carlos Efrain. **Uma abordagem dos testes não-paramétricos com utilização do Excel**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 10, 2003.

PILATI, Ronaldo; PORTO, Juliana B. **Apostila para tratamento de dados via SPSS**. Rede Social e Acadêmica da Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: https://social.stoa.usp.br/articles/0016/4637/apostila_SPSS_Porto_.pdf. Acesso em: 24 out. 2019.

RUFINO, Nelson Murilo de O. **Segurança em Redes sem Fio - 2ª Edição: Aprenda a proteger suas informações em ambientes Wi-Fi e Bluetooth**. São Paulo: Novatec Editora, 2007.

SHAMIEH, Cathleen; McCOMB, Gordon. **Eletrônica para Leigos**. Tradutores: Fernando Effiori e Roberto Assis Rezende. – 2. Ed. – Rio de Janeiro: Alta Books, 2011. 416 p.

SHULL, Forrest; SINGER, Janice; SJØBERG, Dag IK (Ed.). **Guide to advanced empirical software engineering**. Springer Science & Business Media, 2007.

SINGH, Manvir; VERMA, A. K. **Comparative Analysis of IEEE 802.15. 4 and IEEE 802.15. 6 Standards**. In: 2014 International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks. IEEE, 2014. p. 370-373.

SIQUEIRA, Thiago Senador de. **Bluetooth – Características, protocolos e funcionamento**. Universidade Estadual de Campinas–Unicamp, 2006. Disponível em: <http://www.ic.unicamp.br/~ducatte/mo401/1s2006/T2/057642-T.pdf>. Acesso em 03 nov. 2019.

TOUATI, Farid *et al.* **An experimental performance evaluation and compatibility study of the Bluetooth low energy based platform for ECG monitoring in WBANs**. International Journal of Distributed Sensor Networks, v. 11, n. 9, p. 645781, 2015.

VAIDYA, Vishakha D.; VISHWAKARMA, Pinki. **A Comparative Analysis on Smart Home System to Control, Monitor and Secure Home, based on technologies like GSM, IOT, Bluetooth and PIC Microcontroller with ZigBee Modulation**. In: 2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET). IEEE, 2018. p. 1-4.

VALADARES, Dalton Cézane Gomes. **Avaliação de desempenho de uma Rede 802.11g em uma usina termoeletrica**, 2015. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Centro de Engenharia Elétrica e Informática. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

VASCONCELOS, Vitor Vieira; FEITOSA, Flávia da Fonseca. **Análise exploratória de dados no SPSS: Gráficos e Estatísticas Descritivas**. Universidade Federal do ABC. SlideShare, 2017. Disponível em: https://pt.slideshare.net/vitor_vasconcelos/anlise-exploratoria-de-dados-no-spss. Acesso em: 25 out. 2019.

WAGHMARE, Pratik *et al.* **Survey on: Home automation systems**. In: 2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI). IEEE, 2017. p. 7-10.

WOHLIN, Claes *et al.* **Experimentation in software engineering**. Springer Science & Business Media, 2012.

WORTMEYER, Charles; FREITAS, Fernando; CARDOSO, Líuam. **Automação Residencial: Busca de Tecnologias visando o Conforto, a Economia, a Praticidade e a Segurança do Usuário**. II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia SEGeT2005, 2005.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso-: Planejamento e métodos**. 5ª Edição. Bookman editora, 2015.

APÊNDICE A – FICHA DE EXTRAÇÃO PARA TRABALHOS RELACIONADOS

FICHA DE EXTRAÇÃO UTILIZADA NA CARACTERIZAÇÃO DOS TRABALHOS RELACIONADOS

A ficha de extração a seguir foi utilizada no levantamento de informações dos artigos considerados no capítulo de Trabalhos Relacionados.

Tabela 13 - Modelo de ficha de extração adotado.

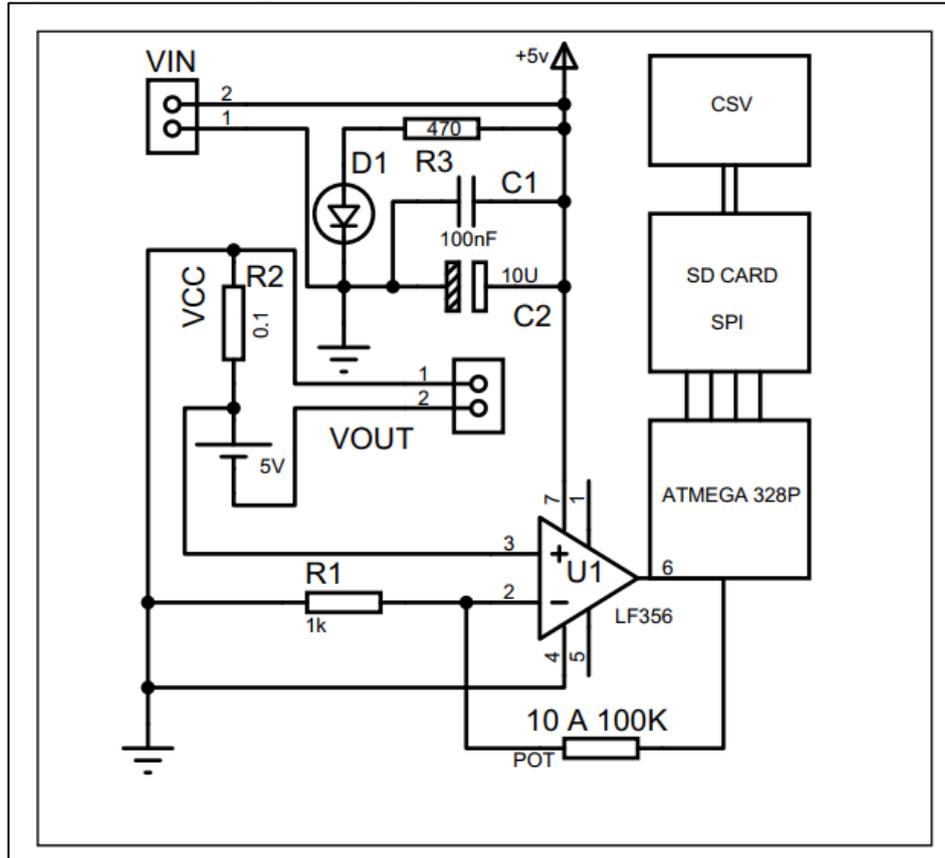
FICHA DE EXTRAÇÃO	
Data da extração:	
Título:	
Autores:	
Fonte:	
Ano de Publicação:	
Contexto de estudo:	
Objetivo(s):	
Características:	
Conclusão:	
Metodologia(s):	
Número de citações:	

Fonte: Elaboração própria.

APÊNDICE B – CIRCUITO DA PLACA DE MEDIÇÃO DE CONSUMO

O circuito da placa de medição de consumo é apresentado pela figura a seguir.

Figura 32 - Circuito da placa de medição de consumo.



Fonte: Elaboração própria.

ANEXO A – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS AMOSTRAS

Figura 33 - Estatística descritiva do consumo no estado ocioso.

Descriptives						
	Modulo de comunicacao			Statistic	Std. Error	
Consumo_medio_ocioso	Bluetooth 2.0	Mean		198,14219	1,202954	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	195,77847		
			Upper Bound	200,50591		
		5% Trimmed Mean		199,96354		
		Median		189,70000		
		Variance		694,607		
		Std. Deviation		26,355397		
		Minimum		15,400		
		Maximum		240,950		
		Range		225,550		
		Interquartile Range		37,600		
		Skewness		-2,591		,111
		Kurtosis		14,764		,222
		ESP8266-01		Mean		
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound			459,88491		
	Upper Bound			460,46598		
5% Trimmed Mean				459,80466		
Median				460,18500		
Variance				10,494		
Std. Deviation				3,239445		
Minimum				455,697		
Maximum				498,287		
Range				40,590		
Interquartile Range				1,122		
Skewness				6,619	,111	
Kurtosis				60,783	,222	

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

Figura 34 - Estatística descritiva do consumo no estado ativo.

Descriptives				Statistic	Std. Error
Modulo de comunicacao					
Consumo_medio_ativo	Bluetooth 2.0	Mean		22,26260	1,378462
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	19,55402	
			Upper Bound	24,97118	
		5% Trimmed Mean		16,35301	
		Median		15,40000	
		Variance		912,076	
		Std. Deviation		30,200597	
		Minimum		13,650	
		Maximum		232,400	
		Range		218,750	
		Interquartile Range		1,700	
		Skewness		5,770	,111
		Kurtosis		34,779	,222
			ESP8266-01	Mean	
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound			221,76161	
	Upper Bound			228,96119	
5% Trimmed Mean				222,36783	
Median				219,94500	
Variance				1611,021	
Std. Deviation				40,137526	
Minimum				204,171	
Maximum				833,547	
Range				629,376	
Interquartile Range				6,765	
Skewness				14,469	,111
Kurtosis				217,401	,222

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.

Figura 35 - Estatística descritiva do tempo de resposta.

Descriptives					
Modulo de comunicacao			Statistic	Std. Error	
Tempo_de_resposta	Bluetooth 2.0	Mean	136,5067	1,26566	
		95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound	134,0159	
			Upper Bound	138,9974	
		5% Trimmed Mean	136,3741		
		Median	134,0000		
		Variance	480,565		
		Std. Deviation	21,92180		
		Minimum	35,00		
		Maximum	201,00		
		Range	166,00		
		Interquartile Range	30,75		
		Skewness	-,048	,141	
		Kurtosis	1,550	,281	
		ESP8266-01		Mean	159,3067
95% Confidence Interval for Mean	Lower Bound			154,7012	
	Upper Bound			163,9121	
5% Trimmed Mean	159,6852				
Median	161,5000				
Variance	1643,016				
Std. Deviation	40,53413				
Minimum	86,00				
Maximum	225,00				
Range	139,00				
Interquartile Range	64,00				
Skewness	-,095			,141	
Kurtosis	-1,167			,281	

Fonte: Gerado pela ferramenta SPSS.