



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

JEFFERSON DE CARVALHO CABRAL

**Avaliação do consumo energético de *smartphones* em
um sistema *Smart Attendance***

MONOGRAFIA

Recife
18 de Janeiro de 2019

JEFFERSON DE CARVALHO CABRAL

**Avaliação do consumo energético de *smartphones* em
um sistema *Smart Attendance***

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Ciência da Computação, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Obionor de Oliveira Nóbrega

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Antonio Aires Lins

Recife

18 de Janeiro de 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

C117a Cabral, Jefferson de Carvalho
Avaliação do consumo energético de smartphones em um sistema Smart Attendance / Jefferson de Carvalho Cabral. – 2019.
67 f. : il.

Orientador: Obionor de Oliveira Nóbrega.

Coorientador: Fernando Antonio Aires Lins

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Computação, Recife, BR-PE, 2019.

Inclui referências.

1. Smartphones 2. Energia - Consumo 3. Tecnologia bluetooth
I. Nóbrega, Obionor de Oliveira, orient. II. Lins, Fernando Antonio Aires, coorient. III. Título

CDD 004

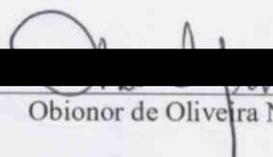


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO ESPORTE
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO (UFRPE)
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

<http://www.bcc.ufrpe.br>

FICHA DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Trabalho defendido por Jefferson de Carvalho Cabral às 14 horas do dia 18 de janeiro de 2019, no LAB JVS-39, como requisito para conclusão do curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, intitulado " **Avaliação do Consumo Energético de Smartphones em um sistema Smart Attendance** ", orientado por Obionor de Oliveira Nóbrega e aprovado pela seguinte banca examinadora:



Obionor de Oliveira Nóbrega

DC/UFRPE



Jeisa Pereira de Oliveira Domingues
DC/UFRPE

Dedico essa pesquisa a Deus, autor do meu destino, companheiro de todos os momentos. Ele alimentou a minha alma com calma e esperança durante toda a jornada.

Agradecimentos

Agradeço imensamente a Deus, por ter me concedido saúde, força e disposição para enfrentar o curso e o trabalho de final de curso. Sem ele, nada disso seria possível. Obrigado Senhor por ter dado saúde aos meus familiares e tranquilizado o meu espírito nos momentos mais difíceis da minha trajetória acadêmica até então.

Agradeço minha família por todo o carinho, amor e força. Sou grato, especialmente, aos meus pais, José Geraldo Cabral e Eliane Alexandre de Carvalho Cabral, que tanto lutaram pela minha educação e nunca me deixaram perder a fé. Obrigado, George de Carvalho Cabral, meu irmão querido, por sempre me ajudar nos momentos difíceis. Sem vocês a realização desse sonho não seria possível.

Agradeço a todos os professores que contribuíram com a minha trajetória acadêmica, especialmente aos professores Obionor de Oliveira Nóbrega e Fernando Antônio Aires Lins, responsáveis pela orientação e coorientação do meu projeto. Manifesto aqui minha gratidão eterna pelo compartilhamento da sabedoria, do tempo e da experiência de ambos.

Agradeço a todos os amigos, especialmente a Jorge Candeias, Dennis Lucena, Josué Nascimento e Alexandre Gouveia meu muito obrigado. Vocês foram fundamentais para minha formação, por isso merecem o meu eterno agradecimento.

Resumo

Atualmente, o paradigma da Internet das Coisas está sendo visto como protagonista da revolução tecnológica em que vive a era da computação. Neste paradigma os objetos presentes em nosso cotidiano estarão conectados conosco e com outros objetos. Uma das grandes preocupações existentes no universo (IoT - *Internet of Things*) é a eficiência energética. Partindo do princípio que todos objetos poderão estar conectados a inúmeras redes simultaneamente, transmitindo e recebendo dados, as tecnologias de comunicação sem fio deverão ser capazes de atuar eficientemente no tráfego das informações entre os nós sem comprometer a vida útil das baterias desses dispositivos. No contexto educacional, essas tecnologias visam o desenvolvimento de salas de aulas inteligentes bem como a criação de aplicações estáticas que possuem a função de automatizar algumas atividades manuais exercidas por professores e alunos. Uma dessas aplicações estáticas é conhecida como *Smart Attendance*, que tem o propósito de automatizar e solucionar o problema referente à perda dos 10% do tempo de aula para o registro dos alunos a partir do uso de tecnologias que prometem um baixo consumo energético. Apesar de algumas soluções automatizarem a chamada dos alunos em sala, o desperdício dos 10% do tempo de aula ainda persiste. Isso tem comumente ocorrido devido a alguns fatores como a falta de visibilidade do problema e utilização inadequada da tecnologia. Considerando o último fator, este trabalho tem por objetivo avaliar o consumo energético de *smartphones* durante a realização da chamada em sistemas *Smart Attendance* que utilizam as tecnologias Bluetooth e *Bluetooth Low Energy* (BLE). Por meio da revisão da literatura foi possível analisar os trabalhos inseridos no meio educacional e entender a atuação da IoT nesse contexto, compreender o funcionamento do protocolo BLE e compará-lo com o Bluetooth, explorar os trabalhos referentes à automatização do registro de alunos em sala de aula e, a partir desse último, definir uma especificação dos dados trafegados no sistema juntamente com a exibição dos fluxos de mensagens e funcionamento deste. Para avaliação do sistema considerou-se a técnica de simulação, esta por sua vez foi escolhida com base nos principais critérios utilizados para seleção das técnicas de avaliação de desempenho de sistemas. Em seguida, foi utilizado o simulador OMNet++ com o framework INET para criar uma *Mobile Ad Hoc Network* (MANET) configurada com características Bluetooth e BLE, onde os nós dessa rede foram os *smartphones* de alunos e professor. Os resultados dessa pesquisa apontam que não existem diferenças quantitativas entre as tecnologias Bluetooth e BLE quando comparadas dentro das métricas taxa de erro de pacote e relação sinal-ruído, no entanto comprova a eficiência do BLE sobre o Bluetooth considerando a métrica de consumo energético, sendo a escolha mais racional, dentre as avaliadas, para implantação de um *Smart Attendance*.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Smart Attendance, Educação.

Abstract

Currently, the Internet of Things paradigm is being seen as the protagonist of the technological revolution in which the computer age lives. In this paradigm, the objects present in our daily lives will be connected to us and other objects. One of the major concerns in the (IoT - Internet of Things) universe is energy efficiency. Assuming that all objects can be connected to numerous networks simultaneously transmitting and receiving data, the wireless technologies must be able to act efficiently in the traffic of the information between the nodes without compromising the life of the batteries of those devices. In the educational context, these technologies aim at the development of intelligent classrooms as well as the creation of static applications that have the function of automating some manual activities carried out by teachers and students. One of these static applications is known as Smart Attendance, which aims to automate and solve the problem of the loss of 10% of class time for taking attendance by using technologies that promise a low power consumption. Although some solutions automate class attendance, the waste of 10% of class time still persists. This has commonly occurred due to some factors such as lack of visibility of the problem and inadequate use of the technology. Considering the last factor, this work aims to evaluate the energy consumption of smartphones by taking roll in Smart Attendance systems using Bluetooth and Bluetooth Low Energy (BLE) technologies. Through the literature review, it was possible to analyze the work in the educational environment and to understand the IoT's performance in this context, to understand the operation of the BLE protocol and to compare it with Bluetooth, to explore the work related to the automation of class attendance and to define a specification of the system data traffic, its message flows and its operation. In order to evaluate the system, it was considered the simulation technique, which was chosen based on the main criteria used to select the systems performance evaluation techniques. Then, we used the OMNet ++ simulator with the INET framework to create a Mobile Ad Hoc Network (MANET) configured with Bluetooth and BLE characteristics, where the nodes of this network were the student and teacher smartphones. The results of this research point out that there are no quantitative differences between the Bluetooth and BLE technologies when compared within the metrics package error rate and signal-to-noise ratio. However, it proves the efficiency of the BLE over Bluetooth considering the energy consumption metric which makes BLE the most rational choice, among those evaluated, for the implementation of a Smart Attendance.

Keywords: Internet of Things, Smart Attendance, Education.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Principais elementos da IoT	21
Figura 2 – Arquiteturas Bluetooth, <i>Bluetooth Smart Ready</i> e BLE	23
Figura 3 – Pilha BLE	24
Figura 4 – Fluxo de ações do aluno no sistema <i>Smart Attendance</i>	35
Figura 5 – Fluxo de ações do professor no sistema <i>Smart Attendance</i>	36
Figura 6 – Formato do quadro básico BLE	37
Figura 7 – Formato do quadro básico Bluetooth	37
Figura 8 – Fluxo de Mensagens entre Atores do Sistema	41
Figura 9 – Quantidade de energia consumida no smartphone em função da duração do tempo de chamada	56
Figura 10 – Quantidade de energia consumida no smartphone em função da quantidade de hosts presentes na rede	57
Figura 11 – Relação sinal-ruído avaliada em função da distância entre hosts existentes na rede para as tecnologias Bluetooth e BLE	58
Figura 12 – Taxa de perda de pacotes avaliada em função da distância entre hosts presentes na rede para as tecnologias Bluetooth e BLE	59

Lista de quadros

Quadro 1 – Resumo das aplicações IoT na educação	30
Quadro 2 – Resumo das aplicações <i>Smart Attendance</i>	32

Lista de tabelas

Tabela 1 – Relação entre o tamanho dos quadros para tecnologia BLE	39
Tabela 2 – Relação entre o tamanho dos quadros para tecnologia Bluetooth . .	39
Tabela 3 – Potência consumida nos estados da tecnologia Bluetooth	42
Tabela 4 – Potência consumida nos estados da tecnologia BLE	42
Tabela 5 – Tempo gasto pela PDU e pelo quadro em função da taxa de transmissão para tecnologia BLE	43
Tabela 6 – Tempo gasto pela PDU e pelo quadro em função da taxa de transmissão para tecnologia Bluetooth	44
Tabela 7 – Relação entre quadros e estados durante o processo de chamada para o aluno	45
Tabela 8 – Relação entre quadros e estados durante o processo de chamada para o professor	45
Tabela 9 – Energia consumida pelos estados durante o processo de chamada utilizando BLE	46
Tabela 10 – Energia consumida pelos estados durante o processo de chamada utilizando Bluetooth	46
Tabela 11 – Critérios para seleção das técnicas de avaliação	49
Tabela 12 – Parâmetros BLE e Bluetooth	52
Tabela 13 – Fatores utilizados na simulação de redes BLE e Bluetooth	53

Lista de abreviaturas e siglas

3D	Três Dimensões
ACK	acknowledgement(reconhecimento)
ATT	Attribute Protocol
BLE	Bluetooth Low Energy
BPSK	Binary Phase-Shift Keying
CPF	Cadastro de Pessoas Físicas
CRC	Cyclic Redundancy Check
DPSK	Differential Phase Shift Keying
EAD	Educação à Distância
EXI	Efficient XML Interchange
GAP	Generic Access Profile
GATT	Generic Attribute Profile
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
III	Três
IP	Internet Protocol
J2ME	Java Micro Edition
J2SE	Java Standard Edition
L2CAP	Logical Link Control and Adaptation Protocol
M2M	Machine to Machine
MAC	Media Access Control
MANET	Mobile Ad Hoc Network
NFC	Near Field Communication
OWL	Ontology Web Language

PDU	Package Data Unit
RDF	Resource Description Framework
RFID	Radio-Frequency Identification
RSSF	Rede de Sensores Sem Fio
SIG	Special Interest Group
SM	Security Manager
TCP	Transfer Control Protocol
TI	Tecnologia da Informação
UDP	User Datagram Protocol
UFES	Universidade Federal do Espirito Santo
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
WLAN	Wireless Network
WSN	Wireless Sensor Network
XML	EXtensible Markup Language

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problema e Justificativa	17
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo Geral	18
1.2.2	Objetivos Específicos	19
1.3	Estruturação do Trabalho	19
2	CONCEITOS BÁSICOS	20
2.1	Internet das Coisas	20
2.2	Internet das Coisas na Educação	21
2.3	Bluetooth Low Energy (BLE)	22
2.4	Conclusão do Capítulo	26
3	REVISÃO DA LITERATURA	27
3.1	Soluções existentes no contexto da IoT na educação	27
3.2	Automatização do processo de registro dos alunos em sala de aula empregando as principais tecnologias de comunicação sem fio	31
3.3	Utilização de simuladores para avaliação de desempenho dos protocolos de comunicação sem fio Bluetooth e BLE.	32
3.4	Conclusão do Capítulo	33
4	PROPOSTA	34
4.1	O objeto de estudo	34
4.2	Fluxo de funcionamento do sistema <i>Smart Attendance</i>	34
4.3	Tipos e formatos das mensagens usadas no sistema	36
4.4	Fluxo de mensagens no sistema <i>Smart Attendance</i>	39
4.5	Cálculo energético das mensagens do sistema	41
4.6	Conclusão do Capítulo	47
5	MATERIAIS E MÉTODOS	49
5.1	Seleção das técnicas de avaliação	49
5.2	Seleção das métricas de desempenho	50
5.3	A ferramenta utilizada para execução do processo de simulação	50
5.4	Configuração dos parâmetros de simulação característicos das redes Bluetooth e BLE	51
5.5	Definição dos fatores de simulação	52

5.6	Definição dos cenários	53
5.6.1	Energia consumida <i>versus</i> Tempo de duração da chamada	53
5.6.2	Energia consumida <i>versus</i> Quantidade de alunos por turma	54
5.6.3	Relação sinal-ruído <i>versus</i> Distância entre hosts em sala de aula	54
5.6.4	Taxa de perda de pacotes <i>versus</i> Distância entre hosts em sala de aula	54
5.7	Conclusão do Capítulo	54
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
6.1	Resultado obtido para o cenário Energia Consumida <i>versus</i> Duração da Chamada	56
6.2	Resultado obtido para o cenário Energia Consumida <i>versus</i> Quantidade de Hosts	57
6.3	Resultado encontrado para o cenário Relação Sinal-Ruído <i>versus</i> Distância entre os Hosts	58
6.4	Resultado encontrado para o cenário Taxa de Perda de Pacotes <i>versus</i> Distância entre Hosts	59
7	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	60
7.1	Trabalhos Futuros	61
	REFERÊNCIAS	63

1 Introdução

Diferente de eras anteriores, a atual e futura era da computação, pela primeira vez, estará além das áreas de trabalho tradicionais. A habilidade de conectar pessoas em qualquer parte do mundo fez da Internet o elemento chave na revolução tecnológica (MATHEW; P., 2016; GUBBI et al., 2013).

O expressivo desenvolvimento das tecnologias da informação, atrelado ao surgimento e à popularização dos dispositivos móveis e suas aplicações, têm transformado a forma com que os usuários recebem, utilizam e salvam as informações. Além disso, a expansão das redes sem fio fornece novas oportunidades e infraestruturas para que indivíduos e instituições sejam capazes de utilizar novos recursos de TI eficientemente (SARITAS, 2015). Isso permite que cada vez mais objetos presentes em nosso cotidiano estejam conectados conosco por meio da Internet. Este fenômeno é reconhecido mundialmente como Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*) (MENDONÇA; NÓBREGA; CUNHA, 2016). Segundo Han et al. (2016), a IoT é a próxima grande evolução da Internet, onde dispositivos e máquinas heterogêneas estarão conectadas à Internet, um a outro (M2M - *Machine -to-Machine*) e às pessoas (M2P - *Machine-to-People*)

Hoje, o paradigma emergente da Internet das Coisas está sendo visto como protagonista da atual revolução tecnológica em que vive a era da computação. Neste paradigma os objetos presentes em nosso cotidiano estarão conectados visando à criação de ambientes inteligentes (GUBBI et al., 2013). Assim como a Internet fez, a IoT tem a capacidade de mudar o modo e os métodos com que as pessoas trabalham, vivem e aprendem novos conceitos (ZHANG, 2012).

Um estudo realizado pelas empresas Cisco e Ericsson revela que em 2020 haverá aproximadamente 50 bilhões de objetos inteligentes conectados, demonstrando o rápido crescimento e adoção deste novo paradigma (SALIS et al., 2015; PRUET et al., 2015).

As principais tecnologias de comunicação como, *Bluetooth Classic*, *Bluetooth Low Energy* (BLE) e *Near Field Communication* (NFC), utilizadas para criação das redes sem fio pessoais evoluíram (STEFANUTO; SANTOS; TORRES, 2016). Na atualidade, essas tecnologias encontram-se também presentes na maioria dos dispositivos móveis devido ao baixo custo de produção e implantação destas (APOORV; MATHUR, 2016).

Segundo Ritesh, Manolova e Nenova (2017), uma das grandes preocupações existentes no universo IoT é a eficiência energética. Partindo do princípio que todos os objetos poderão estar conectados a inúmeras redes simultaneamente, transmitindo

e recebendo dados, as tecnologias de comunicação deverão ser capazes de atuar eficientemente no tráfego das informações entre os nós sem comprometer a vida útil das baterias desses dispositivos.

De acordo com (BHATT; BHATT, 2017), a Internet das Coisas é uma tecnologia emergente e exercerá um papel fundamental em diversos campos como: saúde, transporte, agricultura, segurança e educação. Com a quantidade de dispositivos conectados e serviços *Web* robustos na IoT, o mundo hoje tem um novo grande recurso para mudar o processo educacional, beneficiando as gerações atuais e futuras (CORNEL, 2015).

Até o presente momento, o crescimento da Internet das Coisas tem atuado positivamente no setor da educação e, da forma que a tecnologia está sendo utilizada, a mudança ocorre lentamente desde aplicações estáticas até salas de aulas interativas (KUSMIN, 2017). Neste domínio, a IoT está sendo utilizada para alcançar diferentes propósitos, por exemplo, elevar o nível educacional e facilitar a vida acadêmica por meio da automatização dos ambientes (MATHEW; P., 2016), bem como fornecer aos alunos atividades envolventes e de qualidade, a partir da utilização de *smartphones*, *tablets*, *smart boards* e aplicativos (KUSMIN, 2017).

Facilitar a vida dos principais atores no cenário da IoT na educação, professores e alunos, com a automatização dos ambientes, nem sempre está relacionada à criação de *Smart Classrooms* e *Smart Schools* devido ao elevado custo de implantação, o uso de tecnologias de ponta, a alteração de cultura organizacional e poucos recursos financeiros destinados a esse setor. Esses fatores, juntamente com os mais variados objetivos que a IoT pretende alcançar na educação, tem feito com que diversos caminhos ainda pouco explorados despertem atenção dos pesquisadores.

A chamada tradicional dos alunos em sala de aula vem sendo considerado um desses caminhos. Estudos realizados apontam que a chamada tradicional em sala consome aproximadamente 10% do tempo de uma aula de 50 minutos (CHANG, 2011; CISAR et al., 2016). Embora existam aplicações que tenham solucionado os problemas existentes na chamada tradicional utilizando tecnologias como Bluetooth, *Wireless Sensor Networks* (WSN) e *Arduíno*, alguns trabalhos não mencionam o contexto da IoT, como os apresentados por (JAMIL, 2011; SAAD et al., 2014; CISAR et al., 2016).

A aplicação de tecnologias como BLE no processo de chamada do aluno em sala de aula vem contribuindo para a difusão de um novo conceito na IoT, denominado *Smart Attendance*, que tem como principal objetivo não apenas automatizar a chamada em sala de aula, mas também garantir que os dispositivos envolvidos como *smartphones* de alunos e professores consumam pouca bateria durante o procedimento.

Alguns trabalhos tem apresentado o baixo consumo energético como a principal característica do *Bluetooth Low Energy* perante as outras tecnologias no cenário de IoT (APOORV; MATHUR, 2016)(NOGUCHI et al., 2015).

Portanto, assim como existe a necessidade de modelar um sistema *Smart Attendance*, é de fundamental importância a avaliação do consumo energético dos aparelhos comprometidos antes mesmo do início da implantação desse tipo de sistema, principalmente no cenário da IoT, onde os dispositivos pessoais como os *smartphones* e *tablets* estão envolvidos. Considerando o fator gasto de energia, o presente trabalho visa aferir o consumo energético por parte dos objetos utilizados para construção desse sistema no contexto de IoT na educação.

1.1 Problema e Justificativa

Embora alguns trabalhos presentes na literatura tenham provido soluções tecnológicas para automatizar o processo de chamada em sala de aula tradicional, como os apresentados por (ZAINAL et al., 2014; JACOB et al., 2015), o problema referente à perda dos 10% do tempo de aula ainda persiste. Isso tem comumente ocorrido devido a alguns fatores como, a falta de visibilidade do problema, utilização inadequada da tecnologia, escopo e objetivos da aplicação distintos.

Dentre os principais fatores destacados acima, no cenário de IoT o uso coerente da tecnologia tem sido o principal fator responsável por determinar o baixo consumo de energia entre os dispositivos da rede. Com o rápido avanço computacional dos dispositivos e a miniaturização destes, está cada vez mais complexo encontrar a tecnologia sem fio correta que atenda esse requisito (III et al., 2016). Por esses motivos, uma avaliação do consumo energético de objetos móveis como os celulares é fundamental para obtenção de sucesso ao projetar uma aplicação no ambiente da Internet das Coisas.

Segundo III et al. (2016), não existe uma única tecnologia capaz de prover comunicação eficiente por um longo período de tempo e com consumo energético reduzido. No entanto, diversas tecnologias de comunicação sem fio, como NFC, *Radio Frequency Identification* (RFID), Bluetooth, ZigBee e BLE, tem surgido como potenciais candidatas.

No entanto, algumas dessas tecnologias possuem certa limitação quando aplicadas ao contexto da IoT. De acordo com III et al. (2016), o NFC, mesmo presente em parte dos *smartphones* atualmente, está limitado a curtas distâncias, aproximadamente duas polegadas, o que corresponde a aproximadamente a distância de 5 centímetros. Portanto, essa tecnologia não é a mais indicada para o desenvolvimento de uma *Smart Attendance*. Enquanto o RFID supre a deficiência encontrada no NFC, o custo elevado

dos leitores RFID atualmente impede a mesma de ser utilizada em larga escala nos dispositivos dos usuários. Os problemas existentes nas tecnologias apresentadas não são vistas no Bluetooth, pois o mesmo atende os requisitos de baixo consumo de energia e está presente na maioria dos celulares, no entanto a sua utilização em ambientes IoT é dificultada pelo complexo mecanismo de descoberta dos outros dispositivos presentes na rede. Por fim, o ZigBee é uma das tecnologias promissoras, ideal para o desenvolvimento de aplicações no contexto da IoT, entretanto ainda não encontra-se presente na indústria dos dispositivos móveis, restringindo seu uso em larga escala (III et al., 2016).

Diante dos fatos apresentados, o BLE, ou *Bluetooth Smart*, que foi projetado para eliminar o pareamento único e simplificar o complexo mecanismo de descoberta existentes no Bluetooth, tem chamado a atenção de pesquisadores pertencentes à comunidade da IoT, por satisfazer a maioria das premissas impostas pela Internet das Coisas, e estar presente juntamente com o Bluetooth nos *smartphones* e outros dispositivos móveis.

Ao conduzir a IoT para o contexto educacional, as premissas exigidas pela Internet das Coisas ainda precisam ser garantidas. Além disso, alguns requisitos existentes nesse cenário devem ser cumpridos, como utilização de objetos presente no cotidiano do aluno e professor, e o emprego de tecnologias de baixo custo, com a finalidade de reduzir os gastos com projetos, infraestruturas e equipamentos, já que esse setor é um dos que recebe menor investimento financeiro e tecnológico.

Dessa forma, a não identificação de trabalhos existentes na literatura que avaliam o consumo energético dos *smartphones* que utilizam as principais tecnologias de comunicação sem fio para o processo de chamada em aplicações *Smart Attendance* impulsionou o desenvolvimento deste trabalho. Sendo assim, este destina-se a responder o seguinte problema: Qual o impacto energético nos *smartphones* durante o processo de chamada em um cenário *Smart Attendance*?

1.2 Objetivos

Nesta seção serão apresentados os objetivos geral e específico utilizados para nortear o desenvolvimento deste trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

- Avaliar o impacto energético nos *smartphones* considerando o cenário de um sistema *Smart Attendance*.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Quantificar o tamanho do pacote dos dados da chamada a ser trafegado no sistema para as tecnologias Bluetooth e BLE;
- Identificar os parâmetros que caracterizam as redes Bluetooth e BLE;
- Analisar os fatores que podem influenciar o consumo energético nos *smartphones* durante a chamada em sala de aula;
- Quantificar o consumo energético nos *smartphones* presentes na rede durante o processo de chamada.

1.3 Estruturação do Trabalho

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: No Capítulo 2 serão apresentados os conceitos básicos sobre o que vem a ser a Internet das Coisas sob diferentes perspectivas e os principais elementos necessários para o seu correto funcionamento. Além disso, a influência da IoT na educação e sua relação com a indústria será apresentada. Por fim, uma visão geral sobre o protocolo BLE será demonstrado. No Capítulo 3 o primeiro tópico a ser abordado serão os trabalhos referentes ao emprego da IoT no contexto educacional. Em seguida, os trabalhos que visam automatizar o processo de chamada do aluno em sala de aula a partir da utilização de tecnologias que prezam o baixo consumo energético serão exibidos. Por último, os trabalhos relacionados ao uso de simuladores para avaliação de desempenho dos protocolos de comunicação sem fio, considerando a métrica de consumo energético serão mostrados. No Capítulo 4, a proposta do funcionamento de um sistema *Smart Attendance* será apresentado, bem como uma avaliação do consumo energético desse sistema com base na energia consumida pelos estados das tecnologias avaliadas. No Capítulo 5 serão apresentados, a razão para seleção da técnica de avaliação, o motivo das métricas escolhidas, os parâmetros gerais da avaliação, bem como os fatores considerados no experimento, a ferramenta utilizada e os cenários a serem avaliados. No Capítulo 6 serão apresentados os resultados obtidos, e uma breve discussão sobre esses resultados após a execução dos cenários. Por fim no Capítulo 7 serão apresentados as conclusões, os trabalhos futuros e as considerações finais do trabalho.

2 Conceitos Básicos

Neste capítulo serão expostos os conceitos fundamentais para o entendimento deste trabalho. Dentre eles, serão apresentados a definição de Internet das Coisas, os cenários da IoT na educação e a tecnologia de comunicação *Bluetooth Low Energy*.

2.1 Internet das Coisas

Segundo a Gartner, a Internet das Coisas foi identificada como uma das principais tecnologias emergentes no mundo da tecnologia da informação. Nos últimos anos, ela tem sido a principal tecnologia responsável por conectar dispositivos e sensores inteligentes ao redor do mundo (BELKEZIZ; JARIR, 2016).

Ao longo dos anos várias definições sobre a Internet das Coisas surgiram, incluindo Internet de Tudo, Internet de Qualquer Coisa, Internet das Pessoas, Internet dos Sinais, Internet dos Serviços, Internet dos Dados e Internet de Processos (CORNEL, 2015), visando entregar o seu real significado ou na tentativa de justificar o propósito de utilização da mesma.

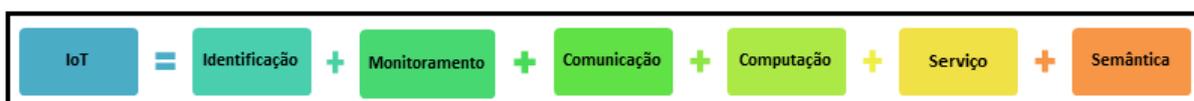
De acordo com Temkar, Gupte e Kalgaongar (2016), a Internet das Coisas é um paradigma de comunicação recente que aponta o futuro próximo, onde os objetos ou dispositivos da vida cotidiana serão equipados com microcontroladores, sensores, transceptores e pilhas de protocolos adequadas que tornarão esses objetos capazes de se comunicar uns com os outros e entre os usuários, tornando-se assim uma parte importante da Internet.

Segundo Han et al. (2016), a IoT é a próxima grande evolução da Internet, onde dispositivos e máquinas heterogêneas estão sendo conectados à Internet, um ao outro (M2M – *Machine-to-Machine*) e às pessoas (M2P – *Machine-to-People*). Outras definições sobre IoT também foram apresentadas por (BAGHERI; MOVAHED, 2016; GANDHI, 2017; AZZAM; RAMADANI, 2016)(ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Devido a sua natureza aberta, a enorme conectividade e o grande número de potenciais utilizadores e aplicações, as possibilidades são virtualmente infinitas (CHIN; CALLAGHAN, 2013).

Se por um lado essa variedade tem um papel fundamental e útil na integração entre os diferentes ambientes, serviços e aplicativos devido ao benefício provido pelas diversas tecnologias de rede; por outro lado, as atividades relacionadas a processamento, integração, interpretação dos dados que circulam no mundo real, são vistas como um desafio constante no escopo de redes, desenvolvimento de sistemas, sistemas distribuídos e segurança (BELKEZIZ; JARIR, 2016).

Para uma melhor visão e entendimento do funcionamento da IoT, o trabalho apresentado por Belkeziz e Jarir (2016) demonstra os principais blocos ou elementos que compõe a IoT. Além disso, é necessário que haja uma sinergia entre esses blocos para o seu correto funcionamento. Abaixo, a Figura 1 apresenta os principais elementos da Internet das Coisas.

Figura 1 – Principais elementos da IoT



Fonte: Produzido pelo autor

O primeiro bloco ou elemento é responsável por identificar, de forma única, os objetos IoT dentro da rede. O segundo bloco, referente ao monitoramento, tem como finalidade coletar os dados desses objetos na rede e redirecionar essa informação ao destino correto, como banco de dados ou nuvem. O objetivo do terceiro bloco é utilizar tecnologias como RFID, *Bluetooth Low Energy* e *Wi-Fi* para conectar os dispositivos heterogêneos. A presença do elemento da computação torna-se fundamental, pois a mesma é considerada o cérebro da IoT. Nela estão contidos as unidades de processamento como os microcontroladores e microprocessadores. Os serviços tem o propósito de consumir ou expor as informações necessárias para outros serviços ou objetos da IoT. Por fim, o bloco referente à semântica possui a habilidade de extrair conhecimento de forma inteligente a partir dos mecanismos fornecidos pelas tecnologias semânticas da *Web*, como *Resource Description Framework (RDF)*, *Ontology Web Language (OWL)* e *Efficient XML Interchange (EXI)*.

2.2 Internet das Coisas na Educação

Como nunca antes visto, as instituições de ensino de um modo geral tem acompanhado mais de perto as inovações industriais e tecnológicas com objetivo de que a educação forneça ao mercado funcionários cada vez mais capacitados em diversos campos (CORNEL, 2015).

A cada dia, a utilização dos dispositivos com acesso a Internet tem movimentado bastante a indústria do consumo. O sucesso dessa movimentação também tem contribuído para investimentos em instituições federais, privadas, parcerias entre as indústrias e as escolas, e financiamento de pesquisas relacionadas ao desenvolvimento do campo tecnológico.

Assim como ocorreu com outras tecnologias emergentes transmitidas do setor industrial para o setor educacional, a IoT discretamente tem encontrado o seu lugar no ambiente da educação. Sendo assim, é indispensável a colaboração e a formação do principal ator, o aluno, no ambiente educacional para desenvolver um currículo adequado e as principais habilidades para adoção e integração da Internet das Coisas em situações pedagógicas.

Apesar de não ser comum a visualização de implementações reais de IoT atualmente no campo educacional, sua habilidade em estimular a aprendizagem tem chamado a atenção das instituições de ensino e dos educadores. A parceria e o engajamento entre professores e alunos, e as diversas formas de compartilhamento e acesso aos conteúdos digitais são estimuladas e facilitadas com a estrutura dos recursos disponíveis pela IoT (SARITAS, 2015).

Até o presente momento, o crescimento da Internet das Coisas tem atuado positivamente no setor da educação e, da forma com que a tecnologia está sendo utilizada, a mudança ocorre lentamente, desde aplicações estáticas até salas de aulas interativas (KUSMIN, 2017).

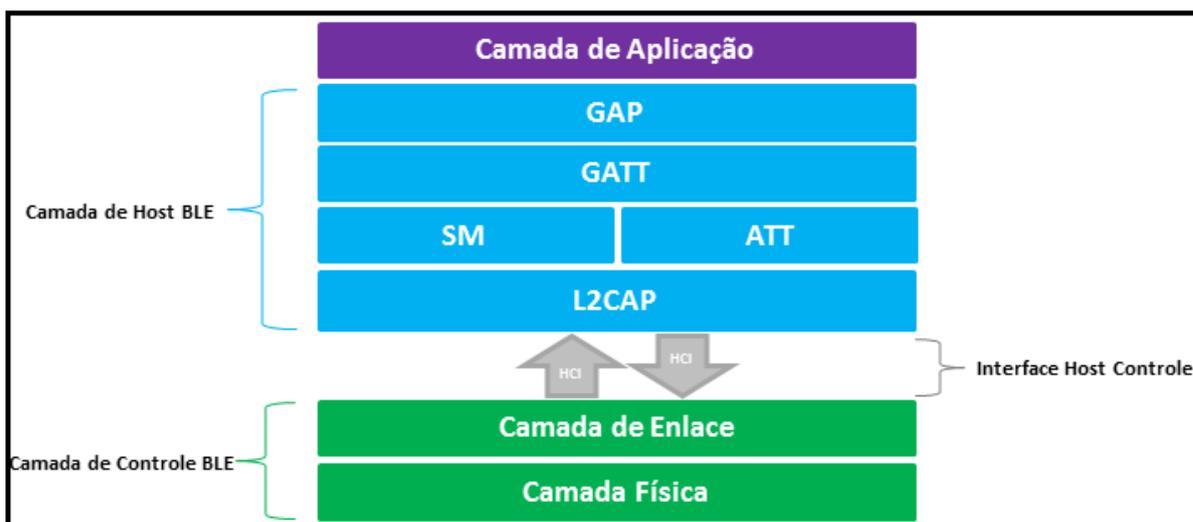
Segundo Zhang (2012), a IoT também deverá trazer as seguintes mudanças para o contexto educacional: o aumento na quantidade de ativos para ensino; ferramentas de publicação e canais de comunicação; a tecnologia de simulação para elevar a eficiência dos treinamentos práticos; o treinamento utilizando 3D em tempo real juntamente com o ensino experimental remoto, reduzirão a quantidade dos espaços físicos de aprendizagem; o uso da tecnologia virtual para o aprimoramento dos modelos de ensino teórico; e finalmente o emprego dos dispositivos inteligentes para automatização de ambientes e processos educacionais, e expansão da capacidade de aprendizagem dos alunos.

2.3 Bluetooth Low Energy (BLE)

O BLE, também conhecido como *Bluetooth Smart*, foi padronizado no ano de 2010. O *Bluetooth Low Energy* não surgiu inicialmente com a pretensão de ser um concorrente do Bluetooth ou substituí-lo, mas sim com uma grande missão, a de expandir a utilização da tecnologia Bluetooth em dispositivos com tamanho reduzido e limitação de bateria como: os sensores e controladores sem fio (CHANG, 2014).

Segundo Mikhaylov (2014), a principal meta que resultou o desenvolvimento desse protocolo foi torná-lo utilizável em receptores com baixo consumo energético, complexidade reduzida e baixo custo. Além disso, o ganho de performance adquirido pelo método de descoberta para comunicação com dispositivos vizinhos foi conseguido graças à reserva de canais responsáveis apenas por realizar o anúncio das mensagens

Figura 3 – Pilha BLE



Fonte: Adaptada de Konstantin, 2014

O protocolo de adaptação e controle lógico de enlace ou *Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP)* demonstrado na Figura 3 é encarregado de fragmentar e remontar os pacotes de dados. O protocolo gerenciador de segurança, *Security Manager (SM)*, foi projetado para reduzir os requisitos dos recursos exigidos pelos dispositivos clientes, repassando toda a sobrecarga de trabalho para os dispositivos servidores mais robustos. Além disso, o mesmo tem a função de cuidar do pareamento e distribuição de chaves para efetuar a comunicação entre os dispositivos cliente e servidor. O protocolo de atributos, *Attribute Protocol (ATT)*, apresentado na Figura 3 é otimizado para pacotes de tamanho pequenos e concede que o servidor de atributos exponha os atributos juntamente com seus valores para um cliente de atributos. O protocolo de perfil de atributos genéricos, *Generic Attribute Profile (GATT)*, cria uma estrutura de serviços com base no ATT para descoberta de serviços, leitura e gravação das características em um dispositivo no mesmo nível. Por fim, o protocolo de perfil de acesso genérico, *Generic Access Profile (GAP)*, define os procedimentos genéricos para descoberta de dispositivos BLE e gerenciamento de conexão entre os elementos *Bluetooth Smart* (CHANG, 2014).

O GAP apresentado na Figura 3, atribui dois papéis aos dispositivos BLE, central e periférico. Um dispositivo central pode gerenciar múltiplas conexões com outros dispositivos na condição de periféricos. Frequentemente a maioria dos periféricos estão conectados a apenas uma central (CHANG, 2014).

Para atender os requisitos das aplicações, por exemplo o baixo consumo energético, o BLE introduz uma nova comunicação via rádio derivada do Bluetooth e uma nova interface (CHANG, 2014). As diferenças em relação ao Bluetooth em sua camada física ficam por conta da utilização do esquema de modulação *Gaussian Frequency*

Shift Keying (GFSK), com a taxa de dados de 1 Mega símbolo por segundo. Assim como o Bluetooth clássico, o *Bluetooth Smart* atua em uma banda de 2.4 GHz dividida em quarenta canais com uma largura de banda de 2 MHz. (CHANG, 2014; MIKHAYLOV, 2014).

Destes quarenta canais, três são destinados a anúncio facilitando a descoberta de dispositivos e estabelecendo uma comunicação inicial entre dois ou mais dispositivos BLE. Os trinta e sete canais restantes possuem a função de transmitir os dados (CHANG, 2014; MIKHAYLOV, 2014).

Segundo Ill et al. (2016), o uso de apenas um canal para anúncio faria com que houvesse um sobrecarregamento desse canal e a utilização de muitos canais levaria a longos atrasos de acesso assim como ocorre com o Bluetooth, além de reduzir a largura de banda disponível para a comunicação de dados. Para minimizar a sobrecarga do canal ou o atraso, o BLE restringe o anúncio a três canais. Ainda de acordo com o autor, o Bluetooth não usa esses canais para dados, e esses canais ficam entre ou fora das frequências principais usadas pelo IEEE 802.11, permitindo uma melhor coexistência com o *Wi-Fi*.

Para estabelecer uma conexão entre dois dispositivos utilizando BLE, inicialmente o anunciante, ou o dispositivo que possui dados a transmitir, utiliza eventos de anúncios para enviar quadros de anúncio. Aplicando os diversos tipos de quadros, o anunciante pode encapsular até trinta e um bytes de dados diretamente no quadro ou indicar a capacidade de dados a serem enviados.

Considerando este último caso, após o envio do quadro o anunciante aguarda as possíveis solicitações para estabelecimento de conexão. Se a solicitação de conexão do dispositivo, chamada de iniciador, for recebida, os dois dispositivos poderão iniciar uma conexão ponto a ponto nos canais de dados. Conforme o tipo de implementação da pilha e da aplicação, o anunciante pode enviar os anúncios em um único canal ou ficar alternando entre os canais existentes (MIKHAYLOV, 2014).

Uma vez acordada a conexão entre os canais de dados, o iniciador transforma-se no mestre ou servidor e o anunciante converte-se em escravo ou cliente. No BLE pressupõe que um mestre possui mais recursos que um escravo. A comunicação em cada evento é criada quando o mestre envia um quadro ao escravo. O mestre e o escravo intercalam o envio de dados no mesmo canal, enquanto um dos dispositivos possuem dados a enviar ou até que o evento de conexão expire (MIKHAYLOV, 2014).

No BLE, uma conexão pode ser finalizada precocemente de duas formas. A primeira, acontece quando um mestre ou escravo recebe dois quadros seguidos com erro de CRC. A segunda forma, ocorre se qualquer um dos dispositivos perder um pacote de rádio. Uma vez que a conexão foi encerrada, os dispositivos alternam para

o estado de baixo consumo energético e aguardam um novo evento de conexão ser iniciado (MIKHAYLOV, 2014).

2.4 Conclusão do Capítulo

Em resumo, primeiramente, foi possível identificar a abrangência do significado da palavra IoT a partir das várias definições e contextos aplicados a ela nos trabalhos referenciados. Essa abrangência mostra um pouco o crescimento e a dimensão dessa tecnologia. Também foi possível entender os benefícios e desafios desse novo conceito. A Figura 1 exibe os principais elementos responsáveis que compõe a IoT, e em seguida, a função de cada um deles é apresentada. Além disso, a Figura 1 transmite a ideia de que deve haver uma comunicação efetiva entre esses elementos para que a Internet das Coisas funcione corretamente. Posteriormente, a importância e o ganho entre o relacionamento indústria-escola foram enfatizados. Apesar de não ser comum a visualização de aplicações concretas de IoT em escolas, a idealização das possíveis melhorias nos métodos de ensino, aprendizagem e mudanças no contexto educacional foram exibidos. Por fim, uma breve história sobre o surgimento do BLE, suas características físicas, as principais diferenças entre o Bluetooth e o funcionamento dessa tecnologia foram apresentados.

3 Revisão da Literatura

Neste capítulo serão apresentados os trabalhos referentes ao estado da arte considerando o cenário da IoT na educação, o desenvolvimento de sistemas para registro do aluno em sala de aula utilizando as principais tecnologias de comunicação sem fio que prezam pelo baixo consumo de energia, além dos trabalhos que relatam o emprego da simulação para avaliação do comportamento dos elementos e das tecnologias na implantação de redes reais.

3.1 Soluções existentes no contexto da IoT na educação

Visando demonstrar os benefícios da IoT no processo educacional, Cornel (2015) propõe a criação de um laboratório virtual on-line para aferir a temperatura de um ambiente fazendo uso da plataforma de desenvolvimento Arduíno e de um *Web Service* gratuito chamado Xively. Segundo o autor, os benefícios são: disponibilidade da informação, o acesso às informações a partir do uso de *smartphones* e *tablets*, redução nos espaços de aprendizado, maior interação entre os alunos e o professor, e incentivar o estudante com novas formas de aprendizado. Além disso, os cursos técnicos podem usufruir desse laboratório para condução das práticas experimentais mesmo à distância.

A existência de uma dependência entre a Computação em Nuvem, a IoT e o Conectivismo, e que a junção desses três paradigmas pode contribuir para o processo de aprendizagem em rede, é apresentado por (SARITAS, 2015). O conectivismo é uma teoria de aprendizagem que defende a ideia de que o conhecimento existe no mundo e este só pode ser adquirido quando o indivíduo percorre os nós existentes fora da sua própria rede de conhecimento. De acordo com o autor, a Computação em Nuvem será parte vital da IoT, considerando que o grande volume de dados seja suportado e processado por esta infraestrutura. A IoT deverá se responsabilizar em conectar os mais diversos objetos inteligentes independente de sua natureza e o Conectivismo fornecerá suporte a todo o fundamento teórico da aprendizagem em rede. Com base na união dos paradigmas o autor garante que é possível elaborar ambientes inteligentes para estimular e fornecer melhores recursos de aprendizagem amplamente acessíveis e experiências em tempo real.

Um novo conceito chamado Universidade Inteligente é descrito por (CATÃ, 2015). Com base nas necessidades e vantagens desse conceito, o autor apresenta a criação de uma possível arquitetura para as futuras salas de aula inteligentes composta por objetos inteligentes. O autor acredita na criação de uma sala de aula inteligente com

intuito de reduzir a distração dos estudantes com o celular.

As técnicas de aprendizagem interativas para alunos que frequentam a escola, como: Aprendizagem de forma associativa, Servidores de laboratórios centralizados e Análise constante do progresso do aluno, são apresentadas por (RAHMAN et al., 2016). Simultaneamente também são mostradas as técnicas de aprendizagem para estudantes que não possuem condições de comparecer a uma sala de aula, por exemplo: Gamificação de testes e atribuições, Redes sociais como meio educacional, Conectividade Escola-Casa e Sala de aula virtual. As mudanças para as tecnologias educacionais conduzidas pela Internet das Coisas, como: a adição de ativos para ensino, as ferramentas de publicação, os canais de comunicação, o aumento na eficácia do treinamento prático, a redução nos espaços de aprendizagem e o aprimoramento do modelo de ensino teórico, são apontadas por (ZHANG, 2012; RAHMAN et al., 2016).

Um sistema para gerenciamento de livros dentro da biblioteca utilizando a tecnologia de *Near Field Communication* (NFC) foi proposto por (MATHEW; P., 2016). Além da capacidade de reconhecer e atualizar o banco de dados quando um livro é retirado ou devolvido à prateleira, o sistema conta com um alarme sonoro ao tentar devolver o livro em uma posição diferente da origem, provê um resumo detalhado sobre o livro retirado por meio da existência de um alto falante presente na prateleira, oferece recomendações de livros com características semelhantes aos livros já retirados pelo usuário, notifica o usuário assim que um novo livro está disponível e, por fim, toda a troca de mensagens entre o sistema e os dispositivos é criptografada. Segundo os autores, a IoT é capaz de facilitar a vida acadêmica por meio da automatização de ambientes.

Bastos, Lins e Silva (2016) apresentaram a descrição de um sistema IoT para o aprendizado da Língua Brasileira de Sinais (Libras). Esse sistema possui um tutor inteligente capaz de ensinar como o sinal de Libras deve ser reproduzido. Os autores consideram que a aplicação contém três elementos da IoT: sensoriamento, semântica e dados. O processo de sensoriamento é executado pela *wearable computing* que é utilizada para captura dos movimentos dos braços e mãos por meio do uso de luvas eletrônicas durante a execução dos gestos dos sinais de Libras. Os gestos retidos serão repassados para a aplicação que será executada em outro dispositivo *wearable*, um *SmartGlass*. Os processos de semântica e dados consistem na interpretação correta do gesto e análise dos dados com objetivo de comparar o gesto produzido com gesto existente em um banco de dados e assim fornecer um resultado adequado ao usuário.

Fuzeto e Braga (2016) empregaram a técnica de Mapeamento Sistemático com objetivo de identificar as soluções IoT desenvolvidas para o campo da Educação À Distância (EAD). De acordo com os autores essa técnica é aplicada quando o assunto da pesquisa é muito abrangente ou existem poucas referências na literatura. Inicial-

mente um protocolo foi definido para guiar toda a pesquisa. Ao término da execução do protocolo, foram expostos gráficos relacionados às publicações por ano, por país, domínios de ensino utilizados (como saúde, química, matemática e linguagens), tipos de ambientes de EAD (por exemplo: *E-learning*, *M-learning* e *U-learning*), tipos de recursos educacionais utilizados (como imagem, livros, vídeos), e tecnologias IoT empregadas (como etiquetas RFID, e Redes de Sensores Sem Fio (RSSF)). Além do mais, os autores puderam identificar que na literatura também existem soluções que não são interpretadas explicitamente como soluções IoT.

Com intuito de viabilizar as experiências práticas no ensino de Física e Geologia na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Oliveira et al. (2016) sugerem o projeto e implementação de uma estação geomagnética aplicando componentes de custo reduzido (como o *Raspberry Pi*), tecnologias de código fonte aberto (por exemplo o *Linux Raspbian Jessie*) e o emprego da IoT que possibilita acesso aos dados gerados por meio de uma interface *Web*. Os autores afirmam que a necessidade da construção da estação, deve-se ao fato do elevado custo do equipamento, por possuir uma arquitetura proprietária, e a existência de poucos modelos no mercado mundial.

Uma visão geral das soluções “inteligentes” (Educação Inteligente, Ensino Inteligente, Aprendizagem Inteligente, Sala de Aula Inteligente e Escola Inteligente) é apresentada por (KUSMIN, 2017). Segundo o autor, a Internet das Coisas pode fornecer aos alunos atividades envolventes e de alta qualidade a partir do uso de *smartphones*, *tablets*, quadros inteligentes e aplicativos.

Com o propósito de facilitar a visualização sobre o que a Internet das Coisas tem provido ao campo educacional, é apresentado a seguir o Quadro 1 com o objetivo da IoT na educação visto em cada artigo avaliado.

Quadro 1 – Resumo das aplicações IoT na educação

Autor	Título	Objetivo	Elementos
Cornel 2015	O papel da Internet das Coisas para o Fornecimento Contínuo da Educação	Criar um laboratório virtual online para fornecimento de ensino à distância.	<i>Web Service Xively e Arduino, Laboratório Virtual Online</i>
Saritas 2015	Os Paradigmas Tecnológicos e Teóricos Emergentes na Educação: A interrelação entre Computação em Nuvem, Internet das Coisas e Conectivismo	Elaborar ambientes inteligentes para estimular e fornecer melhores recursos de aprendizagem.	Computação em Nuvem
Catã 2015	Universidade Inteligente, um novo conceito na Internet das Coisas	Desenvolver uma sala de aula inteligente com intuito de reduzir a distração dos alunos em sala de aula.	Leitor RFID, Etiquetas NFC, <i>Smart Classroom, Smartphone, Web Service Xively, Arduino, Raspberry Pi, PCDuino, BeagleBone</i>
Rahman et al. 2016	TIC e Internet das Coisas para Criar Ambiente de Aprendizagem Inteligente para Estudantes em Institutos de Educação na Índia	Fornecer ferramentas de publicação, canais de comunicação, redução nos espaços de aprendizagem e o aumento na eficácia do treinamento prático.	Realidade Aumentada, Animação 3D, Laboratórios Virtuais, <i>Smart Board, Tablets, Jogos Interativos, Redes Sociais, Redes de Sensores Sem Fio, Smart Classroom</i>
Matthew e Nitha 2016	Universidade Inteligente uma abordagem IoT: Uma pesquisa sobre IoT na educação	Aumentar a educação e facilitar a vida acadêmica por meio da automatização de ambientes	Etiquetas e Leitores RFID, NFC, <i>Smartphones, Bibliotecas Inteligentes</i>
Silva, Lima e Bastos 2016	Aperfeiçoando o aprendizado da Libras utilizando elementos de Internet das Coisas	Descrever um sistema computacional para aperfeiçoar o aprendizado de Libras	Luvas Eletrônicas, WiFi, Bluetooth, <i>Smartphones, Óculos Virtuais, Android</i>
Fuzeto e Braga 2016	Um Mapeamento Sistemático em Progresso Sobre a Internet das Coisas e Educação à Distância	Demonstrar as soluções IoT desenvolvidas para EAD e as soluções que não são explicitamente entendidas como soluções IoT.	<i>U-learning, M-learning, E-learning, Etiquetas RFID, Redes de Sensores Sem Fio, Smartphones, PDAs, Cloud Centers</i>
Oliveira et al. 2016	Uma Estação de Medição Geomagnética de Acesso Ubíquo para Estudos de Geofísica	Apresentar o projeto e a implementação de uma estação geomagnética com o uso de componentes de baixo custo e tecnologias abertas.	Sensores Fluxgate, Raspberry Pi 3, Linux Raspian Jessie
Kusmin 2017	Abordagens da Sociedade da Informação e Processos de TIC	Fornecer aos alunos atividades envolventes e de alta qualidade a partir do uso de smartphones tablets, quadros inteligentes etc.	<i>Smartphones, Smart Tablets, Smart Boards, Smart Classroom</i>

Fonte: Produzido pelo autor

O Quadro 1 aponta os diversos propósitos da IoT no âmbito educacional. Os propósitos identificados tem como finalidade demonstrar a diversidade de soluções existentes e a dimensão da Internet das Coisas neste meio. Além disso, foi apresentada uma variedade de tecnologias e elementos que compõe as soluções de IoT. Também foi possível perceber que dos trabalhos apresentados, 55% mencionam o *smartphone* como elemento a ser utilizado no contexto educacional. Podemos também destacar a aplicação das tecnologias RFID, NFC e Bluetooth, Wi-Fi e RSSFs. Com relação às plataformas de desenvolvimento, vale salientar o emprego do Android e Arduino.

3.2 Automatização do processo de registro dos alunos em sala de aula empregando as principais tecnologias de comunicação sem fio

Jamil (2011) apresenta um sistema que realiza a chamada do aluno em sala de aula utilizando um software instalado no celular do professor, permitindo que o mesmo identifique o celular do aluno por meio do Bluetooth através da transferência do endereço (MAC - *Media Access Control*). Para auxiliar a elaboração do sistema, a linguagem Python e o banco de dados Berkeley foram utilizados. Conforme o autor, o consumo do tempo da aula e o incômodo causado ao professor pela execução desse processo diariamente foram as razões para implementação da aplicação.

Saad et al. (2014) evidencia a elaboração de um sistema colaborativo, denominado ILA, para auxiliar as tarefas repetitivas que ocorrem em sala de aula. Esse sistema foi construído usando tecnologias como o Bluetooth, *Java Micro Edition* (J2ME), *Java Standard Edition* (J2SE) e *Wireless Local Area Network* (WLAN). Segundo o autor, o consumo do tempo de aula foi o fundamento para criação do sistema.

Akram e Rustagi (2015) propuseram uma aplicação desenvolvida em Android para chamada do aluno em sala de aula combinando a utilização de técnicas para preservação da privacidade do aluno durante a execução do processo. De acordo com os autores, o consumo do tempo da aula, a ineficiência no registro dos alunos e existência de fraudes durante a execução das chamadas convencionais foram as principais motivações para a elaboração desse sistema. A tecnologia Bluetooth e o banco de dados *MySQL* também foram selecionados para o desenvolvimento, devido a sua facilidade de manipulação.

Apoorv e Mathur (2016) expõe a criação de um aplicativo Android para o registro do aluno em sala de aula utilizando BLE. A aplicação só existe e é ativada no smartphone do professor. O BLE é o principal meio responsável por manter a comunicação entre o celular e os *beacons* BLE. De acordo com o autor, o motivo para implementação do aplicativo foi o consumo do tempo de aula.

Cisar et al. (2016) apresenta um sistema móvel e desktop, chamado *Muffin*, utilizando o Arduíno UNO com Bluetooth para registro da chamada e acompanhamento da frequência dos alunos. A aplicação móvel só existe na versão para o aluno. O Bluetooth é o meio responsável por manter a comunicação entre o smartphone e a plataforma Arduíno Uno. As tecnologias envolvidas no processo de desenvolvimento, além das já mencionadas, foram *Windows Phone* e o C#. De acordo com o autor, a ineficiência no registro da chamada e o consumo do tempo da aula foram os principais motivos para elaboração do sistema.

Com o intuito de melhorar o entendimento sobre o propósito das aplicações *Smart Attendance* no contexto educacional, é apresentado o Quadro 2 com resumo

dessas aplicações, bem como as principais tecnologias utilizadas.

Quadro 2 – Resumo das aplicações *Smart Attendance*

Autor	Título	Objetivo	Elementos
Jamil 2011	Sistema de Registro de Chamada Automático usando Telefone Móvel	Apresentar um sistema que confirma a presença do aluno em sala de aula utilizando um software instalado no celular do professor para redução no tempo de chamada.	Python, Banco de Dados Berkeley, Bluetooth
Saad et al. 2014	Trabalho Colaborativo em Salas de Aula com Dispositivos Portáteis usando Bluetooth e WLAN	Elaborar de um sistema colaborativo, denominado ILA, para auxiliar as tarefas repetitivas que ocorrem em sala de aula.	Bluetooth, J2ME, J2SE e WLAN
Akram e Rustagi 2015	Uma Abordagem Eficiente para Preservação de Privacidade e um Sistema de Presença de Resistência a Colisão	Propor uma aplicação Android para chamada do aluno em sala de aula combinado a utilização de técnicas para preservação da privacidade do aluno e resistência à fraude durante a chamada.	Android, Bluetooth e o Banco de Dados MySQL
Apoorv e Mathur 2016	Gerenciamento de Atendimento Inteligente usando <i>Bluetooth Low Energy</i> e Android	Expor a criação de um aplicativo Android para o registro do aluno em sala de aula utilizando BLE para reduzir o tempo de chamada.	Android, BLE
Cisar et al. 2016	Aplicação para Smartphones para Acompanhar Comparecimento dos Alunos às Aulas	Apresentar um sistema móvel e desktop, chamado Muffin, utilizando Arduino e Bluetooth para registro da chamada e acompanhamento da frequência dos alunos.	Arduino, Bluetooth, <i>Windows Phone</i> e C#

Fonte: Produzido pelo autor

O Quadro 2 mostra que embora as aplicações tenham utilizado métodos e tecnologias diferentes, todas possuem o mesmo propósito, que é a redução no tempo da chamada dos alunos em sala de aula. Foi possível verificar que 80% dos trabalhos utilizaram a tecnologia Bluetooth para compor a aplicação e 20% escolheram o BLE. Além disso, foi visto que 40% dos aplicativos são baseados na tecnologia Android e 20% foram derivados das tecnologias *Windows Phone*, Java e Python. Esses resultados mostram uma forte tendência no uso das tecnologias Android e Bluetooth para compor esse tipo de aplicação, posto que a maior parte dos *smartphones* existentes no mundo é Android e o Bluetooth é uma tecnologia consagrada e está presente em grande parte dos dispositivos móveis.

3.3 Utilização de simuladores para avaliação de desempenho dos protocolos de comunicação sem fio Bluetooth e BLE.

A seleção dos trabalhos apresentados nesta seção seguiram alguns critérios, como utilização de simuladores *open source* para avaliação do protocolo BLE e ava-

liação do consumo energético dos protocolos de comunicação sem fio com base na potência consumida pelos estados.

O trabalho apresentado por Cunha, Costa e Duarte (2004) afere o consumo energético dos nós sem fio existentes nas redes Wi-Fi utilizando a ferramenta *Network Simulator* (NS-2). Para executar a avaliação, são utilizadas as características do método de acesso ao meio e o relacionamento entre os nós da rede durante o processo de encaminhamento dos pacotes. Segundo o autor, o gasto energético é determinado a partir da fatia de tempo em que um elemento da rede passa transmitindo, recebendo ou ocioso. Dessa forma, são avaliados os ganhos potenciais obtidos pelas diferentes técnicas de economia energética ou de balanceamento do consumo de energia.

Mikhaylov (2014) discute as capacidades e limitações do simulador de redes BLE desenvolvido por ele empregando o *framework* MiXiM (v2.2.1) e a ferramenta OMNet++ (v4.2.2), e compara os resultados da simulação com os resultados obtidos pelo hardware transceptor BLE. O trabalho mostra que para um baixo intervalo de conexão, o rendimento do link de comunicação entre o mestre e o escravo está sujeito a variações do meio enquanto que um intervalo de conexão elevado resulta em uma baixo rendimento. Um outro ponto verificado no estudo é que se um mestre (M1) e um escravo (S1) estiverem se comunicando em um canal (K) e um mestre (M2) e um escravo (S2) tentarem se comunicar por meio do mesmo canal (K), haverá um distúrbio nesse meio. Após a perda do pacote, M1 e S1 cancelam a conexão. Esse problema ocorre quando mestre e escravos possuem um mesmo intervalo de comunicação. O autor também avalia o consumo de energia dos nós considerando os estados de transmissão, recepção, ocioso e comutação dos hosts da rede utilizando o mesmo conjunto de dados do transceptor BLE.

3.4 Conclusão do Capítulo

Em síntese, os trabalhos apresentados referiram-se ao uso geral da IoT no contexto educacional. Esses trabalhos revelaram a diversidade de aplicações, tecnologias, teorias e conceitos que podem ajudar no entendimento e desenvolvimento da IoT no campo da educação. Em seguida um nicho de aplicações IoT foram evidenciados. Essas aplicações estavam diretamente relacionadas à automatização do processo de registro de alunos em sala de aula que tem por objetivo reduzir o tempo de chamada de aula a partir do usos de tecnologias sem fio e dispositivos existentes em sala, como os celulares. Por fim, foram expostos os trabalhos que utilizam o processo de simulação para avaliar o comportamento dos protocolos de redes sem fio.

4 Proposta

Neste capítulo serão apresentados o objeto de estudo da pesquisa, o fluxo de funcionamento do sistema *Smart Attendance*, os tipos e formatos dos dados trafegados, bem como o fluxo de mensagens trocadas durante a realização da chamada e por fim as funções utilizadas para calcular o consumo energético dos dispositivos móveis de aluno e professor envolvidos no processo de chamada.

4.1 O objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho é a avaliação do impacto energético nos *smartphones* que utilizam a tecnologia Bluetooth ou BLE durante o processo de chamada em um sistema *Smart Attendance* no contexto da IoT. A primeira metade do objeto, a qual refere-se à utilização dos *smartphones* e das tecnologias Bluetooth e BLE, foi identificado a partir da leitura dos trabalhos relacionados ao processo de chamada apresentados na Seção 3.1. A segunda parte deste objeto foi constituída após identificar a necessidade de avaliação do consumo energético nos *smartphones* de alunos e professores, visto que o celular possui diversas funções que consomem bateria fora do cenário da chamada em sala de aula inteligente, como a realização e recebimento de ligações, o acesso a internet, a execução de aplicativos entre outros.

4.2 Fluxo de funcionamento do sistema *Smart Attendance*

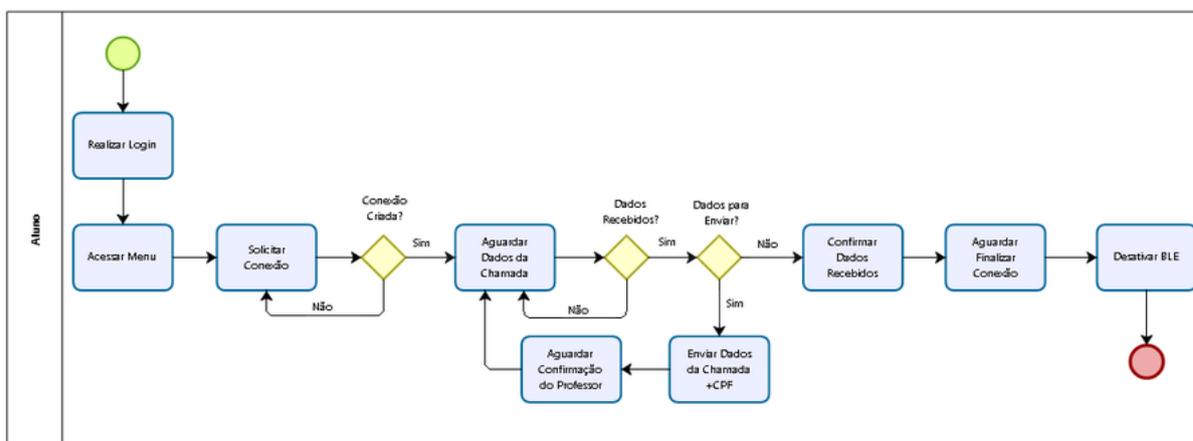
Inicialmente, por tratar-se de um processo de chamada dos alunos em sala de aula, onde a premissa é que ambos, professor e aluno, estejam com o BLE ou Bluetooth ativo em seus *smartphones*, será necessário definir o fluxo de funcionamento do sistema, quais as informações mais relevantes a serem enviadas pelo professor e aluno durante um processo de chamada, além de mensurar o tamanho de cada pacote de dados trafegado durante a comunicação entre os dispositivos, como abordado no trabalho realizado por (CUNHA; COSTA; DUARTE, 2004).

Parte do funcionamento do processo de chamada elaborado nesta pesquisa foi fundamentado nos trabalhos apresentados por (JAMIL, 2011; SAAD et al., 2014; APOORV; MATHUR, 2016). O mesmo é iniciado após o professor avisar verbalmente em sala de aula que a chamada será iniciada. Neste momento professor e aluno devem acessar a aplicação para autenticação dos dados. Em seguida o aluno entra no menu e seleciona a opção de habilitar o celular para chamada. Já o professor escolhe a opção realizar chamada. Neste ponto, em ambos, se o BLE ou Bluetooth estiverem desativados, o aplicativo solicitará permissão para habilitar a tecnologia de comunicação

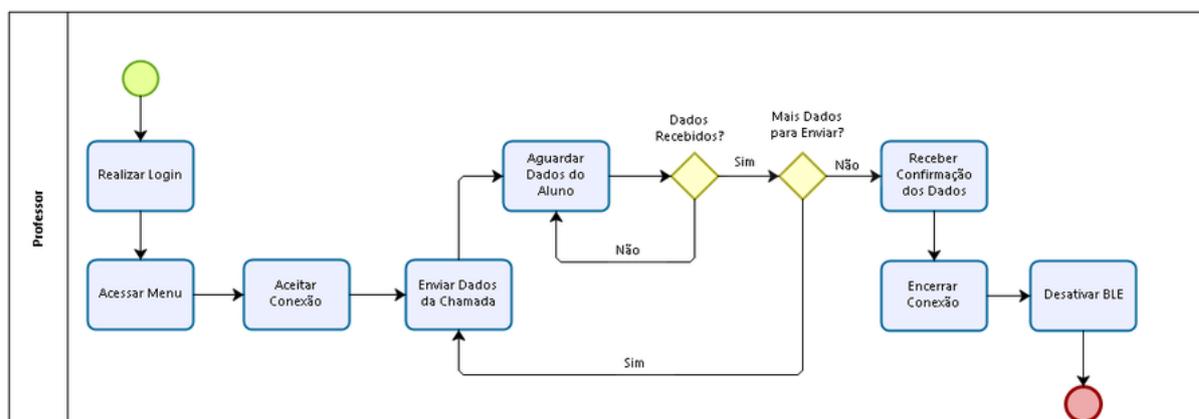
utilizada. Quando o aluno requisitar conexão, o CPF deste é enviado e validado pela aplicação, caso esteja cadastrado no sistema, o *smartphone* do professor aceitará a conexão e enviará os dados necessários para o processo de chamada. Em sequência, o aluno aguardará uma mensagem com as informações da chamada que surgirão em tela. No instante em que a mensagem for exibida na tela, os alunos devem marcar a presença na aula caso os dados estejam corretos. Subsequente, o professor aguarda os dados enviados pelos alunos. No momento em que as respostas dos alunos chegam ao professor, este envia uma mensagem atestando a presença dos alunos em aula. Ao receber a mensagem de que a presença foi realizada, o aluno confirma o recebimento da presença registrada enviando uma mensagem de comprovação. Neste momento, o professor encerra a chamada que serve de gatilho para desabilitar o BLE ou Bluetooth.

É importante destacar que todo esse processo pode ser executado mais de uma vez ao longo da aula, além de possuir duração mínima de cinco minutos (AKRAM; RUSTAGI, 2015). Se o aluno não conseguir ser registrado via sistema, este deverá ter a presença gravada pelo professor da disciplina.

Figura 4 – Fluxo de ações do aluno no sistema *Smart Attendance*



Fonte: Produzido pelo autor

Figura 5 – Fluxo de ações do professor no sistema *Smart Attendance*

Fonte: Produzido pelo autor

Para um melhor entendimento do funcionamento do sistema, as Figuras 4 e 5 ilustram esse processo demonstrando as ações tomadas por alunos e professores, respectivamente, dentro do sistema.

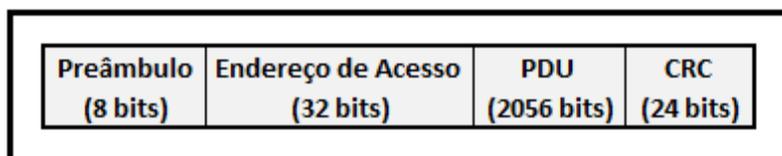
4.3 Tipos e formatos das mensagens usadas no sistema

Os formatos das mensagens adotados para o sistema consideram o mesmo padrão de mensagem empregados nas tecnologias BLE e Bluetooth. Segundo Warne (2017), o tamanho total do quadro BLE é 2120 bits, no entanto a quantidade de dados máximos trafegados é 2056 bits. De acordo com Siqueira (2006) e Horstmann (2002) o tamanho limite de um quadro Bluetooth é 2835 bits. Já a carga útil de dados permitidos é 2745 bits. Partindo dessa premissa, será possível determinar a carga útil de dados trafegados no sistema para que dessa forma não exista uma sobrecarga na aplicação durante a comunicação entre os dispositivos.

Inicialmente foram denominados uma nomenclatura e o tipo para cada mensagem. Essa definição se fez necessária para melhor identificação das mesmas ao projetar o sistema. Seguindo a arquitetura do BLE, houve uma padronização dos tipos de mensagens de acordo com os canais existentes: *Advertisement* (Anúncio) e *Data* (Dados). As mensagens do tipo *Advertisement* trafegam apenas nos canais destinados a anúncio, enquanto as do padrão *Data* são destinadas aos canais de dados. Embora não exista distinção entre os canais de anúncio e dados na tecnologia Bluetooth, optou-se também pelo uso desses tipos de mensagens para essa tecnologia. Segundo Warne (2017), o formato dos quadros de anúncio e dados é o mesmo. O quadro BLE é composto por: 8 bits de preâmbulo, 32 bits do endereço de acesso, 16 bits mínimos (cabeçalho da PDU) ou 2056 bits máximos (cabeçalho + dados) de *Protocol Data Unit*

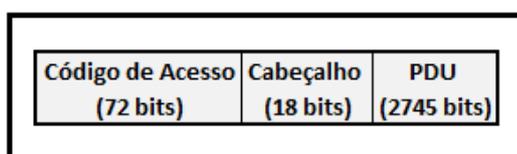
(PDU) e 24 bits de *Cycle Redundancy Check* (CRC), como mostrado na Figura 6. O formato do quadro para a tecnologia Bluetooth possui 72 bits para o campo código de acesso, 18 bits de cabeçalho e 2745 bits de dados (HORSTMANN, 2002; SIQUEIRA, 2006), como apresentado na Figura 7.

Figura 6 – Formato do quadro básico BLE



Fonte: Adaptada de Warne, 2017

Figura 7 – Formato do quadro básico Bluetooth



Fonte: Adaptada de Horstmann, 2002

Segundo a MICROCHIP TECHNOLOGY, INC. (2018), existem sete tipos de quadros de anúncio, (ADV_IND, ADV_DIRECT_IND, ADV_NONCONN_IND, ADV_SCAN_IND, SCAN_REQ, SCAN_RSP e CONNECT_REQ), cada qual com funções diferentes. Para o estudo realizado neste trabalho serão utilizados os quadros de anúncio do tipo ADV_DIRECT_IND e CONNECT_REQ. O campo de PDU do quadro ADV_DIRECT_IND é composto por um cabeçalho com 16 bits e um campo de dados com 96 bits para tecnologia BLE.

A primeira mensagem trocada no sistema é a solicitação de conexão enviada pelo *slave* (escravo) ao *master* (mestre). Essa mensagem foi categorizada do tipo *Advertisement* e nomeada como ADV_DIRECT_IND. A segunda mensagem, que consiste na resposta do mestre para o escravo informando o sucesso na criação de conexão entre os dispositivos, também é do tipo *Advertisement* e é chamada de CONNECT_REQ. A primeira mensagem do tipo *Data* é enviada do mestre ao escravo e foi nomeada como DATA_PDU_MS. A segunda mensagem do tipo *Data* foi adotada como DATA_PDU_SM, essa mensagem consiste na resposta do escravo ao mestre informando o recebimento dos dados. O terceiro tipo de mensagem do tipo *Data* foi denominada de TERMINATE_IND e é enviada do escravo ao mestre informando que não há mais dados a ser enviado. A última mensagem do tipo *Data*, nomeada

de ACK, refere-se à resposta do mestre para o escravo informando a finalização da conexão entre os dispositivos.

Para atender os requisitos de funcionamento de uma chamada em um sistema *Smart Attendance*, foi necessário incluir as mensagens determinadas no parágrafo anterior no escopo desse sistema. A única modificação necessária prevista foi relacionada ao tamanho dos dados trafegados durante o processo. Essa mudança ocorreu basicamente no campo PDU de ambos protocolos Bluetooth e BLE. A princípio, a quantidade de dados contida no campo de PDU, em cada mensagem, corresponderá ao tamanho da informação para esse campo. Além disso, houve a convenção de que 1 caractere da informação corresponderá a 8 bits. As informações foram definidas com base nos dados necessários para realização da chamada e capazes de identificar o aluno durante esse processo.

O campo de dados da PDU para o quadro AVD_DIRECT_IND será composto pelo endereço MAC de origem e destino dos *smartphones* durante a comunicação, totalizando 96 bits de PDU. Os dados da PDU para o quadro CONNECT_REQ possuirá 96 bits de PDU também, já que é a confirmação de que o CPF do aluno está válido e existente no sistema. O quadro DATA_PDU_MS conterá os dados únicos e necessários para identificação da disciplina. O campo de dados da PDU é composto pelo código do curso, que possui 24 bits; o código da disciplina, com 40 bits; a data da chamada, com 80 bits; o horário da aula, contendo 64 bits; o ano em que a disciplina estará sendo ofertada, composto por 32 bits; e o semestre em que a disciplina será lecionada, composto por 8 bits; o nome da disciplina, com 400 bits; e o nome do responsável pela disciplina, com 400 bits; totalizando 1056 bits de dados.

O quadro DATA_PDU_SM conterá os 1056 bits totais da mensagem DATA_PDU_MS acrescido do número da matrícula do aluno, com tamanho de 88 bits, totalizando 1144 bits de dados para PDU. Para o quadro TERMINATE_IND no campo PDU teremos apenas 16 bits para o BLE e 18 bits para o Bluetooth, referentes ao cabeçalho da PDU, e nenhum bit de dados, já que nesse momento o aluno não possui mais dados a enviar ao professor. O mesmo caso ocorre para a mensagem ACK que não possui dados na PDU, pois serve apenas para finalizar a conexão entre dispositivos. As Tabelas 1 e 2 exibem o tamanho de cada quadro utilizado durante o processo de chamada.

Tabela 1 – Relação entre o tamanho dos quadros para tecnologia BLE

Quadro	Tamanho da PDU (bits)	Tamanho da Quadro (bits)
AVD_DIRECT_IND	112	176
CONNECT_REQ	104	168
DATA_PDU_MS	1072	1136
DATA_PDU_SM	1160	1224
TERMINATED_IND	16	80
ACK	16	80

Fonte: Produzido pelo autor

Tabela 2 – Relação entre o tamanho dos quadros para tecnologia Bluetooth

Quadro	Tamanho da PDU (bits)	Tamanho do Quadro (bits)
AVD_DIRECT_IND	112	202
CONNECT_REQ	88	180
DATA_PDU_MS	1056	1146
DATA_PDU_SM	1144	1234
TERMINATE_IND	18	108
ACK	18	108

Fonte: Produzido pelo autor

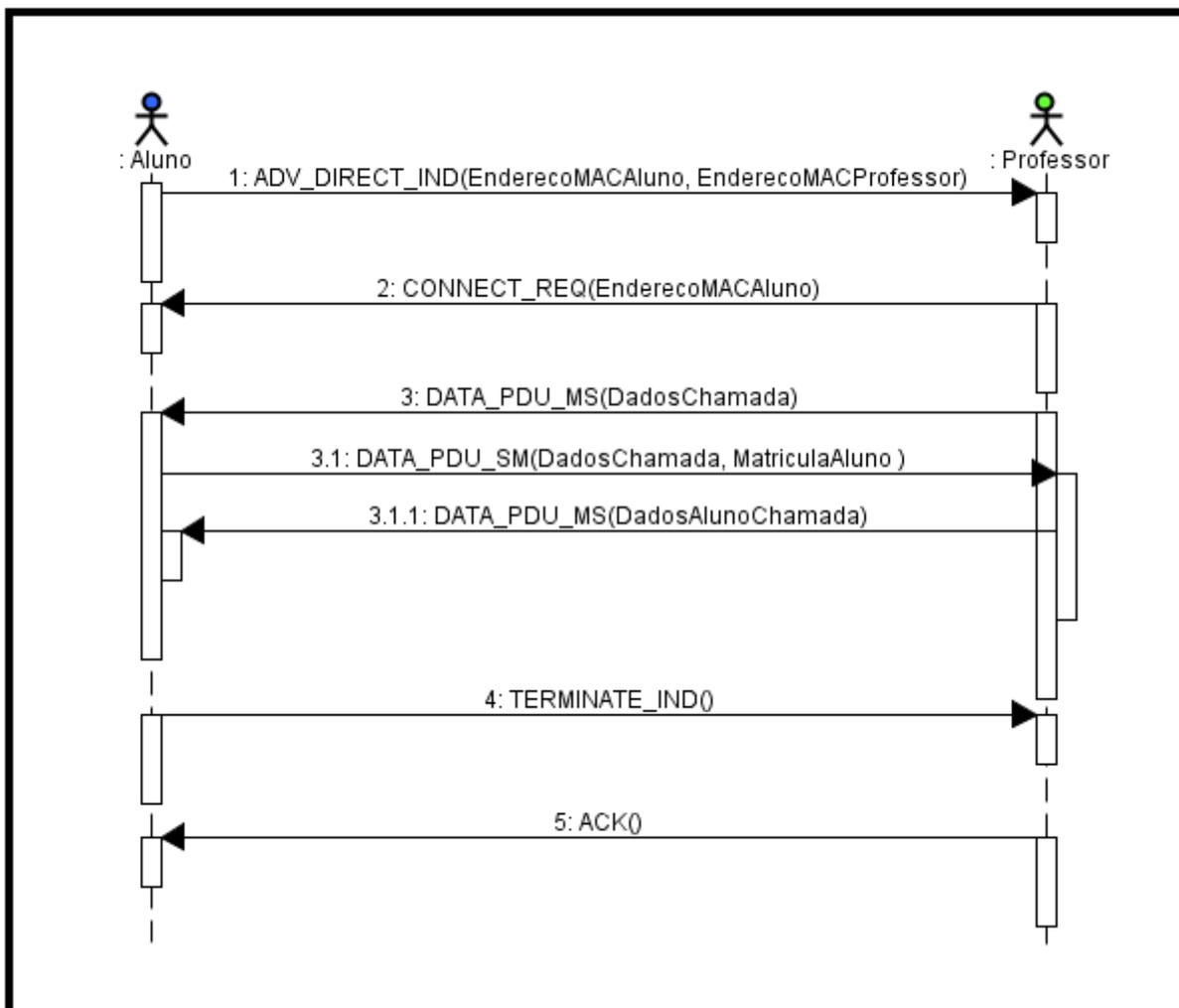
Com base na informação presente nas Tabelas 1 e 2, é possível inferir que a quantidade mínima de bits trafegados durante a chamada é a soma do tamanho, em bits, de cada quadro utilizado durante o processo. Sendo assim, o total mínimo de bits utilizados pelas tecnologias BLE e Bluetooth são 2872 bits e 3000 bits, respectivamente.

4.4 Fluxo de mensagens no sistema *Smart Attendance*

De acordo com os dados apresentados na seção 4.3, será descrito a seguir o fluxo de interação entre os atores do sistema durante a realização da chamada. Inicialmente, considerando que professor e aluno estejam logados na aplicação e com BLE ou Bluetooth ativados, o aluno enviará uma solicitação de conexão (ADV_DIRECT_IND)

diretamente ao professor. Nesta etapa o endereço MAC do aluno e do professor são enviados com objetivo de garantir uma comunicação direta entre os dispositivos. Em seguida, se o sistema identificar a existência do endereço MAC do aluno, o professor receberá essa informação e enviará uma mensagem (CONNECT_REQ) informando que a conexão foi bem sucedida. A partir disso, os dados da chamada informados na seção 4.3 serão enviados pelo professor por meio da mensagem (DATA_PDU_MS). Quando esses dados chegarem na tela da aplicação para o aluno, este confirmará o recebimento desses dados e disparará uma nova mensagem do tipo (DATA_PDU_SM). Esta mensagem conterá os dados da chamada enviados pelo professor, juntamente com a matrícula do aluno. Posteriormente, o professor confirma o recebimento dos dados remetidos pelo aluno com uma nova mensagem (DATA_PDU_MS) e concretiza a chamada para esse aluno. Esta nova mensagem contém os mesmos dados presentes na mensagem do tipo (DATA_PDU_SM). Ao receber essa confirmação de que a chamada foi realizada, o aluno responde que não possui mais dados a enviar, solicitando desconexão entre os dispositivos através da mensagem (TERMINATE_IND). Por fim, o professor recebe a confirmação de que o aluno está ciente que a presença em aula foi confirmada e desconecta-se do aluno, enviando uma mensagem (ACK). A seguir na Figura 8 abaixo é apresentado o fluxo de interação e troca de mensagens entre aluno e professor durante o processo de chamada.

Figura 8 – Fluxo de Mensagens entre Atores do Sistema



Fonte: Produzido pelo autor

4.5 Cálculo energético das mensagens do sistema

O trabalho apresentado por Cunha, Costa e Duarte (2004) avalia o consumo energético entre os nós da rede considerando o gasto de energia em cada estado da tecnologia *versus* o tempo de permanência neles. Neste trabalho será utilizada uma abordagem similar à encontrada no artigo desenvolvido por (CUNHA; COSTA; DUARTE, 2004).

Diferentemente da tecnologia IEEE 802.11, que possui quatro estados, as tecnologias BLE e Bluetooth possuem seis estados segundo (PERRUCCI; FITZEK; WIDMER, 2011). Os estados são: Desligado, Ligado, Conectado ou Ocioso, Descobrendo, Transmitindo e Recebendo. Os valores de potência consumida em cada um dos estados também é apresentado em (PERRUCCI; FITZEK; WIDMER, 2011).

A Energia média (E_m) no sistema pode ser obtida da seguinte forma: $E_m = t_{desl} \times P_{desl} + t_{lig} \times P_{lig} + t_{co} \times P_{co} + t_{desc} \times P_{des} + t_{tx} \times P_{tx} + t_{rx} \times P_{rx}$, onde t_{desl} , t_{lig} , t_{co} ,

t_{desc} , t_{tx} e t_{rx} são as frações de tempo em que os nós da rede ficam em cada um dos estados. Da mesma forma P_{desl} , P_{lig} , P_{co} , P_{des} , P_{tx} , P_{rx} são as potências instantâneas consumidas em cada estado.

Como ambas as tecnologias, BLE e Bluetooth, são derivadas de um mesmo *core*, será assumido que elas possuirão o mesmo número de estados. De acordo com o BLUETOOTH SIG, INC. (2018), as potências consumidas pela tecnologia BLE podem variar de 1% até 50% da potência consumida pela tecnologia Bluetooth dependendo do caso em estudo. Nesta pesquisa, para o BLE será assumido 50% da potência consumida pelo Bluetooth, já que esta tem por objetivo avaliar a energia máxima consumida pelas tecnologias envolvidas. Os valores das potências instantâneas são mostradas abaixo nas Tabelas 3 e 4 .

Tabela 3 – Potência consumida nos estados da tecnologia Bluetooth

Estado	Potência Consumida (mW)
Desligado	12
Ligado	15
Conectado ou Ocioso	67
Descobrimdo	223
Recebendo	425
Transmitindo	432

Fonte: Adaptado de Perrucci, 2011

Tabela 4 – Potência consumida nos estados da tecnologia BLE

Estado	Potência Consumida (mW)
Desligado	6
Ligado	7,5
Conectado ou Ocioso	33,5
Descobrimdo	111,5
Recebendo	212,5
Transmitindo	216

Fonte: Adaptado de Perrucci, 2011

De acordo com Cunha, Costa e Duarte (2004), a energia consumida em cada estado pode ser dada pela seguinte fórmula: $E_{estado} = t_{estado} \times P_{estado}$. Onde E_{estado} é a energia consumida no estado, t_{estado} é o tempo que cada nó permanece no estado e P_{estado} a potência instantânea consumida no estado.

Para esta pesquisa, não serão adotados os estados Desligado e Descobrimdo, uma vez que o processo de chamada não pode ser efetivado quando o BLE ou Bluetooth estiverem inativos nos *smartphones*. O estado Descobrimdo também não fará parte do estudo, visto que ambos dispositivos de aluno e professor possuem a tabela de roteamento salva na memória, ou seja, o endereço MAC do celular do professor estará gravado no dispositivo do aluno e vice-versa.

Um outro fator essencial para calcular a energia consumida no sistema é o tamanho e a quantidade de quadros enviados e recebidos durante o procedimento da chamada. O tamanho de cada quadro pode ser observado nas Tabelas 3 e 4. Esse tamanho pode influenciar diretamente o tempo em que o nó permanece no estado. Neste estudo será assumida a taxa máxima de transmissão para as tecnologias BLE e Bluetooth, 2Mbps e 3Mbps, respectivamente.

A partir das informações supracitadas, é possível calcular o tempo total que o quadro demora para ser executado (t_{Quadro}) com base na seguinte expressão: $t_{Quadro} = T_{Quadro} / Tx_{Transmisso}$. Onde T_{Quadro} é o tamanho do quadro e $Tx_{Transmisso}$ é a taxa considerada para envio dos dados. Os valores obtidos após a realização dos cálculos serão apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Tempo gasto pela PDU e pelo quadro em função da taxa de transmissão para tecnologia BLE

Quadro	Tempo Consumido pelo PDU (μ s)	Tempo Consumido pelo Quadro (μ s)
AVD_DIRECT_IND	56	88
CONNECT-REQ	56	88
DATA_PDU_MS	536 / 580	568 / 612
DATA_PDU_SM	580	612
TERMINATE_IND	8	40
ACK	8	40

Fonte: Produzido pelo autor

Tabela 6 – Tempo gasto pela PDU e pelo quadro em função da taxa de transmissão para tecnologia Bluetooth

Quadro	Tempo Consumido pela PDU (μs)	Tempo Consumido pelo Quadro (μs)
AVD_DIRECT_IND	56	101
CONNECT_REQ	56	101
DATA_PDU_MS	528 / 572	573 / 617
DATA_PDU_SM	572	617
TERMINATE_IND	9	54
ACK	9	54

Fonte: Produzido pelo autor

A partir da análise das Tabelas 5 e 6, é possível determinar o tempo total consumido pelo processo de chamada ideal em ambas as tecnologias considerando o fluxo mínimo de mensagens apresentado na Figura 8. Para as tecnologias consideradas, o tempo de chamada ideal ($t_{Chamada}$) pode ser definido pela quantidade de vezes que o quadro é chamado multiplicado pelo tempo que cada um dos quadros leva para ser processado. Logo, pode-se inferir que para as tecnologias BLE e Bluetooth o $t_{Chamada}$ equivale a 2048 μs e 2073 μs , respectivamente. É importante destacar que os tempos de chamada encontrados equivalem ao tempo gasto pelo sistema para registro de apenas um aluno.

Uma hipótese estabelecida neste trabalho foi uma possível relação existente entre o tipo de quadro e o estado da aplicação. Por exemplo, no início da chamada quando o aluno, com o BLE ou Bluetooth ativo, está tentando se conectar com o professor, a aplicação estará enviando a mensagem do tipo AVD_DIRECT_IND, ou seja estará no estado ligado. O mesmo procedimento ocorre para o professor, no entanto o quadro enviado será o CONNECT_REQ. A relação entre os quadros, os estados e o número de visitas durante o processo de chamada pode ser melhor visualizado nas Tabelas 7 e 8 .

Tabela 7 – Relação entre quadros e estados durante o processo de chamada para o aluno

Quadro	Estado	Nº de Visitas
AVD_DIRECT_IND	Ligado	1
DATA_PDU_MS	Recebendo	2
DATA_PDU_SM	Transmitindo	1
TERMINATE_IND	Transmitindo	1
ACK	Recebendo	1

Fonte: Produzido pelo autor

Tabela 8 – Relação entre quadros e estados durante o processo de chamada para o professor

Quadro	Estado	Nº de Visitas
CONNECT_REQ	Ligado	1
DATA_PDU_MS	Transmitindo	2
DATA_PDU_SM	Recebendo	1
TERMINATE	Recebendo	1
ACK	Transmitindo	1

Fonte: Produzido pelo autor

O estado Conectado ou Ocioso não é representado por nenhum tipo de quadro. Ele é descrito pelo intervalo de tempo entre os estados de transmissão e recepção. De acordo com Mikhaylov (2014), este intervalo é de 150 μ s. Fundamentado na relação entre quadros e estados exposta na Tabela 8, é possível determinar a quantidade de energia consumida pelos estados, durante a chamada, a partir da potência consumida pelos estados, a quantidade de vezes que o estado é visitado e o tempo que cada quadro demora para ser processado. A Tabela 10 a seguir evidencia a energia consumida, em Microjoules (μ J), por cada estado durante o procedimento da chamada.

Tabela 9 – Energia consumida pelos estados durante o processo de chamada utilizando BLE

Estado	Energia Consumida pelo estado para o aluno (μJ)	Energia Consumida pelo estado para o professor (μJ)
Ligado	0.66	0.66
Connectado ou Ocioso	1.00	1.00
Recebendo	259.70	139
Transmitindo	140.83	263.52

Fonte: Produzido pelo autor

Tabela 10 – Energia consumida pelos estados durante o processo de chamada utilizando Bluetooth

Estado	Energia Consumida pelo estado para o aluno (μJ)	Energia Consumida pelo estado para Professor (μJ)
Ligado	1.52	1.52
Conectado ou Ocioso	10.05	10.05
Recebendo	528.70	285.18
Transmitindo	289.87	537.41

Fonte: Produzido pelo autor

Após construção das Tabelas 9 e 10, é possível identificar algumas informações relevantes, como a energia gasta em cada estado pelas tecnologias *Bluetooth Low Energy* e Bluetooth. Ao analisar as Tabelas 9 e 10 verifica-se que o *smartphone* do aluno consome mais energia para receber os dados do que para transmitir. Isso ocorre para ambas as tecnologias Bluetooth e BLE devido ao fato de que durante o procedimento de chamada o dispositivo do aluno recebe mais mensagens e por isso passa mais tempo no estado de recepção, processando os dados que chegam. O caso contrário acontece com o dispositivo do professor, que por transmitir mais mensagens precisa ficar mais tempo no estado de transmissão, enviando as informações.

Quando os estados de recepção e transmissão dos dispositivos de alunos e professor são comparados dentro da mesma tecnologia, por exemplo no BLE, nota-se que para receber os dados o dispositivo do aluno gasta aproximadamente 53,5% mais energia em relação ao dispositivo do professor. Já o dispositivo do professor consome em torno de 53,4% mais energia que o dispositivo do aluno para transmitir dados. Quando

avalia-se a tecnologia Bluetooth, para o aluno, o estado Recebendo utiliza 54% mais energia que o mesmo estado para o professor. Já o estado de transmissão para o professor é 54% menos eficiente energeticamente que o mesmo estado para o aluno.

Comparando-se os estados de recepção e transmissão de alunos e professores entre tecnologias diferentes, é visto que, para o aluno, o estado Recebendo consome 49% menos energia no BLE em comparação ao mesmo estado utilizando Bluetooth. Já o estado Recebendo no BLE para o professor consome 48,7% menos energia. O estado Transmitindo para o aluno que utiliza a tecnologia BLE é 48,5% mais eficiente energeticamente do que o aluno que usufrui do Bluetooth. O professor no estado de transmissão em BLE também possui uma vantagem de 49% sobre o professor que utiliza Bluetooth.

Conforme verificado no início deste capítulo, a energia média (E_m) consumida pelos dispositivos também pode ser calculada pela fórmula $E_m = t_{desl} \times P_{desl} + t_{lig} \times P_{lig} + t_{co} \times P_{co} + t_{desc} \times P_{des} + t_{tx} \times P_{tx} + t_{rx} \times P_{rx}$. Neste estudo serão utilizados apenas os valores dos estados considerados durante o processo de chamada. Dessa forma, temos que a energia média será dada por $E_m = t_{lig} \times P_{lig} + t_{co} \times P_{co} + t_{tx} \times P_{tx} + t_{rx} \times P_{rx}$.

Os valores utilizados para o cálculo podem ser obtidos nas Tabelas 6 e 10, respectivamente. Logo, para a tecnologia BLE as energias médias consumidas pelos dispositivos de aluno e professor são: 402.19 Microjoules (μJ) e 404.18 Microjoules (μJ); enquanto que utilizando Bluetooth as energias médias gastas pelos dispositivos de aluno e professor durante o processo de chamada são: 830.14 Microjoules (μJ) e 834.16 Microjoules (μJ).

4.6 Conclusão do Capítulo

Em suma, houve a necessidade da definição do objeto a ser avaliado no trabalho. A identificação desse objeto no início da pesquisa é fundamental visto que todo o desenvolvimento desta será baseada nele. Para facilitar o entendimento do sistema como todo, as Figuras 4 e 5 ilustram o fluxo das ações que aluno e professor desempenham dentro da aplicação. Em seguida, os tipos e formatos das mensagens trocadas dentro do sistema foram apresentados, uma vez que é indispensável identificar quais mensagens estão trafegando na aplicação. Posteriormente, houve uma breve descrição do fluxo de mensagens existente durante a chamada. Esse fluxo permite uma melhor visão do tráfego de mensagens e seus respectivos conteúdos. Por fim, baseado no trabalho apresentado por (CUNHA; COSTA; DUARTE, 2004), foi definido como calcular o gasto energético de cada mensagem e a energia consumida pelos *smartphones*, a partir da definição do conteúdo desta, potência consumida nos esta-

dos, tempo consumido pela mensagem no estado em função da taxa de transmissão e número de visitas aos estados.

5 Materiais e Métodos

Neste capítulo serão apresentados a razão para seleção da técnica de avaliação, o motivo da métrica escolhida, os parâmetros gerais da avaliação, bem como os fatores considerados no experimento e a ferramenta utilizada.

5.1 Seleção das técnicas de avaliação

De acordo com Jain (91/05), antes da escolha da técnica de avaliação correta seja ela medição, simulação ou modelagem analítica, é necessário considerar uma lista de critérios, apresentados na Tabela 11, que influenciarão a tomada de decisão quando o contexto de desempenho de sistemas é mencionado. Ainda segundo o autor, o estágio ou ciclo de vida onde encontra-se o sistema a ser avaliado é o elemento chave para escolha da técnica correta.

Tabela 11 – Critérios para seleção das técnicas de avaliação

Critério	Modelagem Analítica	Simulação	Medição
Estágio	Qualquer	Qualquer	Pós-prototipo
Tempo Requerido	Pequeno	Médio	Varia
Ferramentas	Analíticas	Linguagens Computacionais	Instrumentação
Precisão	Baixa	Moderada	Varia
Avaliação <i>Trade-off</i>	Fácil	Moderada	Difícil
Custo	Pequeno	Médio	Alto
Saleabilidade	Baixo	Médio	Alto

Fonte: Adaptada de Jain, 91

Neste trabalho foram considerados alguns dos critérios apresentados acima para determinação da técnica a ser utilizada durante o estudo. Considerando o critério de estágio, até o presente momento, não foram encontradas aplicações de chamada em sala de aula que utilizam Bluetooth ou BLE disponíveis para avaliação, inviabilizando dessa forma o uso da técnica de medição. Diante disso, os dois critérios fundamentais para a escolha da técnica de simulação foram o nível de precisão entregue por esta técnica e as ferramentas, visto que o uso de linguagens computacionais e ferramentas

de simulação *open source* existentes possibilitam projetar redes e analisar o comportamento delas com um custo financeiro relativamente baixo em relação a uma análise executada em uma rede real.

5.2 Seleção das métricas de desempenho

Fundamentado no objetivo do trabalho, que é avaliar o impacto energético nos smartphones que utilizam as tecnologias Bluetooth ou BLE durante o processo de chamada, até o presente momento, as métricas selecionadas foram custo energético, relação sinal-ruído e a taxa de perda de pacotes. O motivo de escolha da primeira métrica deve-se ao fato de que, além da chamada possuir um tempo de duração, alunos e professores utilizam algumas funções do *smartphone* que também impactam o gasto energético, como: acessar à Internet, realizar ligações, enviar mensagens, executar aplicativos de jogos etc. A seleção das métricas posteriores estão relacionadas à possibilidade do uso de ambas as tecnologias para realizar o registro de pessoas em um auditório, teatro ou estádio de futebol, por exemplo.

5.3 A ferramenta utilizada para execução do processo de simulação

Em função do exposto na Seção 4.1, após a definição do objetivo do estudo, primeiramente foi estabelecido qual seria o tipo de sistema escolhido para uma avaliação. O sistema avaliado foi uma *Mobile Ad Hoc Network* (MANET) configurada para ser utilizada como uma rede BLE e uma rede Bluetooth, onde os nós desta são compostos pelos *smartphones* dos alunos e do professor.

A ferramenta selecionada para criação dessa rede foi o ambiente de simulação OMNet++ (versão 5.4.1). Segundo Nardini, Viridis e Stea (2016), o conceito básico por trás dessa ferramenta é a modularidade, onde para realizar as simulações é necessário criar os seus próprios módulos ou reutilizar os diversos módulos funcionais pré-existentes. A interação entre os módulos é realizada por meio da troca de mensagens. Para simular uma rede MANET dentro do OMNet++, foi necessário utilizar o *framework* INET (versão 4.0.0). O INET é um *framework open source* do OMNet++ e que contém alguns protocolos de redes como IPV4, TCP e UDP, além de componentes como roteadores e switches e modelos de redes com e sem fio.

A principal motivação para escolha dessa ferramenta foi a possibilidade de visualização e interação entre os componentes físicos e módulos presentes em uma rede, além da existência dos principais protocolos supracitados. Merece destaque também que não existe a necessidade do usuário possuir conhecimentos sólidos em programação, é fundamental entender o básico sobre redes de computadores e o funcionamento dos componentes e arquitetura da ferramenta.

Para utilizar a ferramenta OMNet++ juntamente com o INET foi preciso executar processo de instalação do ambiente OMNet++ visto em (ANDRÁS VARGAS; OPENSIM LTD, 2016) e importação do *framework* INET obtido em (INET, 2018a). Para criação de uma nova rede, foi necessário nomear e iniciar um novo projeto. Em seguida houve a vinculação do projeto criado com o INET para que dessa forma fosse possível utilizar os componentes básicos desse *framework*. Neste ponto, o projeto continha o arquivo, denominado *omnetpp.ini*, gerado após a criação da rede e que possui todas as suas configurações como quantidade de nós e topologia da rede, além da tecnologia utilizada como o padrão IEEE 802.11 ou Ethernet.

Para composição das redes MANETs foram selecionados os módulos básicos: *Ad Hoc Host*, *RadioMedium*, *Visualizer* e *Configurator*. Para análise do consumo energético dos nós nestas redes foi necessária a inclusão do módulo: *Energy Consumer*. A inclusão desse módulo foi fundamental, pois o mesmo encarrega-se de realizar todos os cálculos com base nas informações de entrada fornecidas. O módulo, por sua vez, possui modelos específicos, que dependendo do que deseja-se avaliar é mais recomendado ou não a sua utilização. É importante resaltar que o modelo utilizado se enquadra na categoria Ep. Esta categoria é mais simples e utiliza quantidades de energia e potência, enquanto a categoria Cc é mais realista e trabalha com quantidades de carga, corrente e tensão.

Para este estudo foi considerado o modelo *StateBasedEpEnergyConsumer*. Este modelo permite que a energia gasta em cada estado (Transmitindo, Recebendo, Ocioso, Desligado e Ligado) seja configurada. Nesta pesquisa foram determinados os mesmos valores de potência consumida nos estados apresentados nas Tabelas 3 e 4.

5.4 Configuração dos parâmetros de simulação característicos das redes Bluetooth e BLE

Antes da execução do processo de simulação, realizou-se a configuração dos parâmetros existentes no arquivo *omnetpp.ini* e que foram necessários para converter uma rede MANET genérica em uma rede BLE e outra rede Bluetooth. Esses parâmetros são responsáveis por caracterizar essas redes. Os valores para os parâmetros utilizados em BLE foram extraídos dos trabalhos apresentados por (MARCO et al., 2015; MIKHAYLOV, 2014). Já os valores dos parâmetros que determinam uma rede Bluetooth foram retirados dos trabalhos expostos por (GOMEZ; OLLER; PARADELLS, 2012; CHANG, 2014). A seguir, a Tabela 12 apresenta os parâmetros que identificam as redes BLE e Bluetooth respectivamente e foram utilizados na configuração da mesma dentro do ambiente de simulação OMNet++.

Durante a configuração dos parâmetros na ferramenta OMNet++ notou-se algu-

mas limitações referentes aos valores encontrados nos artigos. A primeira limitação percebida estava diretamente vinculada com o número máximo de canais suportados pelos hosts do tipo AdHoc. Hosts desse tipo suportam no máximo 10 canais. Sendo assim, foi utilizado apenas 10% da quantidade de canais encontrados nos artigos para as tecnologias, ou seja 4 canais para o BLE e 8 para o Bluetooth. Outra restrição verificada foi o valor máximo adotado para o fluxo de transferência de bits. Os hosts AdHoc permitem uma taxa máxima de envio de dados de 2Mbps. Portanto, para tecnologia Bluetooth a taxa foi reduzida de 3Mbps para 2Mbps. Por fim, notou-se que o esquema de modulação GFSK utilizado por ambas as tecnologias não estava disponível para utilização no módulo, dessa forma optou-se pela utilização do esquema BPSK em função da baixa taxa de transmissão de dados.

Tabela 12 – Parâmetros BLE e Bluetooth

Parâmetro	BLE	Bluetooth	Grandeza
Frequência	2.4	2.4	GHz
Número de Canais	4	8	-
Largura de Banda do Canal	2	1	MHz
Fluxo de transferência de bits	2	2	Mbps
Potência de Transmissão	100	100	mW
Tamanho do pacote de dados	359	375	Byte
Sensibilidade do Receptor	-93	-90	dBm
Potência de ruído do meio	-86	-86	dBm

Fonte: Produzido pelo autor

Os valores referentes aos parâmetros da Tabela 12 representam as características físicas das redes BLE e Bluetooth, respectivamente.

5.5 Definição dos fatores de simulação

Os fatores interpretados e utilizados nesta pesquisa foram baseados nas possíveis variáveis que poderiam afetar o gasto energético nos dispositivos móveis dos envolvidos na chamada. Dessa forma, foram consideradas a variação do tempo da chamada em sala de aula e a quantidade de alunos por turma. A Tabela 13 a seguir

exibe quais os fatores e seus possíveis valores atribuídos durante o procedimento de avaliação.

Tabela 13 – Fatores utilizados na simulação de redes BLE e Bluetooth

Fator	Valor
Quantidade de Hosts	6, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71, 81, 91 e 101
Tempo de Chamada (s)	300, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2400, 3000 e 3600
Distância entre hosts (m)	1, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 300, 350, 400, 450, 500

Fonte: Produzido pelo autor

Os valores atribuídos ao fator quantidade de hosts foi fundada na quantidade mínima e máxima de alunos presentes em aula na UFRPE, 5 e 100 respectivamente, mais a presença do professor, totalizando o mínimo de 6 hosts (5 alunos + 1 professor) e o máximo de 101 hosts (100 alunos + 1 professor) na rede.

O tempo de chamada considerado para avaliação foi originado a partir da leitura dos artigos presentes nesta pesquisa, onde os mesmos afirmam que uma chamada tradicional em sala de aula demora aproximadamente 300 segundos para ser finalizada pelo professor.

Para os cenários avaliados é importante destacar que os estados da tecnologia BLE estão utilizando 50% da potência gasta pelos mesmos estados da tecnologia Bluetooth.

5.6 Definição dos cenários

Nesta seção os cenários de simulação que irão ser investigados serão descritos. Para todos os cenários foi necessária a criação de uma MANET, onde os hosts representam os *smartphones* de alunos e professor.

5.6.1 Energia consumida *versus* Tempo de duração da chamada

A meta deste cenário é avaliar e quantificar o consumo energético dos *smartphones* ou nós da rede, em ambas as tecnologias Bluetooth e BLE, durante a variação do tempo de chamada para um total mínimo de alunos. Foi estimado um tempo de duração da chamada inicial de 300 segundos e uma quantidade mínima de 5 alunos mais 1 pro-

fessor totalizando 6 hosts na rede. O tempo de chamada inicial atribuído corresponde ao mesmo tempo utilizado nos trabalhos anteriores gasto durante uma chamada tradicional. Já a quantidade de nós baseou-se na capacidade mínima de alunos matriculados em uma disciplina na UFRPE.

5.6.2 Energia consumida *versus* Quantidade de alunos por turma

O objetivo deste cenário é avaliar e quantificar o consumo energético dos hosts na rede de acordo com a quantidade de alunos presentes na sala. Durante toda iteração foi considerado o tempo mínimo de 300 segundos para chamada. Inicialmente também foi assumida uma quantidade mínima permitida de 5 alunos matriculados em uma disciplina na UFRPE para a primeira iteração mais a presença de 1 professor.

5.6.3 Relação sinal-ruído *versus* Distância entre hosts em sala de aula

O propósito deste cenário é demonstrar a degradação do sinal das tecnologias Bluetooth e BLE com o aumento da distância entre hosts existentes na rede durante um processo de chamada. A necessidade dessa demonstração se faz presente visto que a relação sinal-ruído depende totalmente do ambiente e dos objetos que fazem parte desse meio. Para montagem do cenário foram considerados dois hosts onde a variação da distância ocorreu entre intervalos de 10 metros.

5.6.4 Taxa de perda de pacotes *versus* Distância entre hosts em sala de aula

Este cenário tem como finalidade identificar a distância em que começam a ocorrer a perda dos pacotes e qual a intensidade dessa perda para as tecnologias Bluetooth e BLE. A importância dessa identificação se faz necessária visto que ao encontrar o limite da aplicação dessas tecnologias para cenários *Smart Attendance*, futuros projetistas de redes podem utilizar como parâmetro os resultados encontrados e delimitar o uso da tecnologia correta. Para montagem do cenário foram considerados dois hosts onde a variação da distância ocorreu entre intervalos de 50 metros.

5.7 Conclusão do Capítulo

Em resumo, para seleção da técnica de avaliação correta foram utilizados alguns critérios apresentados pelo (JAIN, 91/05). A avaliação desses critérios é de suma importância, uma vez que a escolha da técnica é dependente do estado em que encontra-se o sistema. Posteriormente, houve a escolha das métricas de avaliação que foram fundamentadas, em parte, no quesito consumo energético, uma vez que alunos e professores utilizam outras funções que também consomem energia, como acessar

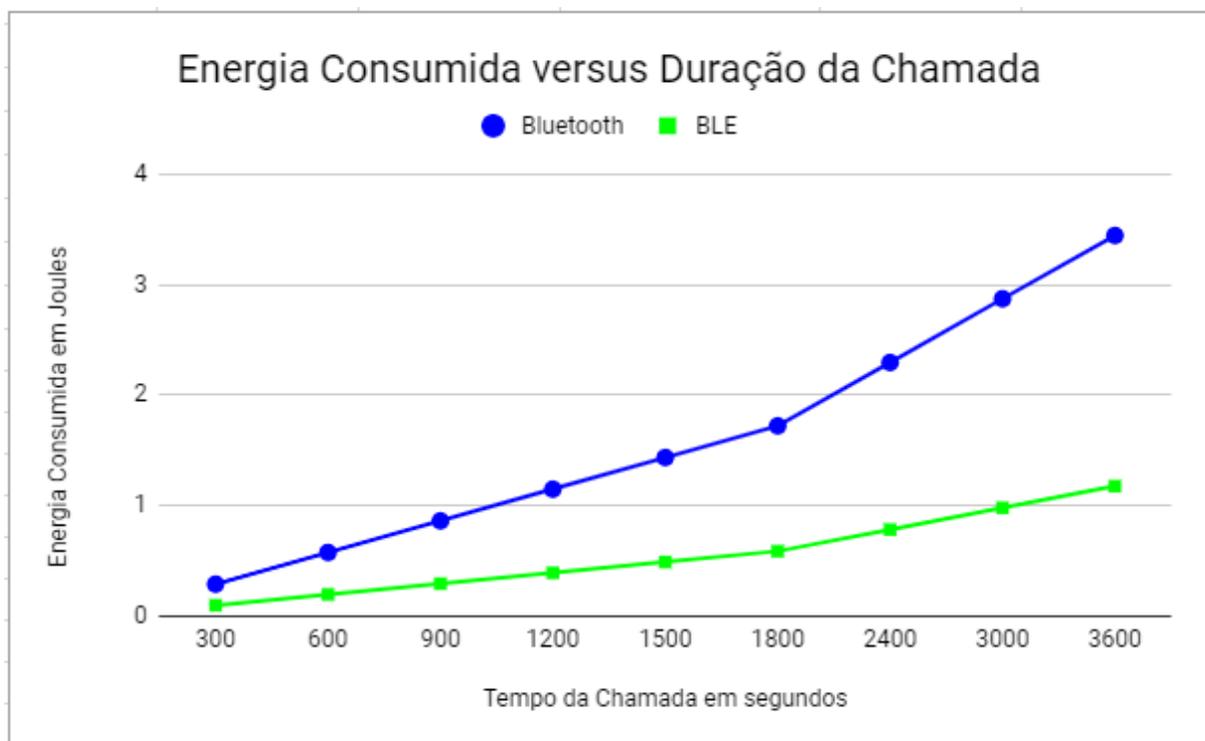
a internet. Outro ponto verificado foi a definição da ferramenta de simulação, onde a escolha desta baseou-se na simplicidade de sua utilização em virtude de que não é necessário possuir sólidos conhecimentos em programação. Além disso, a ferramenta contém diversos *frameworks* modulares, como o INET, que ajudam no desenvolvimento do projeto de simulação. Em sequência foram selecionados os parâmetros e os fatores de simulação, ou seja, variáveis que não possuem alteração em seus valores durante o processo de simulação e variáveis que tendem a sofrer variação de valor durante a simulação e a descrição dos cenários avaliados, respectivamente.

6 Resultados e Discussão

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos para os cenários executados na seção 5.6 e em seguida uma breve discussão sobre cada um deles.

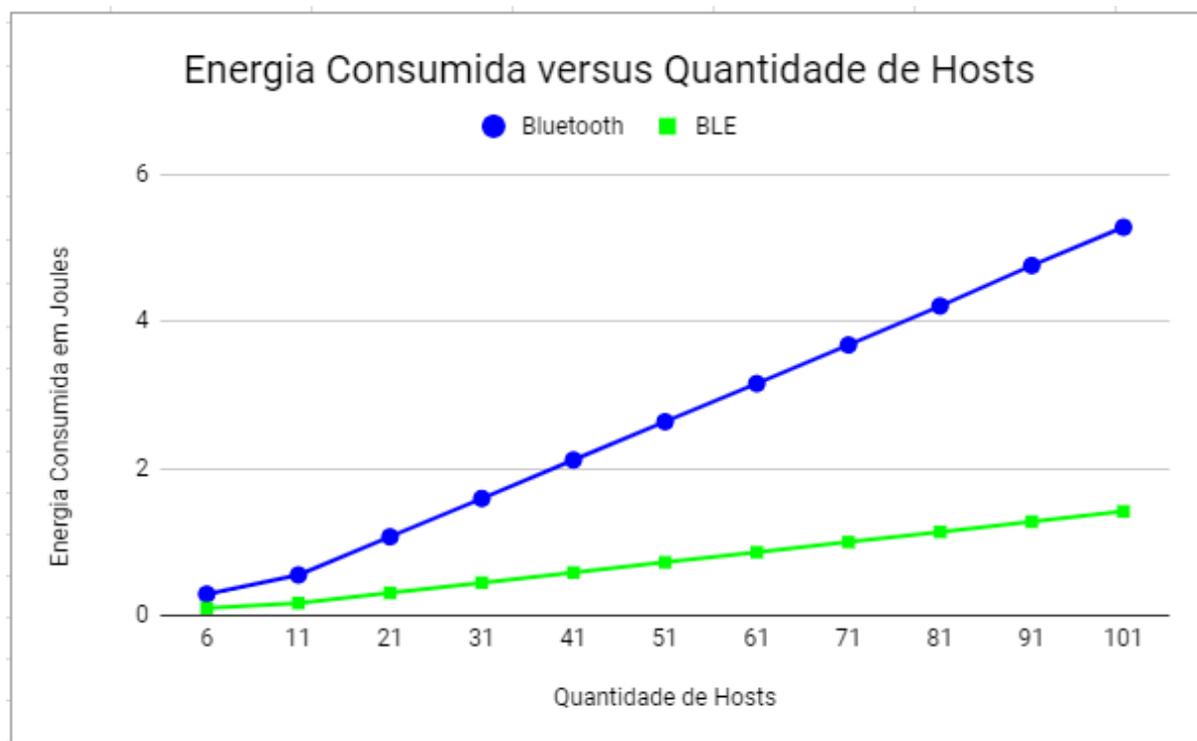
6.1 Resultado obtido para o cenário Energia Consumida *versus* Duração da Chamada

Figura 9 – Quantidade de energia consumida no smartphone em função da duração do tempo de chamada



Desenvolvido pelo autor

Para o cenário apresentado na seção 5.6, foi verificado que a energia gasta pelo Bluetooth aos 1200 segundos é aproximadamente a mesma energia usada pelo BLE aos 3600 segundos, 1,15 Joules e 1,17 Joules, respectivamente. Outro fator que merece ser destacado foi a maior a variação do consumo energético, 0,57 Joules, registrada no intervalo de 300 à 1800 segundos para a tecnologia Bluetooth. Já para o BLE essa variação energética também ocorreu no mesmo intervalo, no entanto ela foi menos expressiva e correspondeu a um aumento de 0,20 Joules.

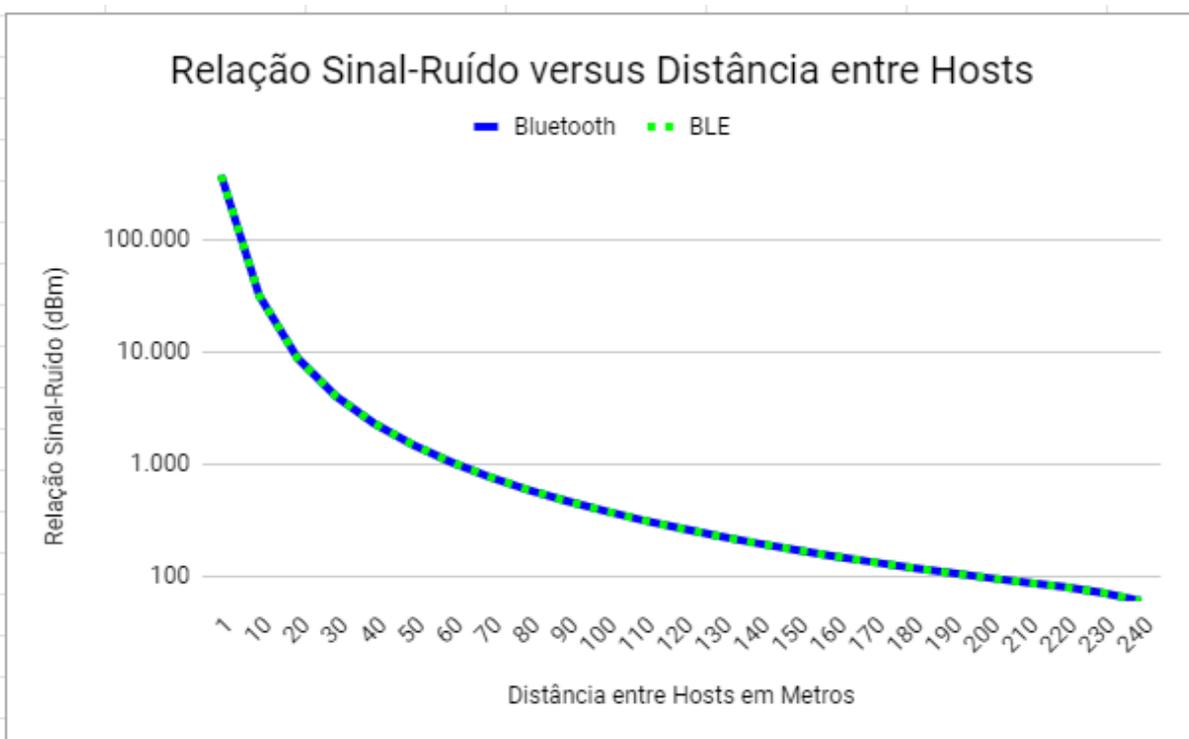
6.2 Resultado obtido para o cenário Energia Consumida *versus* Quantidade de Hosts**Figura 10 – Quantidade de energia consumida no smartphone em função da quantidade de hosts presentes na rede**

Desenvolvido pelo autor

No cenário mostrado na seção 5.6.2, observa-se que a energia gasta para uma chamada de 100 alunos utilizando o BLE ainda é inferior à energia consumida pelo Bluetooth durante a chamada de 30 alunos. É importante destacar que a menor e maior variação energética para o Bluetooth ocorreram no intervalo entre 6 e 11 hosts e 81 e 91 hosts, sendo 0,26 Joules e 0,56 Joules, respectivamente. Para o BLE, a menor variação registrada 0,061 Joules ocorreu na transição de 6 alunos para 11 alunos e a máxima de 0,14 Joules se repetiu para todo o restante do intervalo.

6.3 Resultado encontrado para o cenário Relação Sinal-Ruído versus Distância entre os Hosts

Figura 11 – Relação sinal-ruído avaliada em função da distância entre hosts existentes na rede para as tecnologias Bluetooth e BLE

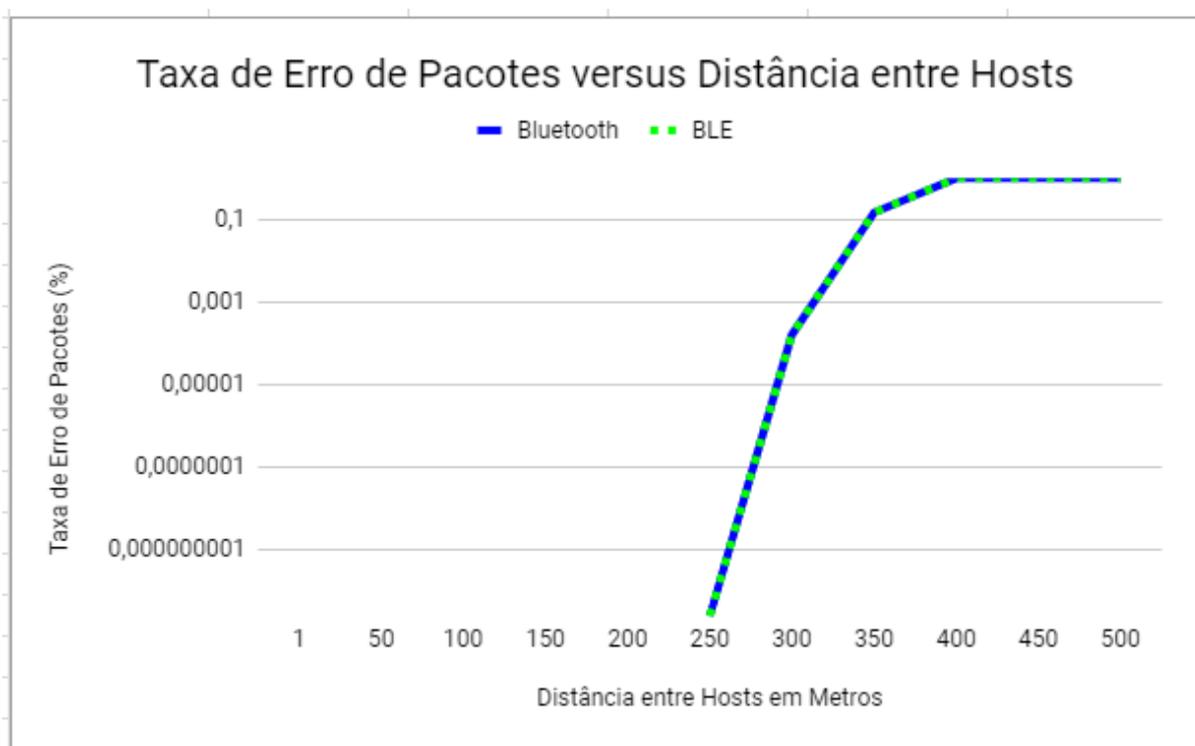


Desenvolvido pelo autor

Após a execução do cenário apontado na seção 5.6.3, percebeu-se que a relação sinal-ruído para as tecnologias Bluetooth e BLE foram idênticas. Esse fato ocorre visto que essa relação depende da potência de transmissão e da potência do ruído do meio e ambas as tecnologias utilizam a mesma potência de transmissão 100mW ou 20dBm e foram submetidas à mesma potência de ruído no meio. A relação Sinal-Ruído também independe dos esquemas de modulação e esquemas de codificação (INET, 2018b). Ao longo do gráfico verifica-se que os hosts estando a 1 metro de distância, a potência do sinal é cem mil vezes maior que a potência do ruído adotada para o meio. A diferença entre as potências de sinal e ruído começa a reduzir com o aumento da distância, por exemplo, a 20 metros distantes, a potência do sinal é dez mil vezes maior que a potência do ruído, a 50 metros essa diferença cai para mil vezes, a 180 metros é reduzida a cem vezes, e assim sucessivamente. Também é possível constatar que o intervalo onde registra-se a maior diferença entre as potências é de 1 metro à 50 metros.

6.4 Resultado encontrado para o cenário Taxa de Perda de Pacotes versus Distância entre Hosts

Figura 12 – Taxa de perda de pacotes avaliada em função da distância entre hosts presentes na rede para as tecnologias Bluetooth e BLE



Desenvolvido pelo autor

Logo após a realização do cenário apresentado na seção 5.6.4 foi verificado que, para ambas as tecnologias, a taxa de erro de pacotes, embora muito baixa, é iniciada aos 250 metros. Isso pode ser explicado pelo fato de que as taxas de envio dos bits menores, como 2 Mbps, apresentam menos erros de pacotes conforme ocorre o aumento na distância devido à utilização de um esquema de modulação mais simples (INET, 2018b). O gráfico mostra também que no intervalo de 1 a 200 metros essa taxa é 0, ou seja, não há perda de pacotes. Outro ponto aferido é que após 350 metros a taxa de erro de pacotes se manteve constante.

7 Conclusões e Trabalhos Futuros

A pesquisa aponta um crescimento significativo na adoção da IoT para solucionar os problemas dentro e fora do contexto educacional. Isso fica mais evidente ao perceber o aumento nas vendas de dispositivos móveis, principalmente *smartphones*, e a utilização deste juntamente com as tecnologias como Android e Bluetooth para compor as aplicações IoT, além do volume de objetos conectados entre si (M2M) e aos seres humanos (M2P) nos próximos anos.

No cenário da educação, vale destacar a diversidade de aplicações que visa não apenas a criação de ambientes inteligentes, mas também automatização de tarefas, melhoria nas técnicas de ensino e processos de aprendizagem, bem como o fornecimento de conteúdos. Além do mais a importância da parceria empresa-escola que possui a capacidade de atrair recursos financeiros e tecnológicos para a escola, bem como agregar valor para ambas as partes, onde a escola recebe o recurso tecnológico e entrega à empresa o profissional habilitado a utilizar e desenvolver novas tecnologias.

Apesar dos resultados indicarem que os *smartphones* que utilizam as tecnologias Bluetooth e BLE em um sistema *Smart Attendance* possuem comportamento semelhante quando comparados dentro das métricas taxa de erro de pacote e relação sinal-ruído. É importante frisar que, no instante em que essas tecnologias são analisadas dentro da métrica consumo energético, para o cenário duração de chamada, o smartphone que utiliza BLE na chamada consome 1,15 Joules durante 3600 segundos, enquanto o *smartphone* que utiliza Bluetooth gasta cerca de 1,17 Joules aos 1200 segundos.

Ainda considerando a métrica consumo energético, para o cenário quantidade de hosts, foi verificado que o smartphone que utiliza BLE na chamada gasta 1,41 Joules para chamada de 101 alunos enquanto que o smartphone que utiliza o Bluetooth consome 1,59 Joules durante a chamada de 30 alunos. Dessa forma o BLE é a escolha mais racional, dentre as tecnologias avaliadas, do ponto de vista consumo energético considerando os fatores de tempo de chamada em sala de aula e quantidade de alunos quando deseja-se desenvolver uma aplicação *Smart Attendance*.

Em síntese, este trabalho mostrou-se bastante próspero visto que o mesmo atendeu o objetivo e a questão de pesquisa responsáveis por nortear todo o estudo. Após a simulação dos cenários foi notória a vantagem da utilização da tecnologia BLE sobre o Bluetooth considerando a métrica consumo energético e os fatores tempo de chamada e quantidade de hosts. Além do mais, realçou a importância da avaliação das

tecnologias Bluetooth e BLE utilizadas no estudo ao quantificar os potenciais valores de energia consumida pelos *smartphones* durante o procedimento de chamada em um sistema *Smart Attendance* e os possíveis limites geográficos de utilização das mesmas.

Dessa forma, espera-se que este trabalho consiga auxiliar os futuros pesquisadores da área a compreender a necessidade de uma avaliação das tecnologias candidatas ao desenvolvimento de um sistema *Smart Attendance*.

7.1 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, existe a possibilidade da utilização dos esquemas de modulação padrão adotado pelas tecnologias BLE e Bluetooth. O propósito disso é compreender a real taxa de perda de pacotes dessas tecnologias em função da distância, visto que existe a possibilidade do uso de sistemas *Smart Attendance* além do escopo de sala de aula, para o *check-in* de pessoas em teatros e estádios de futebol, por exemplo. Neste caso, atualmente, a tecnologia BLE sempre utiliza o esquema de modulação GFSK e o Bluetooth emprega as modulações GFSK, $\pi/4$ -DPSK e 8-DPSK para uma taxa de transmissão de 1Mbps, 2Mbps e 3Mbps, respectivamente.

Outra questão em aberto, é a perspectiva de analisar o comportamento das futuras tecnologias de comunicação sem fio candidatas à concepção de uma *Smart Attendance* por meio da utilização de simuladores e ou *frameworks*, visando a comparação com as tecnologias avaliadas nesse estudo, a fim de compreender as vantagens e desvantagens das tecnologias de comunicação sem fio antes da implantação desse tipo de sistema.

Além disso, ainda no contexto de utilização dos simuladores, é relevante à avaliação do consumo energético dos dispositivos utilizados durante a chamada em ambientes não controlados, por exemplo ambientes que possuem fontes de ruídos capazes de interferir na transmissão do sinal durante a chamada. O propósito dessa análise, é identificar até que ponto é viável a utilização desse sistema fora de ambientes controlados, e qual tecnologia possui melhor performance em ambientes controlados e não controlados considerando a métrica de consumo energético.

Existe a necessidade da medição do consumo energético dos *smartphones* presentes em um *Smart Attendance* real e em funcionamento utilizando tecnologias Bluetooth ou BLE, por exemplo. É importante empregar no mínimo a quantidade de parâmetros e fatores destacados nesse trabalho, com o objetivo de evidenciar as similaridades e diferenças entre ambos os resultados atingidos, já que os variados modelos de *smartphones* existentes no mercado podem apresentar um consumo energético diferente, devido a utilização de baterias com tecnologias mais antigas ou

modernas.

Por fim, após a implantação de um *Smart Attendance*, é fundamental avaliar o consumo energético em *smartphones* que estejam utilizando outras funções do celular que consome energia no momento da chamada, de preferência funções como acessar a Internet por meio de tecnologias *Wi-Fi* ou 4G, por exemplo, visando compreender o impacto energético no celular durante o processo de chamada quando o mesmo faz uso de mais de uma tecnologia e ou função.

Referências

AKRAM, F.; RUSTAGI, R. P. An efficient approach towards privacy preservation and collusion resistance attendance system. *3rd International Conference On Moocs, Innovation And Technology In Education (mite)*, p. 41 – 45, October 2015.

ANDRÁS VARGAS; OPENSIM LTD. *OMNet++ Installation Guide*. [S.I.], 2016. Disponível em: <<https://www.omnetpp.org/doc/omnetpp/InstallGuide.pdf>>. Acesso em: 09/07/2018.

APOORV, R.; MATHUR, P. Smart Attendance Management using Bluetooth Low Energy and Android. *2016 Ieee Region 10 Conference (tencon)*, p. 1048 – 1052, November 2016.

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, v. 54, p. 2787 – 2805, 2010.

AZZAM, S. R.; RAMADANI, Y. Reforming education sector through Big Data. *2016 Ieee International Conference On Cloud Computing And Big Data Analysis (icccbda)*, p. 3 – 8, July 2016.

BAGHERI, M.; MOVAHED, S. H. The Effect of the Internet of Things (IoT) on Education Business Model. *12th International Conference On Signal-image Technology & Internet-based Systems (sitis)*, p. 435 – 441, 2016.

BASTOS, R. R.; LINS, L.; SILVA, R. de A. Aperfeiçoando o aprendizado da Libras utilizando elementos de Internet das Coisas. *Anais dos Workshops do V Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2016)*, p. 1364 – 1373, Novembro 2016.

BELKEZIZ, R.; JARIR, Z. A Survey on Internet of Things Coordination. *Third International Conference on Systems of Collaboration (SysCo)*, p. 1 – 6, November 2016.

BHATT, J.; BHATT, A. IoT Techniques to Nurture Education Industry: Scope & Opportunities. *International Journal On Emerging Technologies*, p. 128 – 132, 03 2017.

BLUETOOTH SIG, INC. *Radio Versions: The right radio, for the job right*. 2018. Disponível em: <<https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology/radio-versions>>. Acesso em: 16/09/2018.

CATÃ, M. Smart university, a new concept in the Internet of Things. *14th RoEduNet International Conference - Networking in Education and Research (RoEduNet NER)*, p. 195 – 197, September 2015.

CHANG, C. H. Smart Classroom Roll Caller System with IOT Architecture. *2011 Second International Conference on Innovations in Bio-inspired Computing and Applications*, p. 356 – 360, December 2011.

CHANG, K. Bluetooth: a viable solution for IoT? [Industry Perspectives]. *IEEE Wireless Commun.*, v. 21, n. 6, p. 6 – 7, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/MWC.2014.7000963>>.

- CHIN, J.; CALLAGHAN, V. Educational Living Labs: A Novel Internet-of-Things Based Approach to Teaching and Research. *9th International Conference On Intelligent Environments*, p. 92 – 99, July 2013.
- CISAR, S. M. et al. Smartphone Application for Tracking Students' Class Attendance. *2016 IEEE 14th International Symposium On Intelligent Systems And Informatics (sisy)*, p. 227 – 232, August 2016.
- CORNEL, C. The Role of Internet of Things for a Continuous Improvement in Education. *Hyperion Economic Journal*, p. 24 – 31, July 2015.
- CUNHA, D. de O.; COSTA, L. H. M. K.; DUARTE, O. C. M. B. Uma Análise do Consumo de Energia em Redes Ad Hoc. *Revista Científica Periódica - Telecomunicações*, v. 07, n. 01, p. 39 – 47, Jul 2004.
- FUZETO, R.; BRAGA, R. T. V. Um Mapeamento Sistemático em Progresso Sobre Internet das Coisas e Educação à Distância. *Anais dos Workshops do V Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2016)*, p. 1334 – 1343, Novembro 2016.
- GANDHI, S. L. Smart Education Service Model Based on IoT Technology. *International Interdisciplinary Conference On Science Technology Engineering Management Pharmacy And Humanities Held*, p. 273 – 276, April 2017.
- GOMEZ, C.; OLLER, J.; PARADELLS, J. Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power Wireless Technology. *Sensors*, v. 12, n. 9, p. 11734 – 11753, August 2012.
- GUBBI, J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Comp. Syst.*, v. 29, n. 7, p. 1645 – 1660, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>>.
- HAN, S. N. et al. Service composition for IP smart object using realtime Web protocols: Concept and research challenges. *Interfaces*, v. 43, p. 79 – 90, January 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.csi.2015.08.006>>.
- HORSTMANN, G. N. *Avaliação de Mecanismos para Gerenciamento da Fila da Interface do Host Controller Bluetooth*. 2002. 137 p. Dissertação (Bacharelado em Ciência da Computação) — Universidade Federal de Santa Catarina.
- III, A. F. H. et al. Bluetooth Low Energy in Dense IoT Environments. *IEEE Communications Magazine*, v. 54, p. 30 – 36, December 2016.
- INET. *Installing INET*. 2018a. Disponível em: <<https://inet.omnetpp.org/Installation.html>>. Acesso em: 09/07/2018.
- INET. *Packet Loss vs. Distance Using Various WiFi Bitrates*. 2018b. Disponível em: <[PacketLossvs.DistanceUsingVariousWiFiBitrates](#)>. Acesso em: 10/12/2018.
- JACOB, J. et al. Mobile attendance using Near Field Communication and One-Time Password. *International Conference On Green Computing And Internet Of Things (icgciot)*, p. 1298 – 1303, October 2015.

JAIN, R. *Art of Computer Systems Performance Analysis Techniques For Experimental Design Measurements Simulation And Modeling*. [S.l.]: EarthWeb Inc., 91/05. ISBN 0471503363.

JAMIL, T. Automatic Attendance Recording System Using Mobile Telephone. *19th Telecommunications forum TELFOR 2011*, p. 1297 – 1299, November 2011.

KUSMIN, M. *Information Society Approaches and ICT Processes*. 2017. Disponível em: <<http://www.tlu.ee/~pnormak/ISA/Analyticalarticles/9-ApplicationoftheInternetofThingsinEducation-M.Kusmin.pdf>>. Acesso em: 12/06/2017.

MARCO, P. D. et al. Coverage Analysis of Bluetooth Low Energy and IEEE 802.11ah for Office Scenario. *26th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications - (PIMRC)*, p. 2283 – 2287, September 2015.

MATHEW, A.; P., N. K. Smart Academy an IoT approach: A survey on IoT in education. *International Journal Of Advanced Research Trends In Engineering And Technology*, p. 37 – 41, February 2016.

MENDONÇA, F. F.; NÓBREGA, O.; CUNHA, P. R. F. Avaliação do Impacto da Segurança sobre a Fragmentação em Redes de Sensores Sem Fio na Internet das Coisas. *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*, 2016.

MICROCHIP TECHNOLOGY, INC. *Bluetooth Low Energy Packet Types*. 2018. Disponível em: <<http://microchipdeveloper.com/wireless:ble-link-layer-packet-types>>. Acesso em: 10/08/2018.

MIKHAYLOV, K. Simulation of Network-Level Performance for Bluetooth Low Energy. *25th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC)*, p. 1259 – 1263, September 2014.

NARDINI, G.; VIRDIS, A.; STEA, G. Simulating device-to-device communications in OMNeT++ with SimuLTE: scenarios and configurations. *Proc. of the 3rd OMNeT++ Community Summit*, p. 1 – 4, September 2016.

NOGUCHI, S. et al. Student Attendance Management System with Bluetooth Low Energy Beacon and Android Devices. *2015 18th International Conference on Network-Based Information Systems*, p. 710 – 713, September 2015.

OLIVEIRA, F. F. de et al. Uma Estação de Medição Geomagnética de Acesso Ubíquo para Estudos de Geofísica. *Anais dos Workshops do V Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2016)*, p. 1354 – 1363, Novembro 2016.

PERRUCCI, G. P.; FITZEK, F. H. P.; WIDMER, J. Survey on Energy Consumption Entities on the Smartphone Platform. *IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, p. 1 – 6, May 2011.

PRUET, P. et al. Exploring the Internet of “Educational Things”(IoET) in rural underprivileged areas. *12th International Conference On Electrical Engineering/electronics, Computer, Telecommunications And Information Technology (ecti-con)*, p. 1 – 5, June 2015.

RAHMAN, M. U. et al. ICT and internet of things for creating smart learning environment for students at education institutes in India. *6th International Conference - Cloud System and Big Data Engineering (Confluence)*, Noida, India, p. 701 – 704, January 2016.

RITESH, K. V.; MANOLOVA, A.; NENOVA, M. Abridgment of Bluetooth low energy (BLE) standard and its numerous susceptibilities for Internet of Things and its applications. *2017 IEEE International Conference on Microwaves, Antennas, Communications and Electronic Systems (COMCAS)*, p. 1 – 5, November 2017.

SAAD, T. et al. Collaborative work in class rooms with handheld devices using bluetooth and WLAN. *2014 Ieee 27th Canadian Conference On Electrical And Computer Engineering (ccece)*, p. 1 – 6, May 2014.

SALIS, C. et al. IoT-DESIR: A case study on a cooperative learning experiment in Sardinia. *International Conference On Interactive Collaborative Learning (ICL)*, p. 785 – 792, September 2015.

SARITAS, M. T. The Emergent Technological and Theoretical Paradigms in Education: The Interrelations of Cloud Computing (CC), Conectivism and Internet of Things (IoT). *Acta Polytechnica Hungarica*, p. 161 – 179, June 2015.

SIQUEIRA, T. S. de. *Bluetooth – Características, protocolos e funcionamento*. 2006. Disponível em: <<http://www.ic.unicamp.br/~ducatte/mo401/1s2006/T2/057642-T.pdf>>. Acesso em: 01/07/2018.

STEFANUTO, I. M.; SANTOS, J. A. M. dos; TORRES, C. T. *Evolução das Redes Sem Fio: Comparativo Entre Wi-Fi e Bluetooth*. São Paulo: [s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.fatecbauru.edu.br/ojs/index.php/CET/article/view/226>>. Acesso em: 27 jan 2019.

TEMKAR, R.; GUPTE, M.; KALGAONGAR, S. Internet of Things for Smart Classrooms. *International Research Journal Of Engineering And Technology (irjet)*, p. 203 – 207, July 2016.

WARNE, W. *Bluetooth Low Energy - It starts with Advertising*. 2017. Disponível em: <https://blog.bluetooth.com/bluetooth-low-energy-it-starts-with-advertising?_ga=2.190832427.1493072191.1533572717-825337019.1512316932>. Acesso em: 05/08/2018.

ZAINAL, N. I. et al. Design and development of portable classroom attendance system based on Arduino and fingerprint biometric. *The 5th International Conference On Information And Communication Technology For The Muslim World (ict4m)*, November 2014.

ZHANG, T. The Internet of Things Promoting Higher Education Revolution. *Fourth International Conference On Multimedia Information Networking And Security*, p. 790 – 793, November 2012.