

Thyerri Fernandes Mezzari

**SISTEMA LOCALIZADOR BASEADO NO CONCEITO DE
INTERNET DAS COISAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Bacharel em Tecnologias da
Informação e Comunicação.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre
Leopoldo Gonçalves.

Araranguá
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Mezzari, Thyerri Fernandes

Sistema localizador baseado no conceito de internet das coisas / Thyerri Fernandes Mezzari ; orientador, Alexandre Leopoldo Golçalves - Araranguá, SC, 2015.

76 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá.
Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Inclui referências

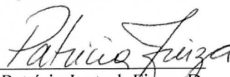
1. Tecnologias da Informação e Comunicação. 2. Internet das Coisas. 3. Bluetooth Low Energy. 4. Computação Ubíqua. 5. Redes. I. Golçalves, Alexandre Leopoldo. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação. III. Título.

Thyerri Fernandes Mezzari

**SISTEMA LOCALIZADOR BASEADO NO CONCEITO DE
INTERNET DAS COISAS**

Esta Monografia foi julgada adequada para obtenção do Título de “Bacharel em Tecnologias da Informação e Comunicação”, e aprovada em sua forma final pelo Curso de Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Araranguá, Dezembro de 2015.



Prof. Patrícia Jantsch Fiuza, Dra.
Coordenadora do Curso

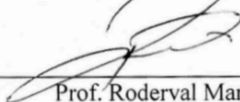
Banca Examinadora:



Prof. Alexandre Leopoldo Gonçalves, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Juarez Bento da Silva, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Roderval Marcelino, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a todos que direta ou indiretamente, apoiaram e contribuíram para o desenvolvimento deste projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família e em especial aos meus pais pelo incentivo a carreira acadêmica, pelo apoio, orientação e compreensão.

Aos colegas da Tecnnic Eletrônica que estiveram presentes nesta jornada, em especial ao Ricardo pelo conhecimento repassado e ao Jonas pelo empenho em auxiliar no projeto deste trabalho.

A Universidade Federal de Santa Catarina, por ofertar o curso de Tecnologias da Informação e Comunicação na região sul de Santa Catarina.

Aos meus amigos, colegas e todos aqueles que de uma forma ou de outra, estiveram ao meu lado, compreendendo, orientando e apoiando, durante todo o curso.

Em especial ao Orientador Prof. Dr. Alexandre Leopoldo Gonçalves pelo estímulo, dedicação e principalmente por ter acolhido a proposta, lapidando a ideia, transformando a proposta em um projeto.

A única maneira de fazer um excelente trabalho é amar o que faz!

Steve Jobs

RESUMO

A tecnologia está cada vez mais presente na vida das pessoas, auxiliando as tarefas do dia a dia, permitindo que sejam realizadas com maior facilidade, rapidez e eficiência. Os recentes avanços das tecnologias de redes e a consolidação dos conceitos de Computação Ubíqua e da Internet das Coisas vêm permitindo uma ampla gama de possibilidades de desenvolvimento de aplicações. Visando explorar tais possibilidades, este trabalho propõe um sistema localizador, que permite localizar objetos e pessoas utilizando um sensor sem fio, conectado a um dispositivo móvel, com base na força do sinal recebido. Para a demonstração de viabilidade foi desenvolvido um protótipo sendo o mesmo aplicado em alguns cenários de uso, possibilitando a coleta de dados necessários para uma avaliação inicial. Os cenários envolveram a utilização do protótipo em algumas situações e aferições da força do sinal em um conjunto diferenciado de distâncias. A partir da avaliação dos dados coletados pode-se concluir que o sistema proposto consegue cumprir o seu papel em ajudar na identificação e localização de objetos ou pessoas.

Palavras-chave: Redes; *Bluetooth Low Energy*; Computação Ubíqua; Internet das Coisas.

ABSTRACT

Technology is increasingly present in people's lives, assisting the tasks of everyday life, allowing them to be carried out more easily, quickly and efficiently. Recent advances in network technology and the consolidation of the concepts of ubiquitous computing and the Internet of Things has allowed a wide range of application development possibilities. Aiming to explore such possibilities, this work proposes a locator system, which enables users to locate objects and people using a wireless sensor connected to a mobile device based on the signal strength. Aiming to evaluate the viability, we developed a prototype applied in some scenarios of use in order to gather data needed for an initial assessment. The prototype was used in some situations executing measurements of the signal force in a different set of distances. From the evaluation of the collected data, we conclude that the proposed system can fulfill its role in assisting in the identification and location of objects or people.

Keywords: Network; Bluetooth Low Energy; Ubiquitous Computing; Internet of Things.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de uma rede de computadores.....	29
Figura 2 - Topologia física da Internet e sua estrutura genética	33
Figura 3 - Placa de rede em um computador	37
Figura 4 - Crescimento de assinantes ao serviço de telefonia móvel e a redução no número de circuitos integrados em aparelhos celulares.....	38
Figura 5 - Plano de canais para o Bluetooth Low Energy	40
Figura 6 - Código de barras e RFID.....	43
Figura 7 - Sistema de produção agrícola baseado em Internet das Coisas	44
Figura 8 - Arquitetura do sistema <i>Talking Transit</i>	45
Figura 9 - Módulo Bluetooth HM-10.....	52
Figura 10 - Tac switch	52
Figura 11 - Bateria coin cell CR2032	53
Figura 12 - Circuito eletrônico do sensor TAG	54
Figura 13 - Placa de circuito impresso – Imagem em 3D.....	54
Figura 14 - Gabinete CR-060.....	55
Figura 15 - Protótipo do sensor TAG desenvolvido	55
Figura 16 - Fluxograma do Serviço	56
Figura 17 - Fluxograma do aplicativo.....	56
Figura 18 - Tela inicial do aplicativo exibindo as TAGs já cadastradas	58
Figura 19 – Tela para a inserção de uma nova TAG	59
Figura 20 - Acionando uma nova TAG	59
Figura 21 - Localizar TAG	60
Figura 22 - Layout recomendado para as antenas.....	61
Figura 23 - Placa de circuito impresso.....	62
Figura 24 - Aplicativo Sensor Tag da Texas Instruments® para desenvolvedores de dispositivos Bluetooth.....	63
Figura 25 - Dispositivo móvel conectado ao sensor	65
Figura 26 - Você já perdeu algum objeto que não conseguiu mais encontrar? .	68
Figura 27 - Você costuma esquecer objetos pequenos, como chaves, carteiras, gadgets, etc., nos lugares que costuma frequentar?	68
Figura 28 - Quantos reais você estima que já gastou / perdeu com objetos perdidos, esquecidos ou furtados?	69
Figura 29 - Você conhece alguma(s) pessoa(s) que costuma(m) perder objetos frequentemente?.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões 802.11	41
Tabela 2 - Classificação dos serviços da IoT	43
Tabela 3 - Resultado dos testes para a situação 1, sensor localizado no bolso da calça de uma pessoa	64
Tabela 4 - Resultado dos testes para a situação 2, sensor localizado dentro de uma mochila.....	64
Tabela 5 - Resultado dos testes para a situação 3, sensor localizado no chão ...	65
Tabela 6 - Resultado dos testes para a situação 4, sensor localizado dentro de um recipiente metálico	65
Tabela 7 - Resultado dos testes para a situação 5, sensor localizado no bolso da calça de uma pessoa, sendo que entre o sensor e o dispositivo móvel existe uma parede de concreto	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP – *Access Point*
API – *Application Programming Interface.*
ARPANET – *Advanced Reserch Projects Agency Network*
BLE – *Bluetooth Low Energy*
CERN – *Centre Eoropén por la Recherche Nucléaire*
CPU – *Central Processing Unit*
CSMA - *Carrier Sense Multiple Access*
DARPA – *Defense Advanced Reserch Projects Agency*
ID – *Identificador*
IDE – *Integrated Development Environment*
IOT – *Internet of Things*
IP – *Internet Protocol*
ISO – *International Organization for Standardization*
MIT - *Massachusetts Institute of Technology*
NCP – *Network Control Protocol*
NFC – *Near Field Communication*
NWG – *Network Working Group*
RAM - *Random Access Memory*
RFID – *Radio Frequency Identification*
RSSI – *Received Signal Strength Indicator*
SMS – *Short Message Service*
TCP – *Transmission Control Protocol*
UDP – *User Datagram Protocol*
UFSC – *Universidade Federal de Santa Catarina.*
WLAN – *Wireless Local Area Network*
WMAN – *Wireless Metropolitan Area Network*
WPAN – *Wireless Personal Area Network*
WWAN – *Wireless Wide Area Network*
WWW – *World Wide Web*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 PROBLEMÁTICA.....	25
1.2 OBJETIVOS.....	26
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	26
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	26
1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	26
1.3 METODOLOGIA	27
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	28
2 REDES DE COMPUTADORES	29
2.1 INTRODUÇÃO	29
2.1.1 <i>Histórico</i>	30
2.1.2 <i>Desenvolvimentos recentes</i>	34
2.1.3 <i>Vantagens e desvantagens do uso de redes</i>	35
2.1.4 <i>Meio de Comunicação</i>	36
2.2 REDES SEM FIO	38
2.2.1 <i>Bluetooth</i>	39
2.2.2 <i>Wi-fi</i>	41
2.4 INTERNET DAS COISAS.....	42
2.5 APLICAÇÕES	43
3 SISTEMA PROPOSTO	47
3.1 INTRODUÇÃO	47
3.2 REQUISITOS.....	48
3.2.1 <i>Requisitos funcionais</i>	48
3.2.1 <i>Requisitos não funcionais</i>	49
3.3 SENSOR SEM FIO	49
3.3.1 <i>Tecnologia de comunicação sem fio</i>	49
3.3.2 <i>Módulo Bluetooth</i>	51
3.4 DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE.....	52
3.5 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE	55
3.5.1 <i>Implementação do serviço</i>	57
3.5.2 <i>Implementação do Aplicativo</i>	58
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	61
4.1 CENÁRIO DE APLICAÇÃO	61

4.2 COLETA DE DADOS	63
4.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	66
4.4 POSSIBILIDADE DE ANÁLISES FUTURAS	67
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERENCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

Gradativamente a tecnologia se faz presente no dia a dia das pessoas. Seja no auxílio das tarefas diárias ou no lazer, as pessoas estão cada vez mais acostumadas com a tecnologia presente em suas vidas.

Das diversas tecnologias de uso diário, muitas delas estão relacionadas às redes de comunicação sem fio, devido a liberdade que promove ao usuário, uma vez que este pode deslocar-se sem muita restrição. No Brasil, o percentual de pessoas de 10 anos ou mais, que possuíam celular para uso pessoal, passou de 36,6% (55,7 milhões), em 2005, para 69,1% (115,4 milhões) em 2011 (IBGE, 2011). Dados da Anatel indicam que o Brasil terminou Outubro de 2015 com 273,8 milhões de celulares e densidade de 133,64 celulares por 100 habitantes (TELECO, 2015).

Quando os computadores surgiram no mercado, eles eram interligados por cabos e os usuários permaneciam confinados em áreas de trabalho limitadas. O compartilhamento de informação não era algo corriqueiro. De modo geral, a informatização da sociedade começou na década de 1970 (LEMONS, 2004). Contudo, a história da comunicação sem fio se estende por mais de um século, quando em 1889 Marconi concretizou a primeira transmissão transatlântica até recentemente, em que a disseminação mundial de serviços móveis afeta a vida de bilhões de pessoas (ANDREWS et al., 2012).

Depois da popularização do conceito de rede sem fio, diversos tipos de protocolos e tecnologias foram criados, sendo classificadas de acordo com a capacidade de alcance, seguindo o modelo de classificação já existente para as redes de comunicação cabeadas (FOURTY et al., 2005):

- WPAN, Wireless Personal Area Network;
- WLAN, Wireless Local Area Network;
- WMAN, Wireless Metropolitan Area Network;
- WWAN, Wireless Wide Area Network.

Como exemplo, cita-se a tecnologia *Wi-Fi*, classificada como WLAN e a tecnologia *Bluetooth*, classificada como WPAN. A tecnologia *Wi-Fi* pode abranger uma área de centenas de metros, permitindo que se estabeleça uma rede de comunicação, geralmente com objetivo de promover o acesso à internet. Já a tecnologia *Bluetooth*, foi desenvolvida pela *Ericson Mobile Communications®*, com objetivo inicial de possibilitar uma comunicação sem fio entre um telefone celular e um fone de ouvido. Mais recentemente, passou a ser utilizada

na interligação entre dois dispositivos, substituindo ligações ponto a ponto cabeadas (FOURTY et al., 2005).

Com a padronização da tecnologia *Bluetooth*, os dispositivos móveis como os celulares, passaram a prover novas funcionalidades, como por exemplo, a transferência de arquivos de mídia. Novos dispositivos passaram a integrar o *Bluetooth*, tornando-a atualmente uma tecnologia com potencial para interligar dispositivos móveis e portáteis, como mouses, teclados sem fio e dispositivos sonoros (SANTOS, 2007).

A partir deste contexto surge o conceito de Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* ou IoT, que propõe uma presença generalizada de objetos, sensores, identificação por rádio frequência (RFID), telefones celulares, entre outros, tudo conectado à internet (CHO; KYUNG; BAEK, 2013).

A Internet das Coisas nasceu na década de 90, quando alguns dispositivos começaram a ser conectados a Internet. Em 1999 o MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) trabalhava no desenvolvimento da tecnologia RFDI, quando o diretor executivo Kevin Ashton cunhou o conceito de Internet das Coisas (SURESH; DANIEL; ASWATHY, 2014).

Pode se afirmar que a Internet das Coisas é a tecnologia do futuro. Ainda, segundo Dave Evans, “é a primeira evolução real da Internet, um salto que levará a aplicações revolucionárias com potencial para melhorar consideravelmente a forma como as pessoas vivem, aprendem, trabalham e se divertem”.

Contudo, dentre as tecnologias disponíveis para a implementação do conceito de Internet das Coisas, qual seria a ideal? Segundo Suresh, Daniel e Aswathy (2014), “a escolha da tecnologia é o ponto mais importante do projeto”, sendo que cada uma delas tem suas vantagens.

A tecnologia *Bluetooth* está consolidada no mercado, e é utilizada na conexão de dispositivos como fones de ouvido, relógios inteligentes e sensores de batimento cardíaco. Promove em cada projeto uma maneira única de uso e está em constante crescimento (DURSCH; YEN; SHIH, 2004).

A última atualização da tecnologia *Bluetooth*, chamada de BLE (*Bluetooth Low Energy*) ou ainda *Bluetooth Smart* foi desenvolvida com o intuito de expandir seu uso em dispositivos com restrição de energia, sensores e controles sem fio (CHANG; CONSULTING, 2014). Segundo Suresh, Daniel e Aswathy (2014) “seria legítimo dizer que a Internet das Coisas é uma realidade hoje por causa da tecnologia *Bluetooth*”, baseando-se na quantidade de dispositivos eletrônicos vestíveis disponíveis.

1.1 PROBLEMÁTICA

Mesmo com os avanços tecnológicos e a crescente presença na vida das pessoas, muito ainda pode ser feito para facilitar o dia a dia do ser humano. Entre as potenciais áreas de aplicabilidade este trabalho possui foco na promoção de ferramental que auxilie as pessoas a localizarem objetos que possam ter sido esquecidos ou perdidos, ou ainda, que alerte o usuário quando ele se afastar do item rastreado.

Muito são os fatores que conduzem as pessoas a esquecerem de coisas. Por exemplo, a exposição a uma grande quantidade de informações simultaneamente, de forma em que o cérebro não consegue armazenar tudo que é visto, sentido e escutado, na memória. Ou ainda, porque o cérebro está ocupado processando atividades importantes, provocando o esquecimento de um fato corriqueiro (MONTEIRO; CARELLI; PICKLER, 2008).

Desta forma pode se justificar que objetos são perdidos ou esquecidos uma vez que as pessoas, geralmente, estão concentradas em atividades mais importantes, ou o objeto esquecido está ligado a uma atividade corriqueira de pouca importância. Pode-se citar o ato de guardar as chaves, ou de sair de um local público e não conferir se a carteira ainda está no bolso.

A proposta deste trabalho também faz um apelo à segurança, visto que o ferramental poderá ser aplicado de forma a informar o usuário quando o mesmo se afasta do objeto ou pessoa rastreada. Segundo matéria publicada no canal Globo News (2014), ocorrem em média, 38 casos de esquecimento de crianças dentro de veículos, por ano.

Deste modo, apresenta-se a pergunta de pesquisa deste trabalho “Como projetar um sistema que permita a localização de objetos e pessoas, considerando o conceito de Internet das Coisas e as tecnologias de redes sem fio atualmente disponíveis?”.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema baseado em dispositivos móveis e sensores sem fio que auxilie na localização de objetos ou pessoas.

1.2.2 Objetivos Específicos

De modo a atingir o objetivo geral os seguintes objetivos específicos são requeridos:

- Estudar as redes de computadores, bem como as redes de comunicação sem fio, apresentando sua evolução até o presente momento;
- Apresentar a tecnologia que melhor se aplica ao contexto do trabalho de forma a justificar a escolha pela mesma;
- Com base na tecnologia eleita desenvolver um protótipo de um sistema localizador visando demonstrar a viabilidade;
- Apresentar e analisar os resultados obtidos.

1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

O crescimento da Internet, a consolidação do conceito da computação ubíqua e no presente momento, o avanço do conceito de Internet das Coisas são fatores que tem como objetivo principal facilitar a vida das pessoas. Seja no compartilhamento do conhecimento, bem como, no auxílio das tarefas diárias.

Esta profunda mudança no ambiente urbano, nas práticas sociais e de cibercultura, vem ocorrendo desde o início da Internet e, segundo Lemos (2004), ela está ligada ao crescimento das tecnologias de comunicação sem fio. As redes de comunicação cabeadas, necessitam de maior estrutura e apresentam menos mobilidade, quando comparadas a tecnologia sem fio.

De acordo com Lissitsa e Chachashvili-Bolotin (2016), a Internet vem contribuindo para a saúde mental das pessoas e aumentando a satisfação delas com a vida. Além disso, a adoção da Internet e a vivência no mundo digital podem constituir um importante canal para aumentar a satisfação com a vida entre os idosos e os grupos sociais

mais fracos, as classes de baixa renda e aqueles que sofrem de problemas de saúde que impedem a vivência em comunidade no dia-a-dia.

Segundo Bicen e Arnavut (2015) é possível afirmar que as pessoas estão habituadas com as tecnologias em seu cotidiano e quando questionadas, destacam os computadores, a Internet e o telefone celular. Outros dispositivos que facilitam a vida, como a geladeira, máquinas de lavar e processadores de alimentos, são pouco lembrados pelas pessoas, principalmente pelo hábito de uso comum que estes equipamentos conquistaram.

Tornar a tecnologia algo corriqueiro na vida das pessoas é a proposta da computação ubíqua, juntamente com o conceito de Internet das Coisas, abrindo espaço para o desenvolvimento de uma série de aplicações baseadas em sensores inteligentes que serão geradores de informação para as mais variadas aplicações. Aplicações estas que podem impactar em uma ampla gama de tarefas e atividades, tais como, o aumento da segurança das pessoas e o auxílio na localização de objetos que tenham sido perdidos.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia declara os passos necessários para se alcançar os objetivos de uma pesquisa que segundo Gil (1999) “visa descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos”.

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada uma vez que, como afirmam Silva e Menezes (2005), “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos”. De acordo com a modalidade, caracteriza-se como uma pesquisa tecnológica uma vez que propõe a criação de artefato tecnológico.

Deste modo, para atingir os objetivos propostos neste trabalho, os seguintes passos foram executados:

- Realização de uma pesquisa bibliográfica e estudo de tecnologias a respeito dos tópicos envolvidos no trabalho;
- Proposição de um sistema localizador composto de um módulo sensor e um aplicativo móvel para monitoramento do sensor;
- Desenvolvimento de um protótipo para o sistema localizador proposto com o objetivo de coletar dados que possibilitem a demonstração de viabilidade;

- Análise dos resultados obtidos a partir da etapa anterior;
- Apresentação das considerações finais e possíveis trabalhos futuros.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Este trabalho, além desta introdução, está dividido em outros 4 capítulos.

O capítulo 2 apresenta uma revisão sobre as redes de computadores, as tecnologias de redes sem fio e a Internet das Coisas.

O Capítulo 3 apresenta o sistema localizador proposto. O capítulo 4, por sua vez, apresenta a avaliação realizada no sistema proposto e os resultados obtidos. Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as considerações finais e os trabalhos futuros.

2 REDES DE COMPUTADORES

Neste capítulo é apresentado um histórico das redes de computadores e alguns conceitos que demonstram a evolução das tecnologias de redes até o presente momento.

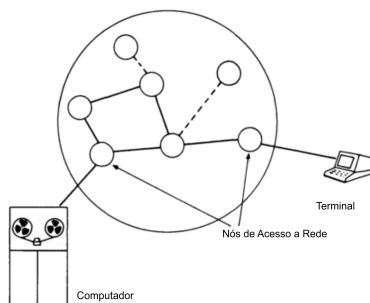
2.1 INTRODUÇÃO

As redes de computadores estabelecem um padrão para interconectar dispositivos, a fim de trocar informações, compartilhar recursos e executar ações. Estes dispositivos podem ser computadores, *smartphones*, *tablets*, sensores, impressoras, câmeras, etc. (MENDES, 2007).

Segundo Pyke e Blanc (1973) “uma rede de computadores é considerada como qualquer interligação de um conjunto de sistemas de computador e/ou terminais”.

Afirmam ainda que todas as redes de computadores podem ser vistas como um composto de nós, interligados por meio de canais, formando uma espécie de circuito, como pode ser visto na Figura 1. Dependendo da rede, alguns dos nós são usados apenas para apoiar a conectividade, como concentradores ou repetidores, passando a informação adiante. Ou ainda, os nós são utilizados para a ligação de terminais e sistemas computacionais, podendo também servir a função supracitada, sendo um concentrador ou repetidor.

Figura 1 - Modelo de uma rede de computadores



Fonte: Adaptado de Pyke e Blanc, 1973

2.1.1 Histórico

Os primeiros passos das redes de computadores foram dados no início da década de 1960, em que a rede telefônica era a rede de comunicação dominante, abrangendo o mundo todo. As redes de telefonia utilizavam a tecnologia conhecida como comutação por circuitos para transmitir os dados entre a origem e o destino.

A importância cada vez maior dos computadores e seu alto custo despertou o interesse da interconexão destas máquinas, para que os recursos computacionais pudessem ser compartilhados entre usuários em localizações geográficas diferentes (KUROSE; ROSS, 2010).

Após as primeiras experiências interligando dispositivos, no início das redes de comunicação, existia uma grande dificuldade para interconectar computadores, pois cada fabricante de dispositivo de rede possuía sua linha de trabalho, não existindo um padrão mundial. Segundo Mendes (2007), a placa de rede do fabricante X só poderia estar conectada a uma placa do mesmo fabricante, por um meio físico (fio) também desenvolvido por ele.

Segundo Almeida (2005), outra dificuldade é que a rede deveria oferecer confiança aos utilizadores, isto é, as mensagens deveriam chegar intactas aos receptores, quaisquer que fossem as dificuldades encontradas no seu percurso entre o emissor e o receptor.

Para solucionar os problemas de interconexão dos computadores, as topologias de rede e os protocolos de comunicação começaram a ser desenvolvidos. Segundo Kurose e Ross (2010), três grupos de pesquisa ao redor do mundo, sem que um tivesse conhecimento do trabalho do outro, estavam estudando a comutação por pacotes como alternativa a comutação por circuitos.

O norte americano Paul Baran e o inglês Donald Davies idealizaram um sistema de divisão de pacotes, sugerindo que uma determinada mensagem fosse dividida em pequenos blocos, facilitando o envio e o controle de erros (ALMEIDA, 2005).

Para que a ideia de Paul e Donald pudesse ser aplicada, cada emissor e receptor na rede deveria possuir um endereço. Também foi necessário construir computadores intermediários, responsáveis pelo serviço de roteamento dos pacotes, ou seja, computadores que tinham como tarefa entregar os pacotes no destino correto (ALMEIDA, 2005).

Após os primeiros protocolos de comunicação serem construídos, a primeira rede de computadores passou a funcionar, interligando 4 (quatro) universidades dos Estados Unidos, sendo esta comunidade denominada de ARPANET (ALMEIDA, 2005).

A ARPANET foi consolidada no final da década de 1960 pela Agência de Projetos de Pesquisas Avançadas do Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América – DARPA (*Defense's Advanced Reserch Projects Agency*). O objetivo original era compartilhar recursos computacionais entre as 4 (quatro) universidades. Inicialmente, os estudantes trocavam informações, arquivos e programas, *e-mail*, além de realizarem pesquisas em conjunto (MENDES, 2007).

Na ARPANET um grupo de estudantes das 4 (quatro) universidades trabalhava em conjunto no NWG – *Network Working Group*, desenvolvendo o NCP – *Network Control Protocol*, responsável por controlar a troca de mensagens nos *hosts* (cada membro da rede), independentemente do *hardware* instalado em determinado servidor (ALMEIDA, 2005).

Em 1972, a ARPANET tinha aproximadamente 15 nós e foi apresentada por Robert Kahn na Conferência Internacional sobre Comunicação por Computadores (*Internacional Conference on Computers Communications*) daquele ano. Com a conclusão do NCP o desenvolvimento de aplicações de rede tornou-se possível, sendo lançado no mesmo ano o primeiro aplicativo de *e-mail*, desenvolvido por Ray Tomlinson (KUROSE; ROSS, 2010).

A ARPANET era uma rede fechada e para um computador se comunicar com um servidor da ARPANET o mesmo deveria estar conectado a um nó da rede. No ano de 1970, novas redes independentes surgiram, entre as principais:

- Alohanet: Rede remota com o objetivo de interligar as universidades das ilhas do Havai;
- Telnet: Uma rede comercial de comutação por pacotes, fundamentada a partir da ARPANET;
- Cyclades: Rede de comunicação pioneira na França.

O surgimento de novas redes de comunicação, segundo Kurose e Ross (2010), indicou a necessidade de desenvolvimento de uma arquitetura abrangente para interconectar redes.

Segundo Mendes (2007), a fim de resolver a situação de incompatibilidade entre fabricantes de dispositivos de rede na década de 1970, a ISO (*International Organization for Standardization*) criou um padrão universal para troca de informações entre e dentro das redes e também através de fronteiras geográficas.

Segundo Almeida (2005), a importância da ARPANET era tanta que em 1972 foi rebatizada de DARPANET em que o D significava *Defense* e lembrava que a rede dependia do Pentágono o qual financiava

os investimentos. A DARPANET financiou o trabalho pioneiro de interconexão de redes. Este trabalho foi denominado *internetting* (KUROSE; ROSS, 2010).

Entre 1973 e 1978 uma equipe coordenada por Vinton Cerf (considerado pai da Internet) e Robert Kahn, trabalhava no projeto denominado *internetting*, buscando a interoperacionalidade e interconexão de redes diversas de computadores (ALMEIDA, 2005).

Neste período foram desenvolvidos os princípios dos 3 (três) protocolos fundamentais da Internet de hoje – TCP, UDP, IP – que foram conceitualmente disponibilizados no final da década de 1970 (KUROSE; ROSS, 2010).

Outro fato histórico neste período, refere-se à criação do primeiro protocolo de acesso múltiplo para comunicação por meio de frequências de rádio. No Havaí, Norman Abramson desenvolveu o ALOHANET, com o objetivo de interligar remotamente universidades geograficamente localizadas em ilhas do Havaí (ABRAMSON, 1970).

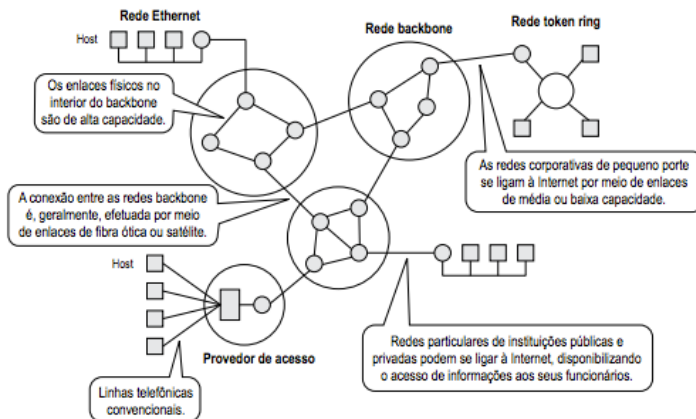
Em 1983 o TCP/IP substituiu completamente o protocolo NCP (ALMEIDA, 2005), mais precisamente no dia 1º de janeiro de 1983. Portanto, a partir daí, todos os computadores passaram gradativamente a adotar este protocolo (KUROSE; ROSS, 2010).

Paralelamente ao crescimento da ARPANET, no início da década de 1980, a França lançava um projeto conhecido como Minitel, que consistia numa rede pública de comutação por pacotes. Utilizando servidores e modems baratos de baixa velocidade o Minitel se tornou um sucesso em 1984 quando o governo francês forneceu gratuitamente um terminal para toda a residência francesa que demonstrasse interesse. O Minitel fornecia acesso a sites de utilidade pública, como o da lista telefônica, e também a sites particulares, ofertando em seu auge, mais de 20 mil serviços. Estava presente nos lares de vinte por cento da população francesa, gerando receita de mais de um bilhão de dólares por ano, além de ter criado mais de 10.000 empregos. Tudo isso dez anos antes da maioria da população norte-americana conhecer a internet (KUROSE; ROSS, 2010).

Em 1988 o experimento ARPANET foi considerado como terminado e após um período de transição até 1990, cedeu lugar a Internet, aplicando a ideia conceituada na DARPANET de uma rede internacional e de uma conexão de redes regionais e nacionais nos Estados Unidos (ALMEIDA, 2005). Em outras palavras, as redes maiores passaram a servir de *backbone*, conectando redes regionais nos Estados Unidos com redes nacionais no exterior (KUROSE; ROSS, 2010).

A representação da topologia da *Internet* pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2 - Topologia física da Internet e sua estrutura genética



Fonte: Adaptado de Mendes, 2007

Segundo Mendes (2007) a diferença gráfica entre *Internet* e *internet* deve ser considerada:

“A Internet, com o “I” maiúsculo, refere-se à rede que começou sua vida, como a ARPANET, e continua como, grosseiramente falando, a confederação de todas as redes TCP/IP interligadas direta ou indiretamente. [...] A *internet* com inicial minúscula, por sua vez, é simplesmente qualquer rede feita por múltiplas redes menores, usando o mesmo protocolo de comunicação”.

Para a expansão da *Internet* foi decisiva a criação da *www* – *World Wide Web*, criada por dois engenheiros do CERN – *Centre Européen pour la Recherche Nucléaire* – Robert Cailliau e Tim Berners-Lee, do HTML – *HyperText Markup Language* - e dos Navegadores *Browsers* (ALMEIDA, 2005). Para Kurose e Ross (2010), o surgimento da *World Wide Web* foi o principal evento da década de 1990.

Permitindo apenas transferências de textos, o primeiro *browser* utilizado foi o LYNX. Na Universidade de Illinois – EUA foi concebido o MOSAIC, um *browser* que permitia a transferência de textos e imagens. Os populares Netscape®, muito utilizado no início das

plataformas *mobile*, e Internet Explorer®, utilizado até hoje, foram inicialmente derivações do MOSAIC (ALMEIDA, 2005).

A *Internet* se transformou então, numa rede mundial pública que, segundo Almeida (2005), pode ser considerada uma “rede de redes”, onde qualquer pessoa ou computador, previamente autorizado, pode conectar-se para a troca de informações.

A segunda metade da década de 1990 foi um período de grande crescimento e inovação para a *Internet*. Milhares de empresas com produtos e serviços para começaram a surgir, sendo que Kurose e Ross (2010) destacam 4 (quatro) serviços principais:

- E-mail;
- Navegação *Web* e comércio pela *Internet*;
- Serviços de mensagem instantânea (*chat*);
- Compartilhamento *pear to pear* de arquivos.

De 1995 a 2001 a *Internet* passou a influenciar o mercado financeiro, de modo que empresas com grandes negócios podiam valer bilhões de dólares na bolsa de valores, mesmo sem possuir um fluxo significativo de receita. A partir daí empresas como Google®, Yahoo®, Microsoft®, eBay®, Cisco® e Amazon® surgiram no mercado (KUROSE; ROSS, 2010).

2.1.2 Desenvolvimentos recentes

As redes de computadores continuam avançando rapidamente. As atuais aplicações multimídia envolvendo, texto, áudio, vídeo, em tempo real, são fruto da utilização cada vez maior do acesso residencial de banda larga à *Internet*.

A crescente presença das redes *Wi-Fi* públicas fornecendo acesso de alta velocidade a as redes móveis de telefonia celular, fornecendo acesso de média velocidade, permitem o acesso constante à *Internet*, habilitando um conjunto de serviços que podem ser ofertados aos usuários (KUROSE; ROSS, 2010).

As tecnologias de rede sem fio como o *Blueooth* e as *tags* RFID estão sendo aprimoradas para permitirem o desenvolvimento de uma imensa quantidade de sensores inteligentes. As últimas versões das tecnologias permitem um baixíssimo consumo de energia, utilizando *chips* de controle cada vez menores, permitindo assim, a incorporação desta tecnologia em relógios, óculos, pulseiras, etc.

Sensores inteligentes têm como objetivo, coletar informações do cotidiano do usuário, relacionadas à sua saúde, atividades que costuma

realizar, locais que costuma frequentar, preferências, características, entre outros, e enviar estas informações à *Internet* para que as aplicações possam auxiliar de alguma forma o dia a dia destes usuários (CHANG; CONSULTING, 2014; CHAN et al., 2009).

2.1.3 Vantagens e desvantagens do uso de redes

Mendes (2007) justifica o uso das redes, exemplificando o dia a dia em uma escola que desconhece a tecnologia das redes de computadores. Os alunos desta escola só têm acesso aos recursos como livros, boletim escolar, se o pagamento de mensalidade está em dia. Como esta informação está apenas no computador da Administração Financeira, todos os dias a secretária tem que copiar estes dados para um dispositivo de armazenamento portátil e replicar esta informação nos computadores da Secretaria, Biblioteca, etc.

Este problema seria facilmente resolvido com uma simples ferramenta de compartilhamento de arquivos via rede, de forma que, por exemplo, uma planilha contendo as informações de pagamento, poderia ser acessada de todos os computadores da escola, simultaneamente.

Das principais ferramentas de rede, Mendes (2007) cita:

- Compartilhamento de arquivos;
- Compartilhamento de programas;
- Compartilhamento de periféricos;
- Compartilhamento de impressoras;
- Compartilhamento de acesso a *Internet*.

Utilizando redes, os custos com licenças de *software* podem ser reduzidos, considerando que os computadores podem acessar programas que ficam instalados no disco rígido de outro computador conectado a mesma rede. Em geral, o custo de licenças para uso em rede é menor quando comparado à compra de uma licença por computador.

O uso de periféricos como discos ópticos (leitores de disco), *scanners*, impressoras, pode ser compartilhado, gerando economia na compra de equipamentos, e agilidade na reposição de materiais como folhas e insumos.

Em um ambiente interconectado por uma rede, o acesso à *Internet* geralmente ocorre por meio de um único equipamento de rede, conhecido como modem. Neste equipamento podem ser configuradas regras de acesso, sistemas de segurança, ferramentas de controle, que de modo geral, se aplicam a todos os computadores e dispositivos conectados à rede (MENDES, 2007).

Contudo, as redes de comunicação também oferecem alguns riscos a quem as utiliza. Como exemplo, Mendes (2007) cita ataques por vírus e *hackers* que visam coletar informações de acesso a bancos, senhas de *e-mails*, números de cartões de crédito, etc.

Para Di Pietro et al. (2014), as tecnologias de rede só podem atingir plenamente o seu potencial na indústria e na sociedade, considerando dois importantes pilares que não podem ser negligenciados: a segurança e a privacidade. Ambas as propriedades são especialmente relevantes em redes sem fio e principalmente em redes sem fio do tipo AD-HOC, onde os dispositivos estão obrigados a cooperar, por exemplo, a partir de encaminhamentos para a camada de aplicação buscando atingir seus objetivos.

Além dos problemas provocados por usuários mal intencionados, existem também os problemas de *hardware*, relacionados aos equipamentos de rede. Elementos controladores de rede, como servidores, modems, *switches*, entre outros, quando param de funcionar, comprometem o trabalho realizado pelos seus usuários, não sendo possível acessar os recursos como *Internet*, impressoras, periféricos, serviços de compartilhamento de arquivos, etc. (MENDES, 2007).

Por exemplo, se um usuário estiver alterando uma planilha (arquivo) que está salva em outro computador, ou seja, acessando o arquivo por meio do serviço de compartilhamento de arquivos via rede, e inesperadamente um dos equipamentos de rede parar de funcionar, não será possível salvar as informações alteradas.

2.1.4 Meio de Comunicação

Em redes, o meio de comunicação está relacionado com o meio físico utilizado para interligar os dispositivos conectados a rede. Estes meios podem ser cabos de cobre, cabos de fibra óptica, ondas eletromagnéticas, entre outros (MENDES, 2007).

Para que seja possível a comunicação entre os dispositivos ligados à rede, é necessário um equipamento interno, em cada dispositivo, conhecido como placa de rede (Figura 3).

Figura 3 - Placa de rede em um computador



Fonte: Extraído de Mendes, 2007

A placa de rede pode se conectar diretamente a outra placa de rede, instalada em outro dispositivo. Em geral, as placas de rede são conectadas a equipamentos ativos responsáveis por interligar as estações de trabalho. Estes equipamentos são os concentradores, chamados de HUB e os comutadores, chamados de *Switch*. Os dois equipamentos interligam os dispositivos conectados a eles e regeneram o sinal, diminuindo os efeitos da perda de sinal por propagação no meio.

Segundo Mendes (2007), a diferença básica entre Hubs e *Switchs* é que cada conexão oferecida pelo *switch* é um novo canal de comunicação, controlado e protocolado, oferecendo para cada equipamento conectado a ele uma banda passante privada, excluindo os problemas de colisão. Já os HUBs, apenas repetem o sinal que recebem, para todos os equipamentos conectados a ele.

Os dispositivos finais como computadores, impressoras, celulares, etc., podem estar indiretamente conectados aos concentradores ou comutadores por meio de um ponto de acesso sem fio, também conhecido por AP, do inglês *Access Point*, que por sua vez estará conectado a um HUB ou *Switch*.

As redes de comunicação sem fio fazem uso de sinais de rádio para o intercâmbio de dados entre dois ou mais dispositivos físicos. A ausência de fios permite superar a maioria das limitações das redes cabeadas tradicionais, permitindo a implantação nos mais diversos cenários.

As redes conhecidas como AD-HOC, permitem a interconexão *wireless* dos nós sem qualquer infraestrutura de rede, como *modems*, HUBs ou *Switchs* (DI PIETRO et al., 2014).

Geralmente, uma das portas de comunicação do HUB ou *Switch* está conectada a *Internet*, exceto nos casos das redes internas, utilizadas

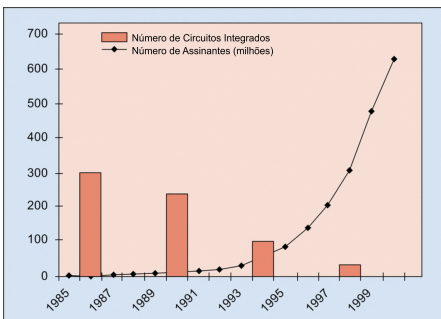
em empresas, universidades, comunidades, com o objetivo de compartilhamento de recursos, sem acesso a Internet.

2.2 REDES SEM FIO

Em 2001, Qi Bi, Zysman e Menkes (2001) afirmaram que as redes sem fio mudaram a forma das pessoas se comunicarem e que, apesar do progresso ter sido impressionante, muito ainda estaria por vir. De fato, no início do século XXI, testemunhava-se um grande avanço nas tecnologias de comunicação sem fio. Além das tecnologias de localização móvel sem fio, também era esperada a chegada de um meio de acesso sem fio a *Internet* revolucionando os serviços que poderiam ser prestados aos usuários.

Após a consolidação da tecnologia de rádio comunicação bidirecional, na metade do século XX, surge a ideia dos sistemas móveis sem fio, sendo aplicada nos telefones celulares. Neste período os telefones celulares eram armazenados em maletas de transporte ou ficavam permanentemente instalados em veículos. Isto levou a algumas indústrias da época a considerar que, a telefonia móvel teria um crescimento limitado (QI BI; ZYSMAN; MENKES, 2001). Um grande erro, como pode ser visto na Figura 4, que demonstra um aumento no número de assinantes ao serviço de telefonia móvel, confirmando o crescimento da tecnologia. Outro fator que contribuiu para a consolidação da tecnologia, também demonstrado na Figura 4, foi a redução do número de circuitos integrados nos aparelhos, permitindo a fabricação de modelos menores e mais compactos.

Figura 4 - Crescimento de assinantes ao serviço de telefonia móvel e a redução no número de circuitos integrados em aparelhos celulares



Fonte: Adaptado de Qi Bi, Zysman e Menkes, 2001

Em um contexto geral, as redes sem fio são uma forma de interconectar equipamentos de rede, sem o uso de cabos físicos, utilizando apenas a propagação de sinais por meio de ondas eletromagnéticas. Devem ser diferenciadas de acordo com sua área de abrangência e também pela sua natureza sem fio ou móvel, pois redes sem fio não são necessariamente redes móveis. A interconexão de dois pontos em uma rede sem fio é chamada de enlace sem fio (KUROSE; ROSS, 2010).

Atualmente, as redes sem fio estão por toda parte. Presente na maioria dos dispositivos eletrônicos, como *notebooks*, aparelhos televisores e principalmente aparelhos celulares, que são os itens de consumo mais comuns. Existe também uma tendência das conexões *ethernet*, via cabo, serem gradativamente substituídas por redes sem fio (MI; MOHER, 2008).

Das tecnologias de comunicação sem fio, algumas delas vêm se destacando na implementação do conceito de Internet das Coisas (do inglês *Internet of Things* - IoT). Os fatores determinantes para a escolha são principalmente o consumo de energia e as possibilidades que a tecnologia oferece. O *Bluetooth* e o RFID são tecnologias de grande potencial, que podem permitir que a IoT alcance seu potencial completo. As tecnologias como o Wi-Fi, por exemplo, atendem parcialmente o conceito da IoT, já que possuem alto consumo de energia, necessitando de fontes externas para alimentar o equipamento (EVANS, 2011).

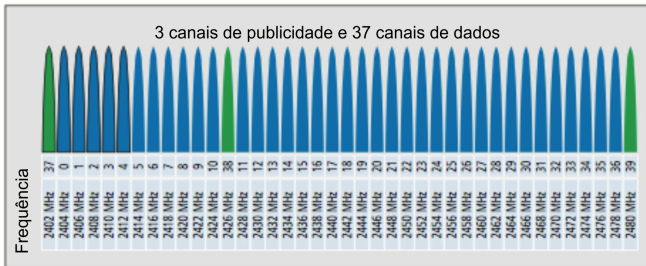
2.2.1 Bluetooth

Seguindo a tendência do desenvolvimento de tecnologias que visam facilitar o dia a dia das pessoas, o *Bluetooth* foi criado com o intuito de interconectar dispositivos sem o uso de cabos. Com arquitetura simples e robusta, baixo custo e baixo consumo, esta tecnologia rapidamente foi aplicada em diversas áreas, interconectando dispositivos como aparelhos celulares, *notebooks*, fones de ouvido, entre outros (PRABHU; REDDI, 2004).

A tecnologia *Bluetooth*, hoje conhecida como *Bluetooth Classic*, foi uma grande evolução na interconexão de periféricos e dispositivos. Contudo, ela não oferece suporte para que a Internet das Coisas atinja seu potencial completo. Para tal, em 2010 foi introduzida a tecnologia *Bluetooth Smart*, também conhecida como *Bluetooth Low Energy* (BLE), em sua tradução literal, *Bluetooth Inteligente* ou ainda *Bluetooth de Baixo Consumo*, com o objetivo de expandir o uso do *Bluetooth* em aplicações de baixo custo e baixo consumo.

O BLE, apesar de ser derivado do *Bluetooth* convencional, introduz um novo método de rádio comunicação. Os canais de comunicação da tecnologia *Bluetooth* são divididos por frequência, contudo, no BLE a largura dos canais é muito maior, diminuindo a interferência e permitindo que a intensidade da comunicação possa ser diminuída. Para organizar a utilização da faixa de frequência disponível, canais de comunicação, específicos para cada tipo de serviço foram determinados (Figura 5). O protocolo de comunicação é do tipo confiável (TCP), desenhado em camadas, projetado especificamente para reduzir o consumo de energia (CHANG; CONSULTING, 2014).

Figura 5 - Plano de canais para o Bluetooth Low Energy



Fonte: Adaptado de Chang e Consulting, 2014

Em resumo, os dispositivos BLE, se comparados aos dispositivos *Bluetooth* comuns, se comunicam em uma menor quantidade de vezes entre si. Quando a comunicação acontece, os dados são entregues de forma confiável e esta entrega confiável é facilitada pelo baixo nível de interferência no meio de comunicação. Estes fatores permitem o baixo consumo de energia dos módulos *Bluetooth*, oferecendo potencial à tecnologia, para o desenvolvimento de dispositivos IoT.

Outro ponto que coloca a tecnologia *Bluetooth* a frente das outras no mercado IoT é o protocolo *Bluetooth Smart*. A forma em que ele está estruturado permite que dispositivos sensores forneçam os dados lidos, também chamados de propriedades, encapsulados em perfis de atributos genéricos.

Isto permite, por exemplo, que qualquer aplicativo de celular faça a leitura de um termômetro ou uma pulseira leitora de batimentos cardíacos, pois os dados fornecidos pelo acessório *Bluetooth Smart* estão encapsulados em um protocolo genérico que pode ser estudado e utilizado em aplicações por qualquer desenvolvedor (BLUETOOTH SIG, 2015a).

2.2.2 Wi-fi

Também conhecida como LAN sem fio IEE 802.11, é o meio sem fio globalmente aceito para troca de dados, sinais, comandos (SURESH; DANIEL; ASWATHY, 2014). O Wi-Fi foi a tecnologia que se destacou dentre as diversas tecnologias que surgiram na década de 1990 como forma de interconectar dispositivos a *Internet*. Está presente em locais de trabalho, bares, restaurantes, cafés, aeroportos, praças, entre outros (KUROSE; ROSS, 2010).

É importante ressaltar que o Wi-Fi mesmo sendo uma tecnologia de comunicação sem fio, não pode ser totalmente considerada uma tecnologia móvel, já que este meio de comunicação pode ser utilizado para, por exemplo, interconectar computadores de mesa a um ponto de acesso a *internet*, sem utilização de cabos. É comum associar o termo *wireless* (sem fio) ao termo mobilidade, contudo isto nem sempre é verdadeiro (SACCOL; REINHARD, 2007).

Das características da tecnologia Wi-Fi, destacam-se a capacidade de reduzir a taxa de transmissão para alcançar distâncias maiores, modos de conexão ponto a ponto, ou por meio de pontos de acesso, utilizando o protocolo de acesso ao meio CSMA (KUROSE; ROSS, 2010). Das diferenças entre os padrões 802.11 (b,a,g), destacam-se algumas características da camada física, como pode ser visto na Tabela 1, as diferenças de frequência e taxa de dados:

Tabela 1 – Padrões 802.11

Padrão	Faixa de frequência	Taxa de dados
802.11b	2,4 – 2,485 Ghz	Até 11 Mbps
802.11a	5,1 – 5,8 Ghz	Até 54 Mbps
802.11g	2,4 – 2,485 Ghz	Até 54 Mbps

Fonte: Adaptado de Kurose e Ross, 2010

No cenário da Internet das Coisas, a tecnologia Wi-Fi, permite que uma grande quantidade de dispositivos possam ser conectados a um único ponto de acesso, reduzindo a quantidade de cabos utilizados na instalação dos sensores. Todavia, deve ser considerado o alto consumo dos módulos Wi-Fi no desenvolvimento dos sensores, não sendo viável a utilização com baterias. O uso da faixa de frequência não licenciada (2,4 Ghz), disputando espaço com aparelhos *Bluetooth*, telefones sem fio, controles remotos, provoca uma sobrecarga no ambiente, visto que a troca de dados via Wi-Fi necessita de uma conexão, mantendo o meio

físico ocupado por mais tempo, se comparado a meios de comunicação como o *Bluetooth*, por exemplo (SURESH; DANIEL; ASWATHY, 2014).

2.4 INTERNET DAS COISAS

Internet das Coisas é um conceito que defende a interconexão de uma série de objetos à *Internet*, ou uma aplicação que, de alguma forma, compartilhe determinado objeto na rede. Os objetos podem ser sensores, aparelhos de TV, eletrodomésticos, sistemas de segurança, sistemas de automação residencial, etc. (HUANG; LI, 2010).

As “coisas” referem-se a tudo que está em volta das pessoas no seu dia a dia. A Internet das Coisas tem por objetivo interligar tudo na rede, permitindo que computadores e “coisas”, ou ainda, aplicações da *internet* e “coisas” se comuniquem, trocando dados e comandos de forma a não ser necessário a intervenção das pessoas.

As ações a serem tomadas pelas aplicações e equipamentos ligados a Internet das Coisas, são disparadas por sensores que servem como porta de entrada e coleta de dados, alimentando os sistemas. Em outras palavras, os sensores se tornam a interface do usuário com o equipamento.

A ideia proposta pela Internet das Coisas pode ser resumida em uma interação natural entre seres humanos, computadores e dispositivos em geral. Todos os equipamentos elétricos e eletrônicos de uso diário podem ser monitorados e controlados via rede.

Uma série de sensores de temperatura, por exemplo, podem ser capazes de transformar os dados físicos em dados digitais, enviando-os a um centro de controle que por sua vez pode monitorar mudanças climáticas em determinado ambiente e tomar ações como informar o supervisor técnico via e-mail, SMS, ou até mesmo acionar um sistema de refrigeração que também está conectado a Internet das Coisas (SURESH; DANIEL; ASWATHY, 2014).

Entre as tecnologias que servem de suporte para que a Internet das Coisas se torne realidade, destacam-se as tecnologias RFID, Wi-Fi, *Bluetooth* e Código de Barras.

As tecnologias Wi-Fi e *Bluetooth* foram apresentadas com maior detalhe no tópico anterior deste trabalho. O RFID e o Código de Barras possuem um conceito semelhante. Um número identificador (ID) é utilizado para referenciar esta informação. No RFID, o ID é armazenado dentro de um pequeno chip, no Código de Barras, o ID é codificado em uma imagem que pode ser impressa. Os leitores de RFID e Códigos de

Barras (Figura 6) são capazes de ler esta informação e, por sua vez, realizar uma busca na rede pela informação que é referenciada pelo ID.

Figura 6 - Código de barras e RFID



Fonte: Extraído de Suresh, Daniel e Aswathy, 2014

2.5 APLICAÇÕES

Esta seção demonstra como o conceito de Internet das Coisas pode ser transformado em aplicações, utilizando as tecnologias pesquisadas neste trabalho na implementação deste novo conceito.

Ha et al. (2015) frisa a importância da categorização dos serviços da Internet das Coisas. O trabalho divide as aplicações IoT em locais e globais e as subdivide de acordo com características relacionadas ao uso, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos serviços da IoT

	Momentâneo		Permanente	
	Privado	Público	Privado	Público
Local	Automação Residencial Sistemas de Gerenciamento de Energia	Bicicletas Coletivas	Estoque Inteligente Medicina Inteligente e Saúde Física	Arquitetura de vídeo vigilância
Global	Modelo de Assistência Médica	Gestão de Trânsito	Rastreamento de Veículos	Deteção <i>cyber</i> crimes

Fonte: Adaptado de Ha et al., 2015

Na pesquisa realizada por Ha et al. (2015) o trabalho de Gubbi et al. (2013) é citado definindo a classificação da Internet das Coisas em 6

diferentes domínios: casa e escritórios, comércio, cidades inteligentes, agricultura, transporte e gerenciamento da água.

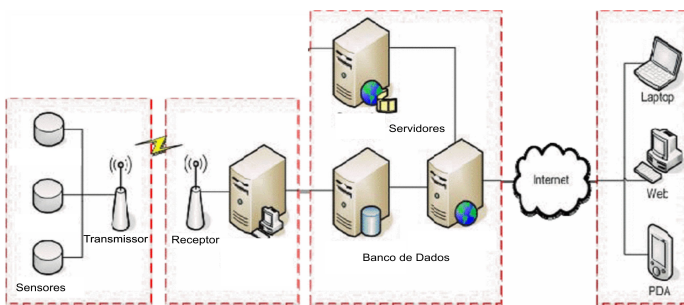
A classificação dos serviços é um importante passo para o desenvolvimento das aplicações IoT, visto que grupos de desenvolvedores de um determinado tipo de serviços IoT podem definir protocolos e padrões, permitindo o crescimento de forma organizada e uniforme. Em contrapartida, todos os grupos de desenvolvedores precisam trabalhar em conjunto para alcançar o objetivo maior que é a consolidação do conceito da tecnologia.

Por exemplo, Lee, Hwang e Yoe (2013), sugerem uma tecnologia que tem como objetivo a melhoria da eficiência de produção e aumento da qualidade dos produtos agrícolas em todo seu processo produtivo. Além dos conceitos de agricultura de precisão, que é considerada uma alternativa para o futuro da agricultura, os autores propõem um sistema de monitoramento agrícola por meio das tecnologias baseadas na Internet das Coisas.

O sistema de produção agrícola baseado em Internet das Coisas permite, dentre algumas funcionalidades, prever níveis de oferta e procura, gerenciamento de produção em tempo real e manutenção de qualidade durante todo ciclo de vida de produtos agrícolas.

A Figura 7 demonstra o sistema proposto pelos pesquisadores. Os dados de temperatura, humidade, nível de pH, entre outros, são entregues a uma espécie de módulo eletrônico, comumente chamado de sensor IoT. Este módulo geralmente é formado por um microcontrolador acoplado a um módulo de transmissão *Bluetooth Low Energy* ou Wi-Fi. Após o sensoriamento, os dados são entregues aos servidores que se encarregam de processar os dados e criar a interface com o usuário.

Figura 7 - Sistema de produção agrícola baseado em Internet das Coisas



Fonte: Adaptado de Lee, Hwang e Yoe, 2013

Outro exemplo a ser citado é o sistema desenvolvido por Kim et al. (2014). Chamado de *Talking Transit*, o sistema tem o objetivo de auxiliar deficientes visuais a se locomoverem pelos meios de transportes públicos na cidade de Tóquio, no Japão.

O sistema consiste em um aplicativo para dispositivos móveis comuns, ou seja, não é necessário um dispositivo móvel específico para deficientes visuais, onde um sistema em tempo real (aplicativo) se comunica com um banco de dados online, buscando informações sobre o transporte público.

Para se comunicar com o aplicativo, os usuários realizam gestos *touch and shake*, que consistem em toques em qualquer ponto da tela e ações de movimento com o dispositivo móvel. Já o aplicativo, responde ao usuário por meio de comandos de voz. Esta interface foi desenvolvida com participação ativa de usuários cegos, buscando desenvolver uma interface especializada as suas necessidades.

Uma rede de sensores *Bluetooth Low Energy* foi instalada nos terminais de ônibus, estações de trem e de metro, a fim de auxiliar o usuário a identificar a plataforma correta para embarcar.

A Figura 8 demonstra a arquitetura do sistema desenvolvido pelos pesquisadores, onde o dispositivo móvel está constantemente ligado à *Internet* e à rede de sensores, enquanto interage com o usuário.

Figura 8 - Arquitetura do sistema *Talking Transit*



Fonte: Adaptado de Kim et al., 2014

Os dois projetos citados, são sistemas completos, pronto para serem utilizados. Estes projetos podem ser classificados de acordo com os estudos de Ha et al. (2015) e Gubbi et al. (2013) (Tabela 2). Contudo,

em nenhum dos trabalhos, esta classificação foi considerada. Os sistemas são apresentados nos trabalhos como um sistema fechado, com um objetivo específico.

É importante que os projetos baseados nos conceitos da IoT compreendam a classificação de serviços em grupos ou domínios para que, as informações capturadas pelas redes de sensores possam ser acessadas, processadas e compartilhadas entre diversas aplicações IoT, com diferentes objetivos finais. Isto ocorre pelo fato de que o ponto crítico de desenvolvimento de projetos IoT está no sensoriamento e coleta de dados. Com o compartilhamento dos dados, os desenvolvedores podem concentrar seus recursos no desenvolvimento de aplicações, acelerando a implantação da IoT.

Em outras palavras, é preciso que os pesquisadores concentrem seus esforços não só em novos sensores e sistemas para a IoT, mas também em como compartilhar a informação gerada por esta grande rede de sensores. Com estes dados disponíveis uma grande quantidade de aplicações IoT poderá ser desenvolvida, atendendo necessidades de usuários de maneira cada vez mais individualizada.

3 SISTEMA PROPOSTO

Neste capítulo é apresentado o sistema proposto, descrevendo os requisitos, o processo de desenvolvimento, as ferramentas utilizadas e as etapas necessárias até a elaboração final do mesmo.

3.1 INTRODUÇÃO

O objetivo do sistema, denominado sistema localizador, consiste em auxiliar no rastreamento de pessoas e objetos que possam ser perdidos, esquecidos ou roubados. O sistema é composto por um aplicativo (*software*) para dispositivos móveis, que serve de interface com o usuário, e um sensor sem fio, que é o ferramental necessário para a localização de um objeto ou uma pessoa.

O sensor, construído no formato de um chaveiro, deve ser acoplado a objetos que se deseje monitorar, como carteiras, bolsas, molho de chaves, entre outros, e até mesmo no bolso da calça de uma pessoa. O aplicativo se conecta ao sensor e permite que o usuário visualize o nível de proximidade em que o sensor se encontra.

Sempre que sentir a falta de algum objeto, o usuário pode utilizar o seu dispositivo móvel para encontra-lo. O sistema localizador também possui um modo de configuração denominado modo anti-perda. Quando ativo, permite que o sistema localizador envie uma notificação ao usuário, quando o mesmo estiver se afastado do objeto ou pessoa (sensor).

Este modo pode ser útil em locais públicos, em que, por exemplo, uma pessoa deixa cair as chaves do seu carro ao se locomover. O aplicativo detecta o aumento de distância entre o dispositivo móvel e as chaves (sensor) e envia uma notificação ao usuário. O usuário pode recuperar o objeto perdido, utilizando o aplicativo para monitorar o nível de distância entre o dispositivo móvel e o sensor, enquanto procura pelo objeto.

Como citado na introdução deste trabalho, são comuns casos de esquecimento de crianças, provocados por estresse ou distração dos responsáveis. Pode-se vislumbrar ainda como exemplo e aplicação, a possibilidade de garantir uma distância segura dos pais em relação aos filhos enquanto estes brincam em um parque público. Caso as crianças se afastem além do limite de alcance do sensor, os pais seriam informados pelo sistema localizador.

O desenvolvimento do sistema localizador consiste em 4 etapas principais, sendo elas:

- Levantamento dos requisitos do sistema;
- Escolha da tecnologia utilizada para o sensor sem fio;
- Desenvolvimento de *hardware*;
- Desenvolvimento de *software* (aplicativo para dispositivo móvel).

3.2 REQUISITOS

Antes de desenvolver o sistema localizador, foi necessário conhecer as necessidades do usuário, bem como as necessidades do próprio sistema, para que pudessem ser definidas as tecnologias de *hardware* e funcionalidades de *software*.

Segundo Sommerville (2007), requisitos de sistema são descrições dos serviços fornecidos pelo sistema, assim como, as suas restrições operacionais. Esses requisitos refletem as necessidades dos clientes de um sistema que ajudam a resolver algum problema.

Os requisitos de sistema são frequentemente classificados em requisitos funcionais e não funcionais. Requisitos funcionais são declarações dos serviços que o sistema deve oferecer, como o sistema deve reagir a entradas específicas, e como o sistema deve se comportar em determinadas situações. Requisitos não funcionais são restrições sobre os serviços ou as funções oferecidas pelo sistema (SOMMERVILLE, 2007).

3.2.1 Requisitos funcionais

Como mencionado os requisitos funcionais representam as necessidades do sistema. Nesta etapa são discutidas quais funcionalidades serão desenvolvidas para satisfazer as necessidades do usuário e do sistema localizador, entre elas:

- *Hardware*
 - Sensor sem fio;
 - Alimentação por bateria;
 - Tecnologia de comunicação sem fio que permita a conexão com dispositivos móveis.
- *Software*
 - Permitir o cadastro de sensores;
 - Permitir a visualização da distância atual do sensor, utilizando uma escala de cores, por meio da

força do sinal recebido (RSSI - *received signal strength indicator*);

- Permitir a ativação do modo de funcionamento denominado anti-perda.

3.2.1 Requisitos não funcionais

Os requisitos não funcionais são aqueles que não dizem respeito diretamente às funcionalidades fornecidas pelo sistema. Podem estar relacionados a propriedades de sistemas emergentes, como confiabilidade, tempo de resposta, espaço em disco, desempenho e outros atributos de qualidade do produto, são eles:

- Hardware
 - Embalagem amigável;
- Software
 - Bom desempenho na utilização da aplicação;
 - Interface simples, objetiva e usual;
 - Compatibilidade com a maioria dos dispositivos móveis do mercado.

3.3 SENSOR SEM FIO

O sensor sem fio é o principal ponto de entrada do sistema localizador e deve possuir as seguintes características:

- Permitir que o sensor seja facilmente acoplado a objetos e pessoas o qual se deseja rastrear;
- Ser capaz de se conectar a dispositivos móveis, de forma a enviar a menor quantidade de informações possíveis, para que o aplicativo possa dimensionar a distância entre o dispositivo móvel e o sensor por meio da força de sinal recebida (RSSI).

3.3.1 Tecnologia de comunicação sem fio

Durante a pesquisa para este trabalho algumas tecnologias de comunicação sem fio foram estudadas, explorando suas características de acordo com o conceito de Internet das Coisas. A seguir, as

tecnologias são discutidas buscando a que melhor se adapta a proposta do sistema localizador.

O RFID, em geral, tem um alcance de sinal menor, se comparado ao Bluetooth e Wifi. Somente pode ser conectado a dispositivos móveis que possuam a tecnologia NFC (*Near Field Communication*) e as APIs de desenvolvimento não oferecem, por padrão, a leitura do nível de RSSI.

Do ponto de vista prático, o Wi-Fi tem um problema que dificulta o desenvolvimento de módulos (hardware) como o requerido neste trabalho. O consumo de corrente dos módulos Wi-Fi é significativamente maior que os módulos *Bluetooth* (de 12uA nos módulos Wi-Fi, para 0,4uA nos módulos *Bluetooth*).

Outro ponto importante é que as APIs de desenvolvimento para dispositivos móveis não fornecem recursos suficientes para lidar com pontos de acesso Wi-Fi, considerando que estes sejam sensores e que se deseja apenas conhecer os níveis de RSSI. As APIs compreendem que um ponto de acesso Wi-Fi deve possuir os protocolos de rede mais comuns, bem como fornecer o acesso a *Internet*. Outro ponto negativo é que a constante busca por pontos de acesso e suas forças de sinal, esgotariam rapidamente as baterias dos dispositivos móveis.

De acordo com os estudos realizados neste trabalho a tecnologia *Bluetooth* foi recentemente atualizada, possuindo uma versão que se aplica totalmente ao conceito de Internet das Coisas, de forma a implementar uma série de protocolos que visam o uso da tecnologia em uma quantidade generalizada de sensores sem fio inteligentes.

Para a comunicação com os dispositivos móveis, a API *Bluetooth Low Energy* pode ser utilizada para realizar a constante busca pelos sensores e a atualização dos níveis de RSSI. As duas plataformas mais utilizadas atualmente, Android® (GOOGLE, 2015) e iOS® (“Bluetooth for Developers - Apple Developer”, 2015) fornecem o guia para as APIs e afirmam que dão suporte a:

- Busca por dispositivos *Bluetooth Low Energy*;
- Estabelecimento de canais de comunicação;
- Transferência de dados entre os dispositivos;
- Gerência de múltiplas conexões.

Tais fatores sugerem que a tecnologia escolhida para o desenvolvimento do sistema proposto seja a tecnologia *Bluetooth Low Energy*.

3.3.2 Módulo Bluetooth

Para o desenvolvimento do sensor, um módulo Bluetooth precisa ser definido. No site dos desenvolvedores *Bluetooth* (BLUETOOTH SIG, 2015), uma série de plataformas de desenvolvimento são sugeridas, sendo que a maioria delas são baseadas nos circuitos integrados da Texas Instruments® (TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED, 2015). Estas plataformas de desenvolvimento facilitam a configuração dos módulos permitindo programar o microcontrolador interno que eles possuem.

A programação destes módulos envolve o conhecimento de linguagens de programação de baixo nível e um estudo aprofundado sobre os perfis e protocolos *Bluetooth Low Energy*. Como o objetivo deste trabalho é o desenvolvimento do sistema localizador, é ideal que seja escolhido para o projeto, um módulo *Bluetooth* que seja fornecido com uma programação de fábrica, não sendo necessário desenvolver a programação do módulo.

Esta configuração deve permitir que o módulo, ao ser alimentado pela bateria, entre em modo de propaganda, ou seja, passe a emitir via sinais de rádio frequência dados contendo seus perfis e características, conseqüentemente aparecendo nas buscas realizadas via API do dispositivo móvel. Esta configuração é suficiente para o desenvolvimento do sistema localizador.

Segundo o blog BLECentral (2015) o módulo HM-10 (Figura 9), fabricado pela Jinan Huamao Technology Co® é altamente indicado para protótipos envolvendo a tecnologia *Bluetooth Low Energy* e dispositivos móveis. Este módulo vem pré-configurado de fábrica com serviços de comunicação padrão para troca de dados seriais em forma de *bytes*. Ou seja, este módulo permite que seja criada uma porta de comunicação serial transparente sobre os protocolos e serviços *Bluetooth*.

Para o sistema localizador não será necessária a troca de dados seriais entre o aplicativo e o módulo. Apenas os perfis de propaganda *Bluetooth* precisam estar ativos no módulo. O simples fato de o módulo transmitir seu endereço e nome via protocolo *Bluetooth*, permite as APIs dos dispositivos móveis a realização da leitura dos níveis de RSSI.

A vantagem de utilizar o HM-10 é o tempo de desenvolvimento poupado. Para que ele inicie seus serviços de propaganda, enviando seu nome e endereço via protocolos de comunicação *Bluetooth*, basta alimentá-lo a uma bateria. Toda a configuração necessária para o projeto do sistema localizador já vem pré-instalado de fábrica.

Figura 9 - Módulo Bluetooth HM-10



Fonte: Adaptado de Jinan Huamao Technology, 2015

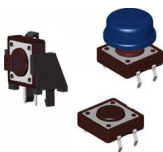
3.4 DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE

O *hardware* necessário para o funcionamento do sensor é relativamente simples. Basta que a bateria seja conectada aos pinos de alimentação do módulo HM-10, para que o mesmo entre em funcionamento.

De acordo com a configuração padrão do HM-10, disponível na folha de dados (*datasheet*) fornecida pelo fabricante, o mesmo é iniciado em modo *sleep*. Para que ele entre em modo de propaganda e apareça nas buscas realizadas via API do dispositivo móvel, é necessário enviar um sinal de 0V (*volts*) na porta PO_0 do módulo. Para tal, será utilizada uma chave do tipo *tac switch*.

As chaves do tipo *tac switch* também são comumente chamadas de “botões” e estão presentes na maioria dos eletrodomésticos e equipamentos eletrônicos em geral. Como pode ser visto na Figura 10, elas são posicionadas abaixo de botões plásticos e quando os mesmos são pressionados a *tac switch* também é pressionada:

Figura 10 - Tac switch



Fonte: Extraído de Apem, 2015

Quando pressionada, a *tac switch* curto circuita, ou seja, interliga, todos os seus contatos. Desta forma, o desenvolvedor pode utilizar este componente para comutar um sinal, sempre que o “botão” for pressionado. Na Figura 12 é apresentado o *hardware* do sensor. A *tac switch* está conectada ao 0V e também a porta PO_0 do módulo HM-10. Quando pressionada, a *tac switch* interliga o 0V com a porta PO_0 do módulo, permitindo que o mesmo desperte e inicie seus serviços de transmissão.

Para que o módulo funcione, é necessário que o circuito seja alimentado com uma fonte de 2,8 Volts a 3.5 Volts. Neste projeto foi utilizada uma bateria do tipo *coin cell* modelo CR2032 (Figura 11), de 3 Volts com capacidade de 250mAh.

Figura 11 - Bateria coin cell CR2032



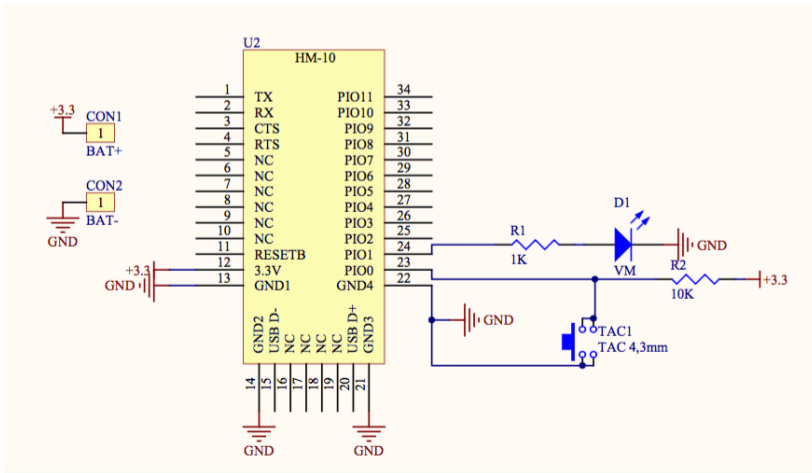
Fonte: Extraído de Minamoto Battery, 2015

A seguir é apresentada a lista de componentes utilizados no *hardware* do sensor:

- Módulo *Bluetooth* HM-10;
- *Tac switch*;
- Led Vermelho 3mm;
- Resistor 1k Ohm
- Bateria CR 2032

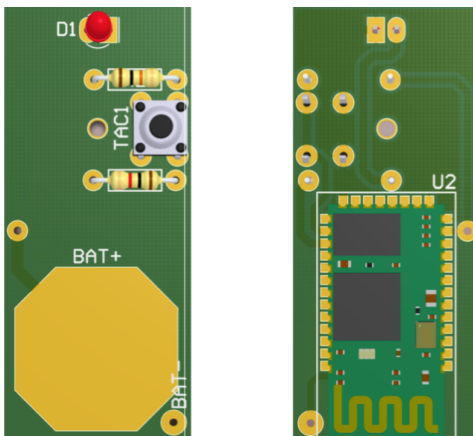
As Figuras 12 e 13 abaixo apresentam o circuito eletrônico do sensor e a imagem em 3D da placa de circuito impresso.

Figura 12 - Circuito eletrônico do sensor TAG



Fonte: Autor

Figura 13 - Placa de circuito impresso – Imagem em 3D



Fonte: Autor

Para que o circuito eletrônico não fique exposto, foi utilizado o gabinete modelo CR-060 (Figura 14) fabricado pela empresa Patola® (PATOLA, 2015).

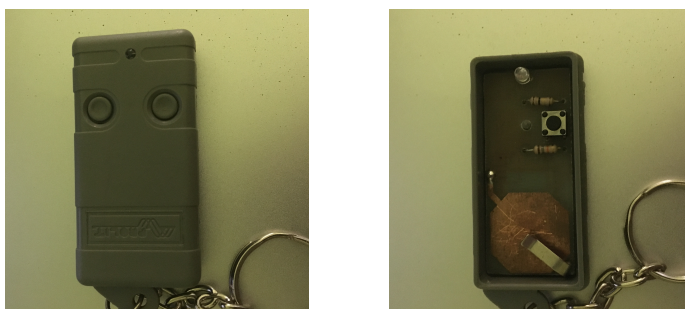
Figura 14 - Gabinete CR-060



Fonte: Extraído de Patola, 2015

O protótipo foi montado e o resultado pode ser conferido na Figura 15.

Figura 15 - Protótipo do sensor TAG desenvolvido



Fonte: Autor

3.5 DESENVOLVIMENTO DO *SOFTWARE*

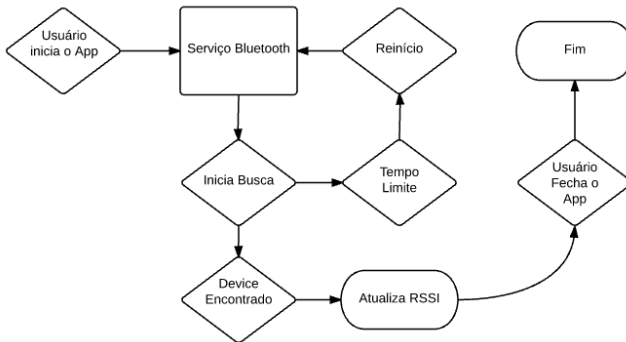
O primeiro passo antes da implementação é a escolha da linguagem e plataforma. Das opções disponíveis, Android® e iOS®, a primeira é desenvolvida utilizando a linguagem Java® e a segunda utilizando a linguagem Objective C®. Devido a experiência do desenvolvedor na linguagem Java®, foi escolhido a plataforma Android®.

Após a escolha da plataforma, se faz necessário a compreensão do ciclo de vida do Aplicativo Android®. No sistema localizador foi utilizada a classe **Service Android**, permitindo que uma espécie de serviço execute em segundo plano, realizando tarefas para a aplicação (App). Os serviços Android® funcionam independentemente da aplicação, do movimento das telas e ações do usuário. Isto permite que o sistema localizador possa realizar a busca pelos sensores

independentemente das ações do usuário durante o uso de outros aplicativos em seu dispositivo móvel.

Neste projeto o serviço será responsável por encontrar o sensor e atualizar o valor de RSSI do mesmo, como mostra o fluxograma detalhado na Figura 16.

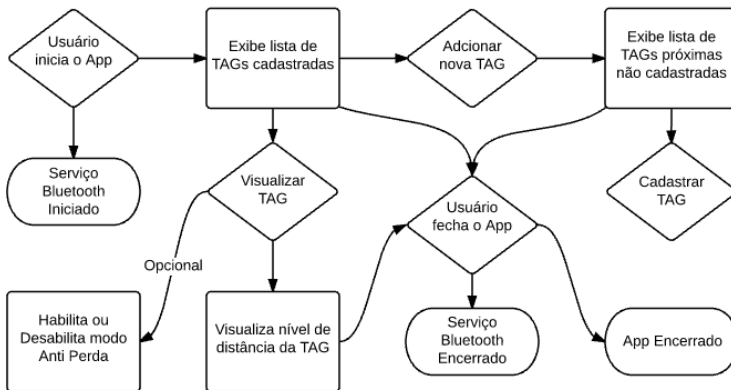
Figura 16 - Fluxograma do Serviço



Fonte: Autor

Enquanto o serviço realiza todas as tarefas envolvendo a API *Bluetooth*, o aplicativo principal pode lidar adequadamente com as interações do usuário, conforme pode ser visto no fluxograma abaixo (Figura 17).

Figura 17 - Fluxograma do aplicativo



Fonte: Autor

3.5.1 Implementação do serviço

Os serviços Android® se comunicam com o aplicativo principal por meio de mensagens de *broadcast*. Estas mensagens contêm informações úteis ao aplicativo principal, como por exemplo, um novo sensor encontrado, o novo nível de RSSI para um determinado sensor, entre outros.

O aplicativo principal, por sua vez, se comunica com a classe de serviço por meio de uma interface Java®. Na interface são declarados alguns, por exemplo:

- **iniciarBusca()**;
- **setIntervaloBusca(int intervalo)**;
- **setEnabledNotificationRssi(boolean enable)**;
- **setEnabledNotificationAntiPerda(boolean enable)**.

Seguindo o fluxograma do serviço, assim que o aplicativo é iniciado pela primeira vez, o serviço é iniciado. O serviço dispara um *timer* que é responsável por realizar uma determinada tarefa e repeti-la de tempos em tempos. Este tempo pode ser alterado pelo aplicativo principal utilizando o método **setIntervaloBusca(int intervalo)**. Isto serve para que enquanto o usuário estiver com o aplicativo aberto, o intervalo entre as buscas seja menor. Em contrapartida, quando o aplicativo estiver fechado, o tempo entre as buscas deve ser maior, poupando a vida útil da bateria.

Para que a classe de serviço não envie notificações desnecessárias, os métodos da interface podem ser utilizados para habilitar ou desabilitar algumas notificações, diminuindo a quantidade de mensagens.

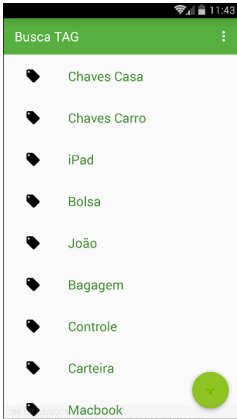
Sempre que um sensor for encontrado em uma busca, a API *Bluetooth* Android® fornece o endereço identificador do sensor, bem como a força do sinal recebido (RSSI). O próximo passo consiste na inserção destes dados em uma mensagem de *broadcast* que então pode ser enviada ao aplicativo.

Para que o sistema localizador se torne mais amigável, o mesmo foi batizado de Busca TAG e o sensor sem fio apenas de TAG. O termo TAG, em sua tradução literal significa etiqueta, sendo comumente utilizado no meio tecnológico para nomear sensores que servem de identificadores para objetos, locais, pessoas, etc.

3.5.2 Implementação do Aplicativo

Assim que o aplicativo inicia o primeiro passo consiste em se conectar a classe de serviço *Bluetooth*. Este passo ocorre sem a interferência do usuário, sendo que para ele, será apenas exibida a tela inicial (Figura 18) apresentando as TAGs já cadastradas no aplicativo. Caso o *Bluetooth* do aparelho esteja desligado, será enviada uma notificação solicitando ao usuário que permita o uso do *Bluetooth*.

Figura 18 - Tela inicial do aplicativo exibindo as TAGs já cadastradas



Fonte: Autor

A partir da tela inicial o usuário pode adicionar novas TAGs, bastando pressionar o botão circular na parte inferior direita da tela. O botão conduz o usuário para uma nova tela em que será realizada uma busca por novas TAGs.

Na Figura 19 é apresentada a tela para adicionar novas TAGs. Uma lista é exibida, contendo as TAGs que estão próximas, mas que ainda não foram cadastradas. Sempre que uma TAG ainda não foi cadastrada, ela é denominada pelo Aplicativo de BUSCA TAG, identificando que a mesma está disponível para ser cadastrada.

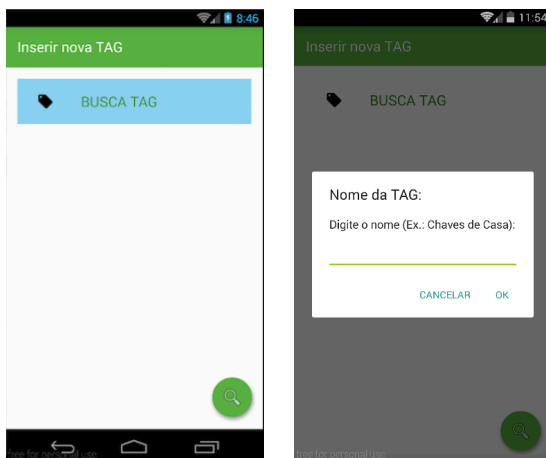
Figura 19 – Tela para a inserção de uma nova TAG



Fonte: Autor

Para adicionar uma nova TAG, o usuário deve selecionar uma das TAGs disponíveis na tela de busca. Ao ser selecionada, o aplicativo solicita que seja informado um nome para a TAG (Figura 20). Este nome servirá para identificar o objeto que a TAG irá localizar, por exemplo, **Chaves do Carro**.

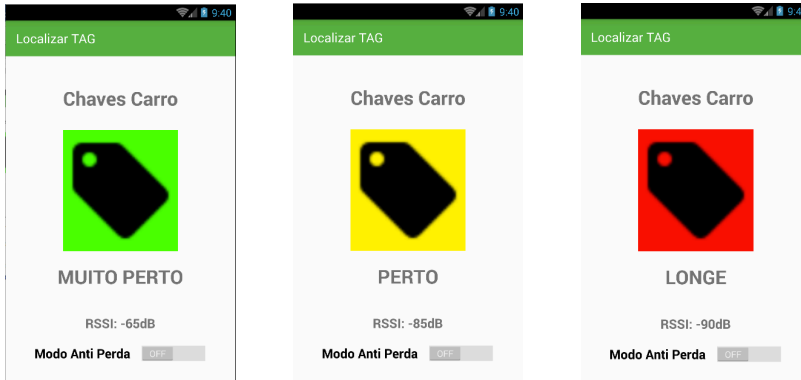
Figura 20 - Acionando uma nova TAG



Fonte: Autor

Voltando a tela inicial, ao selecionar uma TAG na lista, o aplicativo apresenta uma interface ao usuário que demonstra se ele está próximo ou distante da TAG (Figura 21).

Figura 21 - Localizar TAG



Fonte: Autor

Para localizar o objeto perdido, o usuário deve se locomover pelo ambiente, monitorando a tela do dispositivo móvel. O aplicativo vai alternar entre os níveis **MUITO PERTO**, **PERTO** e **LONGE**, de acordo com a distância entre a TAG e o dispositivo móvel.

Para habilitar o modo **Anti-perda**, o usuário deve acionar a chave na parte inferior da tela (Figura 21). Com o modo Anti-perda habilitado, uma notificação será enviada ao dispositivo móvel, sempre que o mesmo se afastar do sensor.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da avaliação do protótipo. Para tal, foi avaliado seu comportamento em algumas situações em que este foi submetido, verificando se o sistema localizador de objetos cumpre os requisitos descritos no Capítulo 3.

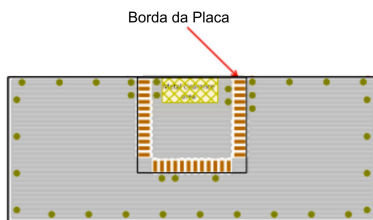
4.1 CENÁRIO DE APLICAÇÃO

Para mensurar a localização do sensor, foram elaborados cenários em que o dispositivo móvel analisa a força do sinal recebido (RSSI) a partir do localizador. A força do sinal recebido é fornecida pela API de desenvolvimento para o dispositivo móvel e consiste em um valor em *decibel miliwatt* (dBm). Sempre que uma busca é realizada utilizando o método **iniciarBusca()** a API retorna, dentre outras informações o valor RSSI medido pelo módulo do dispositivo móvel.

Existem diversas formas de estimar a localização de um objeto por meio do RSSI, devido ao fato deste valor ser fortemente influenciado pela posição das antenas (SVEČKO; MALAJNER; GLEICH, 2015).

As antenas são responsáveis por criar a oscilação no sinal gerado pelos módulos, propagando o mesmo pelo meio, permitindo a troca de dados sem fio. Em uma situação ideal as antenas devem estar apontadas uma para outra, com uma área livre de componentes metálicos em sua volta e nenhum tipo de material deve estar em contato direto com a antena (BLUEGIGA TECHNOLOGIES, 2014). A Figura 22 exemplifica a construção de uma placa de circuito impresso de forma a respeitar a área livre para a antena. Na figura, a área livre é representada na cor amarela.

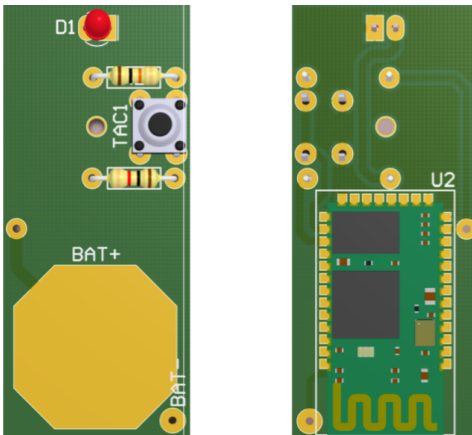
Figura 22 - Layout recomendado para as antenas



Fonte: Adaptado de Bluegiga Technologies, 2014

Contudo, o fabricante do módulo *Bluetooth*, utilizado no protótipo do sistema localizador não sugere exemplos de como projetar uma placa de circuito impresso para o HM-10. Um ponto crítico é que, devido ao espaço disponível no gabinete utilizado para acomodar a placa, a bateria *coin cell* que alimenta o circuito teve que ser posicionada exatamente do lado oposto à antena, como pode ser visto na Figura 23. Este fato pode prejudicar o desempenho da antena, reduzindo a potência do sinal transmitido.

Figura 23 - Placa de circuito impresso



Fonte: Autor

Outro ponto que deve ser considerado é que as antenas, do sensor e do dispositivo móvel, em geral, não estarão apontadas uma para outra. As antenas estarão posicionadas de diversas formas de acordo com o uso normal dos objetos em que o sensor estará acoplado e também do dispositivo móvel.

Por exemplo, o sensor pode estar preso a um molho de chaves, que por sua vez pode estar dentro de uma mochila ou simplesmente em cima de uma mesa. Por outro lado, o dispositivo móvel pode estar no bolso da calça ou na mão do usuário, bem como sobre uma mesa. Isto permite inúmeras combinações de posicionamento de antena, permitindo que, dada uma mesma distância entre o sensor e o dispositivo móvel seja possível obter diversos valores de RSSI de acordo com a posição do sensor e dispositivo móvel.

4.2 COLETA DE DADOS

Para avaliar a capacidade do sistema localizador em auxiliar na localização de objetos e pessoas foi elaborada uma planilha de testes. Para a coleta de dados será utilizado o protótipo do sensor TAG desenvolvido e um dispositivo móvel com sistema operacional Android®.

Para conferência de todos os dados coletados no aplicativo Busca TAG, os testes serão conferidos em um dispositivo móvel com sistema operacional iOS®. Neste dispositivo móvel foi instalado o aplicativo **Sensor Tag**®. Este aplicativo foi desenvolvido pela Texas Instruments®, com o objetivo de auxiliar os desenvolvedores de ferramentas *Bluetooth Low Energy*. O aplicativo é gratuito e está disponível na App Store® (plataforma para *download* de aplicativos para iOS®), como pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 - Aplicativo Sensor Tag da Texas Instruments® para desenvolvedores de dispositivos *Bluetooth*



Fonte: Obtido a partir do aplicativo Sensor Tag®

Durante a execução dos testes, alguns dados foram coletados para avaliação dos resultados, entre eles:

- A resposta do Sistema localizador quanto ao nível de proximidade (muito perto, perto, longe);

- O nível de RSSI medido pelo modulo receptor do dispositivo móvel, fornecido via API Android®;
- A distância em metros entre o sensor e o dispositivo móvel.

A planilha de testes sugere cinco situações para o uso do sistema localizador, sendo:

1. Sensor localizado no bolso da calça de uma pessoa;
2. Sensor localizado dentro de uma mochila;
3. Sensor localizado no chão;
4. Sensor localizado dentro de um recipiente metálico;
5. Sensor localizado no bolso da calça de uma pessoa, sendo que existe uma parede de concreto entre o sensor e o dispositivo móvel.

Em todos os testes o dispositivo móvel utilizado estava na mão do usuário. Cada teste foi repetido três vezes, modificando a distância entre o sensor e o dispositivo móvel, para considerar a relação entre distância e nível RSSI. As Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7 apresentam os resultados dos testes e a Figura 25 mostra a imagem do dispositivo móvel conectado ao sensor:

Tabela 3 - Resultado dos testes para a situação 1, sensor localizado no bolso da calça de uma pessoa

Situação 1	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Resposta do App:	Longe	Longe	Longe
Nível RSSI:	-90dB	-100dB	-103dB
Distância (m):	1m	5m	10m

Fonte: Autor

Tabela 4 - Resultado dos testes para a situação 2, sensor localizado dentro de uma mochila

Situação 2	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Resposta do App:	Muito Perto	Perto	Longe
Nível RSSI:	-65dB	-85dB	-90dB
Distância (m):	1m	5m	10m

Fonte: Autor

Tabela 5 - Resultado dos testes para a situação 3, sensor localizado no chão

Situação 3	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Resposta do App:	Perto	Perto	Longe
Nível RSSI:	-70dB	-85dB	-95dB
Distância (m):	1m	5m	10m

Fonte: Autor

Tabela 6 - Resultado dos testes para a situação 4, sensor localizado dentro de um recipiente metálico

Situação 4	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Resposta do App:	Perto	Longe	Longe
Nível RSSI:	-75dB	-100dB	-100dB
Distância (m):	1m	5m	10m

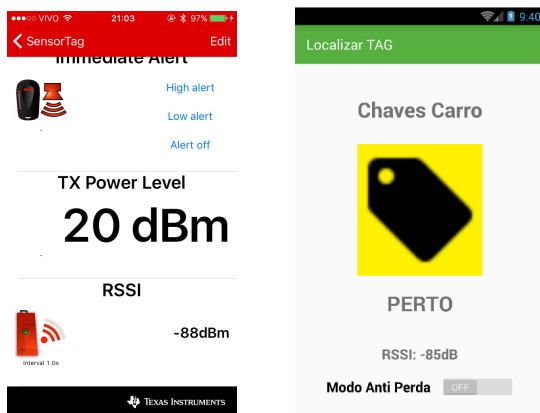
Fonte: Autor

Tabela 7 - Resultado dos testes para a situação 5, sensor localizado no bolso da calça de uma pessoa, sendo que entre o sensor e o dispositivo móvel existe uma parede de concreto

Situação 5	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Resposta do App:	Longe	Longe	Longe
Nível RSSI:	-90dB	-100dB	---
Distância (m):	1m	5m	10m

Fonte: Autor

Figura 25 - Dispositivo móvel conectado ao sensor



Fonte: Autor

Durante a sequência de testes, algumas características foram observadas:

- a) Na situação 1, sensor no bolso da calça de uma pessoa, o sensor foi colocado no bolso traseiro. Sempre que a pessoa estava de frente (em relação ao dispositivo móvel), o nível de RSSI era menor. Para tornar o teste mais real em relação aos dados coletados, os testes foram realizados com a pessoa de frente para o dispositivo móvel;
- b) Existe uma grande variação no nível de RSSI lido pelo módulo do dispositivo móvel. O aplicativo Sensor Tag® da Texas Instruments® e aplicativo Busca TAG desenvolvido neste trabalho, realizam uma nova leitura de nível RSSI, a cada um segundo. A cada leitura ocorrida, uma variação de 3dB a 6dB é verificada, desta forma, não foi possível observar duas leituras consecutivas com o mesmo nível RSSI de resposta;
- c) O teste da situação 5, é repetição do teste da situação 1, sensor no bolso da calça de uma pessoa, com uma modificação no ambiente. Uma parede de concreto estava entre a pessoa e o dispositivo móvel, prejudicando muito o alcance do sinal não sendo possível obter o nível RSSI para a distância de 10 metros.
- d) A conferência dos testes utilizando o aplicativo Sensor Tag® da Texas Instruments® demonstrou que o *software* desenvolvido neste trabalho está realizando a leitura dos níveis de RSSI corretamente, visto que os níveis de RSSI lidos nos dois dispositivos móveis se comportaram de forma semelhante.

4.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos dados coletados e, considerando a relação entre nível RSSI e a distância em metros, ambiente, etc., é possível verificar uma grande diferença entre as 5 (cinco) situações testadas.

Isto ocorre porque é muito difícil mensurar a distância exata, em metros, a partir da leitura de um nível RSSI. Como mencionado no início deste capítulo, existem diversas técnicas para esta prática. Na verdade, muitas delas consideram o uso de mais de uma antena e mais de um transmissor ou receptor, utilizando algoritmos de triangulação para determinar a localização do sensor.

Contudo, considerando a proposta do sistema localizador, que visa auxiliar a localização de objetos que possuam um sensor acoplado, o objetivo pode ser atingido nas situações 2, 3 e 4. Nota-se que o aplicativo teve dificuldade em determinar os níveis **Longe**, **Perto** e **Muito Perto**, nas situações 3, 4 e 5, onde o sensor se encontrava no chão, em um recipiente metálico, ou do outro lado de uma parede de concreto. Nestes casos, a potência do sinal transmitido é muito prejudicada e é natural que o nível de RSSI se comporte da forma em que os dados foram coletados.

Já na situação 2, o sistema localizador pode indicar com mais exatidão a distância do sensor, alterando os níveis de indicação ao usuário a medida que o dispositivo móvel era aproximado do sensor. Isto ocorre uma vez que o sensor estava dentro de uma mochila, longe de superfícies metálicas, bem como, afastado do chão.

Independentemente da situação, sempre que o sensor estiver relativamente longe do dispositivo móvel, o sistema localizador irá indicar o nível **Longe**. Sempre que estiver muito perto do sensor, o nível **Muito Perto** será mostrado, exceto no caso das situações 1 e 5.

Na situação 1, nos três testes, com distâncias de 1m, 5m e 10m, os níveis de RSSI medidos foram praticamente os mesmos, sendo que o sistema localizador apresentou sempre o nível **Longe**. Isto ocorreu devido ao fato de que o sensor estava no bolso traseiro da calça da pessoa, muito próximo ao corpo da mesma e os testes foram realizados com a pessoa de frente para o dispositivo móvel (pior caso).

O fato de o sensor estar muito próximo ao corpo da pessoa prejudicou bastante a potência do sinal, diminuindo e equilibrando os níveis de RSSI. Neste caso, o ideal é que a pessoa utilize o sensor na forma de um colar ou pulseira, com o objetivo de afastar o sensor do corpo e não prejudicar a potência de transmissão permitindo o correto funcionamento do sistema localizador.

Na situação 5 foi possível verificar que não será possível rastrear objetos que estejam separados do dispositivo móvel, por uma parede de concreto. Neste caso a solução seria a substituição do módulo utilizado por uma versão com maior potência de transmissão. Contudo, tal ação demandaria toda uma revisão no projeto, quanto a placa de circuito impresso, configuração do módulo e consumo de bateria.

4.4 POSSIBILIDADE DE ANÁLISES FUTURAS

O sistema localizador desenvolvido possui um apelo tecnológico voltado para o dia a dia das pessoas. Este sistema pode ser considerado

uma ferramenta que visa facilitar tarefas rotineiras como cuidar dos filhos e encontrar as chaves do carro.

Contudo, a proposta deste trabalho foi desenvolver uma tecnologia que permita realizar tais tarefas, sem avaliar a usabilidade do sistema localizador ou a opinião de pessoas quanto a sua utilidade.

Pensando em análises futuras foi realizada uma pesquisa com 83 alunos da Universidade Federal de Santa Catarina, com idade entre 16 a 30 anos, procurou detalhar o dia a dia das pessoas em relação a objetos perdidos. A seguir, alguns dos resultados da pesquisa.

Os entrevistados foram questionados quanto aos objetos perdidos que nunca foram recuperados. A Figura 26 apresenta os resultados, sendo que a grande maioria já teve um objeto perdido que não conseguiu encontrar.

Figura 26 - Você já perdeu algum objeto que não conseguiu mais encontrar?



Fonte: Autor

Na Figura 27, os resultados apontam que pouco mais da metade dos entrevistados costuma esquecer pequenos objetos pessoais em lugares que frequenta. Esta questão justifica o modo de funcionamento **Anti-perda** do aplicativo, que procura avisar o usuário quando o sensor (acoplado ao objeto) é esquecido.

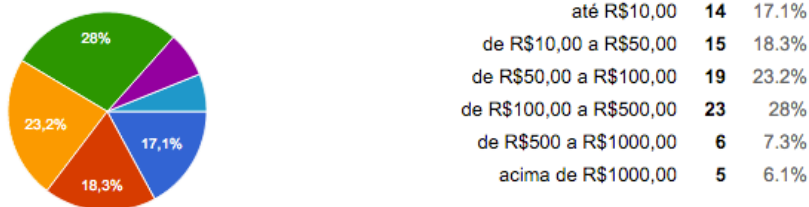
Figura 27 - Você costuma esquecer objetos pequenos, como chaves, carteiras, gadgets, etc., nos lugares que costuma frequentar?



Fonte: Autor

Dado o apelo comercial do sistema localizador, os entrevistados foram questionados quando aos gastos com objetos perdidos, possibilitando uma relação com uma possível projeção de custo do sistema localizador. Na maioria das respostas, os gastos foram de R\$50,00 a R\$500,00, como pode ser conferido na Figura 28.

Figura 28 - Quantos reais você estima que já gastou / perdeu com objetos perdidos, esquecidos ou furtados?



Fonte: Autor

Para reforçar a conclusão de que a maioria das pessoas costumam esquecer pequenos objetos, os entrevistados informaram se conhecem ou não alguma pessoa que possui o hábito de perder objetos frequentemente. A Figura 29 apresenta os resultados da questão, onde 76,8% dos entrevistados afirmam conhecer uma ou mais pessoas que frequentemente esquecem objetos.

Figura 29 - Você conhece alguma(s) pessoa(s) que costuma(m) perder objetos frequentemente?



Fonte: Autor

Quando questionados sobre quanto tempo foi levado para encontrar os objetos perdidos, a maioria das respostas ficou entre 30 e 60 minutos. De modo geral, acreditasse que com o auxílio de um sistema localizador este tempo poderia ser reduzido em muitas situações.

Como proposta para análises futuras, estas pessoas poderiam ser convidadas a utilizarem o sistema localizador durante um dado período, contando sua experiência de uso, sucessos e fracassos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos 15 anos, o avanço tecnológico das tecnologias de redes e principalmente das tecnologias de redes sem fio, está proporcionando o surgimento de uma vasta gama de possibilidades, quanto a aplicações baseadas no conceito de Internet das Coisas.

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema localizador batizado de Busca TAG com a finalidade de auxiliar os usuários a encontrar objetos que possam ser perdidos. Ele funciona com o auxílio de um dispositivo móvel e um sensor sem fio chamado de TAG, que deve ser acoplado aos objetos e pessoas a qual se deseja rastrear.

A tecnologia utilizada para o desenvolvimento do sensor foi a tecnologia *Bluetooth*, que se destacou entre as outras opções, devido a recente melhoria na tecnologia, na versão 4.0 *Bluetooth Low Energy*. A tecnologia agora permite a construção de sensores sem fio, com baixo consumo de energia, além da troca de dados por meio de perfis de atributos.

O sistema localizador Busca TAG possui uma classe de serviço Android® que é responsável por gerenciar as funções da API *Bluetooth Low Energy* do Android®, buscar as TAGs próximas e atualizar os seus valores de nível RSSI. Em paralelo ao serviço, o aplicativo principal interage com o usuário, permitindo que o mesmo cadastre as TAGs que ele deseja rastrear e visualize na tela a distância aproximada entre o dispositivo móvel e a TAG.

Na etapa final do trabalho, foram realizados testes de funcionamento do sensor TAG conectado ao aplicativo. Para tal, alguns cenários de uso foram estabelecidos visando estabelecer o nível do sinal de RSSI a diferentes distâncias. Os cenários envolveram situações em que o sensor estava livre ou não de obstáculos. Os resultados obtidos estão em linha com o esperado e relatado na literatura.

Os testes apontaram que o objetivo principal do trabalho foi atingido, sendo que a tecnologia desenvolvida possui potencial para auxiliar na localização de pessoas e objetos.

Durante o desenvolvimento deste trabalho outras possibilidades de trabalhos futuros foram vislumbradas. Entre as possibilidades pode-se mencionar a integração do aplicativo à API de mapas do dispositivo móvel, armazenando a última localização do sensor conhecida. Isto permite que o usuário possa estimar a localização do objeto, mesmo que não seja mais possível rastrear o sensor pelo dispositivo móvel.

A integração do aplicativo a um servidor Web, de forma a compartilhar as informações de localização é outra possibilidade. Esta

funcionalidade permite que outros usuários do Sistema Busca TAG, auxiliem na busca por um objeto perdido, quando o sensor estiver muito longe do seu dono. Os dispositivos móveis de outros usuários, podem se conectar ao sensor perdido e compartilhar sua localização com o usuário que esta procurando por este objeto.

Finalmente, a utilização dos sensores do dispositivo móvel, como acelerômetro e giroscópio, permitiria a determinação da direção em que o sensor se encontra. A partir de um algoritmo capaz de interpretar os níveis de RSSI para cada direção em que o dispositivo móvel for movimentado, seria possível determinar a direção em que o sensor TAG se encontra facilitando a sua localização.

REFERENCIAS

ABRAMSON, N. The ALOHA System -- Another Alternative for Computer Communication. **AFIPS Fall Joint Computer Conference**, v. 37, p. 281–285, 1970.

ALMEIDA, J. M. F. DE. Breve história da INTERNET. **Universidade do Minho. Departamento de Sistemas de Informação**, n. Ww Ii, 2005.

ANDREWS, J. G. et al. Femtocells: Past, Present, and Future. **IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS**, v. 30, n. 3, p. 497–508, 2012.

APEM. **Tact Switches APEM, industrial and miniature professional switches, pusbuttons, lever and rocker switches, piezoswitches.** Disponível em: <<http://www.apem.co.uk/Tact-switches-v10-p-106.html>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

BICEN, H.; ARNAVUT, A. Determining the effects of technological tool use habits on social lives. **Computers in Human Behavior**, v. 48, p. 457–462, 2015.

BLECENTRAL. **HM-10 BLE Module.** Disponível em: <<http://blog.blecentral.com/2015/05/05/hm-10-peripheral/>>. Acesso em: 19 nov. 2015.

BLUEGIGA TECHNOLOGIES. Ble121Lr DATA SHEET. . 2014.

Bluetooth for Developers - Apple Developer. Disponível em: <<https://developer.apple.com/bluetooth/>>. Acesso em: 19 nov. 2015.

BLUETOOTH SIG. **Bluetooth Low Energy - Bluetooth Development Portal.** Disponível em: <<https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/BLE.aspx>>. Acesso em: 30 out. 2015a.

BLUETOOTH SIG. **Plataformas de desenvolvimento - Portal Desenvolvimento Bluetooth.** Disponível em: <<https://developer.bluetooth.org/DevelopmentResources/DevelopmentPlatforms/Pages/Development-Platforms.aspx>>. Acesso em: 9 nov. 2015b.

CHAN, S. et al. RFID for personal asset tracking. **2009 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference, LISAT 2009**, p. 1–7, 2009.

CHANG, K.-H.; CONSULTING, C. Bluetooth: A Viable Solution for IoT? n. December, 2014.

CHO, H.; KYUNG, C.; BAEK, Y. Energy-Efficient and Fast Collection Method for Smart Sensor Monitoring Systems. **2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)**, p. 1440–1445, 2013.

DI PIETRO, R. et al. Security in wireless ad-hoc networks – A survey. **Computer Communications**, v. 51, p. 1–20, set. 2014.

DURSCH, A.; YEN, D. C.; SHIH, D. H. Bluetooth technology: An exploratory study of the analysis and implementation frameworks. **Computer Standards and Interfaces**, v. 26, n. 4, p. 263–277, 2004.

EVANS, D. A Internet das Coisas Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo A Internet das Coisas Como a próxima evolução da Internet está mudando tudo. 2011.

FOURTY, N. et al. Comparative analysis of new high data rate wireless communication technologies “From Wi-Fi to WiMAX”. **Joint International Conference on Autonomic and Autonomous Systems and International Conference on Networking and Services - (icas-isns’05)**, p. 0–5, 2005.

GLOBO NEWS. **Globo News - Alarme avisa se criança é esquecida dentro do carro**. Disponível em: <<http://glo.bo/1wZqnHK>>. Acesso em: 30 out. 2015.

GOOGLE. **Bluetooth Low Energy | Android Developers**. Disponível em: <<https://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth-le.html>>. Acesso em: 19 nov. 2015.

GUBBI, J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013.

HA, J. et al. A Perspective on the IoT services through a multi- dimensional analysis. p. 479–481, 2015.

HUANG, Y.; LI, G. Descriptive models for Internet of Things. **International Conference on Intelligent Control and Information Processing**, p. 483–486, 2010.

IBGE. **Pnad, 2011**. [s.l: s.n.].

JINAN HUAMAO TECHNOLOGY. **Huamao technology Co**. Disponível em: <<http://www.jnhuamao.cn/bluetooth.asp>>. Acesso em: 9 nov. 2015.

KIM, J. et al. Enhancing Public Transit Accessibility for the Visually Impaired Using IoT and Open Data Infrastructures. p. 7, 2014.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. Redes de computadores e a internet: uma abordagem top-down. In: **Redes de computadores e a internet: uma abordagem top-down**. [s.l: s.n.]. p. 614.

LEE, M.; HWANG, J.; YOE, H. Agricultural Production System Based on IoT. **2013 IEEE 16th International Conference on Computational Science and Engineering**, p. 833–837, 2013.

LEMOS, A. Cibercultura e Mobilidade: a Era da Conexão. **Razon y Palavra**, n. 41, p. 1, 2004.

MENDES, D. R. Redes de Computadores Teoria e Prática. In: [s.l: s.n.]. p. 384.

MI, S. H.; MOHER, M. **Sistemas Modernos de Comunicações Wireless**. [s.l.] Bookmark, 2008.

MINAMOTO BATTERY. **Minamoto Lithium Battery Manufacturer, Minamoto 3**.

MONTEIRO, S. D.; CARELLI, A. E.; PICKLER, M. E. V. A Ciência da Informação, Memória e Esquecimento. **DataGramZero - Revista de Ciência da Informação**, v. 9, n. 6, 2008.

PATOLA. **Patola**. Disponível em: <<http://www.patola.com.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

PRABHU, C. S. R.; REDDI, A. P. **Bluetooth Technology: and its applications with JAVA and J2ME**. [s.l: s.n.].

PYKE, T. N.; BLANC, R. P. Computer Networking Technology- A State of the Art Review *. p. 13–19, 1973.

QI BI; ZYSMAN, G. L.; MENKES, H. Wireless mobile communications at the start of the 21st century. **IEEE Communications Magazine**, v. 39, n. 1, p. 110–116, 25 fev. 2001.

SACCOL, A. Z.; REINHARD, N. Tecnologias de informação móveis, sem fio e ubíquas: definições, estado-da-arte e oportunidades de pesquisa. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 11, n. 4, p. 175–198, 2007.

SANTOS, S. T. DOS. Redes De Sensores Sem Fio Em Monitoramento E Controle. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**, p. 71, 2007.

SOMMERVILLE, I. **ENGENHARIA DE SOFTWARE**. São Paulo ed. [s.l.] São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2007.

SURESH, P.; DANIEL, J. V.; ASWATHY, R. H. A state of the art review on the Internet of Things (IoT) History , Technology and fields of deployment. 2014.

SVEČKO, J.; MALAJNER, M.; GLEICH, D. Distance estimation using RSSI and particle filter. **ISA Transactions**, v. 55, p. 275–285, 2015.

TELECO. **Estatísticas de Celulares no Brasil**. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/ncel.asp>>. Acesso em: 17 dez. 2015.

TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. **Bluetooth - BLE - Bluetooth Low Energy - Bluetooth Modules - Bluetooth Chips - Overview - TI**. Disponível em: <http://www.ti.com/lstds/ti/wireless_connectivity/bluetooth_ble/overview.page?DCMP=ep-mcu-lpad-mcugen-en&HQS=ep-mcu-lpad-mcugen-lydesign-20150630-lp-bluetooth-en>. Acesso em: 10 nov. 2015.