

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO
DE SISTEMAS

VINICIUS BAPTISTA DE MELLO

**LOCALIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS EM AMBIENTES FECHADOS
UTILIZANDO SINAIS DE RÁDIO FREQUÊNCIA**

TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

MEDIANEIRA
2016

VINICIUS BAPTISTA DE MELLO

**LOCALIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS EM AMBIENTES FECHADOS
UTILIZANDO SINAIS DE RÁDIO FREQUÊNCIA**

Trabalho de Diplomação apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas – COADS – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz de Paula Filho

MEDIANEIRA
2016



TERMO DE APROVAÇÃO

Localização de dispositivos móveis em ambientes fechados utilizando sinais de rádio frequência

Por

Vinícius Baptista de Mello

Este Trabalho de Diplomação (TD) foi apresentado às 10:00 h do dia 10 de junho de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Tecnologia e Análise de Desenvolvimento de Sistemas, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Medianeira. Os acadêmicos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado com louvor e mérito.

Prof. Dr. Pedro Luiz de Paula Filho
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Orientador)

Prof. Dr. Neylor Michael
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Dr. Paulo Lopes de Menezes
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Convidado)

Prof. Me. Jorge Aikes Junior
UTFPR – *Campus* Medianeira
(Responsável pelas atividades de TCC)

AGRADECIMENTOS

Considerando este trabalho de diplomação como resultado de uma caminhada que começou na UTFPR, agradecer pode não ser tarefa fácil, nem justa. Para não correr o risco da injustiça, agradeço de antemão a todos que de alguma forma passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

Agradeço primeiramente a Deus por ter me guiado neste caminho.

E agradeço, particularmente, a algumas pessoas pela contribuição direta na construção deste trabalho:

À minha família pelo apoio, carinho e demais contribuições.

À meu pai Sr. Charles Henrique de Mello, já falecido, por ter me ensinado os primeiros valores e responsabilidades o quais carrego até hoje em minha vida.

À minha mãe Sr^a. Sandra Regina Baptista de Mello por ter insistido que eu prosseguisse nesta jornada acadêmica que esta sendo findada com este trabalho.

À meu padrasto Sr. Nicanor Lopes de Meira, por em tempos difíceis ter me ajudado financeiramente a completar meus estudos e sempre me incentivado a dar meu melhor.

À minha avó Sr^a. Elvina de Mello pelo espírito alegre que muitas vezes me animou em momentos difíceis.

À meu avô Sr. Sebastião Baptista por sempre estar ao meu lado me passando seus ensinamentos e experiências.

Ao professor, Dr. Pedro Luiz de Paula Filho por ter aceitado ser meu orientador neste trabalho, e ter contribuído para minha formação.

Estendo meus agradecimentos aos demais professores e servidores da UTFPR pelo apoio institucional.

Aos amigos que fiz durante o decorrer do curso, os quais compartilharam comigo bons momentos.

RESUMO

MELLO, Vinícius Baptista. Localização de dispositivos móveis em ambientes fechados utilizando sinais de rádio frequência. Trabalho de Diplomação (Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

Tecnologias em redes sem fio são resultados de anos de evoluções constantes no ramo da tecnologia e elétrica. As redes sem fio, cada vez mais populares devido ao seu baixo custo, tolerância a falhas, facilidade de uso e operações, se fazem presentes no cotidiano da civilização moderna. Para agregar valor a estas redes, estudos nas áreas de localização dos dispositivos conectados à estas redes têm sido alvo de pesquisas recentes, uma vez que abrem perspectivas para novas aplicações. Neste tipo de aplicação serviços podem ser oferecidos ao usuário de forma que parâmetros de entrada e/ou saída sejam diretamente influenciados pela sua posição fixa. Esta é uma área de atuação muito abrangente onde os problemas relacionados à localização e posicionamento podem ser abordados de diferentes formas. Neste trabalho é proposto um sistema de localização de dispositivos para redes locais sem fio, baseado nas características de rádio frequência destas redes. Este trabalho visa contribuir para à área apresentando uma solução prática de localização para estas redes utilizando somente a intensidade do sinal como parâmetro de entrada. Esta solução foi implementada e testada em ambiente real, tendo como resultado um algoritmo probabilístico que estima a localização em redes sem fio. Este algoritmo baseia-se na fórmula de *free-space path loss* (FSPL) e atingiu resultados de acuidade satisfatória, aproximando-se da posição real.

Palavras-chave: Localização em ambientes fechado, Redes sem fio, Técnicas de localização.

ABSTRACT

MELLO, Vinícius Baptista. Indoor Localization of Mobile Devices and Integration with Tridimensional Virtual Engine. Graduation Work (Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

Technologies in wireless networks are the result of years of constant developments in the field of technology and electric. Wireless networks increasingly popular because of their low cost, fault tolerance, ease of use, operation, and today it is present in the daily life of modern civilization. To add value to these networks, studies in the areas of location of devices connected to these networks, location-based services have been investigated in recent studies, since open perspectives for new applications. In this type of application services can be offered to the user so that input parameters and / or output are directly influenced by their fixed position. This is a very broad area of operation where problems related to location and positioning can be attacked in different ways. This paper proposes a system of tracking devices for wireless local area networks based on radio frequency characteristics of these networks. This work aims to contribute to the area presenting a practical solution of location for these networks using only the signal strength as an input parameter. This solution was implemented and tested in a real environment, resulting in a probabilistic algorithm that estimates the location in wireless networks. This algorithm is based on the free-space path loss formula (FSPL) and achieved results of satisfactory accuracy, approaching the real position.

Keywords: Indoor locations, wireless networks, localization techniques.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO	13
FIGURA 2 - PRINCIPAIS TOPOLOGIAS DE REDE SEM FIO.....	14
FIGURA 3 - TRIANGULAÇÃO UTILIZANDO A TÉCNICA AOA.....	16
FIGURA 4 - DEMONSTRAÇÃO DE TRILATERAÇÃO.....	17
FIGURA 5 - LABORATÓRIO ONDE FORAM REALIZADOS OS TESTES	20
FIGURA 6 - DETALHAMENTO DO HARDWARE E SOFTWARE UTILIZADOS	20
FIGURA 7 - MIKROTIK RBCAP2N	21
FIGURA 8 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO MIKROTIK RBCAP2N	21
FIGURA 9 - IDE UTILIZADA: VISUAL STUDIO 2015	21
FIGURA 10 - SWITCH HP 1910-8G-POE	22
FIGURA 11 - CONFIGURAÇÃO DE ACESSO AO ROTEADOR MIKROTIK VIA API ..	23
FIGURA 12 - CONFIGURAÇÃO DE ACESSO À ROTEADORES VIA API.....	24
FIGURA 13 - PASSAGEM DE PARÂMETROS VIA API.....	25
FIGURA 14 - CONFIGURAÇÃO DE COLETA DE DADOS PELA API	25
FIGURA 15 - CÓDIGO DE CONEXÃO COM O ROTEADOR VIA API.....	26
FIGURA 16 - PASSAGEM DE PARÂMETROS DE INTERFACE PARA A API.....	26
FIGURA 17 - MÉTODO PARA EXIBIR O RETORNO EM TERMINAL	26
FIGURA 18 - SAÍDA EM TERMINAL DOS DADOS COLETADOS DOS ROTEADORES	27
FIGURA 19 - CONVERSÃO DE DBM EM METROS (FSPL)	28
FIGURA 20 - ALGORÍTMO SIMPLISTA DE TRILATERAÇÃO	29
FIGURA 21 - SAÍDA EM TERMINAL CONTENDO POSIÇÃO.....	29
FIGURA 22 - POSICIONAMENTO DO DISPOSITIVO DE CAMPO EM RELAÇÃO AOS ROTEADORES.....	29

LISTAS DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - PRECISÃO DE CONVERSÃO DE DBM PARA METROS EM MEDIÇÕES À 1 METRO.	31
GRÁFICO 2 - PRECISÃO DE CONVERSÃO DE DBM PARA METROS EM MEDIÇÕES À 4,4 METROS.	31
GRÁFICO 3 - DISPERSÃO DOS RESULTADOS DO ALGORITMO DE TRILATERAÇÃO	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOA	<i>Angle Of Arrival</i>
AP	<i>Access Point</i>
FSPL	<i>Free-space path loss</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
Indoor	<i>Ambiente Fechado</i>
IR	<i>Infra Red</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i>
TDOA	<i>Time Difference of Arrival</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVO GERAL	10
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.3	JUSTIFICATIVA	10
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1	HISTÓRICO DE TRANSMISSÃO DE SINAIS	12
2.2	SINAIS DE RÁDIO FREQUÊNCIA E SEU USO EM REDES SEM FIOS.....	13
2.3	LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS CONECTADOS EM UMA REDE WIFI... 14	
2.4	TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS	15
2.4.1	LOCALIZAÇÃO BASEADA NO ÂNGULO DO SINAL DE RADIOFREQUÊNCIA (AOA) 15	
2.4.2	LOCALIZAÇÃO UTILIZANDO O ATRASO DE RECEBIMENTO DO SINAL DE RADIOFREQUÊNCIA (TOA)	16
2.4.3	TÉCNICA DE LOCALIZAÇÃO POR INTENSIDADE DO SINAL RECEBIDO (RSSI) 17	
2.5	HISTÓRICO DOS TRABALHOS REALIZADOS EM LOCALIZAÇÃO WI-FI	18
3	METODOLOGIA E TECNOLOGIAS UTILIZADAS.....	18
3.1	ESCOLHA DA TÉCNICA A SER IMPLEMENTADA.....	19
3.2	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA ELABORAÇÃO DESTE TRABALHO .. 19	
3.2.1	CONFIGURAÇÃO DE <i>HARDWARE</i> E <i>SOFTWARE</i>	19
3.2.2	EQUIPAMENTOS DE REDE QUE COMPUSERAM O LABORATÓRIO.....	22
3.3	AQUISIÇÃO DOS DADOS.....	22
3.3.1	ACESSO AOS APS PELA API	23
3.3.2	IMPLEMENTANDO O ACESSO AOS ROTEADORES VIA API	24
3.3.3	COLETANDO E CONVERTENDO A INTENSIDADE DO SINAL EM DISTÂNCIA.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1	REALIZAÇÃO DOS TESTES DO ALGORITMO.....	30
4.1.1	TESTES DE CONVERSÃO DE <i>DBM</i> EM METROS.	30

4.1.2	COLETANDO E CONVERTENDO A INTENSIDADE DO SINAL EM DISTÂNCIA.....	32
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
5.1	CONCLUSÃO	34
5.2	TRABALHOS FUTUROS/CONTINUAÇÃO DO TRABALHO	35
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

Redes de computadores, que outrora tinham sua estrutura organizada através de cabeamento, passaram a usufruir da tecnologia de comunicação sem fio por sinais de rádio frequência (RF) e IR (Infravermelho). Um destes tipos de redes com grande importância, devido a sua velocidade de transmissão e popularização, é a denominada Wi-Fi (Wireless Fidelity).

As técnicas de localização mais utilizadas para sistemas baseados em WiFi são divididas em AoA (Angle of Arrival), RSSI (Received Signal Strength Indicator) e por último o TDOA (Time Difference of Arrival). Um dos objetivos é o estudo das três tecnologias para escolha e implementação da que melhor atender aos objetivos do projeto (MOURA, 2007).

Muitas vezes um usuário mal-intencionado utiliza um dispositivo móvel como um Smartphone ou Notebook, neste caso o endereço MAC implicará apenas no bloqueio do dispositivo, mas não ao real usuário mal-intencionado. Com um sistema de localização o administrador da rede teria, por exemplo, como descobrir a localização deste usuário e então estaria apto a tomar as devidas medidas de proteção contra o mesmo (FAGUNDES, 2008).

1.1 OBJETIVO GERAL

Possibilitar aos administradores de rede localizar usuários, locais e objetos. Possibilitar também a usuários traçarem rotas a seus destinos em ambientes fechados.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a tecnologia de localização de dispositivos móveis em ambientes Indoor por meio do uso de dispositivos emissores de RF Wi-Fi.
- Escolher a técnica de localização que melhor se adequa ao objetivo geral do projeto.
- Implementar a técnica de localização em ambiente Indoor.

1.3 JUSTIFICATIVA

Ao tentar discorrer sobre sistemas de localização, levamos nosso pensamento ao GPS (Global Positioning System) criado na década de 1970. Este sistema, porém, funciona satisfatoriamente bem apenas em ambientes externos, não possuindo boa precisão em ambientes indoor (Fechados). Por este motivo visa-se a implementação de um sistema de localização baseado em Wi-Fi (MOURA, 2007).

Traçar a localização de um dispositivo móvel em um ambiente indoor possibilitaria, por exemplo, encontrar uma obra em um museu, um médico em um hospital ou traçar uma rota que um usuário deve seguir para encontrar o destino proposto por ele (FAGUNDES, 2008).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é estruturado da seguinte maneira:

- a. **Capítulo 1:** É apresentada a introdução do trabalho, bem como seus objetivos e a justificativa para a sua realização.
- b. **Capítulo 2:** É apresentado no formato de revisão de literatura, os conceitos relativos a sinais wireless e sua história, bem como técnicas de localização utilizando esta tecnologia e demais abordagens julgadas necessárias para o desenvolvimento deste trabalho.
- c. **Capítulo 3:** Contém todos os materiais e métodos que foram utilizados no decorrer da elaboração deste trabalho.
- d. **Capítulo 4:** Apresenta todas as técnicas e resultados do trabalho realizado.
- e. **Capítulo 5:** Último capítulo deste trabalho tem como objetivo apresentar as considerações finais e sugestões para pesquisas futuras relacionadas a este tema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O meio de comunicação sem fio (Wi-Fi) é o segmento em ascensão na indústria de comunicações, redes de celulares têm crescido exponencialmente com mais pessoas aderindo ao seu uso. Telefones celulares tornaram-se uma ferramenta crucial para o uso empresarial e também para o uso cotidiano (GOLDSMITH, 2005). As redes Wi-Fi vêm substituindo as redes cabeadas, muitas tecnologias só estão disponíveis para uso nestas redes. O crescimento desta tecnologia é explosivo, torna-se cada vez mais comum a proliferação de computadores portáteis e *Smartphones* (GOLDSMITH, 2005). Com o avanço das redes Wi-Fi também surgem novos desafios para tornar esta tecnologia cada dia mais útil para as necessidades da sociedade moderna. Uma técnica para localizar fisicamente os equipamentos conectados a estas redes é um exemplo de desafio a ser superado (MADDIO, 2012).

Neste capítulo é discutido sobre o avanço das redes Wi-Fi e sua história, as técnicas de localização de dispositivos que fazem uso desta tecnologia e a utilização de uma destas técnicas para visitas à ambientes reais virtualizados.

2.1 HISTÓRICO DE TRANSMISSÃO DE SINAIS

Os primeiros meios de comunicação sem fio, desenvolvido na idade pré-industrial, transmitiam informações a distâncias por meio de sinais de fumaça, luminosos e sinais com bandeiras. As combinações de diferentes sinais tornavam estes meios de comunicação rudimentares capazes de transmitir mensagens complexas (GOLDSMITH, 2005).

Estes sinais rudimentares introduziram a teoria de transmissão de sinais, que consiste na transmissão de informação baseado no conceito de transmissor e receptor (NETO, 2013).

Esta teoria gerou vantagens para a indústria de processo, elas que, eram operadas manualmente por operadores locais que trabalhavam de forma descentralizada, agora transmitiam os sinais medidos à uma sala de controle central (RIEGO, 2009).

O primeiro método de transmissão de sinal utilizado nas indústrias de processo foi a transmissão pneumática, na década de 40, que consiste em enviar informações analógicas através da pressão do ar. Com a evolução no campo da eletrônica, na década de 70, consolidava-

se a transmissão analógica eletrônica que, por sinais de corrente ou tensão, transmitia os sinais por meio de um cabo de cobre (RIEGO, 2009).

Os avanços seguintes no campo da eletrônica tornaram simples células de conversão de grandezas em sistemas integrados de medição, processamento e transmissão de sinais (RIEGO, 2009). Na década de 80 foi desenvolvido o protocolo HART (Highway Addressable Remote Transducer) pela empresa Rosemount Inc. Trata-se de um sinal digital superimposto ao sinal de transmissão analógico. Este sinal era transmitido por cabos de dois fios, três fios e quatro fios (NETO, 2013).

A evolução deste e outros protocolos de rede, em conjunto com os avanços nas pesquisas de rádio frequência, originaram as primeiras redes sem fio, como ilustrado pela figura 2.1.

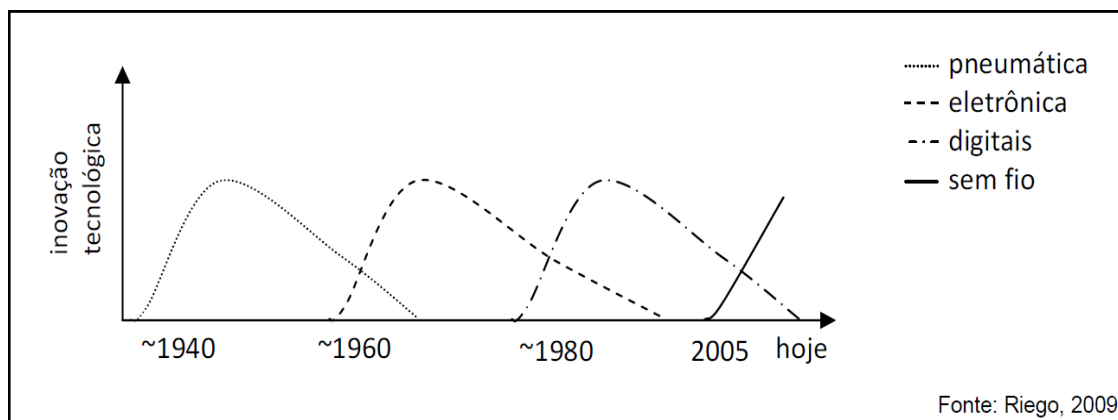


Figura 1 - Evolução das tecnologias de transmissão
Fonte: Riego, 2009.

2.2 SINAIS DE RÁDIO FREQUÊNCIA E SEU USO EM REDES SEM FIOS

Em 1895 Marconi demonstrou a primeira transmissão de rádio que rapidamente evoluiu e tornou possível cobrir maiores distâncias com mais qualidade de comunicação e menor custo (GOLDSMITH, 2005).

Inicialmente os sistemas de rádio transmitiam sinais analógicos, hoje muitos dos sistemas de rádio modernos transmitem sinais digitais de radiofrequência (GOLDSMITH, 2005).

Os avanços tecnológicos, como micro controladores de baixo consumo, rádios encapsulado em circuitos integrados e sistemas operacionais otimizados para sistemas

embarcados, tornaram as redes sem fio, hoje conhecida como Wi-Fi, um dos principais meios de transmissão de dados da indústria (NETO, 2013).

A tecnologia Wi-Fi possui o desafio de operar longos períodos minimizando o consumo de energia, atendendo a esta necessidade, as comunicações entre o transmissor e o receptor respeitam um protocolo de comunicação, além de ocorrerem desligamentos do rádio em períodos desnecessários (CULLER, 2004).

Uma rede Wi-Fi é composta por pontos de acesso e nós de rede que são os dispositivos conectados a estes pontos de acesso. A rede pode estar organizada em diversas topologias, como topologia ponto-a-ponto, malha e estrela, conforme ilustrado pela figura 2. A escolha da topologia influencia diretamente no custo e robustez da rede (NETO, 2013).

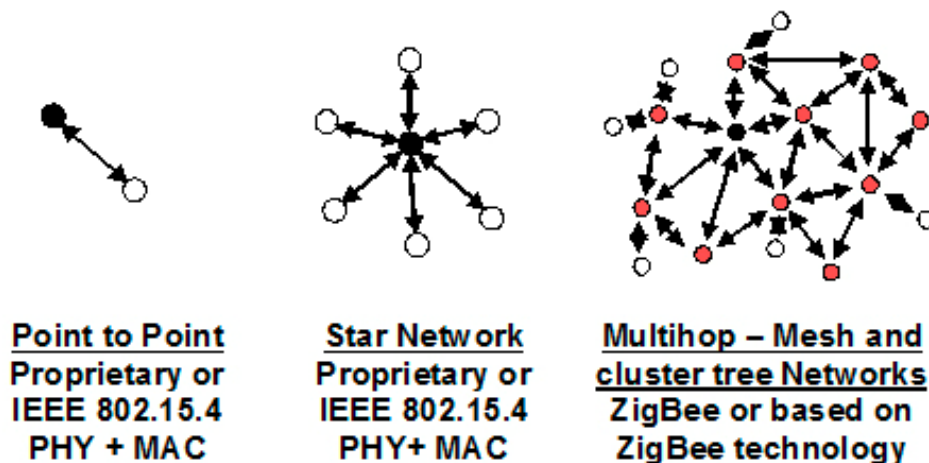


Figura 2 - Principais topologias de rede sem fio
Fonte: anaren.com.

2.3 LOCALIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS CONECTADOS EM UMA REDE WIFI

Quando uma pessoa caminha por uma rua, ela estima sua localização identificando pontos de referência e calculando sua distância deles, o ângulo em que os percebe ou meramente estabelecendo quais referências estão em seu campo de visão. A pessoa faz isso simplesmente analisando as imagens formadas em sua retina. O mesmo princípio está por trás de qualquer sistema de localização (MOURA, 2007).

O desafio de localizar dispositivos conectados a uma rede Wi-Fi foi motivo de discussões desde o começo do século XXI e continua ganhando mais atenção nos últimos anos (MADDIO, 2012).

A rede Wi-Fi é uma infraestrutura composta por nós independentes que podem trocar sinais entre si (MADDIO, 2012). Por não haver um fio que interligue um dispositivo conectado à rede e o mesmo ser móvel que a implementação de um serviço de localização é interesse de estudo nas áreas da tecnologia e informação, uma vez que abrem perspectivas para novas aplicações e agregam valor a estas redes (NUNES, 2006).

Os sinais de radiofrequência transmitidos por um ponto de acesso (AP – *Access Point*) Wi-Fi são captados por um dispositivo receptor, estes sinais possuem basicamente três atributos que representam informações relevantes para localização: o ângulo de recebimento do sinal; o instante em que o sinal chega; e a potência com que esse sinal é recebido. Quanto mais exata a informação, melhor a qualidade das estimativas de localização (MADDIO, 2012).

2.4 TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS

Existem diversas técnicas para estimar a localização de dispositivos móveis utilizando sinais de radiofrequência, cada uma destas técnicas possui vantagens e desvantagens em relação às demais e se adequam melhor a determinados contextos (MOURA, 2007). Neste capítulo estão descritas as técnicas AOA (Angle of Arrival), TOA (Time of Arrival) e RSSI (Received Signal Strength Indication).

2.4.1 Localização baseada no ângulo do sinal de radiofrequência (AOA)

Técnicas que consideram o ângulo de chegada do sinal de radiofrequência costumam obter esta informação por pontos de referência recebidas pelo dispositivo, neste contexto é possível realizar o processo de localização bidimensional com apenas dois pontos de referência, pois haverá informação suficiente para calcular o tamanho das arestas adjacentes e definir um triângulo (MOURA, 2007). Como ilustrado pela figura 3.

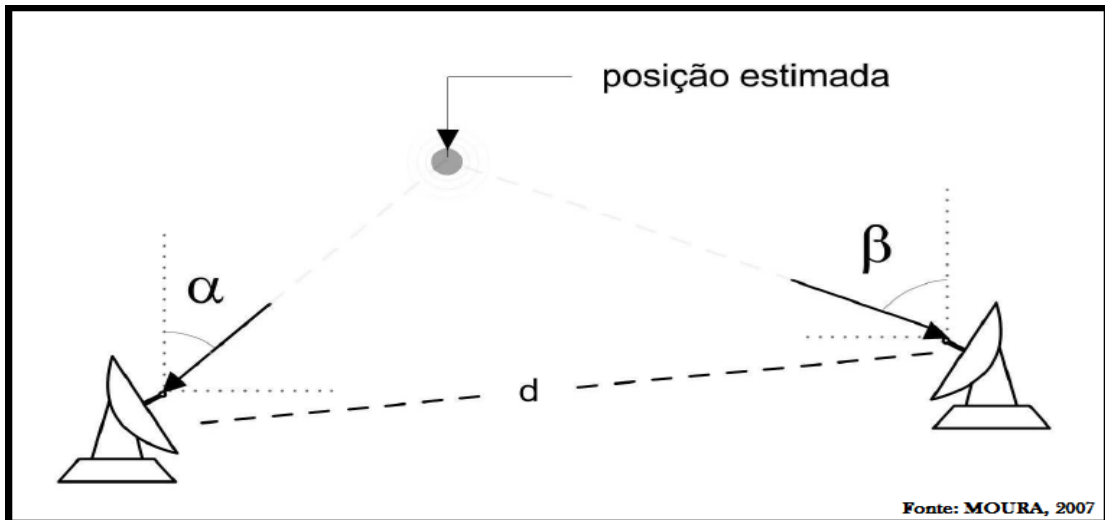


Figura 3 - Triangulação utilizando a técnica AOA
 Fonte: Moura, 2007.

2.4.2 Localização utilizando o atraso de recebimento do sinal de radiofrequência (TOA)

A Técnica Baseada em Tempo de Chegada (TOA) estima a distância entre dois nós baseada no tempo de trânsito do sinal desde o nó transmissor até um nó receptor. Uma vez que seja conhecida a velocidade de propagação para o tipo de onda utilizado é possível se estimar a distância percorrida num determinado intervalo de tempo. O relógio do nó receptor deve estar sincronizado com o relógio do nó transmissor para que o cálculo do tempo de trânsito seja preciso (TREVISAN, 2009).

A necessidade de sincronia de relógio entre os nós é inconveniente e pode gerar uma complexidade indesejada na rede. Normalmente se utiliza uma maneira mais simples de se fazer a medida, o sinal é ecoado pelo nó receptor assim que recebido, desta forma é possível se calcular o tempo de trânsito sem a necessidade de sincronizar os relógios na rede (TREVISAN, 2009).

Obtida a distância, ainda é necessário realizar um cálculo de trilateração para estimar a posição exata do nó (FAGUNDES, 2008), como ilustrado pela figura 4.

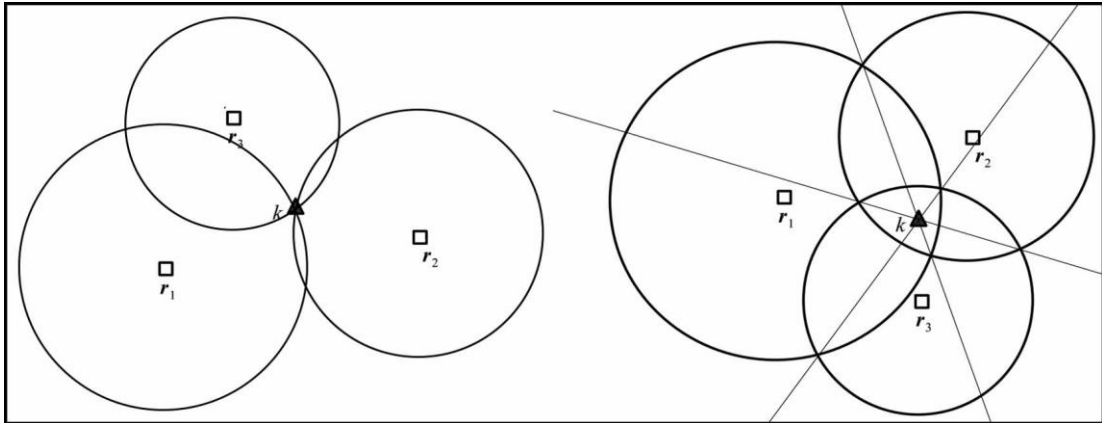


Figura 4 - Demonstração de trilateração
 Fonte: Autoria própria.

2.4.3 Técnica de localização por Intensidade do sinal recebido (RSSI)

Em ambientes fechados, uma técnica com grande destaque nos sistemas de localização é a RSSI (FAGUNDES, 2008), são suas as técnicas empregadas para localização utilizando esta informação. A primeira forma de localizar um dispositivo utilizando RSSI é por trilateração, onde converte-se a intensidade do sinal em distância (MOURA, 2007), a segunda é realizar medições da intensidade do sinal de rádio frequência em vários pontos do ambiente e armazenado em um banco para comparações posteriores (FAGUNDES, 2008).

A RSSI é uma informação que os drivers de rede dos dispositivos Wi-Fi sempre fornecem, já que é uma informação útil para a escolha de associação entre possíveis redes disponíveis (MOURA, 2007).

Em relação aos sistemas que se baseiam na informação de RSSI, o problema que se encontra é que os modelos matemáticos empregados raramente se aproximam suficientemente da realidade para que os resultados alcançados com essa técnica sejam expressivos, isso ocorre pela variedade de caminho pelo qual o sinal chega e também pela interferência de sinal causados por obstáculos em um ambiente fechado (MOURA, 2007).

2.5 HISTÓRICO DOS TRABALHOS REALIZADOS EM LOCALIZAÇÃO WI-FI

Um dos primeiros trabalhos encontrado na literatura a tratar especificamente do tema de localização Wi-Fi (BAHL; PADMANBHAM, 2000) propôs um sistema chamado RADAR que introduziu dois métodos: um que se baseia em um mapa de RSSI obtido experimentalmente, e outro que utiliza um modelo matemático de propagação de sinais de radiofrequência para a construção desse mapa. O primeiro mostrou ter um desempenho consideravelmente melhor e influenciou trabalhos que vieram depois a descartarem o uso de modelos matemáticos. Seu sistema de localização usa o método determinista que recebeu o nome de k-NNSS. Alguns trabalhos que vieram depois apresentaram também estudos sobre esse método (MOURA, 2007).

Os trabalhos apresentados na sequência aperfeiçoaram o trabalho proposto por BAHL, como por exemplo Youssef e Agrawala (2005), que apresentam os melhores resultados dentre os trabalhos encontrados na literatura sobre o tema. Seu maior mérito está em capturar melhor as nuances do comportamento do sinal, incluindo a modelagem das variações de RSSI causadas por movimentos em espaços pequenos e uma análise da correlação entre observações de RSSI em sequência (MOURA, 2007).

Muitos são os trabalhos apresentados nesta área, alguns trabalhos não tratam especificamente de localização Wi-Fi para dispositivos móveis, mas têm uma relação direta com a área e merecem ser mencionados. Hightower e Borriello (2004) propõem um modelo de filtro de partículas mais robusto para localização em geral e sugerem que esse é um modelo passível de ser usado em localização Wi-Fi (Moura, 2007).

3 METODOLOGIA E TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Este capítulo descreve a metodologia deste trabalho, ou seja, os procedimentos adotados para aquisição dos dados, os equipamentos utilizados e as tecnologias usadas para a implementação do algoritmo.

3.1 ESCOLHA DA TÉCNICA A SER IMPLEMENTADA

A técnica a ser implementada para localização de nós em redes sem fios escolhida foi a que utiliza apenas a intensidade do sinal recebido, RSSI. Apesar de não ser a técnica com resultados mais precisos, a informação de intensidade do sinal recebido é comumente disponibilizada pelos drivers das interfaces de rádio e não requer funcionalidades de circuitos ou de programas adicionais para ser implementada, desta forma ela é a com o menor custo de implementação (TREVISAN, 2009).

Como mencionado na fundamentação teórica, implementar um sistema de localização que utiliza a técnica de RSSI pode ser feito por funções matemáticas ou por um mapa descritivo do ambiente, neste trabalho é apresentado a implementação por meio de funções que transformam a intensidade do sinal (*dBm*) em distância (*metros*) por ser um tema menos abordado em trabalhos nesta área.

3.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA ELABORAÇÃO DESTE TRABALHO

Este capítulo descreve os modelos de hardware e software utilizados, desde o computador utilizado para compilar e executar o software, até os equipamentos utilizados como APs, cabos, switch e aparelhos de campo (Smartphones).

3.2.1 Configuração de *hardware* e *software*

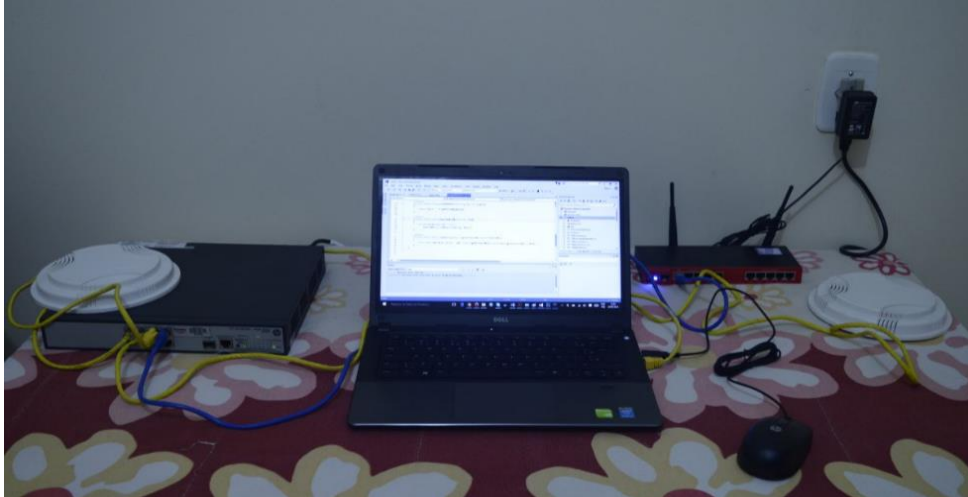


Figura 5 - Laboratório onde foram realizados os testes
Fonte: Autoria própria.

Para avaliar a técnica proposta, um ambiente de teste foi montado, conforme Figura 5, no desenvolvimento dos testes deste trabalho utilizou-se um Notebook Vostro 14-5480 da Dell, com as configurações de hardware descritos na Figura 6. Nele foi desenvolvido o algoritmo e também foi utilizado para execução da aplicação.

Exibir informações básicas sobre o computador

Edição do Windows

Windows 10 Pro

© 2015 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.



Windows 10

Sistema

Processador:	Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @ 2.20GHz 2.20 GHz
Memória instalada (RAM):	8,00 GB
Tipo de sistema:	Sistema Operacional de 64 bits, processador com base em x64
Caneta e Toque:	Suporte a Toque com 10 Pontos de Toque

Figura 6 - Detalhamento do Hardware e Software utilizados
Fonte: Microsoft.

O modelo de AP escolhido para desenvolvimento do trabalho foi o RBcAP2n da fabricante, ele foi escolhido por possuir um vasto suporte a APIs externas, que permitem obter uma gama abrangente de informações do AP através de ferramentas externas, esta API se integra a praticamente qualquer linguagem de programação com suporte a Sockets e TCP-IP.



Figura 7 - Mikrotik RBcAP2n
Fonte: Autoria própria

Como o foco deste trabalho é localização por meio de sinais de rádio frequência, deve estar descrito as especificações do driver wireless do RBcAP2n, a Figura 8 descreve detalhadamente esta configuração.

Wireless specifications		Product specifications	
2.4 GHz		Details	
	TX RX	Product code	RBcAP2n
1MBit/s	17 -96	CPU nominal frequency	400 MHz
11MBit/s	17 -88	CPU core count	1
6MBit/s	15 -92	Wireless standards	802.11b/g/n
54MBit/s	11 -73	Wireless chip model	AR9331
MCS0	15 -92	CPU	AR9331
MCS7	10 -70	Antenna gain DBI	2
		Operating System	RouterOS

Figura 8 - Especificações técnicas do Mikrotik RBcAP2n
Fonte: Mikrotik (2016)

Para elaboração e implementação do algoritmo, a linguagem de programação escolhida foi CSharp (C#), por possuir o melhor suporte à wireless implementado até o momento para a API da Mikrotik. O algoritmo foi implementado na IDE Visual Studio 2015.

Microsoft Visual Studio Enterprise 2015 Version 14.0.25123.00 Update 2 © 2016 Microsoft Corporation. All rights reserved.	Microsoft .NET Framework Version 4.6.01038 © 2016 Microsoft Corporation. All rights reserved.
--	--

Figura 9 - IDE Utilizada: Visual Studio 2015
Fonte: Autoria própria.

3.2.2 Equipamentos de rede que compuseram o laboratório

O Switch utilizado para montar o laboratório foi o HP1920-8G-PoE+ da Hewlett-Packard, o mesmo foi escolhido pois o RBcAP2n é energizado via PoE (Power over Ethernet), desta forma não foi necessário usar PoE Injector.



Figura 10 - Switch HP 1910-8G-PoE
Fonte: Hewlett-Packard (2016)

Os cabos de rede que fizeram a interligação ao switch são da Categoria 5e fabricados pela Furukawa.

3.3 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Os dados foram adquiridos considerando-se a rede mais simplificada possível, composta por três roteadores wireless (APs) interligados por um switch. Foram selecionados como preditores os parâmetros de estabilidade e RSSI (NETO, 2013).

O parâmetro RSSI é definido como a potência do sinal recebida por um dispositivo, em um determinado link de comunicação, em *dBm*. A estabilidade é definida como o percentual de transmissões recebidas com sucesso em um determinado caminho, ou seja, um valor abaixo de 100% indica que houve necessidade de retransmissão de pacotes (NETO, 2013).

Os APs foram mantidos em posição *fixa* e um dispositivo de campo (Smartphone) teve sua localização alterada, com a finalidade de se obter dados de variabilidade dos parâmetros explicativos.

Os locais para o posicionamento dos APs foram selecionados aleatoriamente, variando-se distância, obstáculos e diferença de elevação entre o dispositivo de campo e os APs. Fatores

climáticos, interferências eletromagnéticas, entre outros possíveis fatores, não foram monitorados.

Após a alteração da localização dos APs, foram descartados os dados relativos às quatro horas subsequentes. Este período é o mínimo recomendado para estabilização do sinal durante o comissionamento de uma rede Wireless (HART COMMUNICATION FOUNDATION, 2013). Sem isso a atenuação do sinal não é confiável e podem ocorrer variações no caminho da onda.

3.3.1 Acesso aos APs pela API

A Mikrotik, empresa da Letônia fabricante de equipamentos de rede, disponibiliza acesso ao console de seus roteadores via API (*Application Programming Interface* – Interface de Programação de Aplicação), este acesso é feito via sockets TCP/IP, por padrão o acesso a um equipamento Mikrotik via API é realizado pela porta 8728, e API com certificado e criptografia pela porta 8729. Em consideração de um laboratório para estudos e comparações, não foi levada segurança de acesso em consideração e foi utilizado o acesso pela porta de rede 8728 (Figura 11).

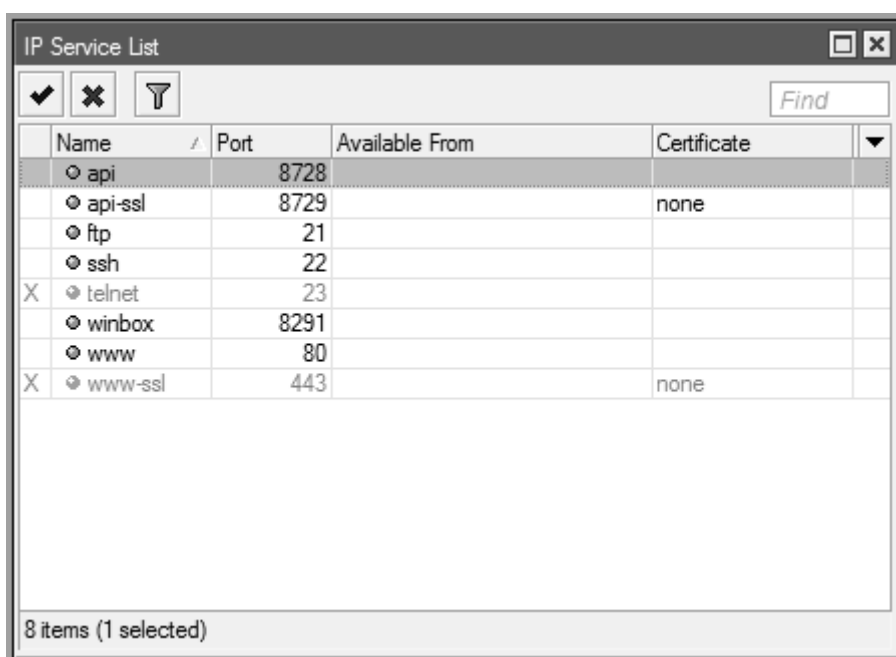


Figura 11 - Configuração de acesso ao roteador Mikrotik via API
Fonte: Mikrotik.


A API em *CSharp* utilizada para elaborar este trabalho foi desenvolvida por Daniel Frantik e disponibilizada pelo mesmo no fórum da Mikrotik e está acessível no endereço <http://forum.mikrotik.com/viewtopic.php?f=9&t=99954>, o trabalho também se encontra disponível para download no GitHub pelo endereço <https://github.com/danikf/tik4net>.

Após realizar o download da API a mesma foi importada na IDE Visual Studio como uma nova *solution*, e a partir do código proposto foi iniciado as alterações necessárias para a elaboração do algoritmo de localização.

A ferramenta responsável pelo monitoramento de interfaces de rede wireless nos Mikrotiks se chama Snoopier, ela retorna todos os equipamentos capazes de responder a sinais emitidos pelo Mikrotik capturando informações como MAC do driver de rede wireless e a intensidade de resposta do sinal em dBm. O primeiro passo necessário seria, via API, executar esta ferramenta dentro do Mikrotik e colher os resultados do mesmo para comparações futuras.

3.3.2 Implementando o acesso aos roteadores via API

Foi necessário criar um arquivo de configuração XML com as configurações de rede e acesso para cada um dos Mikrotiks, o arquivo contém as informações básicas do roteador como IP ou hostname, nome de usuário e senha para acesso. A Figura 11 demonstra como é este arquivo de configuração.



```
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
2 <configuration>
3   <appSettings>
4     <add key="host" value="192.168.7.58" />
5     <add key="user" value="admin" />
6     <add key="pass" value="" />
7     <add key="number" value="0" />
8   </appSettings>
9   <startup>
10     <supportedRuntime version="v4.0" sku=".NETFramework,Version=v4.5.2" />
11   </startup>
12 </configuration>
```

Figura 12 - Configuração de acesso à roteadores via API
Fonte: Autoria própria.

Após isto era necessário criar uma classe que possuísse os métodos necessários para colher os resultados da ferramenta *Snoopier* via API. Primeiramente era preciso iniciar a

ferramenta de *Snooper*, via console, a ferramenta pode ser iniciada pelo comando “*/interface wireless snooper snoop*”, então foi necessário passar este mesmo comando pela API, isto é feito através da classe *TikEntity* já proposto pelo modelo de API de Daniel Frantik. A Figura 13 ilustra essa passagem dos parâmetros.

```
namespace tik4net.Objects.Tool
{
    /// <summary>
    /// /interface wireless snooper snoop (R/O).
    /// </summary>
    [TikEntity("/interface/wireless/snooper/snoop", IsReadOnly = true, IncludeProplist = false)]
    2 references
}
```

Figura 13 - Passagem de parâmetros via API
Fonte: Autoria própria.

A Classe *TikEntity* possui um método para capturar os retornos, a mesma está encapsulada e protegida por uma DLL e devido a isto o código da mesma não está disponível para demonstração. Para exibir em terminal o retorno do comando é preciso acessar o nome do atributo dentro do Mikrotik, neste caso se quiser capturar a saída do MAC do dispositivo de campo o nome reservado é “*address*” e a intensidade do sinal é “*sig*”. Na Figura 14 se encontra o código desta configuração, armazenando os dados coletados em memória.

```
public class ToolSnoop
{
    /// <summary>
    /// address
    /// </summary>
    [TikProperty("address", IsReadOnly = true)]
    2 references
    public string Address { get; private set; }

    /// <summary>
    /// sig
    /// </summary>
    [TikProperty("sig", IsReadOnly = true)]
    2 references
    public long Sig { get; private set; }
}
```

Figura 14 - Configuração de coleta de dados pela API
Fonte: Autoria própria.

Configurado as propriedades as quais é de interesse deste trabalho que sejam coletadas, é preciso criar a classe que irá exibir todos estes dados em terminal, nela são coletados os dados de conexão do arquivo XML mostrados na figura 11 e utilizados para acessar o Mikrotik pela API. Como demonstrado na Figura 15.

```

class ProgramSnoop
{
    0 references
    static void Main(string[] args)
    {
        using (ITikConnection connection = ConnectionFactory.CreateConnection(TikConnectionType.Api))
        {
            connection.Open(ConfigurationManager.AppSettings["host"],
                ConfigurationManager.AppSettings["user"], ConfigurationManager.AppSettings["pass"]);
            string number = ConfigurationManager.AppSettings["number"];
        }
    }
}

```

Figura 15 - Código de conexão com o roteador via API

Fonte: Autoria própria.

O próximo passo é executar o comando dentro do Mikrotik e passar os parâmetros necessário, há apenas um parâmetro obrigatório para a execução do comando “*/interface wireless snooper snop*” que é em qual interface de rede o comando será executado, neste laboratório todos os roteadores Mikrotiks possuíam apenas uma interface wireless, então o valor do parâmetro “number” foi declarado como zero, sendo zero a primeira interface de rede encontrada por ordem alfabética.

```

var loadingContext = connection.LoadAsync<ToolSnoop>(
    SnoopItemRead, error => Console.WriteLine(error.ToString()),
    connection.CreateParameter("number", number));

```

Figura 16 - Passagem de parâmetros de interface para a API

Fonte: Autoria própria.

Com isso a aplicação já está recebendo do roteador as informações descritas no código via API, faltando visualiza-las em terminal. Um método que exibe essas informações em terminal foi escrito como ilustrado pela Figura 17.

```

1 reference
private static void SnoopItemRead(ToolSnoop item)
{
    Console.WriteLine("{0} -> {1}",
        item.Address, item.Sig);
}

```

Figura 17 - Método para exibir o retorno em terminal

Fonte: Autoria própria.

3.3.3 Coletando e convertendo a intensidade do sinal em distância

Por fim, os primeiros resultados aparecem em terminal, com isto já é possível visualizar todos os aparelhos que o roteador possui alcance de sinal para monitoramento e também a intensidade do sinal recebido pelo mesmo. O resultado pode ser visto na Figura 18, em que aparece o MAC capturado e sua respectiva intensidade de sinal, no exemplo existem seis dispositivos na área de cobertura da antena do roteador, e estes são atualizados constantemente.

```

4C:5E:0C:F7:1B:0F -> -58
00:0C:42:BC:74:10 -> -84
00:0C:42:BC:BB:20 -> -86
4C:5E:0C:F7:19:B3 -> -73
00:0C:42:BC:74:D0 -> -87
4C:5E:0C:0B:8D:3F -> -65
4C:5E:0C:F7:1B:0F -> -58
00:0C:42:BC:74:10 -> -84
00:0C:42:BC:BB:20 -> -86
4C:5E:0C:F7:19:B3 -> -73
00:0C:42:BC:74:D0 -> -87
4C:5E:0C:0B:8D:3F -> -66
4C:5E:0C:F7:1B:0F -> -59
00:0C:42:BC:74:10 -> -85
00:0C:42:BC:BB:20 -> -85
4C:5E:0C:F7:19:B3 -> -73
00:0C:42:BC:74:D0 -> -86
4C:5E:0C:0B:8D:3F -> -66
4C:5E:0C:F7:1B:0F -> -57
00:0C:42:BC:74:10 -> -85
00:0C:42:BC:BB:20 -> -85

```

Figura 18 - Saída em terminal dos dados coletados dos roteadores
Fonte: Autoria própria.

Para que a intensidade do sinal (dBm) seja útil para localização ela precisa ser convertida em distância, neste trabalho a mesma foi convertida a metros. Para esta conversão utilizou-se o princípio de perda de sinal denominado FSPL (*Free-Space Path Loss*), a fórmula é proporcional ao quadrado da distância entre o transmissor e o receptor, e também proporcional ao quadrado da frequência do sinal de rádio (SKLAR, 2001). Nela, λ é o comprimento da onda, f é a frequência do sinal (hertz), d é a distância à partir do transmissor (metros) e c é a velocidade da luz no vácuo (2.99792458×10^8 metros por segundo)

$$\begin{aligned}
 FSPL &= \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \\
 &= \left(\frac{4\pi d f}{c}\right)^2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Uma forma conveniente de converter a expressão FSPL em dBm é isolar cada uma das variáveis o no final aplicar os valores constantes.

$$\begin{aligned}
 \text{FSPL(dB)} &= 10 \log_{10} \left(\left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2 \right) \\
 &= 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi df}{c} \right) \\
 &= 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{c} \right) \\
 &= 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 147.55
 \end{aligned} \tag{2}$$

A fórmula tipicamente é aplicada tendo a frequência mensurada em giga-hertz (GHz) e a distância em quilômetros (Km). Como os roteadores emissores de rádio utilizados neste trabalho são de uso domiciliar, estaremos convertendo esta constante, segundo Sklar (2001), para distância expressa em metros (m) e a frequência em mega-hertz (MHz) o valor da constante é -27.55 .

Para a conversão desta fórmula para C#, se fez uso da biblioteca Math para as operações matemáticas. O algoritmo em C# está na Figura 19.

```

References
private static double ToMeters(double signalLevelInDb, double freqInMHz)
{
    return Math.Pow(10.0, (27.55 - (20 * Math.Log10(freqInMHz)) +
        Math.Abs(signalLevelInDb)) / 20.0);
}

```

Figura 19 - Conversão de dBm em metros (FSPL)
 Fonte: Autoria Própria.

Este algoritmo atinge resultados satisfatórios, se aproximando muito da distância real. Três instancias da aplicação foram executadas, uma para cada um dos roteadores RBcAP2n e através de um algoritmo simplificado de trilateração, é possível determinar por aproximação a localização do dispositivo de campo.

Na técnica de trilateração é necessário que existam no mínimo três pontos de referência para ter sua localização (BISATTO e PERES, 2001). O algoritmo de trilateração elaborado para este laboratório é o mais simples possível, aceitando apenas três distâncias como parâmetros e três posições de roteadores considerando apenas dois eixos. O algoritmo pode ser visto na figura 20.

```

void getTrilateration(double distance1, double distance2, double distance3)
{
    var xa = 5.7;
    var ya = 7.2;
    var xb = 2.1;
    var yb = 3.5;
    var xc = 12.0;
    var yc = 1.2;
    var ra = distance1;
    var rb = distance2;
    var rc = distance3;

    var S = ((Math.Pow(xc, 2) - Math.Pow(xb, 2) + Math.Pow(yc, 2) -
        Math.Pow(yb, 2) + Math.Pow(rb, 2) - Math.Pow(rc, 2)) / 2.0);
    var T = ((Math.Pow(xa, 2) - Math.Pow(xb, 2) + Math.Pow(ya, 2) -
        Math.Pow(yb, 2) + Math.Pow(rb, 2) - Math.Pow(ra, 2)) / 2.0);
    var y = ((T * (xb - xc)) - (S * (xb - xa))) / (((ya - yb) *
        (xb - xc)) - ((yc - yb) * (xb - xa)));
    var x = ((y * (ya - yb)) - T) / (yb - ya);

    Console.WriteLine("{0} - {1}", x, y);
}

```

Figura 20 - Algoritmo simplista de trilateração
Fonte: Autoria própria.

O formato de saída do resultado é resumido, contendo apenas o endereço do dispositivo de campo e as posições nos dois eixos (x e y), como ilustrado pela figura 21.

4C:5E:0C:F7:18:0F -> 7.8778 - 3.4332

Figura 21 - Saída em terminal contendo posição
Fonte: Autoria própria.

Para tornar mais claro o exemplo citado na Figura 21, em um plano de duas dimensões com três roteadores, estando o primeiro na posição (X e Y) 5,7m e 7,2m, o segundo 2,1m e 3,5m e o terceiro 12m e 1,2m, o dispositivo de campo teve sua posição calculada e o resultado do algoritmo de trilateração retornou que a posição do dispositivo é 7.8778 e 3.4332. A Figura 22 exemplifica esta situação.

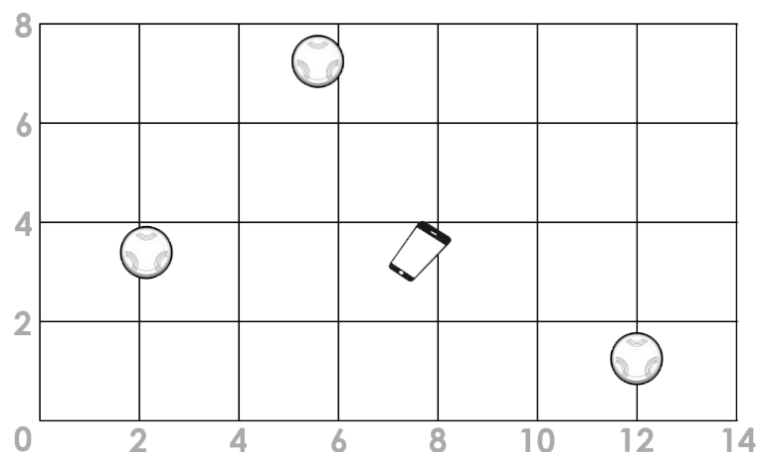


Figura 22 - Posicionamento do dispositivo de campo em relação aos roteadores
Fonte: Autoria Própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo como um dos principais focos deste trabalho a precisão do algoritmo criado, testes foram executados em diferentes cenários. Este capítulo trata exclusivamente dos resultados destes testes.

4.1 REALIZAÇÃO DOS TESTES DO ALGORITMO

O foco deste trabalho é gerar um resultado que se aproxime ao máximo da realidade, testes de precisão foram realizados para medir esta precisão e a conclusão foi gerada a partir dos resultados destes testes.

4.1.1 Testes de conversão de *dBm* em metros.

O primeiro teste a ser executado foi o de precisão da informação apresentada por cada um dos APs referente a distância entre o AP e o dispositivo de campo. Foram realizadas duas medições, em cada uma delas o dispositivo de campo foi mantido parado por um minuto e os dados eram colhidos do AP a cada segundo. A primeira medição foi realizada à um metro do roteador, o Gráfico 1 demonstra esta medição.

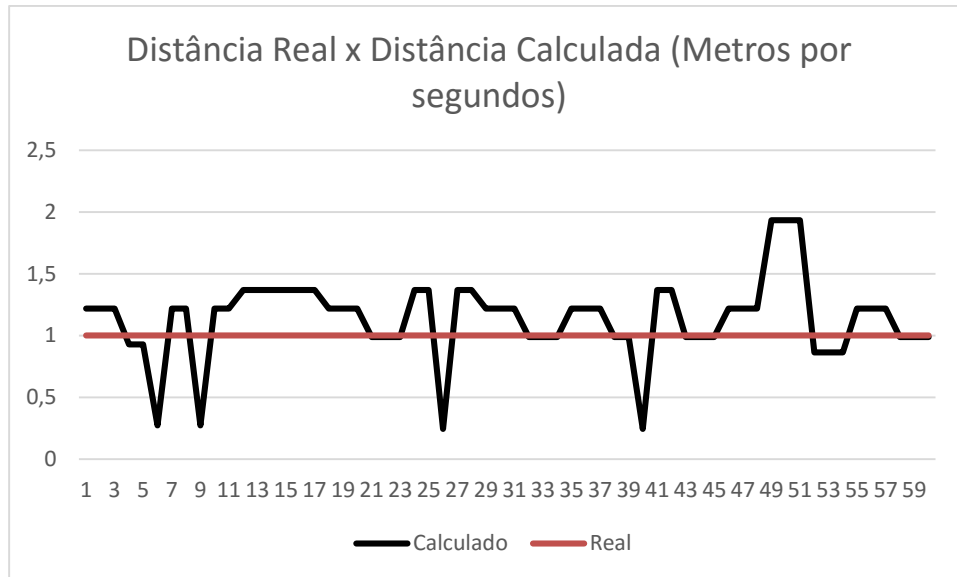


Gráfico 1 - Precisão de conversão de dBm para metros em medições à 1 metro.
Fonte: Autorial Própria.

Para comparações foi realizado mais um teste, desta vez as medições foram realizadas à quatro metros e quarenta centímetros. O Gráfico 2 demonstra o resultado das medições à quatro metros e quarenta centímetros.

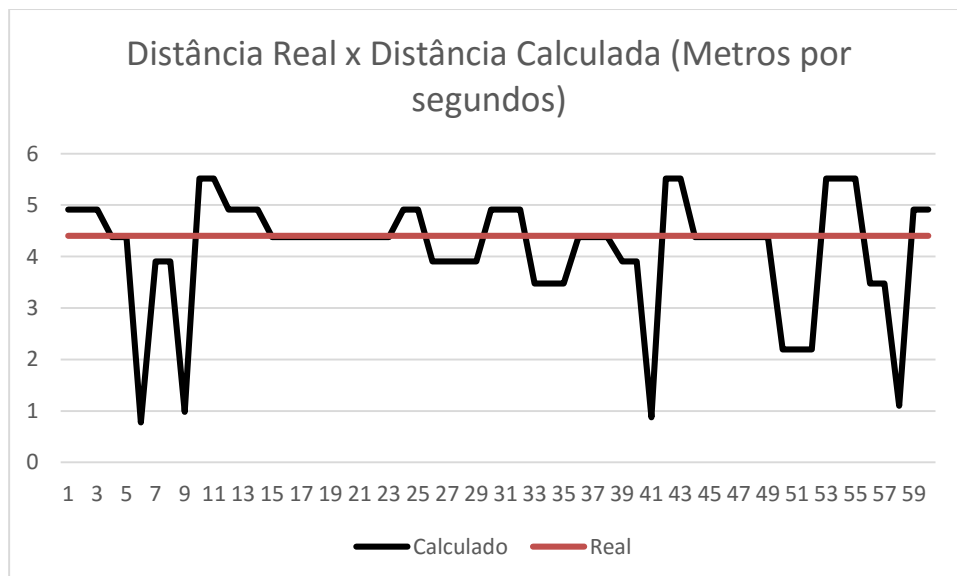


Gráfico 2 - Precisão de conversão de dBm para metros em medições à 4,4 metros.
Fonte: Autorial Própria.

Notou-se uma simetria entre os gráficos, o teste foi realizado em locais diferentes e com smartphones diferentes, sendo assim uma característica do AP.

4.1.2 Coletando e convertendo a intensidade do sinal em distância

Para o teste no algoritmo de trilateração, também foi realizado as medições durante um minuto coletando dados a cada segundo, tendo como o ponto x e y de valor zero a menor posição dos roteadores nos respectivos eixos.

Com um trena, se posicionou o dispositivo de campo na posição 1,1 metros e 0,2 metros (x e y respectivamente). O Gráfico 3 mostra os resultados coletados através de um gráfico de dispersão.

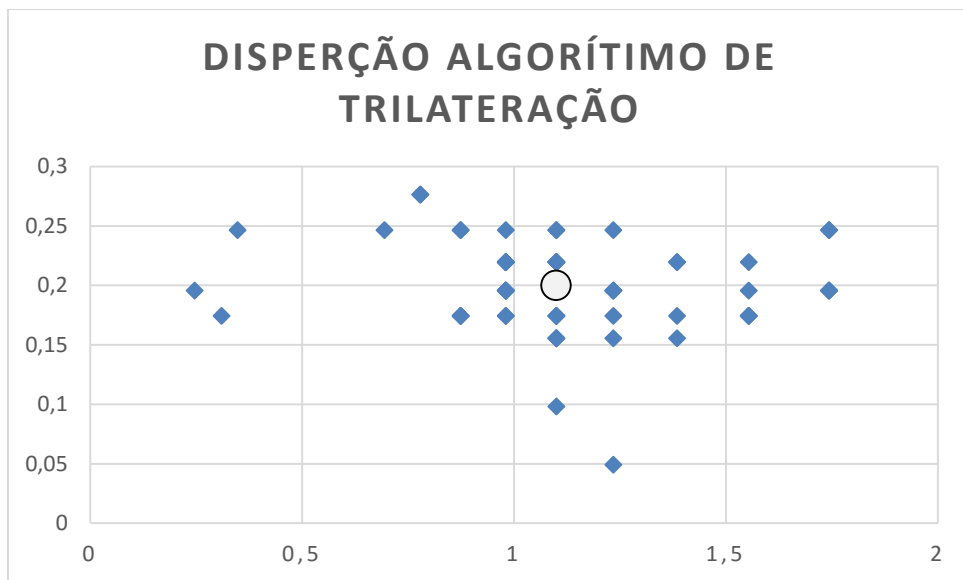


Gráfico 3 - Dispersão dos resultados do algoritmo de Trilateração
Fonte: Autoria própria.

Para provar que os dados se aproximam dos valores reais, a Tabela 1 descreve os valores de desvio padrão e média.

	Distância em metros	
Real:	1,1	0,2
Média:	1,124	0,199
Desvio Padrão:	0,325	0,039
Mínima:	0,246	0,049
Máxima:	1,743	0,276

Tabela 1 - Resultados do algoritmo de trilateração
Fonte: Autoria própria.

Fica evidente em ambos os testes que o algoritmo atinge resultados satisfatórios, analisando os resultados da Tabela 1 podemos dizer que por mais que alguns resultados de distancie muito do real, o desvio padrão prova que o algoritmo se aproxima do real na maior parte do tempo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta seção apresenta a conclusão obtida após a elaboração e análise dos testes, bem como ideias para melhorias e trabalhos futuros na área de localização utilizando sinais de rádio frequência obtidos por roteadores sem fios.

5.1 CONCLUSÃO

Levando em consideração os resultados obtidos nos testes de localização e o algoritmo aperfeiçoado através das literaturas neste trabalho citadas, conclui-se que a técnica de localização utilizando a intensidade do sinal obtido pelos APs é satisfatória, também é correto afirmar que esta versão do algoritmo de localização neste trabalho apresentado possui uma acurácia maior para distâncias menores, isto ocorre pois o algoritmo não leva em consideração o trajeto do sinal, e também não leva em consideração as possíveis interferências causadas a onda emitida pelos APs.

Apontando pontos positivos a este trabalho, a proximidade dos valores reais e calculados para curtas distâncias é evidente. Comparada a outros estudos como os de BISATTO e PERES (2001), os resultados são mais confiáveis e precisos, isso se deve aos avanços nas tecnologias sem fio que evoluíram e ao algoritmo de FSPL que é mais preciso que o algoritmo proposto pelos autores. Como ponto negativo está a escalabilidade do algoritmo que foi projetado apenas para três roteadores e também o descarte dos dados referente a atenuação do sinal e ângulo de ancoragem do sinal.

Com estes resultados, se possibilitou a administradores de redes localizarem quaisquer dispositivos que possuam uma interface de rede sem fio compatível com o sinal emitido pelos APs a curtas distâncias.

5.2 TRABALHOS FUTUROS/CONTINUAÇÃO DO TRABALHO

Como sugestões para trabalhos futuros que possam usufruir deste trabalho como base, tem-se os seguintes temas como de interesse de estudo:

- a) Implementação de outras técnicas de localização como AoA ou TDoA, para futuras comparações.
- b) Integração do sistema de localização com aplicações tridimensionais para visitas virtuais com interface homem-máquina.
- c) Utilização deste algoritmo integrado a outras técnicas de localização.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISATTO, Ana Paula e PERES, André. **LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÃO SEM FIO UTILIZANDO TRILATERAÇÃO**. Departamento de Sistemas e Computação. Canoas – RS – Brasil. 2008.

FAGUNDES, Leonardo Peres. **TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS EM REDES WIFI - TDOA**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dezembro de 2008.

GOLDSMITH, Andrea. **WIRELESS COMMUNICATIONS**. Cambridge University Press. 2005.

MADDIO, Stefano. **RSSI/DoA Based Positioning Systems for Wireless Sensor Network**. INTECH Open Science. 2012.

MOURA, André Iasi. **WBLS: Um Sistema de localização de dispositivos móveis em redes Wi-Fi**. São Paulo, 2007.

NETO, Alceo Carta. **ESTIMATIVA DA CONFIABILIDADE DA COMUNICAÇÃO DE REDES DE SENSORES SEM FIO WIRELESSHART**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Curitiba, 2013.

NUNES, Bruno Astuto Arouche. **UM SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO PARA REDES WI-FI BASEADO EM NÍVEIS DE SINAL E MODELO REFERENCIADO DE PROPAGAÇÃO**. Universidade Federal Do Rio De Janeiro. Rio de Janeiro – RJ – Brasil. 2006.

RIEGO, Henrique Barros. **REDES SEM FIO NA INDÚSTRIA DE PROCESSOS: OPORTUNIDADES E DESAFIOS**. São Paulo, 2009.

TREVISAN, Luís Mauricio. **UM ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO DE NÓS EM REDES SEM-FIO USANDO NÍVEL DE POTÊNCIA DO SINAL**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba – PR.