

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS PARA INTERNET

PETERSON MEDEIROS

LOCALIZAÇÃO INDOOR UTILIZANDO MAPA DE SINAL 802.11

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO

GUARAPUAVA
2020

PETERSON MEDEIROS

LOCALIZAÇÃO INDOOR UTILIZANDO MAPA DE SINAL 802.11

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas para Internet – TSI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Guarapuava, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Sistemas para Internet.

Orientador: Prof. Dr. Hermano Pereira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Coorientador: Prof. Esp. Maurício Barfknecht
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA
2020

Dedico este trabalho a Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Guarapuava e aos professores e servidores da mesma.

*Se você for bom em antecipar a mente humana,
nada fica ao acaso.(SAW V)*

RESUMO

MEDEIROS, Peterson. Localização indoor utilizando mapa de sinal 802.11. 2020. 38 f. Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso de graduação – Curso de Tecnologia em Sistemas para Internet, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2020.

As redes sem fio têm cada vez mais espaço no cotidiano das pessoas. Computadores portáteis já são uma realidade no nosso dia a dia. Inúmeras aplicações continuam a emergir para as mais diversas áreas de entretenimento, segurança, automação entre outras. Redes sem fio estão presentes em todos os lugares e dentre as várias aplicações existentes, essas redes podem ser utilizadas das mais diversas formas, uma delas é para a localização *indoor*. Existem vários métodos para se obter a localização utilizando a força do sinal, por exemplo: cálculo de trilateração, triangulação, cálculo baseado em ângulo de chegada, mapa de sinal *fingerprint*, entre outros. O presente trabalho apresenta um estudo de caso com o método de localização *indoor* denominado mapa de sinais *fingerprint*, onde foi possível localizar o dispositivo em um ambiente real medindo 60 metros de comprimento por 16 metros de largura, com uma margem de erro abaixo dos 10 metros.

Palavras-chave: Redes Locais Sem Fio. Localização. Impressão Digital. Smartphones.

ABSTRACT

MEDEIROS, Peterson. indoor localization using signal map 802.11. 2020. 38 f. Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso de graduação – Curso de Tecnologia em Sistemas para Internet, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2020.

Wireless networks have more and more space in people's daily lives. Portable computers are already a reality in our daily lives. Numerous applications continue to emerge for the most diverse areas of entertainment, security, automation, and several others. Wireless networks are present everywhere and among the various existing types, these networks can be used in the most diverse ways, one of them is for the indoor location. There are several methods to obtain the location using the signal strength, for example, calculation of trilateration, triangulation, based on the angle of arrival, map of fingerprint signal, among others. The present work presents a case study with the indoor location method called fingerprint signal map, where it was possible to locate the device in a real environment measuring 60 meters long by 16 meters wide, with a satisfactory margin of error below 10 meters.

Keywords: Wireless LANs. Localization. Fingerprint. Smartphones

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação técnica ToA	5
Figura 2 – Trilateração	6
Figura 3 – Roteador WI-FI	8
Figura 4 – Access Point	9
Figura 5 – Aplicação WI-FI Analyzer	12
Figura 6 – Aplicação WI-FI Heatmap	13
Figura 7 – Diagrama de funcionamento	16
Figura 8 – WI-FI Scanner	17
Figura 9 – Bloco B - UTFPR	18
Figura 10 – Pontos mapeados no bloco B - UTFPR	19
Figura 11 – Planta simples - Bloco B	23
Figura 12 – Diagrama de funcionamento do <i>fingerprint</i>	25
Figura 13 – Retorno do algoritmo	25
Figura 14 – Retorno do algoritmo com mais de um resultado	26
Figura 15 – Aplicativo <i>Where I Am</i> - Tela inicial	27
Figura 16 – Funcionamento do BOT	28
Figura 17 – Margem de erro dos primeiros testes	29
Figura 18 – Margem de erro após ajuste	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de endereços MAC's e nomes SSID's	19
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGPS	<i>Assisted Global Positioning System</i>
AIEE	<i>American Institute of Electrical Engineers</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
AP	<i>Access Point</i>
APP	Aplicativo
BOT	Diminutivo de robot
COGETI	Coordenadoria de Gestão de Tecnologia da Informação
CSV	<i>Comma-separated values</i>
DECOM	Departamento de Computação
EUA	Estados Unidos da America
GLONASS	<i>Global Orbiting Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IoT	<i>Internet of things</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
LBS	<i>Location Based Services</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
O-TDOA	<i>Oriented Time Difference if Arrival</i>
PA	Ponto de Acesso
RA	Registro Acadêmico
RF	<i>Rádio-Frequency</i>
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>

RSS	<i>Received Signal Strength</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i>
RTOF	<i>Radar Time of Arrival</i>
SD	<i>Secure Digital</i>
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i>
TI	Tecnologia da Informação
ToA	<i>Time of Arrival</i>
ToF	<i>Time of flight</i>
UWB	<i>Ultra-Wide Band</i>
WDS	<i>Wireless Distribution System</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity (IEEE 802.11)</i>
WLAN	<i>Wireless Lan</i>
WMN	<i>Wireless Mesh Network</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 DESCRIÇÃO GERAL	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 OBJETIVO GERAL	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	2
2 – REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO INDOOR & OUTDOOR	3
2.2 TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO INDOOR	3
2.2.1 TÉCNICA BASEADA EM PROXIMIDADE	4
2.2.2 TÉCNICA BASEADA EM ANGULO DE CHEGADA (ToA)	4
2.2.3 TÉCNICA BASEADA EM TRILATERAÇÃO	5
2.2.4 TÉCNICA BASEADA EM TRIANGULAÇÃO	6
2.2.5 TÉCNICA BASEADA EM FINGERPRINT	6
2.2.6 TÉCNICA ESCOLHIDA	7
2.3 REFERENCIAL BÁSICO	7
2.3.1 SMARTPHONE	7
2.3.2 ANDROID	8
2.3.3 ROTEADORES SEM FIO	8
2.3.4 ACCESS POINT	8
2.3.5 WI-FI	9
2.3.6 IEEE	10
2.4 TRABALHOS RELACIONADOS	10
2.4.1 LOCALIZAÇÃO INDOOR BASEADA NA LEITURA BIDIRECIONAL DO RSSI	10
2.4.2 LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÃO SEM FIO UTILIZANDO TRILATERAÇÃO	10
2.4.3 WI-FI RSS FINGERPRINTING INDOOR LOCALIZATION FOR MOBILE DEVICES	11
2.5 APLICAÇÕES RELACIONADAS	11
2.5.1 WI-FI ANALYZER	11
2.5.2 WI-FI HEATMAP	12
2.5.3 SISTEMA DE POSICIONAMENTO MÓVEL CELULAR	13
2.6 DIFERENCIAL TECNOLÓGICO	14

3 – LOCALIZAÇÃO POR FINGERPRINT	15
3.1 ESTRATÉGIA DE MAPEAMENTO POR FINGERPRINT	15
3.2 CAPTURA DO SINAL	16
3.3 AMBIENTE DE TESTES	18
3.4 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS	20
3.5 FATORES DE VARIAÇÃO DO RSSI	20
4 – MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 DEFINIÇÃO DAS TECNOLOGIAS	22
4.2 ESTUDO DAS TECNOLOGIAS	22
4.2.1 ESCOLHA DAS TECNOLOGIAS	22
4.2.2 ESTUDO SOBRE MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO	22
4.3 AMBIENTE	23
5 – DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO	24
5.1 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO PARA ESCANEAMENTO DAS REDES	24
5.2 DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO	24
5.3 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO PARA SMARTPHONE	26
5.4 DESENVOLVIMENTO DE UMA API PARA ARMAZENAR OS DADOS	26
5.5 DESENVOLVIMENTO DE UM BOT PARA LOCALIZAÇÃO DO USUÁRIO	28
6 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	29
6.1 REALIZAÇÃO DOS PRIMEIROS TESTES	29
6.2 PRINCIPAIS RESULTADOS	29
7 – CONCLUSÃO	32
7.1 TRABALHOS FUTUROS	32
Referências	34
Apêndices	36
APÊNDICE A – Tabela de sinais coletados	37

1 INTRODUÇÃO

1.1 DESCRIÇÃO GERAL

A localização de pessoas ou objetos é hoje em dia um tema de pesquisa de bastante interesse tanto a nível acadêmico como também a nível industrial. Várias aplicações atualmente necessitam ou fazem uso da informação de localização de pessoas ou objetos tais como: segurança automóvel, navegação aérea ou marítima, controle de estoques de mercadorias, controle estatístico de preferência dos clientes, ativação de eventos através da proximidade de pessoas, entre outros. Segundo (BRÁS, 2009a), sistemas de localização são de certa forma, uma junção de aparelhos, técnicas e algoritmos que juntos, realizam a localização de uma pessoa ou objeto.

Inicialmente os sistemas de localização foram desenvolvidos com finalidade de dar suporte a aplicações militares em ambientes externos (*outdoor*). A infraestrutura deste tipo de sistemas geralmente é formada por aparelhos terrestres como antenas, torres, etc, e também, por vários satélites, possibilitando assim, a obtenção geográfica da localização. O sistema norte-americano GPS *Global Positioning System* (MOORE; CROSSLEY, 1999) e o sistema russo GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*) (LEICK, 1998) são exemplos desses tipos de sistemas.

Atualmente a infraestrutura da rede celular possibilita também, serviços de localização em ambientes *outdoor* através de técnicas como o *Cell ID*, *O-TDOA (Oriented Time Difference if Arrival)*, e o *A-GPS (Assisted GPS)*. Estas utilizam seus pontos de referência e com eles, pode-se calcular de diversos modos a localização. Quanto mais pontos de referência tiver, mais preciso fica o cálculo da localização (ZEIMPEKIS; GIAGLIS; LEKAKOS, 2002).

Segundo (MOURA, 2007) WI-FI (*Wireless Fidelity*) é um termo que nomina redes e dispositivos que implementam a especificação IEEE 802.11 para redes sem fio (ANSI/IEEE, 1999). Uma rede WI-FI é composta por dispositivos que se comunicam por sinais de radio-frequência, dentre os quais um ou mais são Pontos de Acesso (PA) ou em inglês *Access Point (AP)*. AP's são dispositivos que, recebem pacotes de dados pela rede cabeada e entregam para outros dispositivos WI-FI através de sinais de rádio-frequência, servindo como ponte de acesso para que os dispositivos tenham acesso a rede.

Com o aumento da utilização de dispositivos móveis, e considerando que a implantação de uma rede cabeada pode ser complicada dependendo da estrutura física do ambiente, cada vez mais, se opta pela utilização de redes WI-FI. Muitos edifícios como *shoppings centers*, escolas, escritórios, fábricas, e outros, já possuem vários AP's em funcionamento, fornecendo acesso às suas respectivas redes. Essa infraestrutura pode ser utilizada para localizar um dispositivo em um ambiente. À primeira vista, apesar de sofrer dos mesmos problemas de imprevisibilidade da forma de propagação do sinal que os sistemas que usam antenas de celular sofrem, o fato de

as células de cobertura das redes WI-FI serem menores, por si só, já implicam maior precisão e exatidão, e também, normalmente são usadas em espaços menores.

A técnica *fingerprint* é uma técnica bastante estudada quando se trata de métodos de localização para ambientes *indoor*. A técnica baseia-se em ter os níveis de sinais de um local como sua identidade. Sendo assim, cada local tem seus próprios níveis de sinais, e após ter-se vários pontos mapeados de diferentes locais, pode-se dizer que tem-se então, um mapa de sinais *fingerprint*.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Utilizar da solução *fingerprint* para mapear e localizar dispositivos em um bloco da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Guarapuava.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Utilizar um aparelho *smartphone* para verificar a força do sinal e realizar a busca no mapa *fingerprint* consultando uma base de dados para identificação do local, e tentar minimizar ao máximo possível a margem de erro.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em sete capítulos principais, sendo estes, melhor descritos a seguir.

No Capítulo 2 é feita a Revisão da Literatura e fundamentação teórica, contendo conceitos e informações importantes sobre a área de estudo em que o projeto se encontra.

No Capítulo 3 é abordado mais a fundo o Método de Localização *fingerprint*, o qual é utilizado no presente trabalho juntamente com o detalhamento do mapeamento do local, e a captura dos sinais juntamente com alguns fatores que interferem diretamente na qualidade do sinal.

No Capítulo 4, são apresentados os Materiais e Métodos utilizados no trabalho, passando por algumas subseções descrevendo cada etapa que foi realizada no desenvolvimento do projeto, desde a definição e estudo das tecnologias, ambiente, entre outros.

No Capítulo 5 é apresentado sobre o Desenvolvimento da Solução, incluído um aplicativo para *Android*, o algoritmo de localização, a API, e o BOT para exibir os dados na plataforma Telegram.

No Capítulo 6 é feita a Análise e Discussão dos Resultados, onde serão apresentados os primeiros testes e também, os principais resultados obtidos.

Por fim, no Capítulo 7, serão feitas as considerações finais acerca do tema e do projeto.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO INDOOR & OUTDOOR

Como conta (TREVISAN, 2009) os sistemas de Localização têm o objetivo de identificar o endereço de um objeto móvel ou fixo em um sistema de coordenadas. Pode-se utilizar diferentes sistemas de coordenadas dependendo do tipo de localização. O GPS por exemplo, oferece dados de latitude e longitude para localização. Lugares menores como fábricas podem utilizar mapas dos blocos ou até mesmo de setores para ter como referência. O que todos os sistemas tem em comum, é que todos precisam o conhecimento prévio do local e alguns pontos de referência.

Um problema dentro do cenário de localização *indoor* é que não tem-se uma solução definitiva para isso, diferente do sistema de localização *outdoor* que já deram uma solução definitiva com o sistema de geoposicionamento global. Por isso, tem-se assim, razões para o contínuo estudo em busca de uma solução ideal para localizações em ambientes fechados.

2.2 TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO INDOOR

Segundo (BRÁS, 2009a) os primeiros sistemas de localização interiores *indoor* além de utilizar de sinal infravermelhos, usavam também sensores que ativavam quando algum peso estava sobre eles. Já nos sinais infravermelhos os objetos ou pessoas levavam sensores consigo que se comunicavam com outros sensores fixos quando estivessem próximos. Com o passar do tempo, o desenvolvimento de dispositivos móveis e redes sem fios de curto alcance levaram a um estudo de desenvolvimento de sistemas de localização *indoor* baseados em sinais de radiofrequência (RF). Estes sistemas de localização utilizam de tecnologias como pode exemplo: RFID (*Radio-Frequency Identification*), WI-FI (*Wireless Fidelity – IEEE 802.11*), Bluetooth (*IEEE 802.15.1*), UWB (*Ultra-Wide Band – IEEE 802.15.3*) e ZigBee (*IEEE 802.15.4*). Atualmente já têm-se redes WI-FI disponíveis por diversos motivos, sendo eles comunicação, sistemas integrados, consultas, etc.

A estimativa da localização baseada neste tipo de sinal depende de diversos fatores inerentes à natureza do próprio sinal. Estes sinais em ambientes *indoor* não são estáveis, pois podem sofrer reflexão, absorção, espalhamento e difração do sinal. Segundo (REIS; FERNANDEZ, 2007), obstáculos como móveis, portas, armários e até mesmo pessoas bem como a geometria do local afetam de forma significativa o sinal e podem causar perda da potência do sinal recebido.

Uma ideia alternativa para que seja possível resolver o problema da localização em ambientes *indoor* seria através da exploração de sinais de redes WI-FI, pois diferente de redes de sensores as redes normalmente já estão estruturadas e com seus dispositivos e posicionados para uso (MOURA, 2007). Mesmo com dificuldades apresentadas anteriormente relacionado a captura do sinal é possível utilizar destes métodos que estão a nossa disposição para solucionar

os problemas.

2.2.1 TÉCNICA BASEADA EM PROXIMIDADE

Esta técnica está diretamente relacionada com a detecção de objetos baseado em sua proximidade com os dispositivos de referência. Nesta técnica apenas é identificado que o dispositivo foi localizado próximo do dispositivo de referência mas não é conhecido a exata distância entre os dispositivos. Quando um dispositivo é detectado por um único nó, a localização do dispositivo é considerada próxima desse nó. Caso a detecção seja efetuada por mais de um nó de referência a posição é atribuída ao nó que detectar maior potência de sinal. Sistemas baseados em infravermelhos e RFID usualmente utilizam-se dessa técnica (MITTELSTADT, 2018). Pode-se utilizar este tipo de técnica apenas em casos e ambientes mais específicos, a necessidade de instalação de sensores para cada ambiente torna a implantação difícil e trabalhosa.

2.2.2 TÉCNICA BASEADA EM ANGULO DE CHEGADA (ToA)

Esta técnica se baseia-se na medição do tempo de chegada de um sinal entre o transmissor e o receptor. Através da cronometragem do tempo de percurso ToF (*Time of Flight*) entre a transmissão do sinal e sua recepção no elemento receptor é possível calcular a distância entre os dois dispositivos. Nesta técnica é necessária muita precisão na sincronia entre o transmissor e o receptor. Mesmo com baixa diferença de tempo a distância pode variar bastante se o transmissor e o receptor não estiverem bem setados.

O controlador envia um pedido de localização para a rede, isto possibilita aos dispositivos de referência a inicialização de uma escuta sincronizada. O dispositivo recebe o pedido de localização, e responde com um sinal que será recebido pelos dispositivos de referências. Os dispositivos de referência irão calcular a diferença de tempo entre o pedido de localização e a resposta do dispositivo móvel, o qual corresponderá ao tempo de chegada do sinal. Estes dados são enviados para um controlador que, obtendo no mínimo três tempos de chegada de dispositivos de referência não colineares, ou seja, que não estão na mesma reta. A partir disso, é possível calcular a distância destes ao dispositivo móvel através do conhecimento prévio da velocidade de propagação. Para uma melhor precisão pode-se também, levar em consideração o tempo de processamento do dispositivo desde a recepção do pedido até a resposta do mesmo.

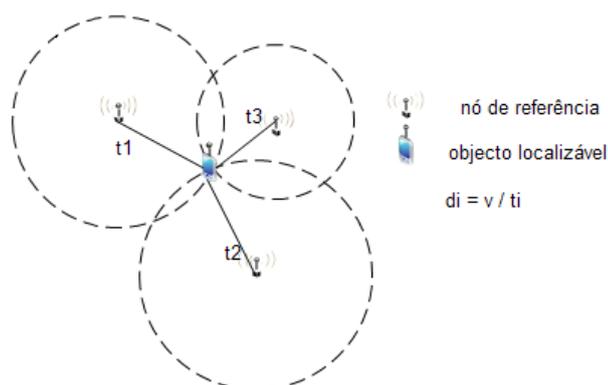


Figura 1 – Representação técnica ToA

Fonte: Brás (2009b)

Na Figura 1 é representada a técnica *ToA*, onde $t1$ a $t3$ representam o *ToA* entre os dispositivos de referência e o dispositivo cuja localização se pretende estimar. Sabendo a velocidade de propagação do sinal é possível calcular a distância entre eles. Esta distância é definida como o raio da esfera centrada num respectivo ponto de referência. A intersecção das esferas (pelo menos três) possibilita a estimativa da posição do dispositivo. (BRÁS, 2009b) No segundo caso, onde o cálculo é efetuado pelo dispositivo, é realizado um envio periódico de mensagens por parte dos dispositivos de referência. Eles enviam uma mensagem indicando quando foi iniciada a emissão do sinal e a sua posição. O dispositivo móvel, ao receber esta mensagem de diferentes dispositivos de referência e sabendo da velocidade de propagação do sinal consegue estimar a distância a que se encontra dos dispositivos de referência. A partir deste momento, através do uso de cálculos geométricos é possível estimar a posição do dispositivo móvel. Existe uma variante desta última técnica, designada *RTOF* (*Radar Time of Arrival*). Nesta técnica o dispositivo mede o intervalo de tempo entre o envio do seu sinal e a recepção da resposta dos dispositivos de referência, desta forma não é necessário o envio da mensagem de tempo. O dispositivo *Active Bat* é um dispositivo que utiliza também a técnica de localização *ToA*, porém requer uma instalação complexa e vários dispositivos sensores para referência (CHEN; CHENG; GUDAVALLI, 2003).

2.2.3 TÉCNICA BASEADA EM TRILATERAÇÃO

Utilizando-se qualquer técnica para estimar a distância entre o nó desconhecido e três nós de referência (d_{i1} , d_{i2} , d_{i3}), a trilateração determina a localização geográfica do nó desconhecido a partir da posição previamente conhecida dos nós de referência através da determinação da intersecção de três círculos com centro nas referências e raios iguais às estimativas de distâncias (SAVVIDES; HAN; STRIVASTAVA, 2001). A partir da estimativa da distância d_{i1} até o nó de referência $R1$ sabe-se que o nó desconhecido deve estar localizado em algum ponto sobre o círculo de raio d_{i1} . O mesmo ocorrendo para as referências $R2$ e $R3$. Sendo assim, a intersecção das circunferências corresponde à localização do nó. A Figura 2 apresenta este cenário de localização utilizando a trilateração para o caso hipotético onde

não consideram-se erros nas estimativas de distância relativa e também para o caso real onde considera-se a ocorrência de erros de medição e então a localização mais provável do nó é em algum ponto da área de intersecção das três circunferências.

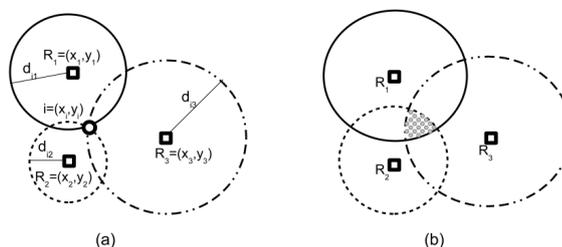


Figura 2 – Trilateração

Fonte: Trevisan (2009)

2.2.4 TÉCNICA BASEADA EM TRIANGULAÇÃO

A triangulação também é um processo para determinar o posicionamento de algo, mas a forma como é calculado difere da trilateração. O cálculo consiste na subdivisão de uma superfície em triângulos. Segundo (BRÁS, 2009b) esta técnica baseia-se nas propriedades geométricas dos triângulos e pode ser baseada na distância como a técnica de (*lateration*), ou na diferença angular como a técnica (*angulation*). Através da medição do tempo de propagação do sinal entre o emissor e os receptores, e sabendo da velocidade de propagação do sinal, é possível estimar a distância do dispositivo. Do mesmo modo, medições do nível de potência recebido, RSSI (*Received Signal Strength Indication*), permitem calcular a distância percorrida do sinal relacionando a potência de emissão e recepção. Através da obtenção de pelo menos três distâncias é possível estimar a localização do dispositivo. Ambos estes casos se encaixam na técnica *lateration*. Na técnica *angulation*, é efetuado o cálculo posicional baseado numa medição angular, onde se estima a posição relacionando a direção de propagação entre o objeto e vários pontos de referência.

2.2.5 TÉCNICA BASEADA EM FINGERPRINT

A técnica de *fingerprint* é uma das mais estudadas dentre os métodos de localização *indoor*. A técnica pode ser definida como um conjunto de dados RSSI relativos a localização, e que pode variar conforme o local. O motivo para utilização desta técnica é o sinal oferecer boas estimativas de referência mesmo em ambientes mais remotos (Zegeye et al., 2016). A técnica consiste em comparar um *fingerprint* com outras referências de uma base para estimar o local. Para que a técnica funcione com precisão é necessário seguir duas etapas. A etapa *online* e *offline*.

Na etapa *offline* (também conhecida como fase de calibração), é montada a base de dados onde ficam armazenados os pontos de referência *fingerprints*. Os processos de

mapeamento variam conforme a necessidade e tamanho do local escolhido. São melhores detalhados no capítulo 3.1.

Na etapa *online* (também conhecida como etapa de teste ou de medição), ocorre a estimativa da localização. Também se for necessário nesta etapa pode ser feita uma diminuição de distância para melhor precisão no *matching* do local encontrado no mapa *fingerprint*.

O principal conceito do mapa *fingerprint* que utiliza referência do sinal é que cada posição tenha características únicas de sinal, semelhante a impressão digital dos dedos, pois assim, é possível localizar o aparelho que se deseja com melhor precisão.

Realizar o mapeamento é a parte mais trabalhosa a ser feita, pois exige grande espaço em armazenamento dependendo de quantos pontos serão mapeados, e da estratégia escolhida. Em alguns casos é necessário até mesmo uma certa dose de criatividade para ambientes mais específicos. Deve-se considerar a interferência do sinal para cada ponto a ser mapeado, diminuindo assim, a margem de erro e captação de ruídos.

2.2.6 TÉCNICA ESCOLHIDA

Após ter uma percepção de como cada técnica funciona e seus requisitos foi possível ter uma ideia sobre cada uma delas, como por exemplo, a trilateração geralmente utiliza somente 3 pontos de referencia onde se conhece as distâncias e os locais de cada um deles. No local escolhido pretende-se trabalhar com mais de 3 pontos de referência então esta técnica não atende objetivamente as expectativas, por outro lado, a técnica baseada em proximidade tem a necessidade de instalação de sensores o qual também não atende ao objetivo que é não ter a necessidade de instalação de aparelhos ou dispositivos. A técnica baseada no tempo de chegada ToA poderia ser utilizada no presente trabalho porém também necessita de instalação de dispositivos e, caso seja feita diretamente exige muita adaptação e cálculos geométricos que podem não ser precisos devido a vários fatores sendo o principal deles a interferência no sinal. Tendo uma breve ideia sobre cada uma das tecnologias optou-se pelo uso da técnica *fingerprint*, pela simplicidade de aplicação, e também para que fosse possível desenvolver, aplicar e testar em um ambiente real.

2.3 REFERENCIAL BÁSICO

2.3.1 SMARTPHONE

Como conta (COUTINHO, 2015), o ano de 2007, foi marcado pelo lançamento do primeiro dispositivo mobile da Apple, o iPhone, que revolucionou o mercado de telecomunicações mundial ao reinventar e redefinir o conceito de *smartphone*, o que futuramente foi considerado por alguns autores como o início de uma nova era, pautada por alterações profundas no modo como as pessoas se relacionam e, conseqüentemente, no modo como as empresas se relacionam com as pessoas. Pode-se notar que nos dias atuais é um acessório indispensável para qualquer pessoa, seja para uso profissional ou pessoal.

2.3.2 ANDROID

O Android é um sistema operacional (SO) baseado no núcleo Linux e atualmente desenvolvido pela empresa de tecnologia Google. Com uma interface de usuário baseada na manipulação direta, o Android é projetado principalmente para dispositivos móveis com tela sensível ao toque como *smartphones* e *tablets*; com interface específica para TV (Android TV), carro (Android Auto) e relógio de pulso (Android Wear). (ANDROID, 2018) O sistema operacional utiliza-se da tela sensível ao toque para que o usuário possa manipular objetos virtuais e também de um teclado virtual. Apesar de ser principalmente utilizado em dispositivos com tela sensível ao toque, também é utilizado em consoles de videogames, câmeras digitais, computadores e outros dispositivos eletrônicos.

2.3.3 ROTEADORES SEM FIO

Um roteador sem fio (*wireless router* em inglês) como ilustrado na Figura 3, é um dispositivo de redes que executa a função de um roteador mas também inclui as funções de um *access point*. Ele é normalmente usado para criar um acesso para Internet ou uma rede de computadores sem a necessidade de cabos para conectá-los. Roteadores Sem Fio são comumente utilizados hoje em dia em lugares como aeroportos e escolas e até mesmo em casas com redes sem fio.



Figura 3 – Roteador WI-FI

Fonte: Luiza (2018)

2.3.4 ACCESS POINT

Access point, AP ou ponto de acesso é um dispositivo que permite interligar duas redes sem fio entre si ou uma rede a vários dispositivos. Em geral, o que diferencia um AP de um roteador é a quantidade de acessos que cada um consegue suportar, sendo o roteador comum inferior. O AP se conecta a uma rede cabeada, e fornece acesso sem fio a esta rede para dispositivos móveis no raio de alcance do sinal de rádio. Há várias formas de configuração de um mesmo dispositivo AP, ponto de acesso (AP) e repetidor (WDS) são os mais convencionais.



Figura 4 – Access Point

Fonte: Digital (2018)

Um exemplo comum de utilização de um AP: uma determinada rede sem fio tem um alcance de 50m e é necessário levar o sinal sem fio a 80 metros do roteador *wireless*. Utilizando um AP com a funcionalidade WDS (*wireless distribution system*) é possível estender a rede sem fio além do alcance original da mesma, neste caso, é comumente conhecido como repetidor de sinal. Há várias outras maneiras de utilizar um AP, como por exemplo WDS, *range extender*, *wireless router*, etc, mas nem todos tem as mesmas possibilidades de interligação.

2.3.5 WI-FI

A expressão WI-FI hoje se tornou um sinônimo para a tecnologia IEEE 802.11, que permite a conexão entre diversos dispositivos sem fio. Amplamente utilizado na atualidade, a origem do termo, diferente do que muito acreditam, não tem um significado específico. A expressão WI-FI surgiu como uma alusão à expressão *High Fidelity* (Hi-Fi), utilizada pela indústria fonográfica na década de 50. Assim, a o termo WI-FI nada mais é do que a contração das palavras *Wireless Fidelity*, algo que se traduzido não representa muito bem a tecnologia em questão (IEEE, 2018).

As redes WI-FI funcionam por meio de ondas de rádio. Elas são transmitidas através de um adaptador, o chamado “roteador”, que recebe os sinais, decodifica e os emite a partir de uma antena. Para que um computador ou dispositivo tenha acesso a esses sinais, é preciso que ele esteja dentro um determinado raio de cobertura do sinal, conhecido como *hotspot*. O raio de cobertura de uma rede WI-FI é variável, de acordo com o roteador e a antena utilizada. Essa distância pode variar em até 50 metros, em ambientes internos, a até 200 metros, em ambientes externos dependendo do aparelho utilizado. O mesmo tráfego de dados ocorre no sentido oposto estabelecendo, assim, a comunicação entre os dispositivos. Amplamente difundido no mercado, o WI-FI hoje busca novos padrões de forma a alcançar velocidades cada vez mais

altas na transferência de dados.

2.3.6 IEEE

O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) ou IEEE é uma organização profissional sem fins lucrativos, fundada nos Estados Unidos. É a maior organização profissional do mundo dedicada ao avanço da tecnologia em benefício da humanidade. O IEEE foi formado em 1963 pela fusão do Instituto de Engenheiros de Rádio (IRE) com o Instituto Americano de Engenheiros Eletricistas (AIEE). O IEEE tem filiais em muitas partes do mundo, sendo seus sócios engenheiros eletricistas, engenheiros da computação, cientistas da computação, profissionais de telecomunicações etc. Sua meta era promover conhecimento no campo da engenharia elétrica, eletrônica e computação, mas atualmente sua abrangência incorpora áreas como a micro e nanotecnologias, ultrassom, bioengenharia, robótica, materiais eletrônicos, e muitos outros. Um de seus papéis mais importantes é o estabelecimento de padrões para formatos de computadores e dispositivos (IEEE, 2018).

2.4 TRABALHOS RELACIONADOS

Nessa seção apresenta-se alguns trabalhos e pesquisas com temas relacionados a este, depois apresenta-se também, algumas aplicações que contém partes que serão usadas como referência na aplicação do presente trabalho.

2.4.1 LOCALIZAÇÃO INDOOR BASEADA NA LEITURA BIDIRECIONAL DO RSSI

O trabalho de (BELLECIERI; JABOUR; JABOUR, 2016) aborda a elaboração de um método de estimativa de distância em uma rede sem fio, para ambientes internos, considerando a necessidade de adaptação para diferentes tipos de ambiente, devido ao grau de interferência presente no meio. O método é fundamentado na leitura bidirecional do RSSI (Receive Signal Strength Indicator) e visa minimizar o erro das estimativas de distância baseadas na intensidade do sinal.

2.4.2 LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÃO SEM FIO UTILIZANDO TRILATERAÇÃO

A possibilidade de identificar a posição física de uma estação permite o desenvolvimento de uma série de novas funções, tais como identificação de recursos próximos ao usuário, ou até mesmo de mecanismos de restrição de acesso a determinados recursos, de acordo com esta informação. Existem diversas técnicas para que se possa localizar uma estação sem fios em uma determinada área geográfica, seja ela limitada a alguns metros quadrados ou ambientes abertos. O trabalho de (BISATTO; PERES, 2020) propõe a implantação de algoritmos para obtenção de localização de estações sem fio, baseada na técnica de trilateração.

2.4.3 WI-FI RSS FINGERPRINTING INDOOR LOCALIZATION FOR MOBILE DEVICES

Embora a localização interna baseada em WI-FI seja atraente, a necessidade de um grau significativo de esforço de pré-implantação é um desafio importante. No trabalho de (Zegeye et al., 2016), a localização interna sem nenhum esforço de pré-implantação em um espaço interno, como um corredor de prédio de escritórios, com cobertura WI-FI, mas nenhum conhecimento a priori da localização dos pontos de acesso (APs) é implementado para dispositivos móveis. A força do sinal de WI-FI recebido (RSS) no ambiente considerado é usada para construir mapas de rádio usando a abordagem de impressão digital de WI-FI. Uma impressão digital RSS *offline* do ambiente é comparada com uma medição RSS online para estimar a localização de um usuário. Duas arquiteturas são desenvolvidas com base nesse algoritmo de localização. O primeiro envolve uma abordagem cliente-servidor em que o algoritmo de localização é executado no servidor, enquanto o segundo é uma arquitetura autônoma e o algoritmo é executado no cartão SD do dispositivo móvel. Resultados experimentais no ambiente considerado validam a abordagem para ambas as arquiteturas.

Importante mencionar também, que os resultados obtidos no trabalho citado tiveram média de 10m ou menos em 67% dos testes, que foram realizados um total de 40. Para o presente trabalho espera-se atingir um resultado parecido ou até mesmo melhor, visto que serão utilizados mais pontos de referência, porém o ambiente muito maior pode dificultar no resultado de precisão devido a interferência.

2.5 APLICAÇÕES RELACIONADAS

Nesta sessão serão abordados algumas aplicações *mobile* que fazem o mesmo ou semelhante ao objetivo deste trabalho.

2.5.1 WI-FI ANALYZER

A ferramenta *Wifi Analyzer* tem como objetivo identificar o melhor canal para seu roteador *wireless*. Contudo pode-se notar na Figura 5, que são apresentadas todas as redes disponíveis e também, o nível de sinal de cada uma delas. Sendo assim, pode-se usar uma lógica parecida para medir o sinal das demais redes (FARPROC, 2020).

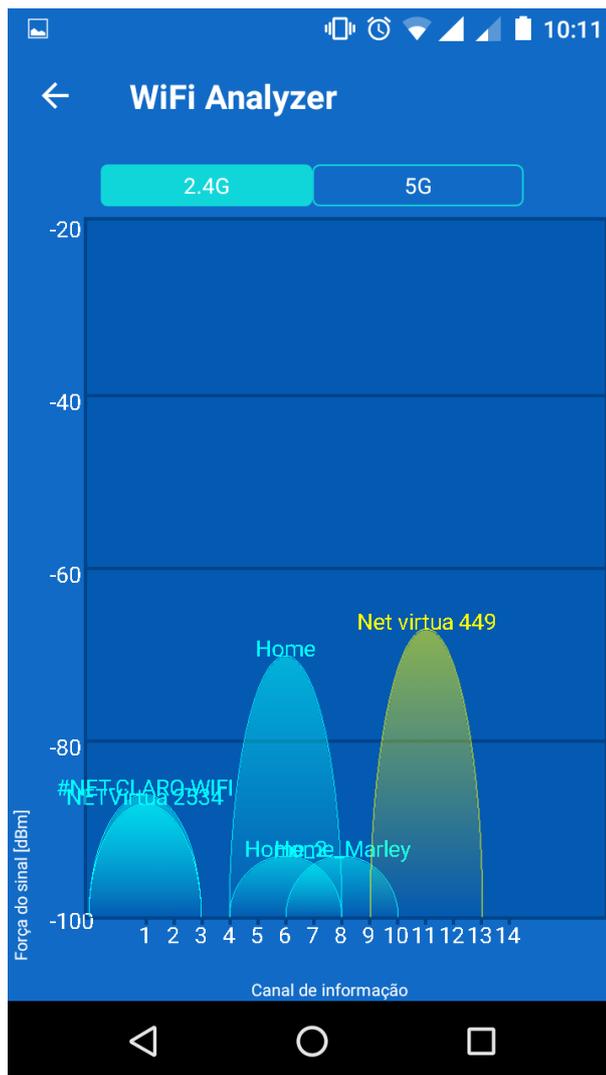


Figura 5 – Aplicação WI-FI Analyzer

Fonte: O Autor

2.5.2 WI-FI HEATMAP

O aplicativo *Wifi Heatmap* é utilizado normalmente para descobrir informações sobre a rede, encontrar canais ideais para redes sem fio, medidor de sinal, informações sobre a rede e relatórios da rede. Também famoso por criar com facilidade mapas de calor (*heatmap*) da rede sem fio onde é carregado ou desenhado uma imagem do ambiente e o usuário passa a caminhar pelo local montando os pontos. Após montar os pontos ele cria um mapa de calor mostrando onde ficam as áreas com melhor sinal. Na Figura 6 pode-se observar a tela inicial do aplicativo demonstrando informações sobre a rede conectada como intensidade do sinal, velocidade da rede, frequência, canal, e até mesmo equipamento (HEATMAP, 2020).



Figura 6 – Aplicação WI-FI Heatmap

Fonte: O Autor

2.5.3 SISTEMA DE POSICIONAMENTO MÓVEL CELULAR

Cell Based Positioning é o sistema de localização utilizado em redes móveis celulares cujo desenvolvimento foi impulsionado principalmente pelos EUA para provisionamento de localização de assinantes para serviços de emergências. O terminal móvel deve ser capaz de avaliar o enlace até pelo menos 3 estações rádio bases e estimar a distância até as mesmas. Sua posição é então estimada num processo de trilateração (explicado na Figura 2) com base nas coordenadas fornecidas pelas estações rádio base. Atualmente aplicações de LBS (*Location Based Services* - Serviços Baseados em Localização) estão sendo pesquisados com o objetivo de oferecer serviços dependentes da localização do cliente. A aplicação deste sistema em redes sem fio é bastante restrita devido à grande distância entre as estações rádio base, o que implica em erros nas estimativas de distancia maiores que os requeridos para a maioria das aplicações. A localização em redes móveis celulares se dá com precisão de 50m a 100m (ILYAS; MAHGOUB, 2004)

2.6 DIFERENCIAL TECNOLÓGICO

Os trabalhos aqui citados como relacionados, tem a mesma finalidade que é a localização do dispositivo em um ambiente *indoor*. Alguns utilizam sensores, antenas direcionais e outros aparelhos, porém este trabalho visa o desenvolvimento de uma aplicação onde não seja necessário o uso de equipamentos além do próprio *smartphone* e o sinal das redes disponíveis. Outro fato interessante na solução aqui apresentada, é ter a opção de poder ou não ser localizado, tendo isso controlado através de um botão onde a localização poderá ser ativada ou desativada, semelhante ao sistema de localização GPS do celular, permitindo assim, que o usuário do aplicativo escolha ser localizado ou não. O presente trabalho visa também, a facilidade de mapeamento e implantação, não dependendo assim, de nenhum outro acessório externo ao que já é utilizado no dia a dia.

Importante também considerar que em trabalhos como (Zegeye et al., 2016) é mencionado que mapas do tipo *fingerprint* possuem a vantagem de não necessitar a localização dos AP's. Neste trabalho entretanto, é destacada a posição de cada AP a fim de melhorar a precisão da localização e ter possibilidade de realizar um estudo de caso de qual seria a melhor posição para captura de sinal de cada um. No presente trabalho saber da localização dos AP's facilita os testes pois é possível ter uma melhor noção quando retornada um determinado local.

Trabalhou-se também com mais AP's como pontos de referência que os demais e também em um ambiente maior. Quanto mais pontos de referência tem-se disponível para trabalhar, melhor fica o mapeamento do local, pois dessa forma tem-se uma boa cobertura em todo o ambiente.

Como os dados são enviados automaticamente para uma API, pode-se considerar que tem-se disponível um histórico de locais dos usuários. Isto pode também, dependendo da necessidade, ser utilizado para diversas outras situações.

No presente trabalho optou-se também, por exibir estes dados de forma clara, por isso além da localização identificada, os dados são enviados a uma API, que disponibilizará todos os locais e horários por onde o aparelho esteve. Para consulta e fácil leitura destes dados, é utilizado um BOT na plataforma Telegram, o qual faz a consulta na API e retorna os dados que realmente importam de forma clara e objetiva em uma mensagem personalizada.

3 LOCALIZAÇÃO POR FINGERPRINT

3.1 ESTRATÉGIA DE MAPEAMENTO POR FINGERPRINT

No método *fingerprint* a ideia básica por trás do algoritmo de localização é construir mapas de rádio do RSS no ambiente interno considerado e definindo o problema de localização como uma otimização. Essa abordagem não depende de recursos específicos ou dispositivos ou sequer sensores. Na fase *offline* desta abordagem, mapas de rádio da área consideradas pontos de localização são construídos a partir dos valores RSSI medidos. Em seguida, a localização estimada do dispositivo é calculada por uma função que resolve o problema de otimização, a fase *online* (fase de estimativa).

Utilizou-se de uma estratégia manual de mapeamento idealizada de forma que pudesse ser obtido a média de sinal de cada local definido no mapa da Figura 10. Para isso utilizando-se do aplicativo *Wireless Scanner* - (Figura 8) para realizar alguns *scans*, e identificar as redes e seus respectivos endereços de MAC. Em cada ponto de referência foi feito *scan* da rede pelo menos 15 vezes e então calculada a média de cada local. Além do aplicativo, utilizou-se de um modelo de anotação manual para marcar os sinais existentes em cada local. Quando o valor era inexistente considerava-se nulo ou representado também com o valor -100 o qual posteriormente seria tratado no algoritmo. Esta fase de mapeamento pode também ser chamada de fase de calibração.

Após utilizar este método, passados os dados para uma planilha CSV (*Comma-separated values*) tem-se o resultado no Apêndice A. Os sinais já estão referenciados na tabela utilizando o final do endereço MAC de cada AP, que também é a variável de referência para o algoritmo.

Localização de um usuário

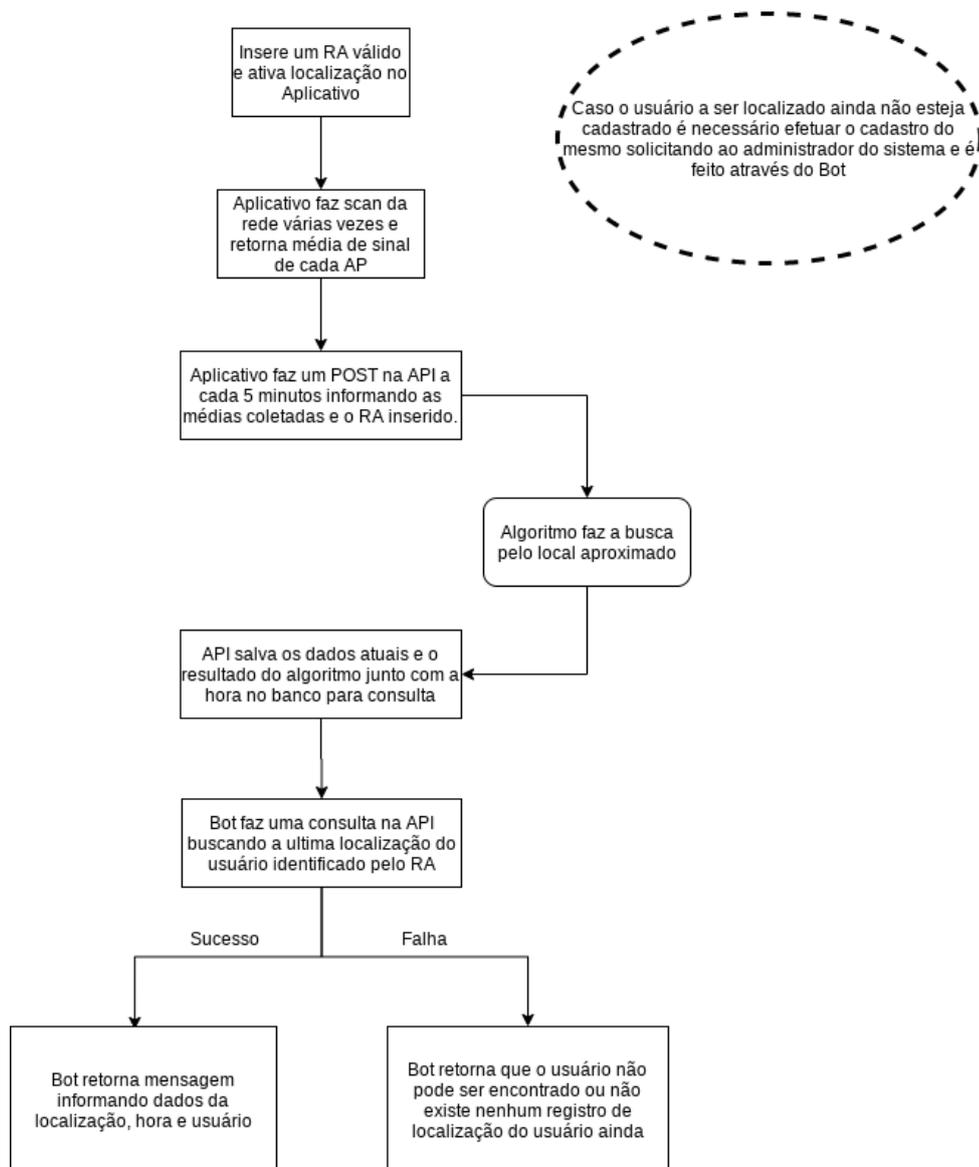


Figura 7 – Diagrama de funcionamento

Fonte: O Autor

Como é possível se observar na Figura 7 o funcionamento final do presente trabalho baseia-se em realizar o *scan* das redes locais algumas vezes, tirar uma média do sinal e comparar com a base de dados para achar a posição mais próxima. Após isso, os dados de localização do usuário estará disponível na base de dados da API para consulta.

3.2 CAPTURA DO SINAL

Inicialmente, capturar o sinal *wireless* utilizando o próprio sistema Android não foi possível devido a existência de redes ocultas que não eram visualizadas no sistema convencional. Utilizando a documentação do Android é possível desenvolver pequenas aplicações que permitem fazer um *scan* da rede e identificar a intensidade do sinal no momento. Portanto, o primeiro

passo foi o desenvolvimento de uma aplicação que mostrasse as redes ocultas do ambiente e também para medir a força dos sinais e então, dessa forma, realizar o mapeamento do local.



Figura 8 – WI-FI Scanner

Fonte: O Autor

Observa-se na Figura 8 o aplicativo nominado *WIFI Scanner*. Através deste aplicativo é possível obter os dados que serão utilizados para realizar a fase *offline*, do mapa *fingerprint*. Dentre os dados que pode-se obter, foram extraídos os seguintes dados:

- SSID
- RSSI
- MAC Address
- Security type

Dos dados extraídos trabalha-se com dois principais que são o RSSI, e o endereço de MAC. Conforme foram feitos experimentos foi notado que não é recomendável utilizar o SSID como referência, porque isso pode e é alterado com frequência. Já o MAC é um endereço que também pode ser alterado mas são bem raros os casos em que isso ocorre. É um valor que vem predefinido de fábrica e somente em casos específicos tem seu valor alterado. O RSSI é um valor que muda constantemente, e por isso a importância de fazer vários *scans*. O sinal tem uma grande variação e objetos, pessoas, estruturas e outros podem interferir diretamente em seu valor. Por isso, foram feitas várias medições para obter uma média que é o valor aproximado para aquele local.

3.3 AMBIENTE DE TESTES

O bloco B da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Câmpus Guarapuava foi o local escolhido para aplicação dos testes. O bloco possui um corredor medindo aproximadamente 60 metros de comprimento por 16 metros de largura. Possui 6 AP's os quais foram utilizados para a coleta de sinal.

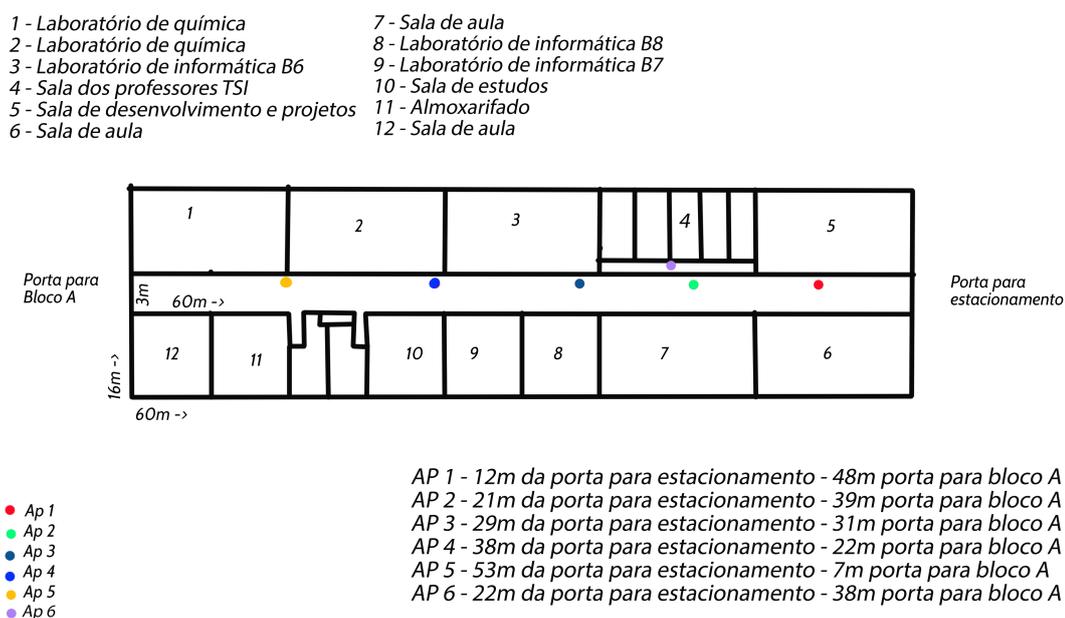


Figura 9 – Bloco B - UTFPR

Fonte: O Autor

Após identificar a posição dos AP's e identificá-los pelo endereço MAC, foi feito um mapeamento manual de 40 pontos divididos conforme o tamanho de cada sala e corredor como pode ser observado na Figura 10.

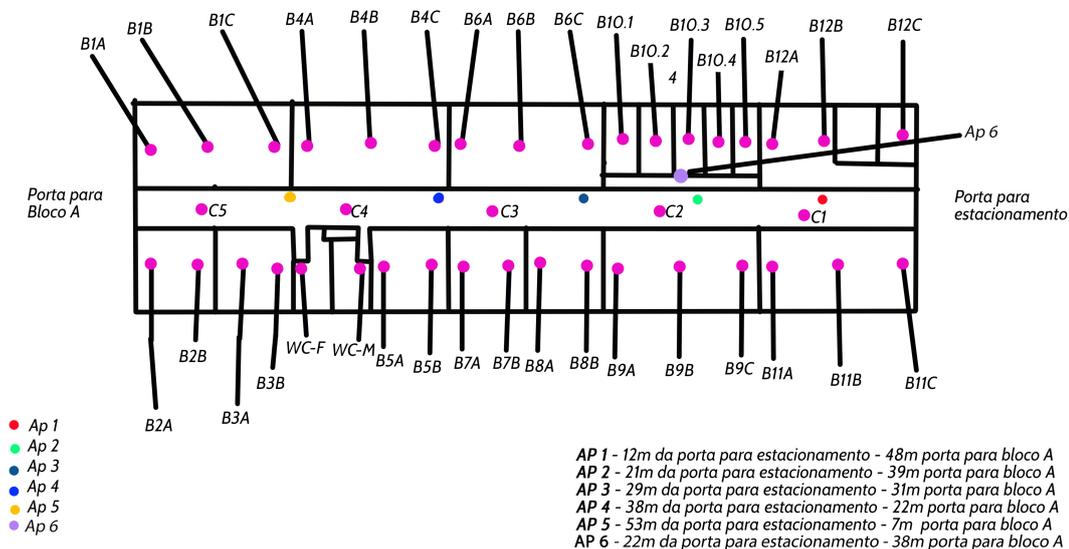


Figura 10 – Pontos mapeados no bloco B - UTFPR

Fonte: O Autor

A seguir, na Tabela 1 é possível visualizar os dados de cada AP que foi mapeado. No cenário atual, os AP's tem o mesmo SSID, porém diferentes endereços de MAC. Isso se dá devido ao formato de rede multicelular que é utilizado, onde todos os aparelhos reproduzem o mesmo SSID. Observando a Tabela 1 é possível notar que o parâmetro que permite identificar cada AP é o endereço MAC. Nota-se também que cada aparelho reproduz pelo menos 3 instâncias do sinal SSID. Neste caso, é possível notar também que o final das MAC's são iguais, quando pertencem ao mesmo aparelho, ou seja, para o Ap1 todas as MAC's geradas terminam em C7 e assim consecutivamente até o Ap5. Todos possuem finais iguais, e este foi o método utilizado para identificar de onde vem cada SSID, e qual aparelho está instanciando aquele sinal.

Tabela 1 – Tabela de endereços MAC's e nomes SSID's

Nº Ap	Nome Ap (SSID)	MAC 1	MAC 2	MAC 3
Ap1	UTFPRWEB	EE:9F:DB:F2:88:C7	DE:9F:DB:F2:88:C7	FE:9F:DB:F2:88:C7
Ap2	UTFPRWEB	80:2A:A8:2C:7D:F5	82:2A:A8:2D:7D:F5	92:2A:A8:2D:7D:F5
Ap3	UTFPRWEB	DC:9F:DB:F3:88:D0	DE:9F:DB:F3:88:D0	EE:9F:DB:F3:88:D0
Ap4	UTFPRWEB	80:2A:A8:2C:7D:F6	82:2A:A8:2D:7D:F6	92:2A:A8:2D:7D:F6
Ap5	UTFPRWEB	24:A4:3C:4C:CA:C8	26:A4:3C:4D:CA:C8	36:A4:3C:4D:CA:C8
Ap6	COINT-TSI	80:2A:A8:2D:7E:2A		

Fonte: O autor

3.4 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

Para coleta de dados foi realizado o mapeamento manual do local a fim de testar e aprimorar os resultados. Inicialmente foi feita a coleta de dados dez vezes para cada ponto sendo 40 pontos de mapeamento que podem ser vistos com maiores detalhes na Figura 10. O mapeamento foi complexo devido a necessidade de desenvolvimento de uma ferramenta específica para o caso. Nesta universidade todos os AP's tem o mesmo SSID, ou seja, o nome que é exibido. Sendo assim não é perceptível para o usuário quando muda o aparelho, pois nos aparelhos celulares convencionais só é apresentado um único sinal SSID como se fosse realmente somente uma rede. Ao desenvolver uma ferramenta que mostra todas as redes disponíveis e seus devidos endereços MAC's foi possível entender melhor como realmente funcionava o ambiente e somente através desta ferramenta foi possível realizar o mapeamento do local com maior precisão.

3.5 FATORES DE VARIAÇÃO DO RSSI

Existem muitos fatores que influenciam o valor de RSSI em ambientes *indoor*. Entre eles podemos considerar pessoas, objetos, móveis, e até mesmo outros aparelhos conectados (TADAKAMADLA, 2006).

Segundo (PERES, 2010), os sinais de rádio frequência são vulneráveis a influências de fenômenos de propagação que podem alterar suas características. Dentre estes fenômenos, pode-se citar a atenuação, reflexão, refração, difração, dispersão, além da presença de ruídos e interferências que podem estar presentes e todos estes tem influência diretamente na qualidade e propagação do sinal.

A propagação dos sinais de rádio pode sofrer alterações conforme o ambiente em que o AP estiver instalado. Em ambientes internos, todos os objetos se tornam obstáculos para a propagação do sinal, os quais prejudicam significativamente a comunicação entre os aparelhos. Segundo (TADAKAMADLA, 2006) estes são alguns exemplos de fatores que podem afetar o sinal RSSI:

- **VARIABILIDADE DO TRANSMISSOR** Transmissores diferentes não conseguem transmitir o sinal na mesma potência mesmo se configurados da mesma maneira. O transmissor irá transmitir a uma potência próxima. Em casos de transmissores diferentes e configurações diferentes pode ter grande efeito no sinal RSSI.
- **VARIABILIDADE DO RECEPTOR** A sensibilidade dos receptores de rádio podem ser diferentes. Isso significa que se usados diferentes aparelhos receptores do sinal RSSI o mesmo pode diferir para cada aparelho em questão.
- **ORIENTAÇÃO DA ANTENA** Cada antena tem o seu próprio diagrama de radiação

que não é uniforme e também seu meio de dispersão ou propagação. Existem antenas direcionais, unidirecionais, entre outras. Isto significa que o valor de RSSI medido no receptor para um nó de comunicação, e uma certa distância pode variar conforme a orientação das antenas do receptor e transmissor.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DEFINIÇÃO DAS TECNOLOGIAS

Em um primeiro momento, foram definidas as tecnologias a serem utilizadas. É importante ressaltar que o projeto foi desenvolvido levando em consideração as limitações impostas pelas tecnologias definidas e ambiente escolhido. Levando isso em consideração, é importante que a escolha seja feita com base nas quais atendam as necessidades do presente trabalho. Para a escolha, critérios como a comunidade relacionada, facilidade de acesso, eficácia, documentação entre outros são fatores cruciais a serem considerados.

4.2 ESTUDO DAS TECNOLOGIAS

Esta etapa é constituída por diversas pesquisas na Internet, em livros, documentações, manuais, entre outros, referentes a todas as tecnologias que serão utilizadas no trabalho, até que seja formada uma base de conhecimento necessária para dar início ao desenvolvimento propriamente dito. Vale lembrar também, que o estudo da literatura disponível se estende durante todo o desenvolvimento da solução.

4.2.1 ESCOLHA DAS TECNOLOGIAS

No presente trabalho foram apresentados alguns algoritmos de trabalhos como (PIRES *et al.*, 2011) e (SILVA *et al.*, 2014) demonstram fórmulas que calculam a distância entre dois objetos baseando-se também na intensidade do sinal, porém de forma muito sistemática e levando em conta diversos fatores. Porém, em (JAMES; KEITH, 2006) encontra-se uma fórmula mais interessante para o objetivo do presente trabalho. Contudo ao testar, notou-se que haviam métodos ainda melhores e mais eficientes para o objetivo. Decidiu-se, então, pelo método *fingerprint* neste trabalho, já explanado na Seção 3.1.

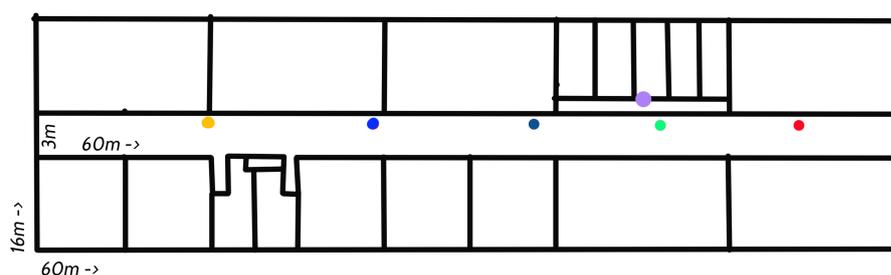
4.2.2 ESTUDO SOBRE MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO

Além do que já citado na Seção 4.2.1, é correto afirmar que houve estudo amplo sobre métodos de localização *indoor* e o ambiente alvo para utilização. Os métodos estudados foram ToA (Seção 2.2.2), triangulação (Seção 2.2.4), técnica baseada em proximidade (Seção 2.2.1) entre outros não citados, e também alguns métodos utilizando sensores. Para cada método estudado, foi feita uma análise comparando o ambiente a ser utilizado para entender qual a melhor aplicação para o contexto atual. Nessa análise levou-se em consideração ambiente, implantação, materiais necessários e viabilidade.

4.3 AMBIENTE

O ambiente escolhido para aplicar o experimento foi um ambiente real comum, com alta circulação de pessoas, variações do sinal, e possíveis interferências, tornando assim o trabalho ainda mais desafiador, porém também mais amplo e realista.

Na Figura 11 pode-se visualizar de forma simplória um desenho representativo do ambiente o qual foi mapeado a média do de sinal de 6 aparelhos AP's e armazenados em uma base de dados.



- Ap 1
- Ap 2
- Ap 3
- Ap 4
- Ap 5
- Ap 6

Figura 11 – Planta simples - Bloco B

Fonte: O Autor

5 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

Tendo definido as tecnologias e materiais necessários para que a aplicação possa tornar-se funcional, deu-se início ao desenvolvimento e prototipagem da solução, o qual pode-se, de maneira simplória separar em algumas partes citadas abaixo:

- Desenvolvimento do aplicativo para escaneamento das redes
- Desenvolvimento do algoritmo de localização
- Desenvolvimento do aplicativo para *smartphone*
- Desenvolvimento de uma API para armazenamento dos dados
- Desenvolvimento de um BOT para localização do usuário

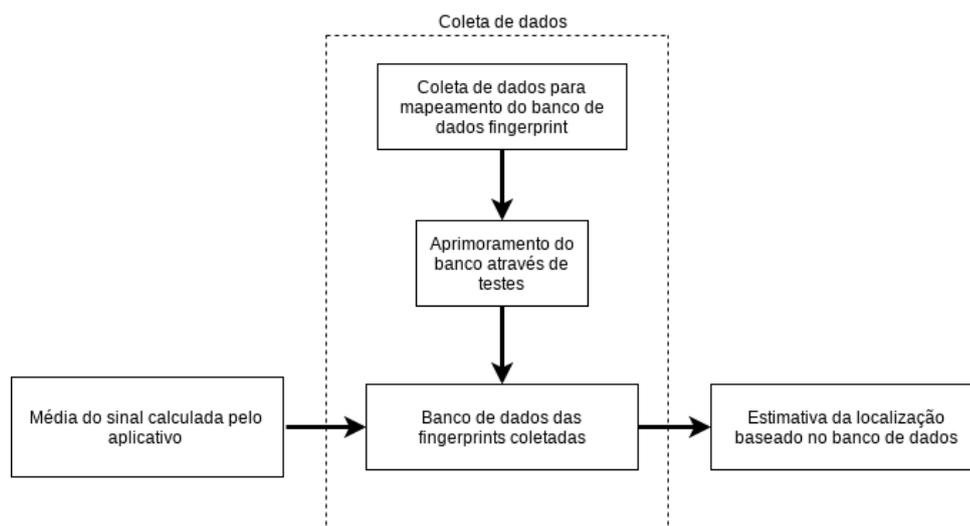
Importante ressaltar que em todas as fases, houve sempre uma grande demanda de tempo gasto estudando, lendo e assistindo sobre cada tema. Também houveram muitos testes de possíveis ferramentas, linguagens, *softwares*, etc que poderiam ser utilizadas para o presente trabalho.

5.1 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO PARA ESCANEAMENTO DAS REDES

No Capítulo 3.2 são dados mais detalhes do funcionamento do aplicativo *wireless scanner*, o qual foi desenvolvido para encontrar redes que não são visíveis diretamente pelo celular e também conseguir obter dados como *MAC address* entre outros.

5.2 DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO

Com a necessidade de desenvolver um algoritmo que dado os parâmetros de média de sinal de cada AP o algoritmo deve encontrar dentre os locais medidos, qual é o vetor que mais se aproxima do valor passado por parâmetro. Espera-se que o aplicativo faça um *scan* das redes próximas algumas vezes, tire uma média, monte um vetor com os endereços de MAC cadastrados e envie estes valores para nosso *webservice*, o qual vai executar nosso algoritmo e resultar no vetor mais próximo do parâmetro enviado se constar na base de dados e atender a margem de erro estipulada. Na Figura 12 é possível observar o diagrama de funcionamento no método *fingerprint*.

Figura 12 – Diagrama de funcionamento do *fingerprint*

Fonte: O Autor

Após a fase de calibração onde foi obtido um mapa de sinais, é passado agora para a fase operacional, onde o algoritmo desenvolvido precisa relacionar os sinais existentes no banco de dados com o local enviado. O algoritmo foi escrito utilizando a linguagem de programação Python na versão 3.6.9 e a biblioteca NumPy na versão 1.18.2. A escolha da linguagem se deu a simplicidade de lidar com vetores e manipulá-los utilizando a biblioteca NumPy (LIBRARY, 2020). Na figura 13 é possível visualizar um exemplo do algoritmo com o valor de entrada e os devidos retornos impressos diretamente no terminal. Neste caso, está sendo enviado um *array* onde cada valor representa uma média de sinal de um dos pontos. Como são um total de seis AP's são passados seis valores e caso o AP não esteja no alcance e seu sinal seja inexistente o valor é enviado como -100.

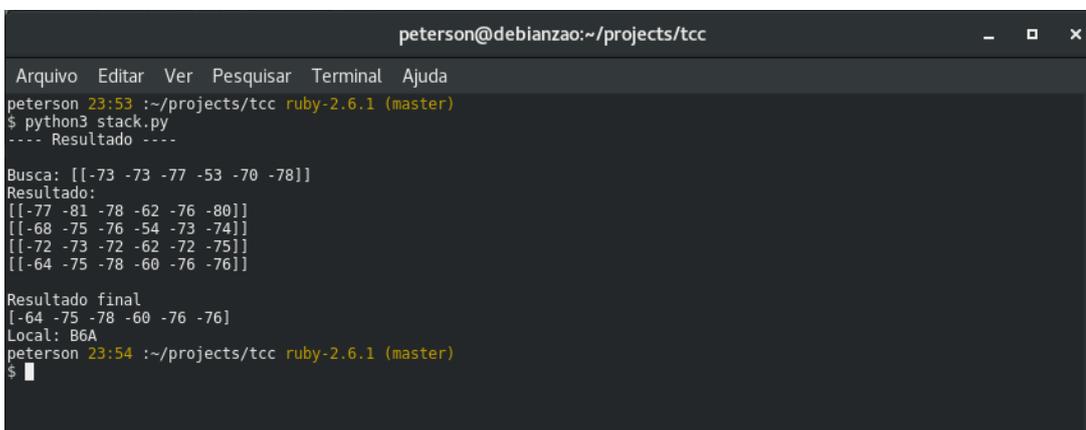
```
peterson@debianzao:~/projects/tcc
Arquivo Editar Ver Pesquisar Terminal Ajuda
peterson 23:40 ~/projects/tcc ruby-2.6.1 (master)
$ python3 stack.py
---- Resultado ----
Busca: [[-100 -67 -63 -49 -53 -48]]
Resultado:
[[[-100 -70 -68 -55 -53 -55]]]
Local: WC-M
peterson 23:40 ~/projects/tcc ruby-2.6.1 (master)
$
```

Figura 13 – Retorno do algoritmo

Fonte: O Autor

Algumas vezes o algoritmo retorna mais do que um possível local que também se encaixa na margem de erro pré definida, assim como pode ser visto na Figura 14. Cada um dos *arrays* retornados referem-se a um ponto mapeado no mapa de sinal. Nesse caso, o retorno é

exibido porque todos se encaixam na margem de erro que era de dez positivo ou dez negativo. Desta forma, todos os valores mostrados estão entre estes, porém somente é salvo no *web service* o valor que mais se aproximar do parâmetro informado.



```
peterson@debianzao:~/projects/tcc
Arquivo Editar Ver Pesquisar Terminal Ajuda
peterson 23:53 :~/projects/tcc ruby-2.6.1 (master)
$ python3 stack.py
---- Resultado ----
Busca: [[-73 -73 -77 -53 -70 -78]]
Resultado:
[[-77 -81 -78 -62 -76 -80]]
[[-68 -75 -76 -54 -73 -74]]
[[-72 -73 -72 -62 -72 -75]]
[[-64 -75 -78 -60 -76 -76]]

Resultado final
[-64 -75 -78 -60 -76 -76]
Local: B6A
peterson 23:54 :~/projects/tcc ruby-2.6.1 (master)
$
```

Figura 14 – Retorno do algoritmo com mais de um resultado

Fonte: O Autor

Os valores de entrada referente a Figura 13 referem-se ao local WC-M (banheiro masculino), o qual retornou o local com sucesso. Porém na Figura 14 os valores de entrada são referentes ao local B6B porém o local retornado pelo algoritmo foi o B6A, o que mostra que o algoritmo não atinge 100% de precisão. São apresentados mais detalhes sobre a precisão da localização na Seção 6.1.

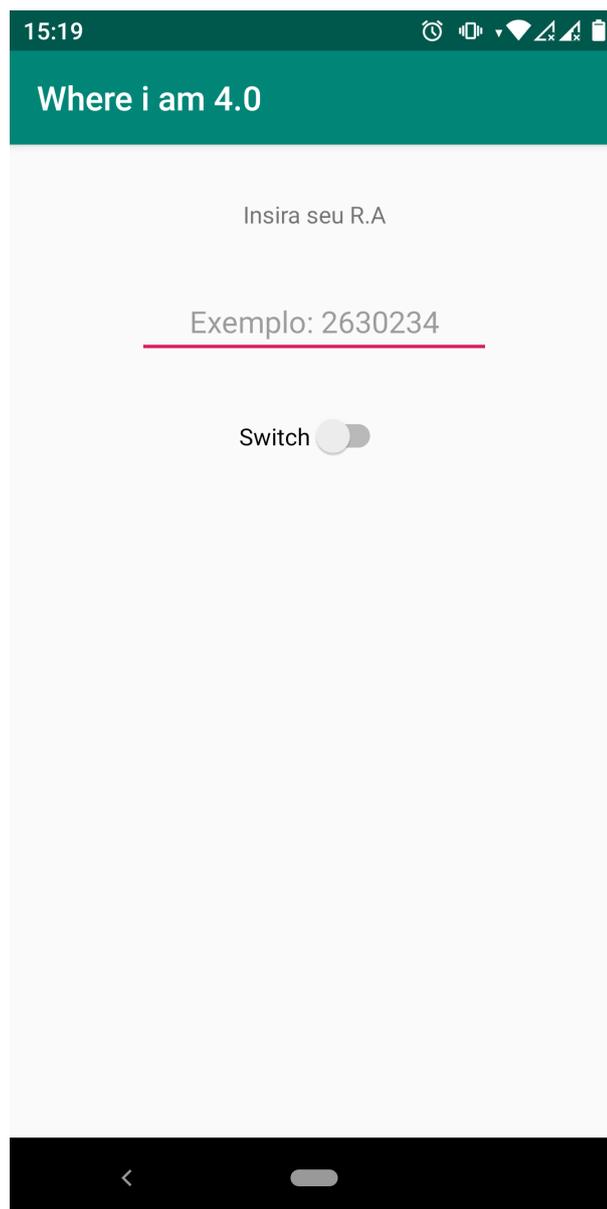
5.3 DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO PARA SMARTPHONE

Para desenvolvimento do aplicativo foi utilizado a IDE de desenvolvimento *Android Studio* e a linguagem de programação Java. A aplicação tem somente uma tela inicial a qual recebe o valor do RA do aluno, professor, ou colaborador a ser localizado e um botão para permitir a localização. A localização pode ser desativada quando necessário e é atualizada automaticamente rodando em *background* no aparelho celular a cada 15 minutos. O tempo mínimo de atualização permitido é de 15 minutos devido a uma limitação diretamente do *Android*. A simplicidade da aplicação facilita o uso como pode ser visto na Figura 15.

Na Figura 15 também pode-se ver a tela inicial do aplicativo, o qual oferece um campo editável de números onde deverá ser inserido o RA da pessoa a qual deseja ser localizada. Após inserido o RA, basta ativar a localização com o botão abaixo. Caso seja necessário desativar a localização, pode-se desligar pelo mesmo botão na tela inicial do aplicativo.

5.4 DESENVOLVIMENTO DE UMA API PARA ARMAZENAR OS DADOS

Para que os dados de localização pudessem ser consultados de alguma forma, foi necessário o desenvolvimento de uma API que foi utilizada para comunicação com o aplicativo

Figura 15 – Aplicativo *Where I Am* - Tela inicial

Fonte: O Autor

do celular o qual realiza POST's (Envio de dados para a base de dados) diretamente no servidor, e para consulta de dados são feitas solicitações utilizando o método GET, o qual retorna dados no formato JSON. A API foi desenvolvida utilizando linguagem de programação Python com a biblioteca Flask ([FLASK WEB DEVELOPMENT, 2020](#)). Na API é possível cadastrar um usuário com informações básicas bem como nome, RA, setor onde trabalha e cargo. Feito o cadastro este estará apto a ser localizado inserindo seu RA no aplicativo e ativando a localização.

5.5 DESENVOLVIMENTO DE UM BOT PARA LOCALIZAÇÃO DO USUÁRIO

O Telegram é um serviço de mensagens instantâneas baseado na nuvem. O Telegram está disponível para *smartphones* ou *tablets*, computadores e também como Aplicação web (TELEGRAM, 2020). Sua interface e uso é muito semelhante ao seu concorrente *WhatsApp*, porém diferente de seu concorrente, o Telegram oferece suporte para BOT's, o que facilitou consideravelmente na decisão de como, e onde expor a localização de cada usuário quando consultado. O BOT foi desenvolvido em linguagem de programação Python na versão 3.6.9 e após concluído, hospedado na plataforma Heroku.

Foi criado um grupo na plataforma Telegram gerenciado pelo BOT. O BOT responde a comandos para localizar usuários baseado no RA. É feita uma consulta na API, o BOT recebe a resposta no formato JSON, e converte para uma mensagem personalizada. Através do BOT também é possível gerenciar usuários, mas somente com acesso restrito a administradores.

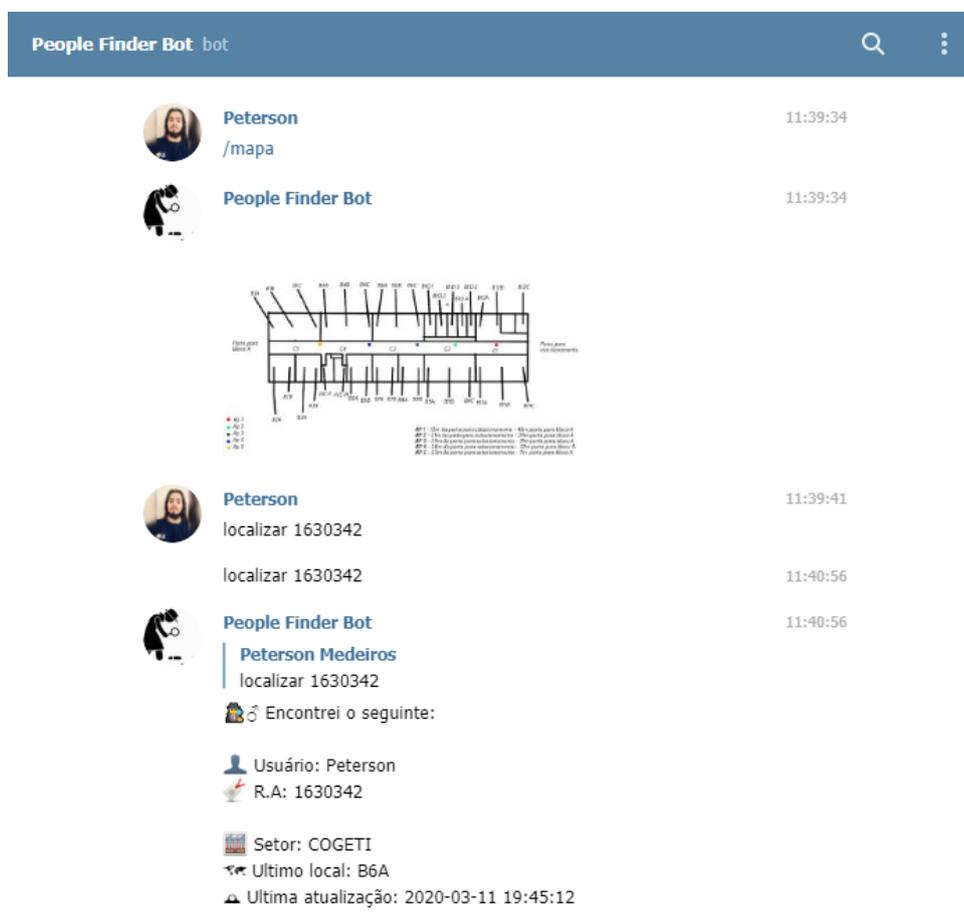


Figura 16 – Funcionamento do BOT

Fonte: O Autor

Como observado na Figura 16 existe também, um comando para visualizar o mapeamento do local e entender melhor os locais que são retornados.

6 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesse capítulo, serão apresentados todos os resultados obtidos juntamente com suas análises. Serão expostos também problemas e dificuldades encontradas durante o desenvolvimento da aplicação, e também possíveis soluções.

6.1 REALIZAÇÃO DOS PRIMEIROS TESTES

Após o desenvolvimento e codificação da aplicação foram feitos os testes nas funcionalidades com o objetivo de identificar quaisquer erros que possam prejudicar o sistema, garantindo assim, o funcionamento de acordo com os objetivos anteriormente propostos, verificando a estabilidade e consistência dos dados enviados e recebidos através da aplicação, efetuando correções e mudanças sempre que necessário.

6.2 PRINCIPAIS RESULTADOS

Inicialmente foi feita uma primeira sequência de testes com total de 40 testes em locais diferentes, o aparelho estava parado e com a configuração inicial fazendo cinco *scans* nas redes com intervalo de 15 segundos entre cada *scan*. Os resultados obtidos com estes parâmetros tiveram a localização exata em 3,8% dos casos, porém vale lembrar que a localização exata abrange uma margem de erro de 5 metros. Considerando os testes que retornaram a localização na mesma sala, este número aumenta para 38%. Os demais testes tiveram a margem de erro abaixo dos 20 metros. Levando em consideração o bloco como um todo a taxa de acerto é de 100% pois quando se estava nos blocos próximos não retornava local algum.

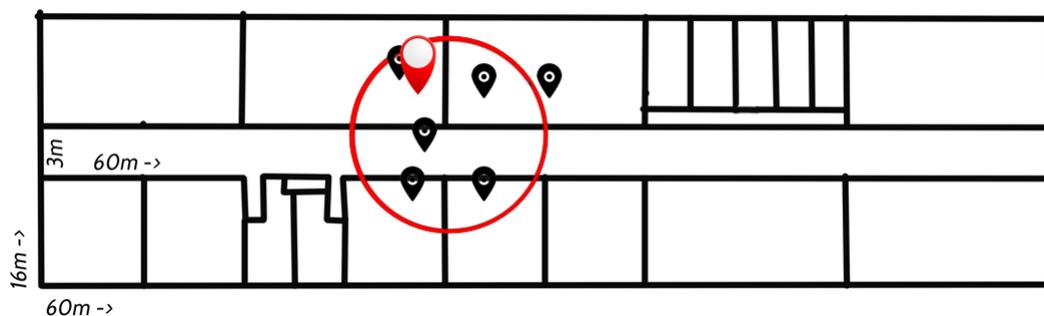


Figura 17 – Margem de erro dos primeiros testes

Fonte: O Autor

A Figura 17 ilustra de forma simplória uma medida de localização pelo mapa de sinais. Nela, tem-se uma marca vermelha que representa o ponto de onde está o aparelho, e demais pontos próximos que fazem parte do mapa, os que ficam dentro do círculo vermelho muitas

vezes são apresentados junto ao resultado da busca no mapa de sinais conforme mencionado anteriormente na Figura 14. Em alguns casos os pontos retornados são os que mais tem sinais fortes, isso se da devido a interferências no ambiente como portas, pessoas, outros aparelhos, etc. Em alguns casos o sinal do aparelho que está mais longe fica melhor do que o que está mais próximo devido também ao modo de propagação do sinal via ondas de rádio, o qual é espalhado em ondas no sentido horizontal.

Após a primeira etapa de testes notou-se que o resultado poderia ainda ser melhorado, então foi feita uma nova sequência de testes, desta vez foram realizados 53 testes com novos parâmetros, sendo alterado a quantidade de *scans* para 10, e o tempo de intervalo entre cada *scan* para 30 segundos e com o aparelho parado. Sendo assim, esperava-se um melhor resultado visto que isso poderia diminuir gradativamente a captação de interferências e ruídos. O resultado atendeu as expectativas e dessa vez 33% dos testes resolveram com a localização exata do local onde se encontrava o aparelho. Se considerarmos o local como a sala pode-se dizer que 63% dos locais retornados estavam corretos. Os demais casos tiveram uma margem de erro menor também, conforme esperado. A margem de erro foi de 5,7 metros. A forma como foi medida a margem de erro foi utilizando de todas as localizações que não retornaram no local exato e calculando a distância em que ficou do ponto correto, depois foi tirado uma média destes valores. Vale mencionar também que dentre os testes feitos o resultado que ficou mais próximo do ponto foi de 5 metros de distância, e o mais longe ficou a 9 metros de distância. Concluí-se então, que uma margem de erro de 5,7 metros é aceitável mesmo para um ambiente de 60 metros, pois dessa forma é possível identificar em qual sala o aparelho se encontra

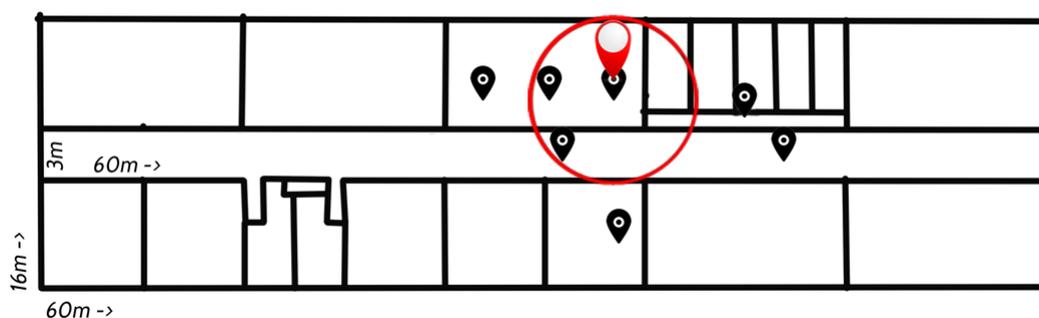


Figura 18 – Margem de erro após ajuste

Fonte: O Autor

A Figura 18 ilustra também, de forma simplória o resultado de uma das consultas que retornou o exato local do aparelho. Neste, podemos perceber que a margem de erro abrange com melhor precisão o ambiente e mesmo tendo outros sinais de referência o resultado foi obtido com melhor exatidão. Pode-se considerar também que com este resultado já é possível localizar o aparelho, pois mesmo aumentando a distância em mais alguns metros, seria possível identificar em qual sala do bloco o dispositivo se encontra.

Os resultados obtidos no presente trabalho atendem as expectativas, pois considerando

o ambiente da universidade como um todo pode-se, na pior das situações saber ao menos qual o bloco em que o dispositivo se encontra.

Notou-se também durante os testes que quando o usuário está com o aparelho no bolso e em movimento pode-se dificultar a localização do mesmo. Foram feitos 10 testes com o aparelho no bolso e em movimentação e apenas um deles retornou o local exato, os demais retornaram locais próximos, sendo a maior distância dentre os resultados de 20 metros. Pode-se afirmar que este, é o resultado que melhor condiz com a realidade.

Foi observado também, durante a fase de mapeamento, os locais que tinham maior nível de sinal e os locais que tinham o menor nível, dentre eles, destacamos o ponto B8B como o local com pior qualidade de sinal considerando ruídos e interferências e o ponto C3 como o ponto com mais qualidade e quantidade de sinal.

Os testes foram realizados em um horário que não havia circulação de pessoas no local. Este fator pode influenciar no resultado devido a muitos aparelhos conectados, maior interferência, entre outros.

Os testes e resultados obtidos foram feitos em pelo menos dois aparelhos celulares sendo um deles da marca Xiaomi modelo Mi A2, e o outro, um aparelho Lenovo modelo K7.

Com relação ao trabalho de (Zegeye et al., 2016) os resultados com média de 10m ou menos em 67% dos testes e com um total de 40 testes. Comparando os resultados pode-se dizer que o presente trabalho também alcança o valor de 63% com menos de 10m e além disso, outros 33% com a localização abaixo dos 5m. Pode-se considerar que alcançou-se uma precisão equivalente na média de 10m e uma melhor ainda relacionado a posição exata.

7 CONCLUSÃO

O objetivo do presente trabalho, era, em suma, localizar um dispositivo em um ambiente mapeado, que neste caso seria utilizado um aparelho *smartphone*. Porém ainda mais específico, utilizou-se dessa premissa para realizar um estudo aprofundado em teorias, ferramentas, protocolos, métodos de localização, arquiteturas e *hardwares*. Através do presente trabalho foi possível entender melhor a propagação do sinal e suas propriedades. Foi possível atingir o objetivo e ir além. Foi possível, além do objetivo coletar algumas informações relevantes sobre o sinal e suas áreas de maior propagação. Com estes dados é possível identificar em qual local do bloco o sinal é mais forte e em qual local o sinal é mais fraco. Também é possível dizer qual AP é mais presente na maioria do bloco e qual é menos presente. É possível criar um *heatmap* (mapa de calor) apontando como o sinal se propaga. Foi alcançada uma precisão para localização com 63% de acertos para a mesma sala em que o dispositivo se encontra. Na versão final, em cada 10 testes realizados pelo menos 4 deles retornavam a posição exata, o que é aceitável, visto que o ponto mapeado tem um espaço de aproximadamente 5 metros. Já os demais testes retornavam a posição na mesma sala, porém em outro ponto ao lado, pois cada sala tinha pelo menos 2 pontos mapeados, e nas maiores um total de 3 pontos. Isso se dá devido ao fato das salas terem mais do que um ponto de referência então maioria das vezes o resultado apontava a sala correta. Considerando a sala e não o ponto específico pode-se dizer que em cada 10 testes 7 retornavam a sala em que o aparelho estava.

O método *fingerprint* mostrou-se bastante eficiente para atingir o objetivo do presente trabalho, o nível de precisão pode ser nivelado com base no número de pontos mapeados, neste trabalho foram feitos pontos com cerca de 25 metros quadrados mas poderia ser um espaço ainda menor, se assim desejado. Dessa forma, o número de resultados seria ainda maior, porém a precisão também.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

As possibilidades de expansões do presente trabalho são várias, pois o mesmo ainda pode ser muito ampliado, ter aplicações web, entre outros. O ideal seria a princípio, a implementação de um algoritmo que se auto-ajusta de forma que o mesmo enviaria notificações ao usuário perguntando se ele está realmente no local X ao fazer o *scan*. Conforme o usuário fosse respondendo, o algoritmo iria melhorando utilizando a base de dados e melhorando a margem. Outro detalhe interessante, seria fazer um desenho de um mapa em uma página web e utilizar alguma tecnologia como por exemplo *javascript* para inserir pontos que referenciassem cada usuário, e fazer com que se movesse em tempo real também. Um terceiro ponto ainda interessante, seria a possibilidade de programar no aplicativo quando a localização está ativa, semelhante ao despertador do celular. O usuário programaria que todo dia de semana das oito

horas da manhã até o seu horário de almoço e depois das treze horas da tarde até o final do expediente. Seria interessante que o usuário do App pudesse também, atualizar a localização através de um botão ou até mesmo personalizar o local através de uma caixa de texto. Um outro rumo que pode ser tomado também, é a utilização de módulos WI-FI de placas como Arduino entre outros para localização. Empresas de grande porte tem dificuldade de encontrar produtos em estoque e juntando a ideia da localização aos avanços da IoT pode-se desenvolver soluções interessantes para um possível mapeamento de estoque, ou até mesmo identificar local de alguns produtos. Com os avanços da IoT e novas placas de internet no mercado é possível a existência de placas de internet com um bom custo benefício para atender a esta demanda através do aplicativo.

Referências

- ANDROID. **Android**. 2018. Disponível em: <<https://android.com/>>. Acesso em: 12 de maio de 2020. Citado na página 8.
- BELLECIERI, Y.; JABOUR, F.; JABOUR, E. Localização indoor baseada na leitura bidirecional do rssi. **Seminários de Trabalho de Conclusão de Curso do Bacharelado em Sistemas de Informação**, v. 1, n. 1, 2016. Citado na página 10.
- BISATTO, A.; PERES, A. LocalizaÇÃo de estaÇÃo sem fio utilizando trilateraÇÃo. v. 92, 03 2020. Citado na página 10.
- BRÁS, L. P. M. **Desenvolvimento de sistema de localização indoor de baixo consumo**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Aveiro, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 3.
- BRÁS, L. P. M. **Desenvolvimento de sistema de localização indoor de baixo consumo**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Aveiro, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 6.
- CHEN, M.; CHENG, F.; GUDAVALLI, R. Precision and accuracy in an indoor localization system. **University of California, Berkeley, USA, Tech. Rep. CS294-1/2**, 2003. Citado na página 5.
- COUTINHO, G. L. A era dos smartphones: Um estudo exploratório sobre o uso dos smartphones no brasil. 2015. Citado na página 7.
- DIGITAL, P. **Access Point O que é access point?** 2018. Disponível em: <<https://android.com/>>. Acesso em: 10 de abril de 2018. Citado na página 9.
- FARPROC. **Wifi Analyzer Turn you android phone into a handy wifi analyzer**. 2020. Disponível em: <<https://a.farproc.com/wifi-analyzer>>. Acesso em: 07 de maio de 2020. Citado na página 11.
- FLASK WEB DEVELOPMENT, o. d. a. a. t. **Flask**. 2020. Disponível em: <<https://flask.palletsprojects.com/en/1.1.x/>>. Acesso em: 07 de maio de 2020. Citado na página 27.
- HEATMAP, W. **Wifi heatmap working on the edge of speed**. 2020. Disponível em: <<https://telegram.org/>>. Acesso em: 07 de maio de 2020. Citado na página 12.
- IEEE. **IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers**. 2018. Disponível em: <<https://ieee.org/>>. Acesso em: 12 de maio de 2020. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 10.
- ILYAS, M.; MAHGOUB, I. **Handbook of sensor networks: compact wireless and wired sensing systems**. [S.I.]: CRC press, 2004. Citado na página 13.
- JAMES, F. K.; KEITH, W. **ROSS Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem top-down**. [S.I.]: São Paulo: Editora Pearson Addison Wesley, 3ª Edição, 2006. Citado na página 22.
- LEICK, A. Glonass satellite surveying. **Journal of surveying engineering**, American Society of Civil Engineers, v. 124, n. 2, p. 91–99, 1998. Citado na página 1.
- LIBRARY, N. **NumPy**. 2020. Disponível em: <<https://numpy.org/>>. Acesso em: 07 de maio de 2020. Citado na página 25.

- LUIZA. **Roteadores o que são? Pra que servem?** 2018. Disponível em: <<http://web.archive.org/web/20080207010024>>. Acesso em: 05 de abril de 2018. Citado na página 8.
- MITTELSTADT, R. S. **BLUEPATH: Sistema de localização indoor**. Dissertação (B.S. thesis), 2018. Citado na página 4.
- MOORE, P.; CROSSLEY, P. Gps applications in power systems. part 1: Introduction to gps. **Power Engineering Journal**, IET, v. 13, n. 1, p. 33–39, 1999. Citado na página 1.
- MOURA, A. I. **WBLS: um sistema de localização de dispositivos móveis em redes Wi-Fi**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 3.
- PERES, A. Mecanismo de autenticação baseado na localização de estações sem fios padrão ieee 802.11. 2010. Citado na página 20.
- PIRES, R. P. et al. Evaluation of an rssi-based location algorithm for wireless sensor networks. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 9, n. 1, p. 830–835, 2011. Citado na página 22.
- REIS, H. P.; FERNANDEZ, F. J. R. Análise das perdas de pacotes alterando as variáveis de distancia obstáculos e interferência electromagnetic utilizando ieee 802.15. 4. **Universidade de Sao Paulo**, 2007. Citado na página 3.
- SAVVIDES, A.; HAN, C.-C.; STRIVASTAVA, M. B. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors. In: ACM. **Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking**. [S.l.], 2001. p. 166–179. Citado na página 5.
- SILVA, L. R. B. d. et al. Método para aferição de distância entre nós sensores baseado em rssi. Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2014. Citado na página 22.
- TADAKAMADLA, S. Indoor local positioning system for zigbee, based on rssi shashank takadamadla. 2006. Citado na página 20.
- TELEGRAM. **Telegram messenger**. 2020. Disponível em: <<https://telegram.org/>>. Acesso em: 07 de maio de 2020. Citado na página 28.
- TREVISAN, L. Um algoritmo de localização de nós em redes sem-fio usando nível de potência do sinal. **Curitiba, PR, Brasil**, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 6.
- Zegeye, W. K. et al. Wifi rssi fingerprinting indoor localization for mobile devices. In: **2016 IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics Mobile Communication Conference (UEMCON)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6. Citado 4 vezes nas páginas 6, 11, 14 e 31.
- ZEIMPEKIS, V.; GIAGLIS, G. M.; LEKAKOS, G. A taxonomy of indoor and outdoor positioning techniques for mobile location services. **ACM SIGecom Exchanges**, ACM, v. 3, n. 4, p. 19–27, 2002. Citado na página 1.

Apêndices

APÊNDICE A – Tabela de sinais coletados

	TSI-2A	C7	F5	D0	F6	C8
B1A	-46	-78	-72	-70	-81	-59
B1B	null	-82	-85	null	-76	-55
B1C	null	null	null	-78	null	-58
B2A	null	-88	null	null	null	-60
B2B	null	-78	-79	-80	-80	-59
B3A	null	null	null	78	-77	-57
B3B	null	null	null	-80	-80	-52
B4A	-77	null	-84	-75	-72	-72
B4B	-78	-81	-80	-72	-70	-67
B4C	-76	-76	-81	-67	-62	-67
B5A	null	-76	-80	-67	-61	-69
B5B	null	-79	-80	-68	-59	-71
B6A	-77	-81	-78	-62	-76	-80
B6B	-68	-75	-76	-54	-73	-74
B6C	-72	-73	-72	-62	-72	-75
B7A	null	-78	-78	-65	-74	-78
B7B	null	-81	-77	-69	-74	-76
B8A	null	-77	-75	-66	-81	null
B8B	-82	-74	-76	-64	-80	null
B9A	-73	-66	-62	-69	-76	null
B9B	-70	-59	-63	-68	-81	-83
B9C	-70	-57	-75	-75	null	-79
B10.1	-63	-73	-70	-68	null	-85
B10.2	-57	-70	-65	-70	-78	-81
B10.3	-56	-70	-67	-75	null	null
B10.4	-56	-65	-72	-72	null	null
B10.5	-64	-75	-78	-60	-76	-76
B11A	-78	-52	-73	-73	-78	-76
B11B	-77	-58	-68	-74	null	-78
B11C	-83	-67	-82	-78	-79	-79
B12A	-63	-56	-74	-77	null	-83
B12B	-67	-63	-77	-79	82	null
B12C	-72	-64	-77	-78	null	-78
WC-M	null	-77	-80	-70	-57	-71
WC-F	null	-76	-80	-78	-71	-60
C1	null	-61	-69	-61	-61	-43
C2	null	-48	-59	-53	-49	-52
C3	-67	-58	-60	-48	58	-57
C4	-55	-46	-57	-52	-54	-55
C5	null	-48	-60	-58	-64	-57