

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DO USO DE SINAL DE
COMUNICAÇÃO PARA O
DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO
DE LOCALIZAÇÃO PARA PESSOAS COM
DEFICIÊNCIA VISUAL**

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

Victor Marquezini

Santa Maria, RS, Brasil

2019

**AVALIAÇÃO DO USO DE SINAL DE COMUNICAÇÃO PARA O
DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO DE
LOCALIZAÇÃO PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA
VISUAL**

Victor Marquezini

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Ciência da Computação da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para
a obtenção do grau de

Bacharel em Ciência da Computação

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marcia Pasin

**Trabalho de Graduação N. 467
Santa Maria, RS, Brasil**

2019

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Curso de Ciência da Computação**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Graduação

**AValiação DO USO DE SINAL DE COMUNICAÇÃO PARA O
DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO DE
LOCALIZAÇÃO PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA
VISUAL**

elaborado por
Victor Marquezini

como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Ciência da Computação

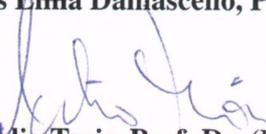
COMISSÃO EXAMINADORA:



Marcia Pasin, Dr^a.
(Presidente/Orientadora)



João Carlos Lima Damasceno, Prof. Dr. (UFSM)



Célso Trois, Prof. Dr. (UFSM)

Santa Maria, 4 de Dezembro de 2019.

Dedico este trabalho a Estevan Preuss da Silva (in memoriam).

RESUMO

Trabalho de Graduação
Curso de Ciência da Computação
Universidade Federal de Santa Maria

AVALIAÇÃO DO USO DE SINAL DE COMUNICAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO DE LOCALIZAÇÃO PARA PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

AUTOR: VICTOR MARQUEZINI

ORIENTADORA: MARCIA PASIN

Local da Defesa e Data: Santa Maria, 4 de Dezembro de 2019.

O avanço da tecnologia, especificamente em *smartphones*, permitiu uma enorme democratização do acesso a esse tipo de dispositivo. Aliado a isso, a competitividade do mercado fez com que os preços fossem acessíveis até mesmo para a população de baixa renda. Como consequência disso, a quantidade de redes Wi-Fi, aparelhos com Bluetooth e outras formas de sinais emitidos em estabelecimentos foi largamente ampliada. Esses sinais já existentes podem ser utilizados para um sistema de localização, interessante para muitas aplicações, como a autolocalização para deficientes visuais. De fato, a tecnologia GPS já exerce essa função, porém os dispositivos de baixo custo não possuem a precisão adequada. Além disso, também existem grandes dificuldades para a localização com um GPS em ambientes fechados.

Este trabalho almeja aproveitar a informação existente destes sinais para deficientes visuais se localizarem em ambientes fechados. Usando algoritmos de trilateração e estimando a distância destes emissores de sinais, a localização do *smartphone* pode ser estimada. Também se tem como objetivo reunir um compilado de técnicas, algoritmos, métricas e trabalhos referentes a autolocalização e a autolocalização aplicada a deficientes visuais.

Foram desenvolvidas duas aplicações de propósitos diferentes. A primeira delas simplesmente simula a movimentação de uma entidade com sensores de sinais em uma sala com dispositivos que emitem sinais. O objetivo dessa simulação é compreender e ilustrar a estimativa de posição conforme ocorre a movimentação. A segunda aplicação possui um caráter prático e efetivamente obtém sinais Wi-Fi a partir de posições conhecidas e avalia a intensidade do sinal. Essa intensidade é utilizada para estimar a distância da posição conhecida e conseqüentemente inferir a posição do aparelho.

A segunda aplicação foi testada em um ambiente onde todas as posições já eram conhecidas e foi avaliado o erro em metros entre a localização estimada e a localização real. Concluiu-se que, para que essa estimativa seja suficientemente precisa, são necessários métodos mais eficientes para a estimativa da distância entre o emissor e o receptor. A intensidade do sinal não decai de uma maneira trivial quando o receptor é afastado do emissor. Existem outras influências na intensidade, como paredes e obstáculos.

Palavras-chave: Localização. Deficiência visual. Redes de sensores. Aplicativo.

ABSTRACT

Undergraduate Final Work
Undergraduate Program in Computer Science
Federal University of Santa Maria

USE OF COMMUNICATION SIGNAL EVALUATION FOR THE DEVELOPMENT OF A LOCALIZATION APP FOR THE VISUALLY IMPAIRED

AUTHOR: VICTOR MARQUEZINI

ADVISOR: MARCIA PASIN

Defense Place and Date: Santa Maria, December 4th, 2019.

The great progress in technology, specifically in smartphones, allowed a huge democratization in the access to this kind of dispositive. In conjunction to that, the competing market has made the prices to be available even for the lowest income people. As a consequence of that, the amount of Wi-Fi networks, bluetooth devices, and other types of emitted signals in establishments has greatly improved. These existing signals can be used as a localization system or the visually impaired. The GPS already does this job, but in low costs it does not provides the needed accuracy. Besides that, there are difficulties at localization tasks in indoor environments.

This paper aims to take advantage of the existing information of this signals for the visually impaired to localize themselves in indoor environments. Using trilateration algorithms and estimating the distance to these signal emitters the localization of the smartphone can be estimated. Also this paper aims to put together techniques, algorithms, metrics, and papers related to localization applied to the visually impaired.

Two different applications with different purposes were developed. The first simply simulates the movement of an entity with signal sensor in a room with device emitting signals. The goal of this simulation is to understand and showcase the position guessing as the movement occurs. The second application has practical purposes and effectively obtains Wi-Fi signals of known locations and evaluates the intensity of the signal. This intensity is used to estimate the distance to the known location and infer the position of the device.

The second application was tested in an environment where all the locations were already known and the error between the known location and the estimated location was measured. It was concluded that for the estimated distance between the emissor and the receiver to be properly accurate, better distance estimation techniques are needed. The intensity of the signal does not fall off in a trivial manner when the receiver is moved away from the emitter. There are other variables in the signal intensity, such as obstruction due to the presence of walls and obstacles.

Keywords: Localization. Visual impairment. Sensor network. App.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Método <i>Ângulo de Chegada</i> (AdC) usando dois transmissores TX_1 e TX_2 e uma única receptor RX.	15
Figura 2.2 – Método de localização pelo Tempo de Chegada (TdC) usando três âncoras e um receptor RX.	16
Figura 2.3 – Método de localização <i>Diferença de Tempo de Chegada</i> (DTdC) usando dois receptores RX_1 e RX_2 e uma única âncora TX.	16
Figura 2.4 – Método de localização <i>Força do Sinal Recebido</i> (FdSR) usando dois receptores RX_1 e RX_2 e uma única âncora TX.	17
Figura 2.5 – Medidas de intensidade do sinal <i>indoor</i> de três dispositivos diferentes ESP8266 (wifi), Bluetooth HC-05 (hc) e Bluetooth LE Ada Fruit (ada) em relação à distância.	18
Figura 2.6 – Comparativo entre precisão e acurácia.	21
Figura 2.7 – Dois tipos de piso tátil: o primeiro significa atenção (a) e o segundo representa o caminho (b).	23
Figura 3.1 – Uma sala que contem equipamentos capazes de gerar sinal para um dispositivo móvel.	27
Figura 3.2 – Captura de tela da sala virtual com três âncoras emissoras TX e um receptor RX	27
Figura 3.3 – Captura de tela da sala virtual de vista superior.	28
Figura 3.4 – Arquitetura da comunicação dos módulos.	29
Figura 3.5 – Função $f(x)$ aproximada dos pontos $p1 - p4$ no plano cartesiano x e y.	33
Figura 3.6 – Três círculos sobrepostos: um caso onde não existe ponto em comum aos três e outro caso onde há.	34
Figura 4.1 – Planta baixa do LSC e indicação dos dez pontos usados no experimento. Círculos, quadrados, triângulos indicam respectivamente pontos de Calibração, Descoberta e Âncoras.	36
Figura 4.2 – Relação das Âncoras $A1 - A3$ nos pontos medidos entre a intensidade do sinal (eixo x) e a distância (eixo y)	39
Figura 4.3 – Relação da Âncora $A4$ nos pontos medidos entre a intensidade do sinal (eixo x) e a distância (eixo y)	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AdC	Ângulo de Chegada
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
DTdC	Diferença de Tempo de Chegada
FdSR	Força do Sinal Recebido
GPS	<i>Global Positioning System</i>
LBI	Lei Brasileira de Inclusão
LoRa	<i>Long Range</i>
LSC	Linguagens e Sistemas de Computação
RX	Receptor
TdC	Tempo de Chegada
TX	Transmissor
VLC	<i>Visible Light Communication</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Motivação	10
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo geral	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
1.3 Metodologia	12
1.4 Estrutura do Texto	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Autolocalização	14
2.1.1 Multilateração	14
2.1.2 Ângulo de Chegada	15
2.1.3 Tempo de Chegada	15
2.1.4 Diferença do Tempo de Chegada	15
2.1.5 Força do Sinal Recebido	17
2.1.6 Fingerprinting	18
2.1.7 Dead Reckoning	19
2.2 <i>Global Positioning System (GPS)</i>	19
2.2.1 Limitações do GPS	19
2.2.2 Melhorias no GPS	20
2.3 Precisão e Acurácia	20
2.4 Localização com redes de sensores	21
2.5 Localização para Pessoas com Deficiência Visual	22
2.5.1 Aplicativos para smartphones para pessoas com deficiência visual	24
3 SERVIÇO DE LOCALIZAÇÃO	26
3.1 Implementação de Trilateração em um Ambiente Virtual	26
3.1.1 Distância Estimada	28
3.1.2 Algoritmo de Trilateração	28
3.2 Arquitetura	29
3.2.1 Software Localizador	30
3.2.2 Implementação dos Módulos por Classe	31
3.2.2.1 Classes Geométricas	31
3.2.2.2 Âncora	31
3.2.2.3 Sensor Wi-Fi	32
3.2.2.4 Trilaterador	32
3.2.3 Estimativa de Distância	32
3.2.4 Trilateração com Ruído	33
4 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL	35
4.1 Usando somente Wi-Fi	37
4.2 Usando Wi-Fi e <i>bluetooth</i>	38
4.3 Conclusões do Experimento	38
5 CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Segundo dados do IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019)¹, 3,6% das pessoas tem algum tipo de deficiência visual em nosso país. Desses 3,6%, apenas 6,6% das pessoas usam algum recurso para auxiliar a locomoção. A Lei Brasileira de Inclusão (LBI) da Pessoa com Deficiência, LEI Nº 13.146, de 6 DE JULHO DE 2015, estabelece em seu artigo Art. 8º que:

"é dever do Estado, da sociedade e da família assegurar à pessoa com deficiência, com prioridade, a efetivação dos direitos referentes à vida, à saúde, [...] aos avanços científicos e tecnológicos, à dignidade, ao respeito, à liberdade, à convivência familiar e comunitária, entre outros decorrentes da Constituição Federal, da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo Facultativo e das leis e de outras normas que garantam seu bem-estar pessoal, social e econômico".

Portanto, soluções para acrescentar qualidade de vida às pessoas com deficiência visual são necessárias.

Neste sentido, no que tange a informática e a computação, foram desenvolvidos aplicativos para facilitar a locomoção e a autolocalização de pessoas com deficiência visual. Como exemplo, podem ser citados (MORAD, 2010), (JAIN, 2014) e (MELIONES; SAMPSON, 2018). Os protótipos desses trabalhos captam informação de sinais emitidos por tecnologias como Wi-Fi, *Bluetooth*, Infravermelho, etc. Dentre essas tecnologias, Wi-Fi está entre as mais populares (RAI et al., 2012).

Devido ao crescimento da Internet das Coisas, houve um aumento no interesse de pesquisa em localização em ambientes internos (ZAFARI; GKELIAS; LEUNG, 2019). Aliado a isso, os *smartphones* estão cada vez mais baratos e acessíveis a população. A porcentagem de *smartphones* por habitante no mundo atualmente é 88% e no Brasil já chega a 110% (MEIRELLES, 2019).

Como resultado disso, os protótipos desenvolvidos também evoluíram e tiveram seus custos decrementados, promovendo maior acessibilidade aos usuários, como o de (JAIN, 2014). E embora técnicas para a facilitar a calibração do espaço tenham sido desenvolvidas (RAI et al.,

¹ <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cpd/documentos/cinthia-ministerio-da-saude>

2012), essas soluções ainda requerem a instalação e configuração adicional de tecnologias no ambiente. Em contraste com isso, este trabalho tem como diferencial o uso de sinais Wi-Fi e *Bluetooth* já disponíveis no ambiente. Assim então, promovendo um custo mais baixo de instalação para melhorar ainda mais a acessibilidade. Com isso, também será possível que a autolocalização deste trabalho possa acontecer nos mais variados ambientes, democratizando o uso de aplicativos para deficientes visuais.

1.2 Objetivos

Nesta seção são discutidos os objetivos deste trabalho. Estão divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é propor e avaliar a viabilidade de um aplicativo para pessoas com deficiência visual se localizarem por ambientes fechados e evitarem obstáculos através da informação provida de múltiplos sensores heterogêneos. A localização é dada pela informação de múltiplos sensores que, no caso, são emissores de sinais, como Wi-Fi e *Bluetooth*.

1.2.2 Objetivos específicos

Mais especificamente, este trabalho objetiva:

- Aprofundar conhecimentos sobre sensores, fusão de sensores, técnicas de autolocalização e acessibilidade;
- Reunir um compilado de literaturas sobre os tópicos deste trabalho;
- Capturar informações da intensidade dos sinais de Wi-Fi;
- Implementar um algoritmo que descubra a localização do dispositivo com a precisão necessária baseado na intensidade dos sinais;
- Avaliar a viabilidade de um aplicativo de localização para deficientes visuais.

1.3 Metodologia

Para o melhor desenvolvimento desta proposta, foram pesquisados e agrupados um compilado de trabalhos relacionados à autolocalização, tanto em ambientes fechados como em ambientes externos. Além de trabalhos de autolocalização, foram pesquisados trabalhos que usam essa técnica para o auxílio de deficientes visuais para melhor compreender as necessidades destas pessoas.

O programa desenvolvido se autolocaliza a partir de emissores de sinal Wi-Fi e *Bluetooth* cuja localização é conhecida. Embora no trabalho seja proposto um aplicativo capaz de obter sinais heterogêneos, esta implementação se limita a receber sinais de Wi-Fi e *Bluetooth* apenas para fins de simplicidade. São usados os roteadores portáteis de *smartphones* e o módulo de *Bluetooth* HC-05, por serem de fácil manuseio e configuração, além de poder simular dispositivos que existam numa casa, como impressoras ou *Smart TVs*.

O ambiente de testes, o Laboratório de Sistemas de Computação (LSC) foi medido manualmente, usando como referência a sua planta baixa, e também pontos específicos no laboratório. Para mapear pontos no espaço, a planta baixa é fundamental pois, assim é possível medir a posição do ponto a partir de uma posição que já é conhecida, como o canto de uma parede. Todas as coordenadas são relativas ao espaço atual, ou seja, existe um ponto de origem no espaço e os outros pontos estão em relação a essa origem.

Além do programa desenvolvido discutido acima, uma simulação de uma sala virtual que também foi desenvolvida é útil para melhor compreensão do algoritmo de trilateração usado neste trabalho. Com a simulação, é possível mover o receptor e observar os comportamentos de cada estimativa de posição atualizada em tempo real.

1.4 Estrutura do Texto

Este trabalho está organizado como segue. No Capítulo 2, são apresentados o referencial teórico e trabalhos relacionados sobre localização com suporte de redes de sensores e sobre localização de pessoas com deficiência visual. Assim como conceitos, métricas, técnicas e algoritmos que fazem a detecção da localização de um dispositivo móvel. No Capítulo 3, é apresentada a arquitetura do trabalho desenvolvido, o algoritmo escolhido e suas especificidades para este trabalho e a arquitetura de um aplicativo proposto usando essas técnicas para a autolocalização de um dispositivo para deficientes visuais. No Capítulo 4m é descrita a forma

como serão avaliados os resultados obtidos, métricas obtidas e erro medido em metros. No Capítulo 5, são expostas as conclusões com este trabalho e trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são discutidas técnicas, algoritmos e métricas referentes a autolocalização. Também são comentados artigos e trabalhos relacionados a autolocalização, bem como trabalhos que usam essas técnicas para beneficiar deficientes visuais. Uma tabela com a comparação de aplicativos disponíveis para *smartphones* está presente no fim deste capítulo.

2.1 Autolocalização

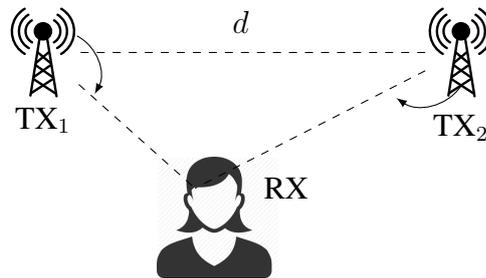
A autolocalização é a capacidade de localizar a sua posição em algum sistema de coordenadas determinado, apenas com o uso de seus sensores (FEDRIZZI, 2003). Esses sensores captam informações que são enviadas por emissores cuja posição já é conhecida. Esses emissores são denominados **âncoras**. Em ambientes externos, os métodos mais populares são realizados com sinais de satélite como o NAVSTAR *Global Positioning System* (GPS) dos Estados Unidos, o GLONASS da Rússia, o Galileo da Europa e o Compass da China. Com esses sinais, mais um algoritmo de **multilateração**, que será discutido mais adiante, a localização é obtida. Já em ambientes internos, esses métodos não são tão eficientes. Serão apresentadas outras técnicas.

2.1.1 Multilateração

Essa técnica é usada quando se tem o sinal de 3 (trilateração) ou mais (multilateração) âncoras para se obter a localização. Nas Figuras 2.1–2.4, as estações das âncoras transmissoras nomeadas de TX emitem sinais a um receptor denominado RX. As distâncias são representadas por d_1 – d_3 em relação a sua respectiva âncora.

A distância pode ser estimada pelos sinais emitidos por diferentes tecnologias e diferentes algoritmos. Essas tecnologias podem ser do tipo *Visible Light Communication* (VLC), Wi-Fi, sinal de satélites, Bluetooth, ZigBee, LoRa. Já os algoritmos usados na técnica de trilateração ou multilateração podem ser os seguintes: *Ângulo de Chegada* (AdC), *Tempo de Chegada* (TdC), *Diferença de Tempo de Chegada* (DTdC) e *Força do Sinal Recebido* (FdSR).

Figura 2.1: Método *Ângulo de Chegada* (AdC) usando dois transmissores TX_1 e TX_2 e uma única receptor RX .



Fonte: própria

2.1.2 Ângulo de Chegada

O método *Ângulo de Chegada* é capaz de descobrir a posição do receptor com o sinal de apenas duas âncoras. O receptor avalia a direção de onde o sinal está chegando de cada âncora. Aliado à distância das âncoras é possível formar um triângulo pois, como foi mencionado, a localização das âncoras é conhecida. Após aplicar cálculos simples de trigonometria, a localização pode ser estimada. A Figura 2.1 mostra um receptor RX e duas âncoras denominadas TX_1 e TX_2 . A distância entre as duas âncoras é denominada d .

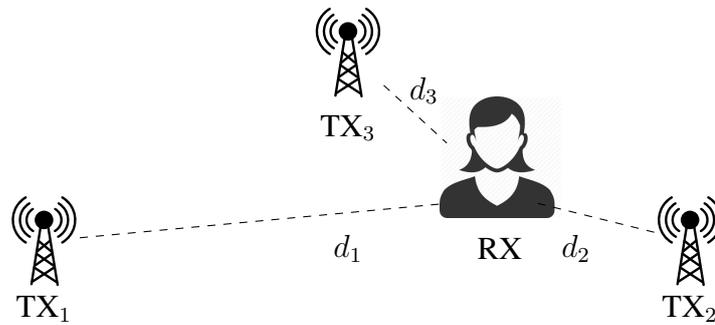
2.1.3 Tempo de Chegada

O método *Tempo de Chegada* estima a distância entre as âncoras baseado no tempo de envio e recebimento de uma mensagem. Simplesmente multiplicando a velocidade do sinal, que deve ser conhecida, pelo tempo que uma mensagem leva para chegar do receptor à âncora, a distância aproximada é obtida. Com a posição de 3 âncoras conhecidas, mais as suas distâncias, a posição é estimada usando a técnica de trilateração. Neste método, é necessário que os relógios estejam precisamente sincronizados.

2.1.4 Diferença do Tempo de Chegada

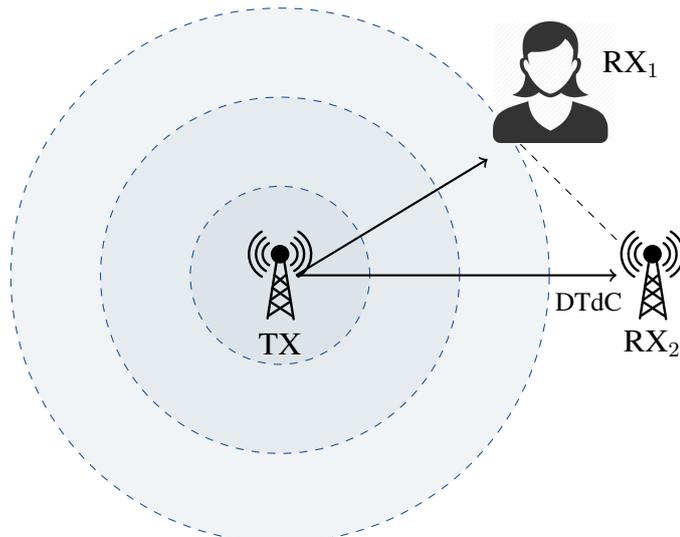
No método *Diferença do Tempo de Chegada*, o tempo de chegada de uma mensagem enviada de uma âncora a outro ponto de referência que se sabe a localização é comparada com o tempo de chegada da mesma âncora com o receptor de interesse. Na Figura 2.3, a âncora TX compara os tempos de chegada da mensagem a RX_1 com o de RX_2 . Como RX_2 tem a posição conhecida, assim como sua distância de TX , a distância de RX_1 pode ser inferida. Para esse método, os relógios também precisam estar precisamente sincronizados.

Figura 2.2: Método de localização pelo Tempo de Chegada (TdC) usando três âncoras e um receptor RX.



Fonte: própria

Figura 2.3: Método de localização *Diferença de Tempo de Chegada* (DTdC) usando dois receptores RX₁ e RX₂ e uma única âncora TX.

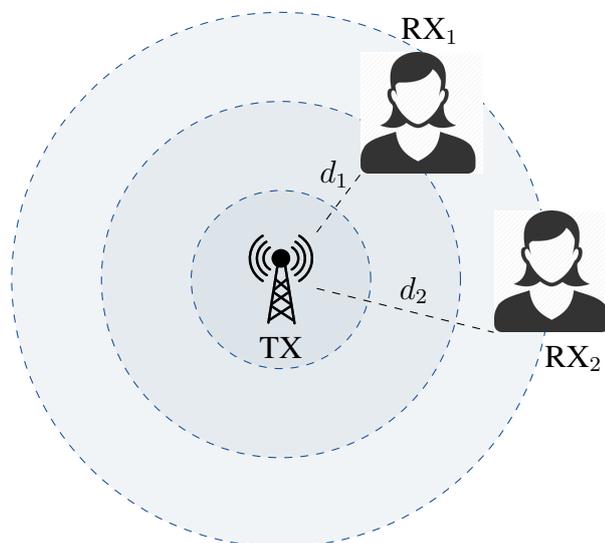


Fonte: própria

2.1.5 Força do Sinal Recebido

O último método, o Força do Sinal Recebido, usa uma técnica relativamente simples. Baseado na força do sinal, o receptor estima a distância que o emissor está. A Figura 2.4 ilustra o método. Sinais fracos indicam longa distância e sinais fortes indicam curta distância. Não é um método muito preciso, porque a intensidade do sinal depende de outras variáveis, além da distância, porém existe a possibilidade de prever essa variação de sinal.

Figura 2.4: Método de localização *Força do Sinal Recebido* (FdSR) usando dois receptores RX_1 e RX_2 e uma única âncora TX.



Fonte: própria

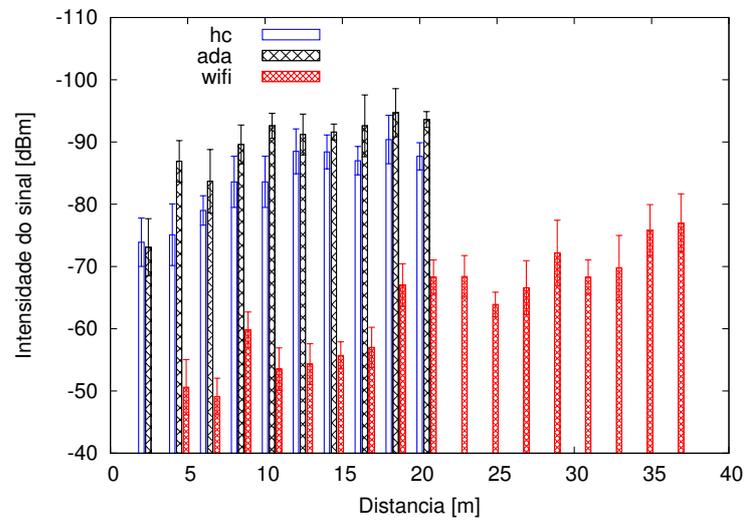
A perda de sinal depende de variáveis que levem em conta a propagação da mensagem pelo meio físico, como comprimento de onda, os dispositivos usados, as tecnologias, potência do sinal, etc. A fórmula a seguir permite a obter um resultado mais preciso quando o método FdSR é utilizado. Para isso, é necessário conhecer uma distância d_0 e uma potência de sinal P_0 respectivas para usar como referência. O Indicador de Força do Sinal Recebido $P(d)$ para distâncias maiores que a de referência, ou seja, $d > d_0$, é dado por:

$$P(d) = P_0 - 20\lambda \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \eta \quad (2.1)$$

onde λ é o expoente de perda de intensidade do sinal e η é uma variável aleatória com distribuição Normal.

Além das atenuações discutidas acima, também é preciso considerar que a intensidade do sinal conforme a distância varia não se comporta de maneira proporcional. A Figura 2.5

Figura 2.5: Medidas de intensidade do sinal *indoor* de três dispositivos diferentes ESP8266 (wifi), Bluetooth HC-05 (hc) e Bluetooth LE Ada Fruit (ada) em relação à distância



Fonte: (PASIN et al., 2018).

demonstra essas variações em três dispositivos, ESP8266 (wifi), Bluetooth HC-05 (hc) e Bluetooth LE Ada Fruit (ada). Conforme a distância aumenta, é notado que a intensidade do sinal não necessariamente diminui para curtas distâncias. Portanto, para se obter um resultado com maior precisão, é necessário levar em consideração essas atenuações.

Os métodos acima funcionam para se obter localizações de receptores estáticos. Para receptores que estão em movimento serão apresentadas outras duas técnicas mais apropriadas: *fingerprinting* e *dead reckoning*.

2.1.6 Fingerprinting

Fingerprinting é um dos métodos de posicionamento em ambientes *indoor* mais populares (HE; CHAN, 2016), (ZHANG et al., 2013). Neste método, inicialmente, o ambiente precisa ser mapeado. Portanto, é medida a intensidade de diferentes sinais, em diferentes locais (nodos) e essa informação é armazenada. Após o mapeamento, um dispositivo pode se autolocalizar acessando as informações mapeadas. Basta comparar a intensidade dos sinais (método FdSR) atuais com as armazenadas e é possível saber qual o nodo mais próximo do dispositivo e inferir sua localização. Além do processo de mapeamento inicial ser uma etapa fundamental para o funcionamento, podem ser necessários remapeamentos caso os emissores de sinais sejam alterados.

2.1.7 Dead Reckoning

Nesse método, são usadas apenas informações sobre a movimentação de um dispositivo e sua localização inicial para se obter a localização atual. A posição que é frequentemente atualizada com a velocidade e direção do dispositivo. Caso essas informações não sejam precisas, a localização estimada pode divergir rapidamente da localização real, pois a localização estimada está sempre sendo incrementada sobre a anterior. Por isso, esse método funciona melhor em conjunto com outros métodos, como por exemplo *fringerprinting*. Para se obter a velocidade e a aceleração, o dispositivo necessita de tecnologias como acelerômetros, hodômetros e giroscópios.

2.2 *Global Positioning System (GPS)*

O *Global Positioning System* é uma grande história de sucesso tecnológico. O objetivo primário era auxiliar o exército e o objetivo secundário era o uso civil (ENGE; MISRA, 1999). No entanto, a quantidade de usabilidades diferentes no meio civil cresceu muito. Como exemplo, é possível citar transporte terrestre, aviação civil, comércio marítimo, construções, mineração etc. Para a proposta deste trabalho, porém, não é uma alternativa viável porque um *GPS* tem sua eficiência reduzida em ambientes fechados.

2.2.1 Limitações do GPS

A precisão e a acurácia de um sistema podem variar de medição para medição. Existem dois fatores principais pelos quais isso ocorre: limitação dos receptores e interferência de sinais do receptor. A limitação dos receptores ocorre devido às limitações inerentes ao próprio *hardware*. Por exemplo, no caso do GPS, cada satélite que compõe o sistema possui um relógio atômico, que é a forma mais precisa que existe para medir o tempo. Receptores com relógios atômicos ou outros relógios de alta precisão podem alcançar milímetros de precisão na localização. Porém, os relógios encontrados na maioria dos receptores GPS não possuem essa precisão, principalmente nos receptores de uso civil. *Smartphones* com GPS embutido possuem uma precisão média de 4,9m quando o receptor está em ambiente com boa visada (céu aberto). Considerando um cenário mais amplo de dispositivos, a precisão média de dispositivos GPS para aplicações civis é de 12,8m.

Além da limitação dos receptores, existem fatores que degradam a precisão dos méto-

dos de localização, como o sombreamento, que é o bloqueio do sinal por prédios, montanhas, grandes construções, árvores, túneis, paredes, etc. Outro fator que degrada o sinal é o efeito de multipercurso (*multipath*), devido à reflexão e à difração que o sinal sofre durante o seu percurso entre o transmissor e o receptor. Outros casos menos comuns que afetam a precisão são: interferências de outras fontes de rádio, grandes tempestades solares, manutenção dos satélites (e antenas) e falta de padronização (muitos dispositivos receptores não seguem as especificações de interface definidas pelo sistema). De forma geral, no contexto de localização, independentemente do dispositivo que gera o sinal, quanto maior é a distorção do sinal recebido, piores são os valores obtidos para a acurácia e a precisão.

2.2.2 Melhorias no GPS

Existem soluções para melhorar os resultados do GPS. A técnica DGPS (*Differential GPS*) (MORGAN-OWEN; JOHNSTON, 1995) melhora a resolução do GPS ao adicionar referências baseadas na Terra. A precisão típica é entre 1–5m, mas pode chegar a 1cm nas melhores implementações.

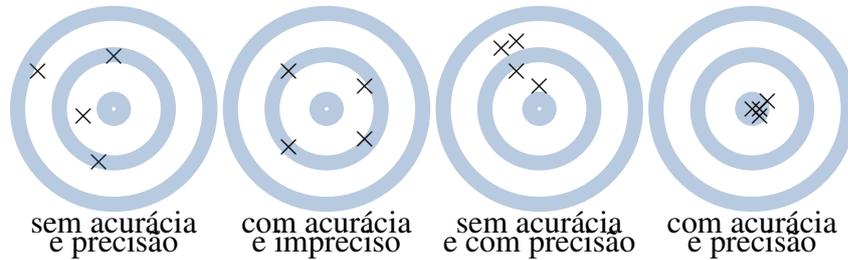
Mais recentemente, (CHEN; ZHAO; FARRELL, 2016) desenvolveram uma técnica que maximiza a eficiência do GPS, considerando algoritmos de baixa complexidade computacional e incluindo um sensor de inércia acoplado ao dispositivo. Como resultado, o GPS de um dispositivo móvel pode calcular a posição de um objeto com precisão de até uma polegada. Porém, conforme já comentado, os dispositivos móveis comercialmente disponíveis tipicamente não permitem atingir estes valores.

2.3 Precisão e Acurácia

Existem duas métricas relevantes (TAYLOR., 1997) em localização para medir desempenho dos métodos discutidos: acurácia e precisão. A **precisão** representa a proximidade dos pontos amostrados em relação a si mesmos. Uma precisão alta indica que as amostras estão muito próximas de um ponto em comum, independente de qual seja esse ponto. Uma precisão baixa indica que os pontos amostrados estão dispersos entre si.

A precisão pode ser calculada usando desvio padrão porque este leva em consideração as dispersões individuais da média geral. A fórmula a seguir mostra o desvio padrão para variáveis aleatórias discretas equiprováveis. Supondo a variável aleatória X , pertencente ao

Figura 2.6: Comparativo entre precisão e acurácia.



Fonte: própria

conjunto $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, o desvio padrão é dado por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (2.2)$$

em que μ é a esperança da variável X , sendo $\mu = E[X] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$. Valores altos de σ indicam baixa precisão no serviço de localização, enquanto valores baixos indicam alta precisão.

Já a **acurácia** é a quantificação de quão próximas as amostras estão do alvo, que é o valor dito correto. Indica o erro de uma leitura. A métrica **acurácia** representa a proximidade dos pontos amostrados em relação a um ponto alvo, em contraste com o ponto médio da precisão. Uma acurácia alta indica que os pontos amostrados estão próximos do alvo. Uma acurácia baixa indica que os pontos estão longe do alvo, podendo ou não estar próximos de si. Portanto, para se medir a precisão é necessário saber qual o alvo. Para calcular a acurácia, podemos usar o erro percentual, que é dado por:

$$e = \frac{(a - \hat{a})}{a} \cdot 100 \quad (2.3)$$

e indica diferença percentual entre o valor correto *aceito* a e o valor *obtido* \hat{a} .

2.4 Localização com redes de sensores

Como alternativa ao uso do GPS, a localização pode ser realizada através de redes de sensores. Em (BISWAS; VELOSO, 2010) é feita a exploração da técnica de localização por sinal de Wi-Fi aplicada em um robô chamado CoBot, que anda em 4 rodas. Ele se locomove por ambientes fechados. O trabalho considera complexas as interações de sinais de Wi-Fi em ambientes fechados e por isso prefere que as informações de intensidade de sinais sejam mapeados

previamente. É usado um grafo com pontos de interesse discretos no espaço. Com essa técnica, o CoBot é capaz de se locomover e desviar de obstáculos tanto estáticos quanto dinâmicos.

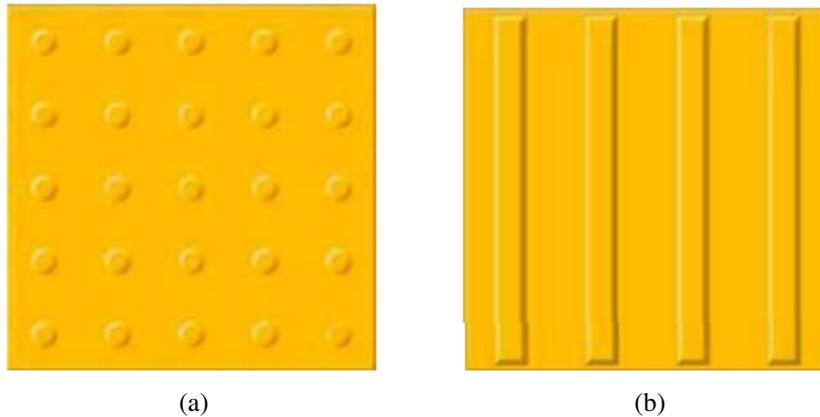
Em (RAI et al., 2012), os autores consideram que há um gargalo no método de *fingerprinting* na parte da construção do banco de dados. Para isso criaram o sistema Zee, onde a calibração do ambiente se ocorre de maneira quase automática sem a necessidade de configuração por um usuário, exceto uma planta do lugar. Zee conta com as tecnologias de um *smartphone* comum como acelerômetro, giroscópio, bússola e sensor de Wi-Fi para esta tarefa. As informações de calibração são obtidas pelo modelo de *crowdsourcing*, onde vários dispositivos contribuem para a formação do banco de dados de maneira autônoma. As localizações específicas de cada dispositivo não são inicialmente conhecidas, mas o sistema possui um mapa do local, com informação das paredes existentes e obstáculos. Assim é possível inferir estatisticamente, com o método de *Dead Reckoning*, o trajeto percorrido pelo dispositivo analisado. Após descartar os lugares que seriam impossíveis de se ter executado essa série específica de movimentos devido a barreiras físicas, a localização é estimada. As questões propostas pelo artigo são: o quão preciso é o sistema em rastrear usuários, as diferenças de precisão quando a localização é conhecida ou inferida, e as diferenças de precisão quando o ambiente é automaticamente mapeado pelo algoritmo do sistema ou quando é manualmente mapeado.

2.5 Localização para Pessoas com Deficiência Visual

Aqui há um compilado de trabalhos relacionados a rede de sensores e autolocalização para deficientes visuais. A Tabela 2.1 faz um comparativo dos trabalhos. A fusão de sensores pode ser definida como a combinação de sinais de sensores para se obter uma informação mais precisa (CHIU; MORLEY; MARTIN, 1986). Utilizando a intensidade dos sinais de variadas tecnologias, pode-se estimar uma distância do emissor de sinais ao sensor, se a posição dos emissores é conhecida. Pode ser obtida uma localização bastante precisa de onde o dispositivo receptor está localizado em um espaço fechado.

Em (JAIN, 2014), os autores propõem um novo sistema para pessoas com deficiência visual, pois os já existentes são caros, pesados e não proveem o guiamento necessário para serem práticos. O sistema do artigo tenta preencher essas lacunas usando tecnologias de baixo custo e acessíveis. Uma tarefa foi dada a cinco pessoas com deficiência visual, que deveriam se mover de um ponto a outro em um ambiente desconhecido. Os participantes afirmaram a necessidade de um guia que alertasse para obstáculos e curvas e um *feedback* sonoro para quando chegasse

Figura 2.7: Dois tipos de piso tátil: o primeiro significa atenção (a) e o segundo representa o caminho (b).



(a) (b)
Fonte: adaptado de (MELIONES; SAMPSON, 2018)

no destino. O sistema desenvolvido é instalado no *smartphone* junto com um componente de infravermelho. As paredes, também equipadas com um emissor de infravermelho, emitem um sinal captado pelo celular. Junto com um acelerômetro, o celular é capaz de se localizar com bastante precisão. Foi escolhida a tecnologia de infravermelho por ser uma tecnologia barata e bastante precisa. Após os experimentos com o sistema, foi reduzida a quantidade de pessoas que precisaram ser abordadas para fins de informação e o tempo de percurso foi diminuído, assim como o número de passos. Os participantes também relataram que a interface é amigável e que as instruções emitidas pelo sistema eram claras e objetivas.

O artigo de (MELIONES; SAMPSON, 2018) descreve brevemente o aplicativo *BlindHelper* (MELIONES; FILIOS, 2016) desenvolvido em 2016, que usa um GPS de alta precisão para a mobilidade de pedestres com deficiência visual, identificando obstáculos e semáforos. Com a experiência dos autores nesse trabalho, o novo aplicativo *Blind MuseumTourer* é desenvolvido para a navegação de deficientes visuais em museus. Apesar de ser feito para museus, o estudo realizado também se aplica a outros ambientes diversificados, como aeroportos, estações de trem, hotéis, etc. Utilizam-se dispositivos com tecnologia *Bluetooth Low Energy* (BLE) para emitir sinais, aliados a pisos táteis, como mostra a Figura 2.7, para melhor informar os usuários. O sistema identifica a posição atual dos usuários e guia-os para a próxima exibição do museu tátil através de mensagens sonoras emitidas ao usuário. Todos os equipamentos do protótipo custam menos de 30 dólares, o que faz com que o dispositivo seja acessível a maioria das pessoas.

Em (MORAD, 2010), os autores propõem a utilização de um sistema de GPS para pes-

Tabela 2.1: Comparação de trabalhos relacionados.

Trabalho relacionado	Dispositivo	Mecanismo	Ambiente
(JAIN, 2014)	Android Móvel	Infravermelho	Interno
(MELIONES; FILIOS, 2016)	Android Móvel	GPS	Externo
(MELIONES; SAMPSON, 2018)	Android Móvel	BLE	Interno
(MORAD, 2010)	Laptop	GPS	Externo

Fonte: própria

soas com deficiência visual se locomoverem sem ajuda de outras pessoas. A informação é enviada ao usuário por áudio. O sistema SWAN é um pequeno *laptop* que fica dentro de uma mochila. É equipado com um chip de rastreamento proprietário, uma bússola, um sensor de GPS, um rastreador para a cabeça, quatro câmeras, um sensor de luz e um fone de ouvido. Os testes foram feitos no campus da universidade de Al-Balqa, no país da Jordânia. Inicialmente na fase de aprendizagem do sistema, os autores percorreram o campus para obter as coordenadas das fronteiras. Os participantes do teste, da escola para cegos Abdallah Bin Maktoom, avaliaram o sistema positivamente, pela sua simplicidade. As limitações do trabalho foram que o GPS não tem uma precisão muito adequada, tem uma taxa de resposta não muito rápida e tem problemas para ambientes internos.

2.5.1 Aplicativos para smartphones para pessoas com deficiência visual

Na Tabela 2.2 estão listados exemplos de aplicativos para smartphones para pessoas com deficiência visual. A tabela compara os aplicativos levando em conta Plataforma, Localização, Detector, Leitor e Distribuição. Os aplicativos estão disponíveis nas plataformas Android e iOS, sendo a grande maioria gratuita. A coluna Localização indica que os aplicativos conseguem obter a localização de onde o usuário se encontra ou fornecer instruções para o usuário de como chegar no destino. A coluna Detector indica que o aplicativo tem capacidade para detectar e descrever objetos que estão sendo exibidos na câmera do *smartphone*. A coluna Leitor indica que o aplicativo tem suporte para ler textos que estão sendo exibidos pela câmera do celular.

Resumo do Capítulo

Neste capítulo, foram apresentadas técnicas relevantes a autolocalização mas, para os fins deste trabalho, foi escolhida a multilateração, ou mais especificamente a força do sinal recebido (FdSR). A solução *fingerprinting* requer a calibração do espaço e um algoritmo para

Tabela 2.2: Comparação de aplicativos para pessoas com deficiência visual.

Aplicativo	Plataforma	Localização	Detector	Leitor	Distribuição
Blind Tool	Android		X		Gratuito
BlindSquare	iOS	X			Pago
Eye-D	Android	X	X	X	Gratuito
Google Lookout	Android	X	X	X	Gratuito
iDentifi	iOS		X		Gratuito
Intersection Explorer	Android	X			Gratuito
LazarilloApp	Android/iOS	X			Gratuito
Microsoft Soundscape	iOS	X			Gratuito
TapTapSee	Android/iOS		X		Gratuito

Fonte: própria

isto. A solução *Dead Reckoning* necessita de sensores mais específicos que não estão presentes em todos os *smartphones*, como o giroscópio. Portanto, a técnica FdSR apresenta maior simplicidade em relação as outras e melhor se encaixa no escopo deste trabalho. Ela é de relativamente fácil implementação, pois somente precisa acessar a intensidade dos sinais. Também pela simplicidade do algoritmo de trilateração.

3 SERVIÇO DE LOCALIZAÇÃO

Neste capítulo é proposto um aplicativo que pode ajudar deficientes visuais a se localizarem utilizando a técnica Força do Sinal Recebido (FDsR) e trilateração. Um computador é colocado no ambiente onde três dispositivos com localização conhecida emitem sinais Wi-Fi e *bluetooth*. Também é apresentado um diagrama referente ao funcionamento deste aplicativo e outro diagrama de suas classes. No contexto deste trabalho, como se trata de uma solução para deficientes visuais, a informação obtida é transmitida ao usuário através de mensagens de áudio.

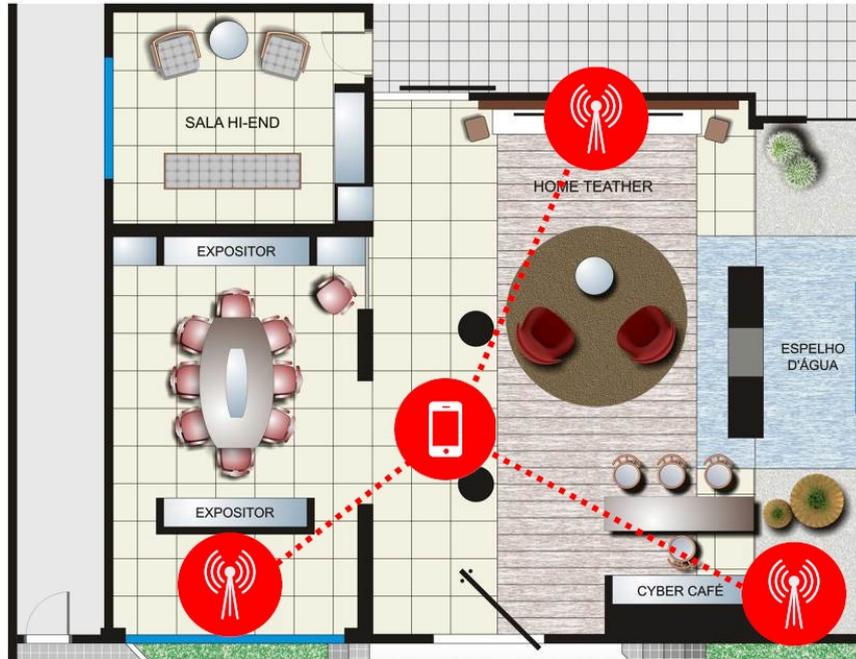
Assim como o aplicativo, uma simulação da técnica FdSR desenvolvida é apresentada. Nessa simulação, existe uma sala que contém dispositivos que enviam sinal a um receptor que estima a sua localização. Quando o receptor se move, a estimativa de posição em relação a cada emissor pode ser observada através de círculos no ambiente.

Um exemplo de cenário é apresentado na Figura 3.1. Uma sala possui dispositivos comumente encontrados que são capazes de emitir sinais de várias formas diferentes. O receptor RX no centro recebe os sinais gerados por diferentes transmissores TX. Transmissores tipicamente podem ser dispositivos com antenas (para diferentes sinais Wi-Fi, GPRS, LoRa, etc.), e operam como nós âncoras com localizações conhecidas.

3.1 Implementação de Trilateração em um Ambiente Virtual

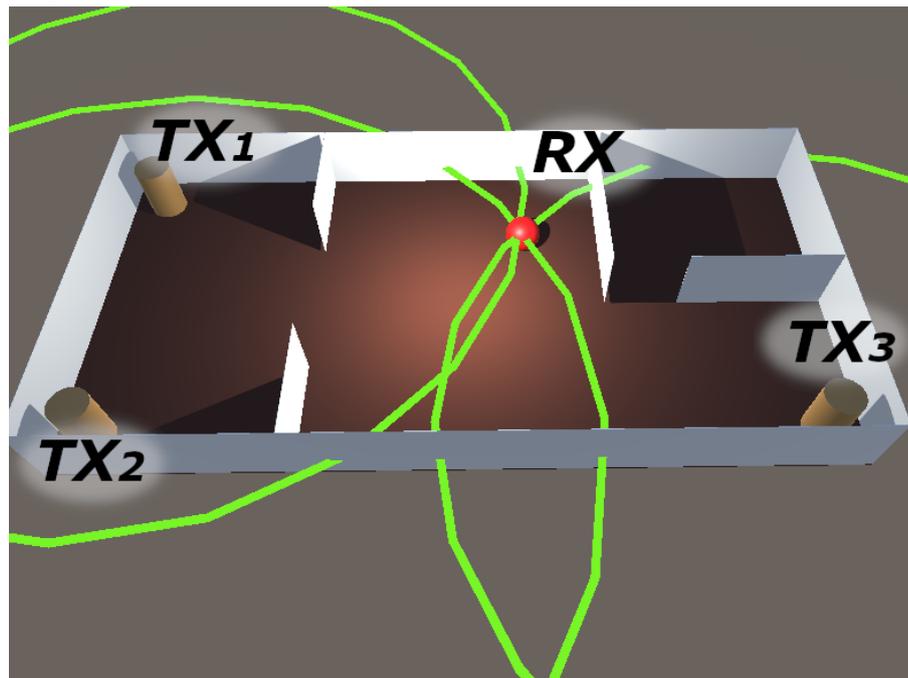
Foi feita uma implementação, na ferramenta Unity, de uma sala virtual simplificada onde 3 âncoras emitem sinais a um receptor. A posição do receptor não é conhecida, mas a distância entre os emissores é conhecida. Com isso, um círculo de precisão exata para cada âncora TX de raio igual a distância, representa as possíveis posições que o receptor pode estar do ponto de vista de um emissor específico. Através de técnicas de trilateração, é possível descobrir a posição do receptor, que é o mesmo ponto onde os 3 círculos se intersectam. As Figuras 3.2 e 3.3 mostram as âncoras, representadas pelos cilindros TX e um receptor RX dos sinais, representado pela esfera vermelha.

Figura 3.1: Uma sala que contém equipamentos capazes de gerar sinal para um dispositivo móvel.



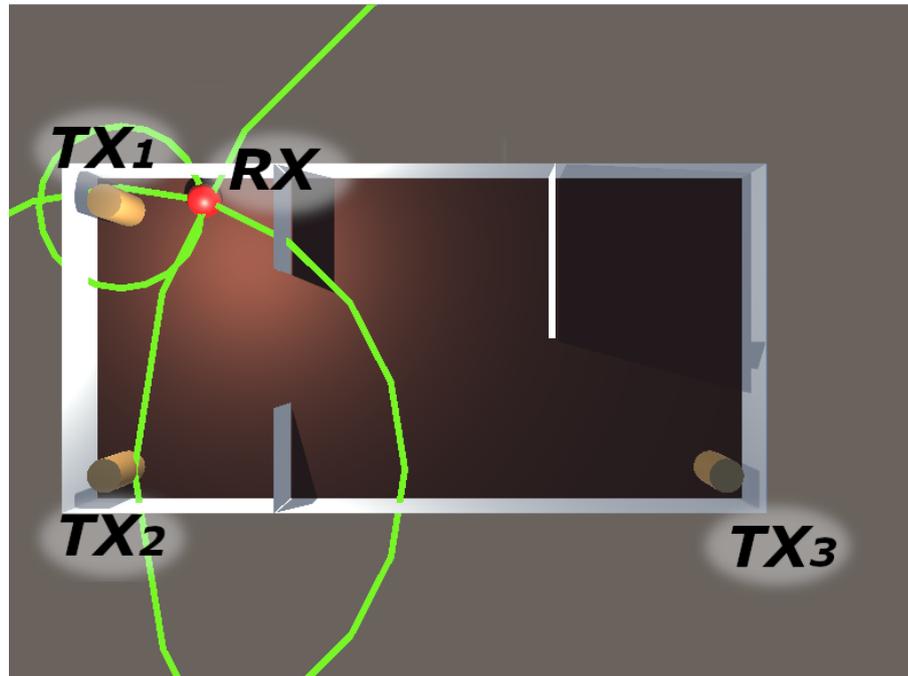
Fonte: adaptado de Habilitissimo, 2009

Figura 3.2: Captura de tela da sala virtual com três âncoras emissoras TX e um receptor RX .



Fonte: própria

Figura 3.3: Captura de tela da sala virtual de vista superior.



Fonte: própria

3.1.1 Distância Estimada

Por se tratar de uma simulação virtual, o receptor não está realmente recebendo sinais e estimando a distância \hat{d} , mas sim calculando a distância real, tendo em vista que a posição do receptor na simulação é conhecida. Então, nessa simulação, a distância entre TX e RX é a distância exata, e o algoritmo de trilateração recebe a distância real calculada. A simulação serve apenas para ilustrar o algoritmo e seu comportamento em diferentes posições. Contudo, em um cenário real, a transformação da força do sinal em uma distância estimada deve ser realizada.

3.1.2 Algoritmo de Trilateração

O algoritmo de trilateração recebe três âncoras como entrada, cada uma contendo um círculo na posição da âncora e de raio igual a distância estimada do receptor. Um círculo pode ser definido como todos os pontos equidistantes de um centro. Quando um receptor RX tem apenas a informação da distância inferida de um emissor TX_1 , existe um círculo em volta do TX_1 , com raio igual a distância, que representa todas as possíveis posições do RX. Com um segundo emissor TX_2 , um segundo círculo, que também representa as possíveis posições do receptor RX, é formado. Ou seja, a intersecção entre esses dois círculos é onde o receptor RX

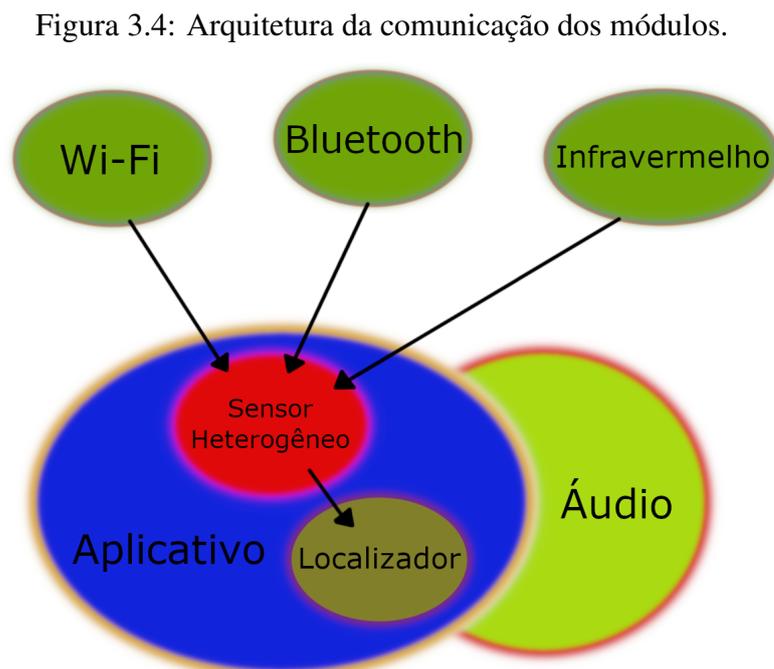
se encontra. Mas com dois círculos, é muito provável que hajam dois pontos de intersecção que ainda geram ambiguidade. Para isso, é necessária uma terceira âncora TX_3 , que irá decidir qual a posição final do receptor. Assim, o algoritmo de trilateração recebe esse nome, pois são necessárias no mínimo três âncoras para decidir a posição final.

3.2 Arquitetura

Em um aplicativo de localização para pessoas com deficiência visual, o usuário solicita a sua localização, que pode ser feita através de um comando de voz. Então, o sistema de localização calcula as coordenadas e informa a localização ao usuário por via sonora. Neste trabalho, o enfoque é no módulo de localização desse aplicativo.

A Figura 3.4 apresenta a arquitetura do aplicativo proposto. Dispositivos emissores de sinais de diversas tecnologias presentes no ambiente emitem sinais naturalmente. A arquitetura proposta é composta pelos seguintes módulos:

- Aplicativo (1): O módulo aplicativo representa a aplicação e seus módulos contidos nela: Sensor Heterogêneo, Localizador e Módulo de Áudio;
- Sinais Presentes (2): estes são os sinais que já estão presentes e sendo emitidos no ambiente;



Fonte: própria

- Sensor Heterogêneo (3): O módulo Sensor Heterogêneo capta estas informações e informa o módulo Localizador;
- Localizador (4): O Localizador então aplica o método Força do Sinal Recebido e realiza a autolocalização. Após isso, a localização é informada ao módulo de áudio e então transmitida ao usuário;
- Áudio (5): é responsável por transmitir a localização ao usuário por uma mensagem de voz. Este módulo foge ao escopo deste trabalho e não foi implementado.

3.2.1 Software Localizador

O software localizador desenvolvido em Python se localiza em um ambiente fechado com o uso de três emissores de Wi-Fi. Portanto, o programa necessita de um computador com uma placa de rede com suporte a Wi-Fi. Também é necessário um mapeamento da intensidade dos sinais previamente à sua execução. Isto é necessário para que o programa possa relacionar a intensidade do sinal com a distância do emissor. O software por completo é representado pelo módulo Aplicativo (1) da Figura 3.4.

Para configuração do ambiente é necessário definir as âncoras que serão usadas para a autolocalização. Uma âncora é definida pelo nome da rede Wi-Fi, sua posição no sistema de coordenadas do ambiente, e por último, um conjunto de amostras com distâncias e a intensidade do sinal referente a essa distância.

Com as âncoras definidas, o sistema detecta os sinais de Wi-Fi que estão presentes no ambiente e atualiza a intensidade de sinal de cada âncora que possua o mesmo nome da rede Wi-Fi. Para prosseguir é necessário que as três âncoras tenham sido encontrados nas redes Wi-Fi disponíveis. Caso isso não ocorra, o programa emite um erro e termina sua execução.

Após a detecção do sinal de cada âncora, medido em porcentagem, é feita uma transformação desta porcentagem em uma distância estimada. Essa transformação é feita usando a amostragem da âncora definida previamente, através de uma interpolação de valores.

Com a posição e distância agora conhecidas de cada âncora, pode-se definir um círculo, com sua posição na posição da âncora e seu raio igual a distância da âncora. Para prosseguir com a trilateração, é necessário que os círculos se intersectem. Caso isso não ocorra, a precisão é prejudicada e o algoritmo utiliza o ponto mais próximo entre os dois círculos que não se intersectam.

Por último, é aplicada a trilateração a esses três círculos e a distância é estimada. O programa emite uma posição nas coordenadas da sala e termina a sua aplicação.

3.2.2 Implementação dos Módulos por Classe

A linguagem de programação Python é orientada a objetos. Para se obter o melhor fluxo de desenvolvimento e manter a organização nessa linguagem, é necessário definir as suas classes de acordo com a aplicação. As classes também estão divididas por funções dos módulos apresentados na Figura 3.4, com exceção das Classes Geométricas, que apenas auxiliam os cálculos. As classes serão apresentadas a seguir.

3.2.2.1 Classes Geométricas

Aqui são listadas classes de utilidade matemática e geométrica que servem para a manipulação e armazenamento de dados de um sistema cartesiano. Se definidas em blocos encapsulados, é possível abstrair os cálculos geométricos. São três: *Vector*, *Circle* e *Function*. Por se tratarem de classes de utilidade, não pertencem a nenhum módulo.

Uma classe *Vector*, que contém as informações das coordenadas x e y , possui métodos para manipular as coordenadas: cálculo de distância entre outro *Vector*, ponto médio entre outro *Vector*, e um método para imprimir os dados de uma maneira formatada.

Outra classe geométrica é a classe *Circle*, que é útil para definir um círculo usado na trilateração. Possui um *Vector* que representa sua posição e um raio. Também possui um método que retorna os pontos de intersecção com outro círculo.

A classe *Function* contém uma função matemática do tipo $f(x) = ax + b$. É definida por duas constantes a e b e possui um método para avaliar um valor de x , retornando o valor de y correspondente.

3.2.2.2 Âncora

A classe Âncora define uma âncora em que o receptor irá avaliar a intensidade do sinal e fazer o cálculo da trilateração durante a execução do programa. Essa classe é equivalente ao módulo Sinais Presentes (2). Uma âncora possui um nome, que é o mesmo nome da rede Wi-Fi correspondente, uma posição e uma função $f(x)$ de avaliação do sinal em relação a distância. O nome é importante porque o módulo de Wi-Fi irá buscar este nome para atualizar a informação

da intensidade do sinal em relação a posição atual. A posição da âncora é imprescindível pois, sem ela, o cálculo da trilateração não é possível. A função dessa classe é gerada a partir de um conjunto de amostras de intensidade de sinal e distância referente através do Método dos Mínimos Quadrados (HELENE, 2014). Uma âncora também possui um círculo para ser usado na trilateração. Esse círculo é definido pela posição da âncora e pelo raio equivalente a intensidade do sinal avaliado pela função $f(x)$ da âncora.

3.2.2.3 Sensor Wi-Fi

Essa classe é equivalente ao módulo Sensor Heterogêneo (3) e possui dois métodos característicos: *PrintWifis*, para informar os emissores de sinais Wi-Fi presentes no ambiente e *UpdateAnchors*, para atualizar a intensidade do sinal de cada âncora fornecida. Ambos os métodos fazem uma varredura do ambiente e iteram sobre todas as redes Wi-Fi. Quando o método *UpdateAnchors* é invocado e uma das âncoras não é encontrada no ambiente, uma mensagem de erro é emitida. Caso contrário, as âncoras são devidamente atualizadas.

3.2.2.4 Trilaterador

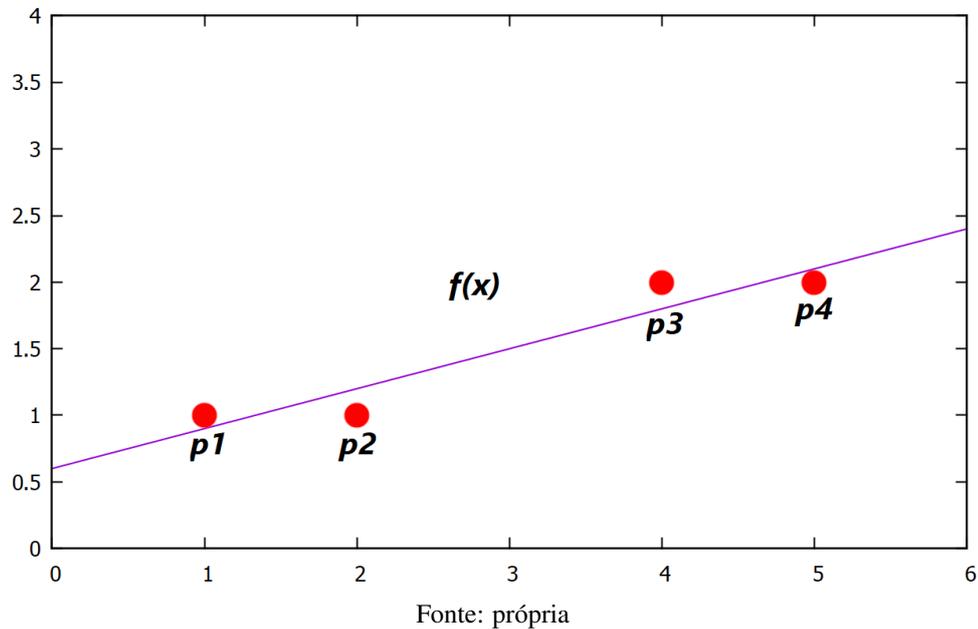
Esta classe representa o módulo Localizador (4) e possui um método principal chamado de *Trilaterate*. Esse método recebe o sinal de três âncoras que possuam a intensidade do sinal atual definida e irá estimar a posição do receptor em relação a essas âncoras. Para que isso aconteça, é preciso que os círculos de cada âncora, discutidos na classe Âncora, possuam pontos de intersecção entre si. Caso contrário, o ponto usado para o cálculo é o mais próximo entre os dois círculos.

3.2.3 Estimativa de Distância

A tarefa de estimar a distância da âncora ao receptor usando apenas a informação da intensidade do sinal é complexa. Para distâncias iguais, dois dispositivos emissores de sinal Wi-Fi podem ter intensidades de sinais diferentes. Isto ocorre pelas diferentes especificações de cada aparelho ou pelos obstáculos físicos presentes.

Para resolver esse problema, o programa necessita que cada âncora receba um conjunto de amostras de intensidade de sinal e distância. Essas amostras são usadas para se obter uma função que mais se aproxima dos dados amostrados através do Método dos Mínimos Quadrados.

Figura 3.5: Função $f(x)$ aproximada dos pontos $p1 - p4$ no plano cartesiano x e y



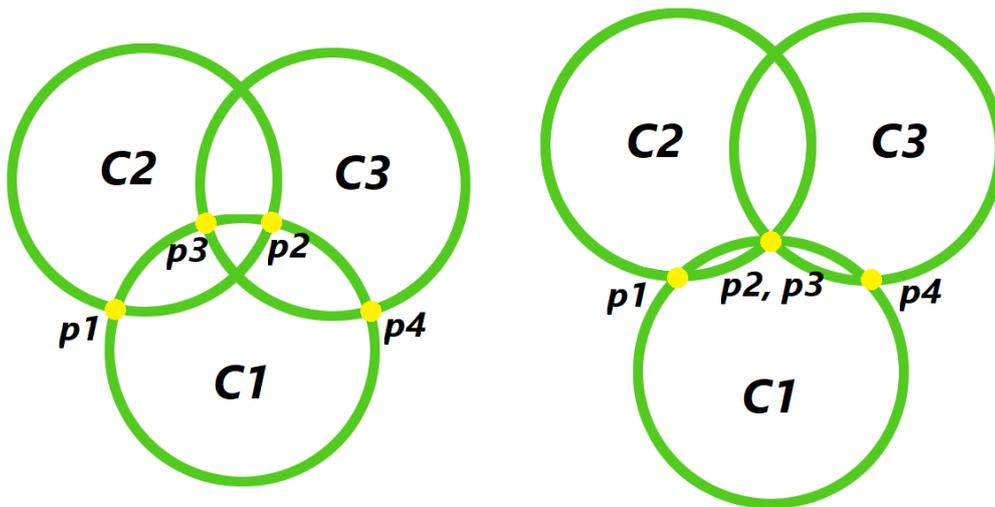
O Método dos Mínimos Quadrados para uma função $f(x) = ax + b$, de primeiro grau, calcula os valores de a e b que minimizem ao máximo as taxas de erros. A taxa de erro e de cada amostra individual $p = (x, y)$, para uma função de aproximação $f(x)$, é definida como $e = (y - f(x))^2$. Na Figura 3.5, existem quatro pontos no sistema cartesiano e uma função de primeiro grau que se aproxima desses pontos.

3.2.4 Trilateração com Ruído

Na simulação apresentada na Seção 3.1, a distância estimada era exatamente igual a distância real. Contudo, em cenários reais, existem ruídos que divergem a distância estimada da distância real. Isto deve ser levado em conta na trilateração porque é improvável que os círculos formados pelas âncoras com este ruído se intersectem. A Figura 3.6 mostra essa situação. À esquerda existem círculos que não possuem um ponto de intersecção entre todos. À direita existe um ponto em comum aos três círculos.

Após a verificação de que os círculos estão sobrepostos, o programa obtém os dois pontos de intersecção $p1$ e $p2$ com os círculos $C1$ e $C2$, e os dois pontos de intersecção $p3$ e $p4$ com os círculos $C1$ e $C3$. Como não há garantia que os círculos $C1$, $C2$ e $C3$ possuam um ponto em comum, o programa calcula a menor distância dos pontos de intersecção de $C1$ com $C2$ e os pontos de intersecção de $C1$ com $C3$. Após decidir os pontos com a menor distância, o resultado final é o ponto médio entre esses dois pontos.

Figura 3.6: Três círculos sobrepostos: um caso onde não existe ponto em comum aos três e outro caso onde há.



Fonte: própria

4 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

A avaliação da proposta apresentada ocorreu através de experimentos, levando em conta diferentes localizações conhecidas, no Laboratório de Sistemas de Computação (LSC) na UFSM. A localização foi computada em um sistema de coordenadas relativo a sala, com unidades em metros. Para a avaliação, dez pontos foram escolhidos de forma distribuída pelo laboratório. Os dez pontos escolhidos seguem as seguintes funções:

- três foram usados como posição das Âncoras (A),
- quatro foram usados como Calibração da intensidade dos sinais (C) e
- os outros três para realizar a autolocalização (Descoberta) (D).

A indicação da localização dos pontos está na planta baixa apresentada na Figura 4.1. As funções diferentes de cada pontos são representadas por símbolos diferentes. Círculos indicam pontos de Calibração; quadrados indicam pontos para Descoberta; e triângulos indicam as posições das âncoras. As coordenadas de cada ponto, relativas ao espaço local, estão indicadas na Tabela 4.1.

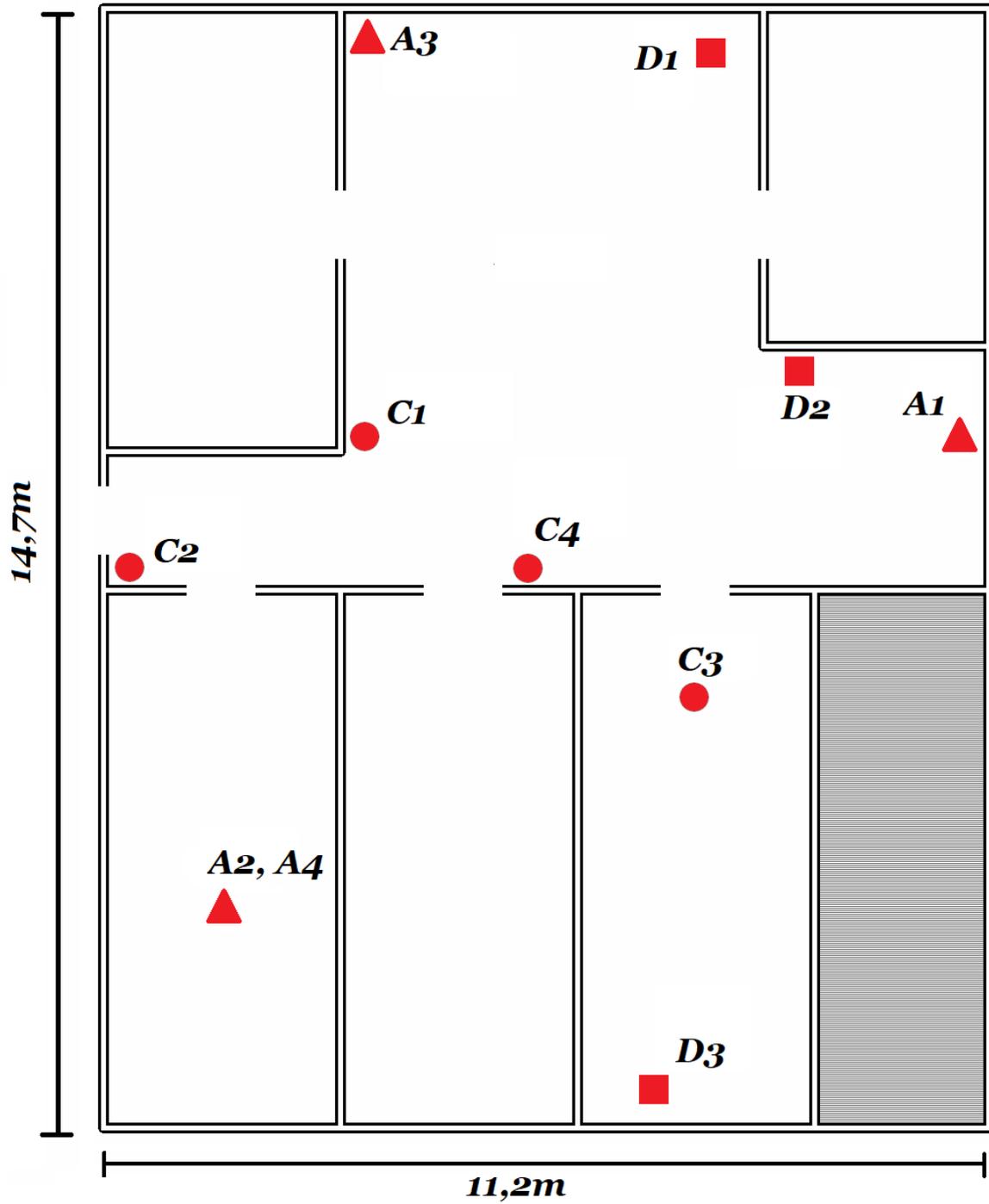
No experimento no laboratório, *smartphones* com roteador de Wi-Fi funciona como Âncoras $A1$ - $A3$. Uma Âncora $A4$ com *bluetooth* também foi usada posteriormente na mesma posição de $A2$. O canal Wi-Fi usado é escolhido automaticamente pelo algoritmo de roteamento. As âncoras $A1$, $A2$, $A3$ e $A4$ estão nas posições da Tabela 4.1. Foram usados os seguintes dispositivos:

- Motorola Moto G3 como âncora $A1$ e $A2$
- Samsung Galaxy S6 como âncora $A3$
- HC-05 como âncora $A4$

Após as âncoras serem configuradas, foi medida a intensidade do sinal nos pontos de calibração $C1$, $C2$, $C3$ e $C4$. A intensidade do sinal e a distância de cada respectiva Âncora foi armazenada para fazer a interpolação nos pontos de descoberta.

Após isto, um computador convencional foi colocado nas posições $D1$, $D2$ e $D3$ e a autolocalização realizada. O computador simula o dispositivo usado para a localização de pessoas.

Figura 4.1: Planta baixa do LSC e indicação dos dez pontos usados no experimento. Círculos, quadrados, triângulos indicam respectivamente pontos de Calibração, Descoberta e Âncoras.



Fonte: própria

Tabela 4.1: Pontos no laboratório.

Nome	Coordenada no Ambiente	Função
<i>C1</i>	(3.50, 9.10)	Calibração
<i>C2</i>	(0.50, 7.00)	Calibração
<i>C3</i>	(7.55, 4.55)	Calibração
<i>C4</i>	(5.92, 7.00)	Calibração
<i>D1</i>	(6.85, 13.40)	Descoberta
<i>D2</i>	(8.90, 10.10)	Descoberta
<i>D3</i>	(7.25, 0.50)	Descoberta
<i>A1</i>	(11.07, 9.10)	Âncora
<i>A2</i>	(1.54, 2.90)	Âncora
<i>A3</i>	(3.60, 14.25)	Âncora
<i>A4</i>	(1.54, 2.90)	Âncora

Fonte: própria

4.1 Usando somente Wi-Fi

Nesta seção estão listados os resultados do experimento usando âncoras apenas com *smartphones* com seus roteadores portáteis. Os resultados obtidos das posições estimadas estão nas Tabelas 4.2 até 4.4. A Tabela 4.2 exibe para cada ponto, a distância (d_0) e a intensidade dos sinais (i_0) em relação às três âncoras. A Tabela 4.3 compara a distância real (d_0) de cada ponto com as três âncoras e relaciona com a distância estimada (\hat{d}_0). Por último, a Tabela 4.4 mostra a coordenada real de cada ponto e compara com a coordenada descoberta, exibindo o erro (diferença em metros) entre as posições.

Tabela 4.2: Intensidade do sinal de Wi-Fi i_0 em relação a distância d_0 para Âncoras *A1* – *A4*.

Ponto	i_{0A1}	d_{0A1}	i_{0A2}	d_{0A2}	i_{0A3}	d_{0A3}	i_{0A4}	d_{0A4}
<i>C1</i>	72,0%	7,57m	88,0%	6,50m	85,33%	5,15m	81,0%	6,50m
<i>C2</i>	46,66%	10,78m	62,66%	4,23m	50,0%	7,88m	84,2%	4,23m
<i>C3</i>	85,0%	5,75m	69,33%	6,23m	68,66%	10,47m	66,3%	6,23m
<i>C4</i>	91,33%	5,56m	66,66%	6,00m	75,33%	7,61m	87,8%	6,00m
<i>D1</i>	84,0%	6,02m	54,0%	11,76m	100,0%	3,36m	69,8%	11,76m
<i>D2</i>	100,0%	2,39m	44,0%	10,30m	93,33%	6,73m	72,2%	10,30m
<i>D3</i>	51,33%	9,41m	80,66%	6,19m	66,66%	14,23m	75,6%	6,19m

Fonte: própria

Tabela 4.3: Distâncias reais d_0 e distâncias estimadas \hat{d}_0 entre pontos e âncoras, e relativos erros percentuais (Erro %) para Wi-Fi apenas.

Ponto	d_{0A1}	\hat{d}_{0A1}	Erro %	d_{0A2}	\hat{d}_{0A2}	Erro %	d_{0A3}	\hat{d}_{0A3}	Erro %
D1	6,02m	6,17m	2,49%	11,76m	4,64m	47,87%	3,36m	5,64m	40,42%
D2	2,39m	4,22m	76,57%	10,30m	4,02m	60,97%	6,73m	6,12m	9,97%
D3	9,41m	10,14m	7,75%	6,19m	6,30m	1,77%	14,23m	8,00m	43,78%

Fonte: própria

Tabela 4.4: Coordenadas reais e descobertas e a diferença em metros para Wi-Fi apenas.

Ponto	Coordenada Real	Coordenada Descoberta	Diferença em metros
D1	(6,85, 13,40)	(5,29, 7,17)	6,43m
D2	(8,90, 10,10)	(6,53, 7,50)	3,51m
D3	(7,25, 0,50)	(5,42, 14,17)	13,80m

Fonte: própria

4.2 Usando Wi-Fi e *bluetooth*

Nesta seção estão presentes os resultados dos experimentos com *bluetooth*. Uma Âncora A4 substitui a Âncora A2 no experimento, para avaliar o uso da tecnologia *bluetooth* em conjunto com Wi-Fi. Os resultados obtidos das posições estimadas estão nas Tabelas 4.5 e 4.6 na mesma forma que na Seção 4.1.

Tabela 4.5: Distâncias reais d_0 e distâncias estimadas \hat{d}_0 entre pontos e âncoras, e relativos erros percentuais (Erro %) para o sinal de *bluetooth*.

Ponto	d_{0A2}	\hat{d}_{0A2}	Erro %
D1	11,76m	6,13m	60,54%
D2	10,30m	6,04m	40,39%
D3	6,19m	5,90m	4,69%

Fonte: própria

Tabela 4.6: Coordenadas reais e descobertas e a diferença em metros para Wi-Fi e *bluetooth*.

Ponto	Coordenada Real	Coordenada Descoberta	Diferença em metros
D1	(6,85, 13,40)	(9,03, 8,98)	4,93m
D2	(8,90, 10,10)	(5,98, 12,94)	4,08m
D3	(7,25, 0,50)	(6,27, 1,90)	1,71m

Fonte: própria

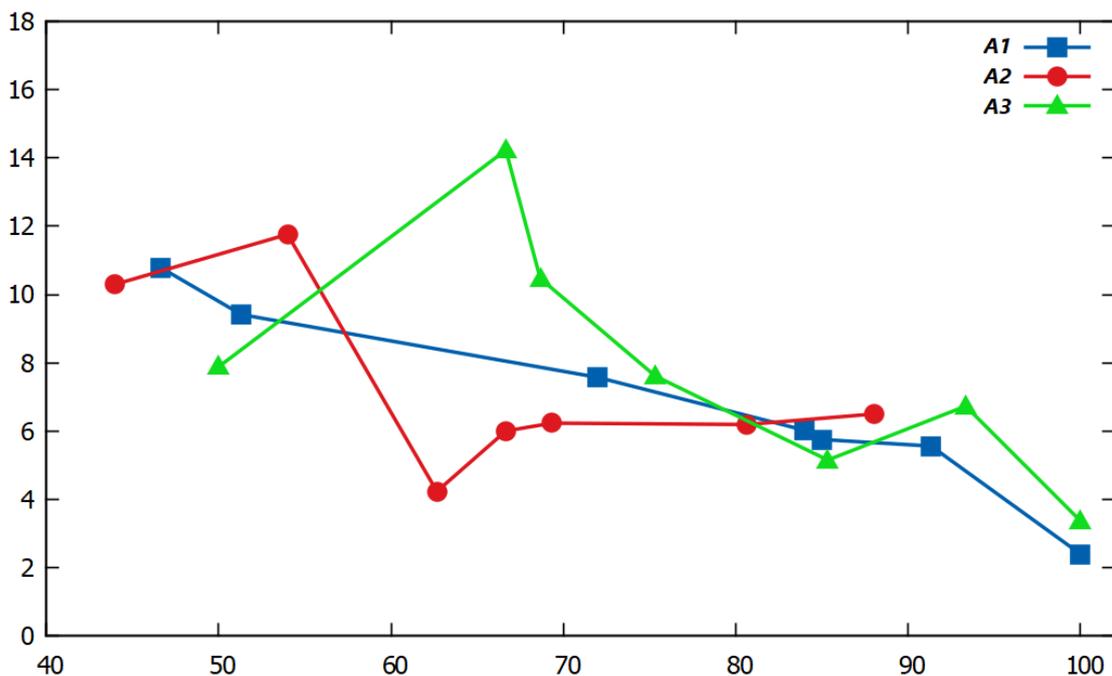
4.3 Conclusões do Experimento

Como indicam os resultados, o erro percentual ainda é alto. Para se obter um menor erro, é necessário prever melhor a relação de variação do sinal com a variação da distância.

Obstáculos como paredes podem influenciar significativamente na intensidade do sinal, fazendo com que distâncias menores não necessariamente impliquem em sinais mais fortes.

As Figuras 4.2 e 4.3 mostra a relação do sinal para cada âncora e as intensidades dos sinais em diferentes distâncias. Como se observa, um incremento no sinal não necessariamente implica em uma distância menor. A intensidade do sinal da âncora A1 possui comportamento previsível, e decai sempre ao longo do gráfico. Porém, as âncoras A2, A3 e A4, realizam oscilações bruscas no sinal, subindo e descendo sem o estabelecimento de um padrão. Isso ocorre porque para alguns pontos medidos, a distância não variava inversamente em relação à variação do sinal. Como consequência, imprecisões na estimativa da distância e consequentemente na estimativa da posição aconteceram.

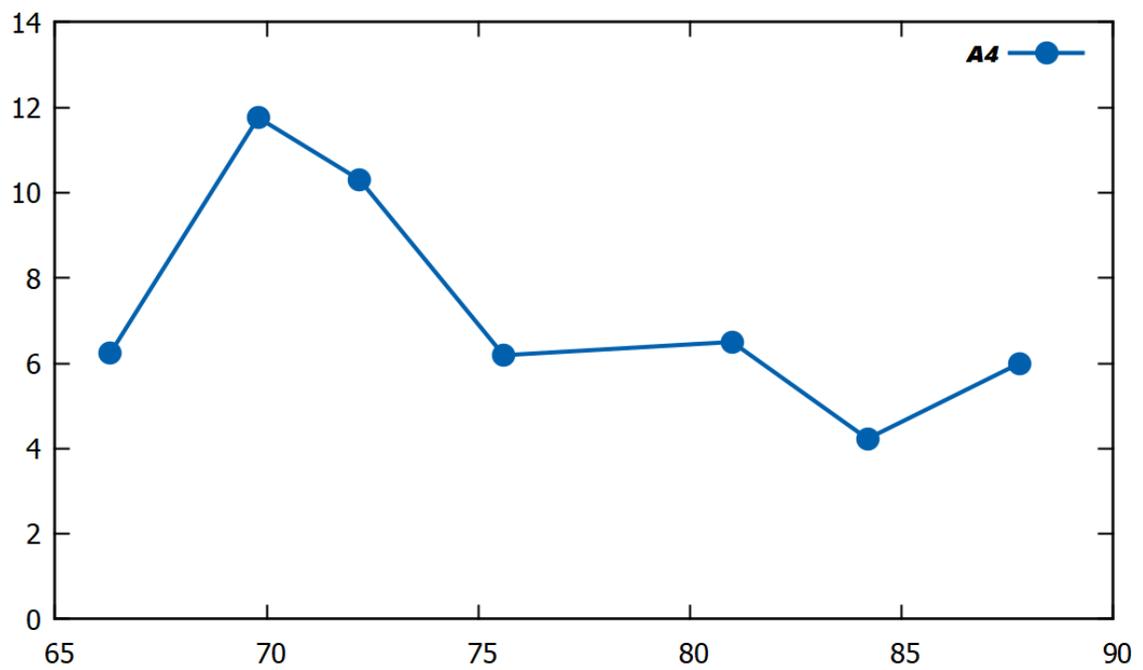
Figura 4.2: Relação das Âncoras A1 – A3 nos pontos medidos entre a intensidade do sinal (eixo x) e a distância (eixo y)



Fonte: própria

Outro fator que influenciou negativamente na estimativa da distância foi que, para pontos muito próximos da âncora, a intensidade do sinal avaliado era de 100%. Com isso, as amostras de Calibração ou pontos de Descoberta tem sua qualidade comprometida, pois para uma posição ainda mais próxima à âncora, a intensidade de sinal será a mesma, ou seja, 100%.

Figura 4.3: Relação da Âncora A4 nos pontos medidos entre a intensidade do sinal (eixo x) e a distância (eixo y)



Fonte: própria

5 CONCLUSÕES

Após a análise dos trabalhos relacionados ao tema, é possível perceber que a tarefa de autolocalização para deficientes visuais ainda é um campo a ser explorado. A tecnologia disponível em *smartphones* surge de uma maneira muito rápida e existe uma lacuna a ser preenchida nos estudos para que se possa tirar proveito desse acontecimento.

Como consequência disso, também emerge uma disponibilidade de dispositivos capazes de emitir sinais e informações em ambientes comuns de diversas tecnologias, como mercados, farmácias, livrarias, shoppings etc. Explorar esses recursos é uma tarefa importante para obter progresso nos campos de estudo da autolocalização e no auxílio a deficientes visuais.

Foram desenvolvidas duas aplicações neste trabalho. A primeira é uma simulação, com a finalidade de ilustrar e compreender de forma intuitiva o algoritmo de trilateração, como a estimativa da posição representada por um círculo ao redor da âncora. O movimento livre do receptor de sinais pela sala dá ao usuário a liberdade de escolher a posição ou movimentar da maneira desejada e observar as estimativas variarem juntamente com a posição.

A segunda aplicação também usa a trilateração, porém usa dados reais de sinais de Wi-Fi e Bluetooth, usando emissores e um ambiente físico nos testes realizados. O mapeamento, a configuração e a calibração do ambiente foram tarefas necessárias e relativamente custosas ao tamanho do ambiente.

As técnicas apresentadas e utilizadas neste trabalho já são comuns. Mas para se obter resultados mais precisos, podem ser necessários dispositivos diferentes, como roteadores Wi-Fi dedicados, bem como técnicas mais avançadas como aquelas que permitem estimar melhor a distância baseada na intensidade sinal. Também são necessários dispositivos emissores de sinais de mais diversas tecnologias e receptores com os sensores capazes de obter esta informação.

A técnica Força do Sinal Recebido se mostrou difícil para obter as informações de distância com a precisão necessária. É uma técnica de fácil implementação, porém como discutido nesse trabalho, é comum se obter resultados inesperados quando variamos a distância entre o emissor e o receptor.

Para trabalhos futuros, sugerem-se algumas melhorias na aplicação de autolocalização. Em primeiro lugar, a escolha de uma técnica mais adequada a FdSR, para que se possa estimar melhor a distância de cada âncora. Isso exige uma implementação mais dedicada e devidamente estudada. Também sugere-se uma técnica de calibração e estimação da distância mais

precisa. Função de primeiro ou até mesmo de segundo grau não são capazes de estimar devidamente a variação de posição, porque a distância não é a variável única nessa equação. Objetos como paredes ou grandes obstáculos em um ambiente, podem adulterar significativamente este resultado. Por último, fazer a implementação da aplicação para um dispositivo de caráter móvel, como Android. A obtenção dos sinais Wi-Fi e de Bluetooth da aplicação desenvolvida em Python funciona exclusivamente no sistema operacional Windows. A aplicação foi desenvolvida assim para se manter nos escopos deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BISWAS, J.; VELOSO, M. WiFi Localization and Navigation for Autonomous Indoor Mobile Robots. **IEEE International Conference on Robotics and Automation**, [S.l.], p.4379–4384, 2010.
- CHEN, Y.; ZHAO, S.; FARRELL, J. A. Computationally efficient carrier integer ambiguity resolution in multiepoch GPS/INS: a common-position-shift approach. **IEEE Transactions on Control Systems Technology**, [S.l.], v.24, n.5, 2016.
- CHIU, S.; MORLEY, D.; MARTIN, J. Sensor data fusion on a parallel processor. **1986 IEEE International Conference on Robotics and Automation**, [S.l.], p.1629–1633, 1986.
- ENGE, P.; MISRA, P. Scanning the Issue/Technology: special issue on global positioning system. , [S.l.], 1999.
- FEDRIZZI, K. Módulo de Auto-Localização para um Agente Exploratório usando Filtro de Kalman. , [S.l.], 2003.
- HE, S.; CHAN, S. H. G. Wi-Fi fingerprint-based indoor positioning: recent advances and comparisons. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, [S.l.], v.18, n.1, p.466–490, 2016.
- HELENE, O. **Método dos Mínimos Quadrados com ênfase em variâncias e com recursos matriciais**. [S.l.: s.n.], 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico de 2020 e o mapeamento das pessoas com deficiência no Brasil. **Departamento de Ações Programáticas e Estratégicas - Coordenação Geral de Saúde da Pessoa com Deficiência**, [S.l.], 2019.
- JAIN, D. Path-Guided Indoor Navigation for the Visually Impaired Using Minimal Building Retrofitting. **ACM ASSETS'14 - ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility**, [S.l.], 2014.
- MEIRELLES, F. 30ª Pesquisa Anual do Uso de TI. **Fundação Getúlio Vargas**, [S.l.], 2019.
- MELIONES, A.; FILIOS, C. BlindHelper: a pedestrian navigation system for blinds and visually impaired. **Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments**, [S.l.], n.26, 2016.

- MELIONES, A.; SAMPSON, D. Blind MuseumTourer: a system for self-guided tours in museums and blind indoor navigation. **Technologies 2018**, [S.l.], v.6, n.4, 2018.
- MORAD, A. GPS Talking For Blind People. **Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence**, [S.l.], p.239–243, 2010.
- MORGAN-OWEN, G. J.; JOHNSTON, G. T. Differential GPS positioning. , [S.l.], p.11–21, 1995.
- PASIN, M. et al. Avaliação Experimental da Acurácia e da Precisão de Tecnologias de Comunicação visando Auto-localização em Redes Veiculares. **Simpósio Brasileiro de Engenharia de Sistemas Computacionais VIII**, [S.l.], 2018.
- RAI, A. et al. Zee: zero-effort crowdsourcing for indoor localization. **Mobicom 12 Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking**, [S.l.], p.293–304, 2012.
- TAYLOR., J. R. An introduction to Error Analysis: the study of uncertainties in physical measurements, *2nd* ed., university science books. , [S.l.], 1997.
- ZAFARI, F.; GKELIAS, A.; LEUNG, K. K. A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies. **IEEE Communications Surveys Tutorials**, [S.l.], p.2568–2599, 2019.
- ZHANG, L. et al. Acomprehensive study of bluetooth fingerprinting-based algorithms for localization. **27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops**, [S.l.], 2013.