

MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

ANDRESSA DA SILVA SIQUEIRA

ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO DE REDE

Rio de Janeiro
2017

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

ANDRESSA DA SILVA SIQUEIRA

ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO DE REDE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Sistemas e Computação.

Orientador: Prof. Paulo Fernando Ferreira Rosa - Ph.D.

Orientador: Maj. Anderson F. Pereira dos Santos - D.Sc.

Rio de Janeiro
2017

c2017

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha
Rio de Janeiro - RJ CEP 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmар ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

000.00 Siqueira, Andressa da Silva
aaa Algoritmo de localização de rede / Andressa da Silva Siqueira, orientado por Paulo Fernando Ferreira Rosa e Anderson F. Pereira dos Santos - Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2017.

93p.: il.

Dissertação (mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2017.

1. Curso de Sistemas e Computação - teses e dissertações. 1. Trilateração. 2. VANT. 3. RSSI. 4. *Outdoor*. I. Rosa, Paulo Fernando Ferreira . II. dos Santos, Anderson F. Pereira . III. Título. IV. Instituto Militar de Engenharia.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

ANDRESSA DA SILVA SIQUEIRA

ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO DE REDE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Sistemas e Computação.

Orientador: Prof. Paulo Fernando Ferreira Rosa - Ph.D.

Orientador: Maj. Anderson F. Pereira dos Santos - D.Sc.

Aprovada em 1 de Dezembro de 2017 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Paulo Fernando Ferreira Rosa - Ph.D. do IME - Presidente

Maj. Anderson F. Pereira dos Santos - D.Sc. do IME

TC Antonio Eduardo Carrilho da Cunha - D.Sc. do IME

Prof. Fábio Borges de Oliveira - Dr.-Ing do LNCC

Rio de Janeiro
2017

Ao Instituto Militar de Engenharia, pela honra de aperfeiçoamento dos meus conhecimentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me incentivaram, apoiaram e possibilitaram esta oportunidade de ampliar meus horizontes.

Agradeço aos meus orientadores Maj. Anderson e Prof. Paulo Rosa pelo apoio e confiança no meu trabalho. A toda a minha família, amigos e colegas que me apoiaram e me deram forças nos meus momentos de fraqueza.

“Se você não mudar a direção, terminará exatamente onde começou.”

ANTIGO PROVÉRBIO CHINÊS

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE SIGLAS	14
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivo	17
1.2 Justificativa	18
1.3 Contribuição	19
1.4 Estrutura da dissertação	20
2 CONCEITOS BÁSICOS E ESTADO DA ARTE	21
2.1 Ondas Eletromagnéticas	21
2.1.1 Características das ondas de Radiofrequência	21
2.1.2 Radiofrequência	22
2.1.2.1 Atenuação	23
2.1.2.2 Reflexão	24
2.1.2.3 Refração	24
2.2 Redes sem fio	24
2.2.1 Padrões IEEE 802.11	26
2.2.2 Access Point	26
2.3 Received signal strength indication	27
2.4 Veículo Aéreo Não Tripulado	28
2.4.1 SISVANT	30
2.4.2 Componentes de um sistema de localização que utiliza radiofrequência	30
2.5 Sistemas de posicionamento	31
2.6 Métodos de Localização	33
2.6.1 Utilização de distância ou ângulo para estimar a localização	33
2.7 Técnicas de estimativa de distância	33
2.7.1 Time Of Arrival	33
2.7.2 Time Difference Of Arrival	35
2.7.3 Angle Of Arrival	35
2.7.4 Receive Signal Strength Indicator	36

2.8	Protocolo UBX	37
2.8.0.1	Trilateração	37
2.8.0.2	Triangulação	40
2.8.1	Utilização de análise de cena para estimar a localização	40
2.8.2	Utilização de proximidade para estimar a localização	41
2.9	Trabalhos Relacionados	42
3	METODOLOGIA, PLATAFORMA EXPERIMENTAL E EXPERI- MENTOS	48
3.1	Plataforma de software	48
3.1.1	Captura de dados de GPS	49
3.1.2	Captura de dados de RSSI	49
3.1.3	Cálculo de distância	50
3.1.4	Cálculo da trilateração	50
3.1.5	Cálculo da posição	50
3.2	Plataforma Experimental	50
3.2.1	Raspberry Pi	50
3.2.2	Navio2	53
3.2.3	Veículo Aéreo Não Tripulado	54
3.2.3.1	Simulador de voo e estação de base	56
3.3	Resultados Experimentais	57
3.3.1	Experimentos em Ambiente Controlado	57
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
4.1	Conclusão	73
4.2	Trabalhos Futuros	73
4.3	Agradecimentos institucionais	74
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
6	APÊNDICES	80
6.1	APÊNDICE 1: Dados capturados no último voo	81
7	ANEXOS	89
7.1	ANEXO 1: Instalação da biblioteca Wifi	90
7.2	Instalação	90
7.3	ANEXO 3: Tutorial da biblioteca Wifi	91

7.3.1	Uso	92
7.3.1.1	Varredura	92
7.3.1.2	Lista	92
7.3.1.3	Adicionar e configurar	93
7.3.1.4	Conectar	93
7.3.1.5	Auto-Conexão	93
7.3.2	Conclusão	93

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG.2.1	Divisão das redes sem fio (SIMEK, 2007).	25
FIG.2.2	Exemplo de VANTs de asas fixas (BRASIL, 2014).	28
FIG.2.3	Exemplo de VANTs de asas rotativas	29
FIG.2.4	Visão geral dos componentes de um sistema de localização que utiliza radiofrequência (RODRIGUES, 2011).	30
FIG.2.5	Diferentes tecnologias que podem ser utilizadas por sistemas de posicionamento para localização de alvos(RODRIGUES, 2011)	33
FIG.2.6	Princípio de funcionamento de três métodos de localização em ambientes internos baseados em RF (RODRIGUES, 2011).	34
FIG.2.7	Localização baseada em medição do tempo de chegada. O objeto alvo, P_c , estima as distâncias D_1 , D_2 e D_3 entre ele e os três beacons P_1 , P_2 e P_3 , baseado no tempo que o sinal leva para percorrer as distâncias. Os relógios de P_c e dos beacons devem estar sincronizados para que o método funcione (RODRIGUES, 2011)	34
FIG.2.8	Taxonomia (a) Caso Ideal, (b) Caso real (TREVISAN, 2009).	38
FIG.2.9	Segundo Rodrigues (2011) essa técnica é baseada na medição do ângulo do sinal recebido em outros dois sensores.	41
FIG.2.10	Comparação dos resultados obtidos entre algoritmos RMCL, MCL, MCB, Amonphous e Centroid (ZHU, 2013)	43
FIG.2.11	Resultado comparativo do algoritmo ALPHA (PRIETO, 2012)	44
FIG.2.12	Resultado apresentado do FILA (WU, 2012b). (a) Estimativa de distâncias do CSI e RSSI em diferentes ambientes. (b) Erro médio no cálculo das distâncias.	45
FIG.2.13	Resultado apresentado do FILA (WU, 2012b). Distribuição cumulativa de erros de localização por intermédio de de 10 posições no (a) laboratório de pesquisa, (b) Teatro de palestra e (c) corredor	45
FIG.2.14	Resultado apresentado do SpotFI (KOTARU, 2015). Parcelas de erros de localização com o ArrayTrack no (a) Implantação dentro de um escritório, (b) Implantação de NLoS alta e (c) corredores	46
FIG.3.1	Estrutura atual da solução proposta.	48
FIG.3.2	Microcomputador Raspberry Pi 3.	53

FIG.3.3	Procedimento correto para a configuração do <i>hardware</i> (EMLID, 2017)	54
FIG.3.4	Acoplamento dos <i>hardwares</i> Navio2 e Raspiberry Pi 3.	56
FIG.3.5	ARF DJI F450 montado (DJI, 2017).	56
FIG.3.6	Instrução de montagem do kit ARF DJI F450 (DJI, 2017).	57
FIG.3.7	Resultado disponibilizado pelo algoritmo do fabricante sem adap- tação	60
FIG.3.8	Medição da potência do sinal com os equipamentos encostados no chão	61
FIG.3.9	Medição da distância entre os equipamentos e o solo	62
FIG.3.10	Medição da potência do sinal com os equipamentos encostados no chão	63
FIG.3.11	Combinações com o RSSI de base igual a -40	67
FIG.3.12	Combinações com o RSSI de base igual a -44	67
FIG.3.13	Combinações com o RSSI de base igual a -48	68
FIG.3.14	Combinações com o RSSI de base igual a -30	68
FIG.3.15	Combinações com o RSSI de base igual a -34	69
FIG.3.16	Combinações com o RSSI de base igual a -38	69

LISTA DE TABELAS

TAB.2.1	Classificação das ondas eletromagnéticas de radiofrequência utilizadas pela rede Wi-Fi (802.11)	23
TAB.2.2	Atenuação de Obstáculos em Micro-ondas de 2.4 GHz (BISATTO, 2009)	24
TAB.2.3	Diferenças entre os padrões Wi-Fi (802.11).	25
TAB.2.4	Canais 802.11b especificados (CARVALHO, 2007).	26
TAB.2.5	Classificação de VANTs pelo tipo de asa	28
TAB.2.6	Classificação de VANTs pelo tamanho (MATIAS, 2012).	29
TAB.2.7	Classificação de VANTs pela finalidade do uso (MATIAS, 2012).	29
TAB.2.8	Classificação de VANTs pelo seu peso (AÉREO, 2015).	32
TAB.2.9	Comparação entre algumas técnicas de localização (FAGUNDES, 2008).	36
TAB.2.10	Tabela comparativa entre os trabalhos relacionados exemplificados	47
TAB.3.1	Especificação do ARF DJI F450 (DJI, 2017).	55
TAB.3.2	Componentes usados na montagem do ARF DJI F450.	55
TAB.3.3	Informações gerais das redes capturadas pelo <i>hardware</i> durante os testes	58
TAB.3.4	Alguns dos valores das redes capturadas pelo <i>hardware</i> durante os testes	59
TAB.3.5	Resultado de leitura dos valores do roteador 1 no segundo teste realizado na altura do chão	64
TAB.3.6	Resultado de leitura dos valores do roteador 2 no segundo teste realizado na altura do chão	64
TAB.3.7	Resultado de leitura dos valores do roteador 1 no segundo teste realizado 46 cm de altura do chão	65
TAB.3.8	Resultado de leitura dos valores do roteador 2 no segundo teste realizado a 46 cm de altura do chão	65
TAB.3.9	Valores de RSSI de base	66
TAB.3.10	Combinações de RSSI de Base e variável de ambiente testados	66
TAB.3.11	Roteadores usados para validação da proposta.	70
TAB.3.12	Quantidade de leituras feitas para cada roteador versus quantidade de leitura válida.	70

TAB.3.13	Quantidade de leituras feitas para cada roteador versus quantidade de leitura válida por receptor.	71
TAB.3.14	As três melhores leituras consideradas válidas para cada emissor em cada receptor.	71
TAB.3.15	As três melhores leituras consideradas válidas para cada roteador.	71
TAB.3.16	Resultado da solução proposta por receptor.	72
TAB.3.17	Resultado da solução proposta por roteador.	72
TAB.3.18	Erro médio entre a posição real e a posição estimada pela solução proposta.	72
TAB.6.1	Quantidade de leituras feitas para cada roteador versus quantidade de leitura válida.	81

LISTA DE SIGLAS

AoA	Angle Of Arrival (Ângulo de Chegada)
AP	Access Point (Pontos de Acesso)
CSI	Channel State Information (Informação do Status do Canal)
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers (Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica)
GPS	Global Position System (Sistema de Posicionamento Global)
RSSI	Receive Signal Strength Indicator (Indicador da Força de Sinal Recebido)
TDoA	Time Difference Of Arrival (Tempo Diferencial de Chegada)
ToA	Time Of Arrival (Tempo de Chegada)
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

RESUMO

O crescente avanço tecnológico tem contribuído para a disseminação de novas tecnologias, especialmente redes de comunicação sem fio. A crescente evolução e generalização dessa tecnologia nos ambientes empresarias, acadêmicos e residenciais é devida a flexibilidade e mobilidade gerada por essas redes para seus usuários.

Essa evolução e o crescente aumento de dispositivos portáteis sem fio inseridos em ambientes onde essas redes estão presentes, permite a criação de sistemas de geolocalização para todos os tipos de componentes envolvidos nessa rede de comunicação, podendo ser utilizado para monitoramento e gestão de recursos humanos dentro de uma organização, para localização e rastreamento de alvos durante a guerra, para socorro às vítimas de desastres naturais entre outros.

Apesar da localização de dispositivos já ser assegurada, com um nível de precisão de aproximadamente de três metros, pelo serviço de GPS (*Global Position System* - Sistema Global de Posicionamento), para determinados sistemas, a diferença entre a posição real e a posição fornecida por sistemas que utilizam apenas esse serviço é considerada insuficiente, sendo necessária uma precisão maior, além de, nem sempre ser possível conhecer a localização do dispositivo previamente por falta de registros ou por falha nos meios de comunicação.

Este trabalho aborda um problema crítico, especificamente para sistemas de geolocalização e rastreamento de alvos. O principal objetivo é apresentar um algoritmo de localização em ambiente *outdoor* baseado na força do sinal recebido em que o sistema não possui o conhecimento prévio da localização dos roteadores, também conhecidos como *Access Points* (APs).

As técnicas usualmente utilizadas pelos sistemas de localização serão abordadas de forma sucinta neste trabalho. A técnica de trilateração, uma das menos custosas a ser implementada, pois não necessita de inclusão de nenhum equipamento além de um receptor de sinal Wi-Fi (802.11), é o objeto de estudo mais aprofundado devido a sua fácil implementação. Alguns algoritmos de referência na área, que são apresentados neste trabalho, utilizam recursos adicionais (tais como, sensores de som ou várias antenas) ou técnicas específicas (mapas de assinaturas, análise de angulação da chegada do sinal entre outros) que tornem vários algoritmos criados de difícil implementação ou alto custo ou não possuem uma boa precisão na localização fornecida.

Como diferencial, a abordagem desse trabalho é criação de um algoritmo totalmente genérico que não necessite de recursos nem técnicas adicionais para fornecer a geolocalização de APs com uma boa precisão. Experimentos reais foram conduzidos com o uso de uma plataforma de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) que permite o embarque de um microcomputador e um controlador de voo para a coleta de todos os dados de potência de sinal e de dados do GPS. Modelos matemáticos já conhecidos no meio acadêmico foram utilizados para os cálculos necessários para encontrar a localização estimada dos APs.

ABSTRACT

The growing technological advance has contributed to the spread of new technologies, especially for wireless networks. The increasing evolution and generalization of this technology in business, academic and residential environments is due to the flexibility and mobility generated by these networks for its users.

This evolution and the growing increase of portable wireless devices inserted in environments where these networks are present, allows the creation of geolocation systems for all types of components involved in this communication network, and can be used for monitoring and management of human resources inside of an organization, for geolocation and tracking of targets during the war, for the rescue of victims of natural disasters among others. There are numerous applicability's of this type of system.

Although the location of devices is already assured, with a level of accuracy of about three meters, by the GPS (Global Position System) service, for certain systems, the difference between the actual position and the position provided by systems that use only this service is considered insufficient, requiring greater precision, besides, it is not always possible to know the location of the device previously due to lack of records or failure in the media.

This work addresses a critical problem, specifically for geolocation systems and target tracking. The main goal is to present a localization algorithm based on the strength of the received signal where the system does not have the prior knowledge of the location of the routers, also known as Access Points (APs).

The techniques commonly used by the localization systems will be summarized in this work. The trilateration technique, one of the least costly to be implemented, because it does not need to include any equipment other than a Wi-Fi (802.11) signal receiver, is the object of further study due to its easy implementation.

Some algorithms of reference in the area, which are presented in this work, use additional features (such as sound sensors or several antennas) or specific techniques (signature maps, signal angulation analysis among others) that make several algorithms created difficult to implement or high cost or do not have good accuracy in the location provided.

As a differential, the approach of this work is to create a totally generic algorithm that does not require additional resources or techniques to provide the geolocation of APs with a good precision. Actual experiments were conducted using an UAV (Unmanned Aerial Vehicle) platform that allows the shipment of a microcomputer and a flight controller to capture all signal power and GPS data. Mathematical models already known in the academic world were used for the calculations necessary to find the estimated location of the APs.

1 INTRODUÇÃO

O crescente avanço tecnológico das últimas décadas foi determinante para a disseminação de novas tecnologias e sistemas de comunicação, além de possibilitar a redução dos custos de produção dos componentes de *hardware* que trouxe uma redução nos valores dos produtos eletroeletrônicos e conseqüentemente, um aumento nas vendas dos dispositivos móveis. Esse cenário tem ajudado a evolução e generalização das rede de comunicação sem fio em ambientes empresariais, acadêmicos e residenciais devido a flexibilidade e mobilidade que essas redes proporcionam aos seus usuários.

Na sociedade atual, em que houve um aumento de dispositivos portáteis sem fio que utilizam as redes de comunicação sem fio, permite, por exemplo, a criação de sistemas de geolocalização para monitoramento e gestão de recursos humanos dentro de uma organização, para geolocalização e rastreamento de alvos durante a guerra, para socorro às vítimas de desastres naturais entre outros. São inúmeras as aplicabilidades desse tipo de sistema o que tem encorajado a crescente pesquisa em serviços e sistemas de localização baseados nesses dispositivos.

A localização exata de um alvo é considerada crítica quando se tratam de aplicações específicas, tais como de reconhecimento do território inimigo durante uma guerra, de busca e resgate de vítimas de desastres naturais entre outros.

Para Carvalho (2007) a tecnologia Wi-Fi (802.11) é recente e tem grandes potencialidades como tecnologia de suporte a aplicações que requerem mobilidade e flexibilidade despertando o interesse dos investigadores em todo o mundo. A instalação em massa de redes Wi-Fi (802.11) em locais públicos e privados como, por exemplo, escolas, hospitais, e centros comerciais, vieram viabilizar os sistemas de localização baseados em redes Wi-Fi (802.11). A viabilidade destes sistemas depende diretamente dos métodos de localização, da complexidade das áreas em estudo (interiores e exteriores) e da tecnologia de infraestrutura.

1.1 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é a criação de um algoritmo que seja implementável, universal e preciso e que consiga estimar a localização, no Sistema de Posicionamento Global (*GPS - Global Position System*), de um Ponto de Acesso (*AP - Access Point*).

A ideia é que o algoritmo esteja embarcado em um *VANT* (Veículo Aéreo Não Tripulado) e em tempo real, capture as informações, calcule e forneça a localização de um AP com um erro médio menor que 1 m entre a localização real e a estimada.

1.2 JUSTIFICATIVA

Apesar da localização de dispositivos já ser assegurada, com um nível de precisão de pouco menos de três metros pelo serviço de *GPS*, para determinados sistemas a diferença entre a posição real e a posição fornecida por sistemas que utilizam apenas esse serviço é considerada insuficiente, sendo necessária uma maior precisão, além de, nem sempre ser possível conhecer a localização do dispositivo previamente por falta de registros ou por falha nos meios de comunicação.

Por causa dos efeitos sofridos no sinal *Wi-Fi (802.11)* e dos erros intrínsecos, os algoritmos criados que utilizam somente essas informações não conseguem fornecer com precisão a localização dos APs. Durante a revisão da literatura sobre algoritmos de localização de APs, o menor erro médio encontrado foi de 50 cm entre a localização real e a estimada.

Segundo Kim (2006), sistemas de localização utilizando infraestrutura *Wi-Fi (802.11)* devem idealmente satisfazer as três condições fundamentais:

Implementável - Devem ser facilmente destacáveis na infraestrutura de *Wi-Fi (802.11)* existente sem a necessidade de qualquer mudança de *hardware* ou de *firmware*; eles só devem trabalhar com informações como Indicador da Força de Sinal Recebido (RSSI - *Receive Signal Strength Indicator*) e Informação do Status do Canal (CSI - *Channel State Information*) que já estão implantados nos APs.

Universal - Devem ser capazes de localizar qualquer dispositivo de destino que forneçam *Wi-Fi (802.11)*. Eles não devem exigir que o alvo tenha qualquer outro *hardware*, seja sensores como acelerômetros, giroscópios, barômetros, câmeras, etc., ou rádios como a UWB (ultra-wideband), ultrassom, *Bluetooth*, etc.

Preciso - Devem ser exatos, ou seja, devem ser idealmente tão exatos ou mais que os sistemas de localização mais conhecidos que usam sinais *Wi-Fi (802.11)* (inclusive aqueles que não satisfazem os dois requisitos anteriores).

Porém a maioria dos sistemas atuais ainda não conseguem satisfazer essas três condições simultaneamente.

Os desafios no desenvolvimento de um sistema de localização de redes Wi-Fi (802.11) que forneça, com exatidão, a localização do AP e que se enquadre nas três condições mencionadas anteriormente são devidos:

- Aos efeitos que as ondas de radiofrequência sofrem quando estão se propagando em um meio, como reflexão, absorção, espalhamento e difração do sinal.
- Ao sinal de GPS, que é utilizado em larga escala para localização de alvos em ambientes *outdoors* (externos) ter uma média de erro de 3 metros.

Segundo Kotaru (2015), sistemas baseados em RSSI são implementáveis e universais, mas não são precisos; tendo sua precisão média variando entre dois e quatro metros (BAHL, 2000), (CHINTALAPUDI, 2010) e (FERRIS, 2007). Técnicas recentes que dependem do AoA (*Angle of Arrival*) estimado, como os algoritmos ArrayTrack (XIONG, 2013) e LTEye (KUMAR, 2014a), são precisos e universais, mas não são implementáveis pois eles exigem modificações de *hardware*.

1.3 CONTRIBUIÇÃO

A principal contribuição deste trabalho foi o desenvolvimento de um algoritmo totalmente genérico, ou seja, capaz de realizar a captura de dados de qualquer rede de comunicação sem fio sem nenhuma restrição, exceto a de alcance do sinal emitido.

São selecionados os dados de potência e qualidade do sinal recebido, o endereço físico do emissor do sinal e a posição, em coordenadas GPS, do receptor naquele instante de leitura. Com a potência de sinal recebido é possível estimar a distância entre o emissor e o receptor após cada leitura criando-se tuplas com os valores de potência de sinal, qualidade, posição do receptor e a distância estimada.

Todas as tuplas que possuem valores de potência de sinal e qualidade maiores que -70 dBm e 41, respectivamente, são sinalizadas como tuplas válidas para o uso no cálculo da trilateração, que é realizado com as três melhores tuplas de cada emissor, ou seja, as que possuem o conjunto com os maiores valores de potência de sinal e qualidade.

Para minimizar o erro intrínseco presente nas equações matemáticas, é feita a média aritmética das longitudes e latitudes das três tuplas definidas como as melhores naquele momento. Após esse cálculo, é feita uma nova média entre os valores calculado na trilateração e na média aritmética.

O algoritmo é considerado preciso, implementável e universal pois:

- Não necessita de nenhum hardware com características específicas para seu funcionamento (por exemplo um receptor de três antenas);

- Funciona com qualquer receptor de rede Wi-Fi (802.11) genérico;
- Não é necessário realizar nenhuma mudança nas redes já existentes; e
- Possui uma taxa de erro entre a localização estimada e média menor que 50 cm.

Outra contribuição apresentada neste trabalho é a demonstração, por intermédio de experimentos científicos realizados em ambientes *outdoors* controlados, de como foram definidos os valores de variável de ambiente e do RSSI de base que são aplicados na equação do cálculo de distância utilizados na solução proposta.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No capítulo 2, são identificados e explicados conceitos e técnicas de localização e os trabalhos relacionados. Enquanto no capítulo 3, são apresentados a metodologia utilizada, a plataforma experimental de trabalho, o sistema de localização criado, além dos ensaios e resultados obtidos, sendo feita uma análise e discussão em relação aos mesmos.

E, no capítulo final, são apresentadas as conclusões e linhas de pesquisas para trabalhos futuros.

2 CONCEITOS BÁSICOS E ESTADO DA ARTE

Para melhor entendimento desse trabalho, neste capítulo é feita uma ampla revisão de conceitos essenciais utilizados.

2.1 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

"A propagação da energia se faz por intermédio de movimentos ondulatórios, de um ponto a outro no espaço com velocidade 3×10^8 m/s" (MORAES, 2002)

Em 1886, Heinrich Hertz demonstrou que a transmissão de energia elétrica por intermédio do espaço acontece como uma onda que se propagam em dois campos variáveis: um elétrico e outro magnético e podem se propagar no vácuo na velocidade da luz.

Todas as ondas eletromagnéticas estão contidas em um intervalo chamado de espectro eletromagnético ordenadas de acordo com a sua frequência (f) e comprimento de onda (λ) - que varia entre 100 a 50.000 nm - e conseqüentemente a sua energia. Ele mostra as ondas eletromagnéticas (ondas de rádio (menor frequência do espectro), as micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios x e raios gama (maior frequência do espectro)) e suas frequências e comprimentos de onda, colocando todas juntas em um esquema em que seja possível localizar uma em relação a outra (SCHIRMER, 2015).

O espectro de onda eletromagnético chamado de radiofrequência está compreendido entre as frequências de 3 quilohertz a 300 giga-hertz (1 Hertz = um ciclo de onda por segundo) e as frequências são utilizadas por estações de rádio, TV, celulares, micro-ondas, entre outros (GODOY VIERA, 2007).

2.1.1 CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS DE RADIOFREQUÊNCIA

Algumas características estão presentes em todas as ondas eletromagnéticas independente da forma que foram criadas.

- Os campos elétrico e magnético são perpendiculares à direção de propagação da onda;
- O campo elétrico é perpendicular ao campo magnético; e

- Os campos variam sempre na mesma frequência e estão em fase.

Assim como todos os tipos de ondas, as ondas eletromagnéticas são caracterizadas pelas grandezas.

Período - É o intervalo de tempo que a onda leva para completar um ciclo, ou seja, é tempo necessário para se produzir uma onda completa;

Frequência - É o número de oscilações da onda (número de ciclos), por um certo período de tempo. A unidade de medida dessa grandeza é o Hertz, que corresponde a um ciclo (onda) por segundo;

Fase - Representa o avanço ou atraso da onda em relação ao ponto de origem. A constante de fase, conhecido como ângulo de fase, depende do deslocamento e da velocidade no instante $t = 0$;

Amplitude - É o valor da altura da curva senoidal da onda de rádio, ou seja, é a distância de uma crista ou um vale ao nível de equilíbrio. Representa a força do sinal;

Comprimento de onda - É a distância entre dois máximos sucessivos (λ), ou seja, é a distância que a onda percorre durante um período. O comprimento pode ser medido em três pontos diferentes: de crista a crista, do início ao final de um período ou de vale a vale; e

Potência - É a intensidade de uma onda eletromagnética, ou seja, é quantidade de energia, que passa por uma determinada área em um intervalo de tempo.

2.1.2 RADIOFREQUÊNCIA

De forma geral, entende-se que os sinais de radiofrequência ocupem um intervalo de poucas dezenas de quilohertz (kHz) a várias centenas de giga-hertz (GHz) (TOOLEY, 2007). Dentro desse intervalo, a tecnologia de redes Wi-Fi (802.11) se encontra nas faixas UHF e SHF para a comunicação (Tabela 2.1).

Porém o seu comportamento está diretamente relacionado com o meio em que se propaga, havendo atenuação do sinal transmitido e podendo haver interferência na onda causadas pelas condições atmosférica, quer dizer, quando existe diferenças de temperatura, pressão e umidade dentro da região onde está se propagando a onda, podendo ocasionar refração da onda, e pela superfície da Terra, isto é, a altitude em relação à superfície da Terra podendo ocasionar reflexões, são extremamente relevantes e interferem diretamente ao desempenho dos algoritmos de localização das redes Wi-Fi (802.11).

TAB. 2.1: Classificação das ondas eletromagnéticas de radiofrequência utilizadas pela rede Wi-Fi (802.11)

Faixa da banda	Sigla	Frequência de operação	Comprimento de onda (m)	Exemplo de utilização
Frequências ultra altas	UHF	Entre 300 MHz e 3 GHz	De 1 até 10×10^{-2}	Controle de tráfego aéreo, medicina, estações de TV.
Frequências super altas	SHF	Entre 3 GHz e 30 GHz	De 10×10^{-2} até 1×10^{-2}	Comunicação pública a longa distância: sistemas interurbanos e internacionais em rádio visibilidade, tropo difusão e satélite.

2.1.2.1 ATENUAÇÃO

Toda onda eletromagnética sofre perdas de sinal durante sua transmissão. Segundo Carvalho (2007), a fórmula de propagação de Friis vai mais além, mostrando que para a comunicação entre duas antenas de rádio ser efetuada com o mínimo de perdas é necessário não só existir linha de visão entre emissor e receptor, como também em toda a zona de Fresnel (uma série de elipses concêntricas em torno da linha de visão). Esta fórmula é frequentemente usada em telecomunicações, uma vez que consegue descrever matematicamente qual o comportamento de um sinal de rádio em condições ideais.

Bisatto (2009) dizem que a obtenção da atenuação de sinal entre a estação e o ponto de acesso é por intermédio da fórmula de atenuação das micro-ondas no ar:

$$A_{ar} = 20 \log\left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right) \quad (2.1)$$

Tal que:

A_{ar} - é atenuação em dB.

D - é a distância em metros.

λ - é o comprimento de onda em metros.

Além da atenuação causada pelo meio de propagação, quando um sinal de micro-ondas encontrar um obstáculo, poderá também sofrer diferentes graus de atenuação. A atenuação causada por alguns tipos de obstáculos pode ser obtida por intermédio de da Tabela 2.2 (BISATTO, 2009):

A potência de sinal recebida de uma rede é definida pela formula:

$$R_x = P_t + G_{ar} - A_{ar} \quad (2.2)$$

TAB. 2.2: Atenuação de Obstáculos em Micro-ondas de 2.4 GHz (BISATTO, 2009)

Obstáculo	Atenuação
Divisória de escritório com janela de vidro	4 dB
Porta corta-fogo 25"	19 dB
Tijolo 3,5"	6 dB
Parede de madeira sólida	6 dB
Parede de concreto 18"	18 dB
Divisória de vidro 0,5"	12 dB
Corpo humano	3 dB

Tal que:

R_x - é a potência do sinal em dB

P_t - é a potência de transmissão da placa de rede origem em dBm

G_{ar} - é o ganho da antena de transmissão em dBi

A_{ar} - é a atenuação do ar em dB

2.1.2.2 REFLEXÃO

É um fenômeno que ocorre quando uma onda é refletida quando atingem em uma superfície.

2.1.2.3 REFRAÇÃO

É quando uma onda sofre mudanças na direção de sua propagação quando passa de um meio para o outro.

2.2 REDES SEM FIO

Trata-se de um padrão de comunicação através de ondas eletromagnéticas que pode operar na faixa de frequência conhecida como Industrial, Scientific and Medical – ISM (Industrial, Científico e Médico) de 2,4 GHz ou 5 GHz (COLEMAN, 2012) e sua abreviatura vem do termo em inglês *Wireless Fidelity*.

Esse tipo de rede é baseado nos protocolos de comunicação IEEE 802.11 (CARVALHO, 2007).

Para existir uma rede Wi-Fi (802.11) são necessários pelo menos dois dispositivos, que por meio de antenas, garantam a recepção e transmissão de ondas de rádio a uma

frequência acima dos 2.4 GHz e com a capacidade de modular e demodular esses sinais (CARVALHO, 2007).

As redes sem fio são frequentemente divididas em quatro grupos específicos seguindo critérios tais como área de atuação, alcance do sinal, entre outros (Figura 2.1).

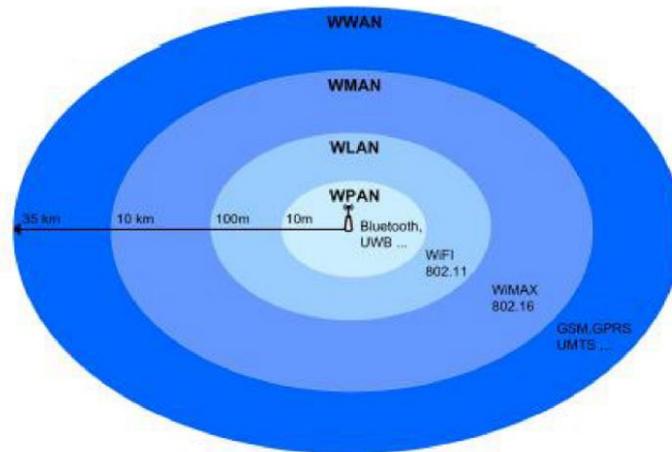


FIG. 2.1: Divisão das redes sem fio (SIMEK, 2007).

Segundo Telecomunicações (1999), no Brasil, o órgão responsável pelo licenciamento de frequências de rádio transmissão é a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) que disponibiliza alguns segmentos de radiofrequência para uso sem necessidade de licenciamento. As frequências disponíveis estão nos intervalos: 902-907,5 MHz, 915-928 MHz, 2,400 e 2,483,5 MHz, 5.725-5.875 MHz e 24,00-24,25 GHz. Dentre essas faixas de frequência somente duas são usadas pelo Wi-Fi (802.11).

O Wi-Fi (802.11) atualmente possui 4 padrões de comunicação amplamente utilizados: 802.11a, 802.11b, 802.11g e 802.11n. Para cada um desses padrões é definida uma frequência específica, velocidade de transmissão, o tipo de modulação de dados utilizado na onda para a onda eletromagnética gerada. Alguns padrões possuem interoperabilidade entre si facilitando a criação de uma rede Wi-Fi (802.11) (Tabela 2.3).

TAB. 2.3: Diferenças entre os padrões Wi-Fi (802.11).

Padrão	Frequência	Velocidades	Modulação	Interoperabilidade com
802.11a	5 GHz	até 54 Mbps	OFDM	Nada
802.11b	2.4 GHz	até 11 Mbps	DSSS	Nada
802.11g	2.4 GHz	até 54 Mbps	DSSS	802.11b
802.11g	2.4 GHz	até 54 Mbps	OFDM	802.11b
802.11n	2.4 GHz / 5 GHz	até 450 Mbps	MIMO-OFDM	802.11b, 802.11g

2.2.1 PADRÕES IEEE 802.11

Segundo Stefanuto (2016), em 1999, quatro grupos empresariais, 3Com, Nokia, Lucent Technologies e Symbol Technologies criaram o grupo chamado WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), que deu origem ao Wi-Fi Alliance em 2003. Objetivo desse grupo foi definir uma norma para as redes locais sem fio do tipo WLAN especificando as camadas física e de controle de acesso ao meio (MAC) garantindo a interoperabilidade entre dispositivos Wi-Fi (802.11) de diferentes fabricantes.

De acordo com Carvalho (2007), existem vários dispositivos que podem integrar uma rede Wi-Fi: celulares, notebooks, computador pessoal e APs (*Access Point*).

O IEEE definiu a norma 802.11, os padrões de comunicação e os canais e suas respectivas frequências centrais para que seja possível coexistirem diferentes redes Wi-Fi (802.11) no mesmo local, atenuando a interferência entre redes.

Tal foi conseguido atribuindo a cada canal uma frequência central diferente (Tabela 2.4) e uma margem para cada um poder operar (CARVALHO, 2007).

TAB. 2.4: Canais 802.11b especificados (CARVALHO, 2007).

Canal	Frequência Central (GHz)
1	2.412
2	2.417
3	2.422
4	2.427
5	2.432
6	2.437
7	2.442
8	2.447
9	2.452
10	2.457
11	2.462
12	2.467
13	2.472
14	2.484

2.2.2 ACCESS POINT

O *Access Point* (AP), é um *hardware* que possui o objetivo de repetir um sinal e distribuir acesso à rede através de ondas de radiofrequência a outros dispositivos.

Um AP fornece uma entrada para o *backbone* (cabeados) da rede e uma saída para os usuários por intermédio de de RF. A maioria dos APs são dotados de antenas inter-

nas, normalmente isotrópicas, que cobrem uma área específica, dependendo da potência utilizada pelo AP e do ambiente de implantação (NAJNUDEL, 2004).

2.3 RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATION

Para o cálculo do RSSI, é utilizada a equação de Friis (TRENTIN, 2011), que descreve a propagação de uma onda eletromagnética no espaço levando em consideração que a potência do sinal recebido decai com o aumento da distância entre o receptor e o transmissor, Equação 2.3.

$$P_R = \frac{P_T \cdot G_R \cdot G_T \cdot \lambda_0^n}{(4 \cdot \pi \cdot d)^n \cdot L} \quad (2.3)$$

Tal que:

- P_R é o valor da potência recebida expressa em *Watt* (W) ou em *Decibel miliwatt* (dBm);
- P_T é o valor da potência transmitida expressa em *Watt* (W) ou em *Decibel miliwatt* (dBm);
- G_R é o valor do ganho da antena do receptor que é adimensional;
- G_T é o valor do ganho da antena do transmissor que é adimensional;
- λ_0 é o valor do comprimento de onda do sinal enviado expresso em metros;
- d é o valor da distância separando o transmissor do receptor expresso em metros;
- L é o valor do fator de perda do sistema não relacionado com a propagação (L menor ou igual a 1);
- n é a variável de ambiente, ou seja, o *path loss*.

Se somente as perdas referentes ao meio forem consideradas, os valores de G_R , G_T e L serão iguais 1, assim temos a Equação 2.4.

$$P_R = P_T \cdot \left(\frac{\lambda_0}{(4 \cdot \pi \cdot d)} \right)^n \quad (2.4)$$

O valor de n normalmente varia entre 2 e 5. Existe somente um caso em que o valor de n pode ser menor que 2, é no caso da onda sofrer uma interferência construtiva.

2.4 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) são aeronaves que possuem a capacidade de realizar tarefas como monitoração e mapeamento sem a necessidade de existir um piloto a bordo.

Segundo a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) (CIVIL, 2012):

Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT: Aeronave projetada para operar sem piloto a bordo e que não seja utilizada para fins meramente recreativos. Nesta definição, incluem-se todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e os aeromodelos.

Cabe ressaltar também que a definição de VANT é englobada pela definição de aeronave constante do RBAC 01, Emenda 02: *Aeronave significa um dispositivo que é usado ou que se pretenda usar para voar na atmosfera, capaz de transportar pessoas e/ou coisas.*

Embora inicialmente projetado para fins militares, os VANTs têm sido utilizados para diversos outros fins, como auxílio em vigilância, na cartografia, no controle de tráfego urbano, missões de busca e resgate, acesso a regiões críticas, bem como na agricultura - em especial, na agricultura de precisão (SILVA, 2015).

Os VANTs podem ser classificados pelo seu tipo de asa (Tabela 2.5), pelo seu tamanho (Tabela 2.6), pela finalidade de seu uso (Tabela 2.7), ou pelo seu peso (Tabela 2.8).

TAB. 2.5: Classificação de VANTs pelo tipo de asa

Classificação de VANTs	Indicação de uso
VANTs de asas fixas	São indicados para sobrevoar uma área extensa ao ar livres, Figura 2.2.
VANTs de asas rotativas	São indicados para sobrevoar em ambientes fechados e em baixa altitude, Figura 2.3.



FIG. 2.2: Exemplo de VANTs de asas fixas (BRASIL, 2014).

TAB. 2.6: Classificação de VANTs pelo tamanho (MATIAS, 2012).

Classificação de VANTs	Descrição
Micro - VANTs	São pequenos o suficiente para caber na palma da mão (em geral tem menos de 1 Kg)
Mini - VANTs	São pequenos o suficiente para serem lançados por uma pessoa
Small Tactical VANTs	Intermediários entre Mini-VANT e TVANT, em geral lançados por catapulta ou sistema similar
Tactical VANTs TVANTs	Usados para reconhecimento com autonomia de diversas horas e raio de até 200 Km
Naval VANTs	VANTs táticos adaptados para operações em embarcações
MALE VANTs	Medium Altitude/Long Endurance
HALE VANTs	High Altitude/Long Endurance
UCAVs	Unmanned Combat Air Vehicles

TAB. 2.7: Classificação de VANTs pela finalidade do uso (MATIAS, 2012).

Classificação de VANTs	Indicação de uso
Alvos Aéreos	Fornecem a artilharia em solo ou aérea em um alvo que simula uma aeronave ou míssil inimigo
Reconhecimento	Fornece informação para o setor de inteligência num campo de batalha
Combate	Proporciona capacidade de ataque preciso em missões de alto risco
Logística	VANTs projetados para operações de carga e logística
Pesquisa e Desenvolvimento	Utilizado para o desenvolvimento de tecnologias a serem integradas em VANTs operacionais
VANTs Cíveis e Comerciais	VANTs projetados para aplicações cíveis e comerciais



FIG. 2.3: Exemplo de VANTs de asas rotativas

2.4.1 SISVANT

Os Veículos Aéreos Não Tripulados, por não possuírem piloto a bordo, necessitam de infraestrutura remota para sua operação, que compõe o que se denomina Sistema de Veículo Aéreo Não Tripulado - SISVANT. O SISVANT engloba, além do VANT, os componentes necessários para a execução do táxi (rota), decolagem/lançamento, voo e pouso/recuperação do veículo, os meios necessários para a realização da missão, a estação de pilotagem remota, *software*, meios para comunicações e controle, enlaces de dados (*data links*), cargas, equipamentos para lançamento e recuperação e de manutenção e suporte (CIVIL, 2012).

Segundo Aéreo (2010), como os VANTs são reconhecidos como um tipo de aeronave devem ser pilotados diretamente por um piloto localizado em uma estação remota de pilotagem - ERP (*remotely piloted aircraft*) ou indiretamente por intermédio de programação (aeronave autônoma).

2.4.2 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO QUE UTILIZA RADIOFREQUÊNCIA

Um sistema de localização que utiliza radiofrequência possui um ou mais dispositivos que fornecem as informações coletadas, por exemplo RSSI, ToA, TDoA, AoA. Essas informações estimadas são usadas para pelo algoritmo de localização para estimar a posição do objeto alvo (Figura 2.4).

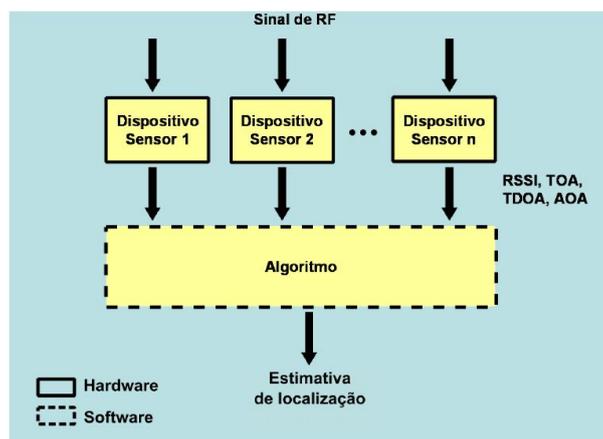


FIG. 2.4: Visão geral dos componentes de um sistema de localização que utiliza radiofrequência (RODRIGUES, 2011).

2.5 SISTEMAS DE POSICIONAMENTO

Sistemas de posicionamento exploram as assinaturas de radiofrequência criadas em cada local pelos APs para determinar a posição de dispositivos localizados utilizando diferentes tecnologias (Figura 2.5).

TAB. 2.8: Classificação de VANTs pelo seu peso (AÉREO, 2015).

Classificação de VANTs	Peso	Indicação de uso
Classe 1	peso maior que 150 kg	Aeronaves deverão ser certificadas pela ANAC, serão registradas no Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB) e pilotos deverão possuir Certificado Médico Aeronáutico (CMA), licença e habilitação. Todos os voos deverão ser registrados.
Classe 2	peso menor ou igual a 150 kg e maior que 25 kg	Aeronaves não precisarão ser certificadas, mas os fabricantes deverão observar os requisitos técnicos exigidos e possuir o projeto aprovado pela Agência. Também deverão ser registradas no RAB e pilotos deverão possuir CMA, licença e habilitação. Todos os voos também deverão ser registrados.
Classe 3	peso menor ou igual a 25 kg	Se operados até 400 pés acima do nível do solo (aproximadamente 120 metros) e em linha visada, serão apenas cadastrados (apresentação de informações sobre o operador e o equipamento). Não será requerido CMA nem será necessário registrar os voos. Licença e habilitação somente serão requeridas para quem pretende operar acima de 400 pés. As operações de RPA até 25 kg só poderão ocorrer a uma distância mínima de 30 metros de uma pessoa. A distância pode ser menor no caso de pessoas anuentes (aquelas que concordarem expressamente com a operação) ou de pessoas envolvidas na operação. Em áreas urbanas e aglomerados rurais, as operações serão de no máximo 200 pés acima do nível do solo (aproximadamente 60 metros).

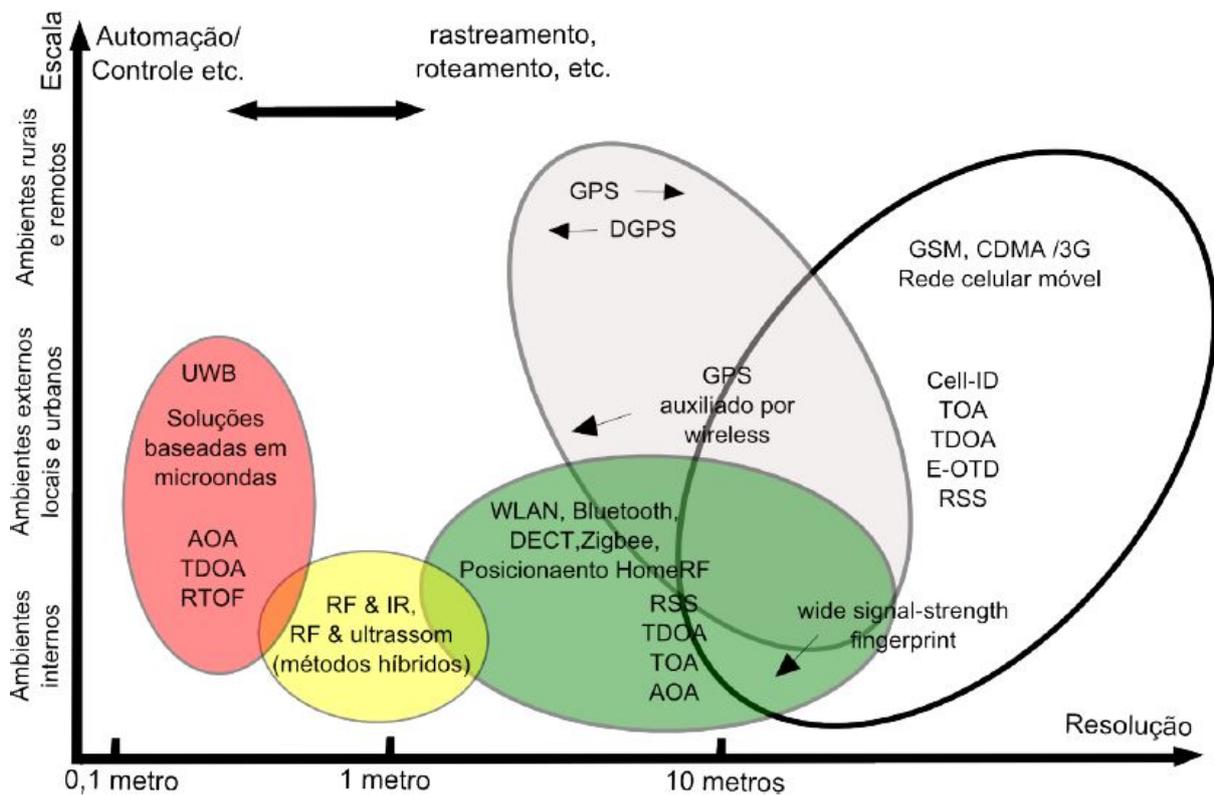


FIG. 2.5: Diferentes tecnologias que podem ser utilizadas por sistemas de posicionamento para localização de alvos(RODRIGUES, 2011)

2.6 MÉTODOS DE LOCALIZAÇÃO

Os sistemas podem ser classificados, de acordo com a técnica utilizada, em três tipos: baseado em distância ou ângulo, análise de cena e baseado em proximidade (RODRIGUES, 2011) (Figura 2.6).

2.6.1 UTILIZAÇÃO DE DISTÂNCIA OU ÂNGULO PARA ESTIMAR A LOCALIZAÇÃO

Quando o sistema utiliza propriedades geométricas para estimar a localização do alvo.

2.7 TÉCNICAS DE ESTIMATIVA DE DISTÂNCIA

2.7.1 TIME OF ARRIVAL

ToA (ou Tempo de Chegada) estima a distância utilizando o tempo de propagação do sinal entre o emissor e o receptor desde que seja conhecida a velocidade de propagação da

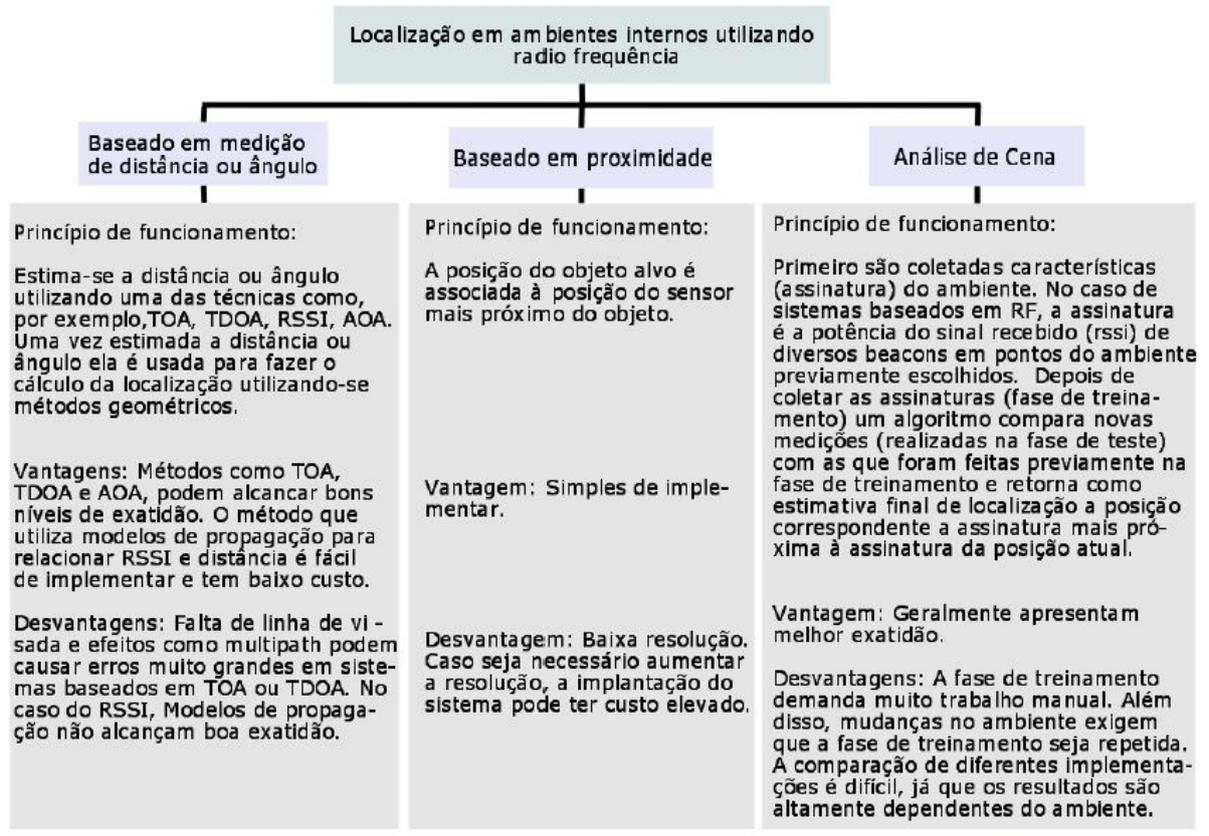


FIG. 2.6: Princípio de funcionamento de três métodos de localização em ambientes internos baseados em RF (RODRIGUES, 2011).

onda utilizada (Figura 2.7).

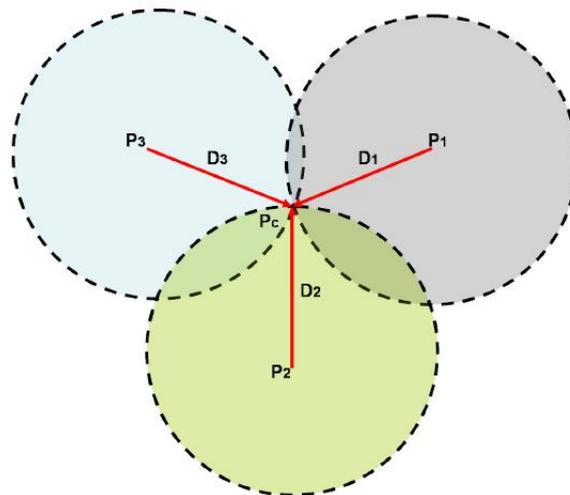


FIG. 2.7: Localização baseada em medição do tempo de chegada. O objeto alvo, P_c , estima as distâncias D_1 , D_2 e D_3 entre ele e os três beacons P_1 , P_2 e P_3 , baseado no tempo que o sinal leva para percorrer as distâncias. Os relógios de P_c e dos beacons devem estar sincronizados para que o método funcione (RODRIGUES, 2011).

Uma das premissas para que o cálculo não apresente distorções muito grande entre a distância estimada e a real, é que os relógios dos nós do emissor e receptor estejam sincronizados pois é informado ao receptor o exato instante de tempo que houve o envio do sinal.

O tempo de chegada é o instante de tempo correspondente à detecção do Sinal de Linha de Visada (*Line Of Sight - LOS*). Matematicamente o *ToA* é o instante de tempo que maximiza a correlação cruzada entre o sinal recebido e o sinal transmitido, previamente conhecido (TREVISAN, 2009).

Na arquitetura da rede é necessário um bom posicionamento geográfico dos APs para melhorar os resultados desta técnica.

2.7.2 TIME DIFFERENCE OF ARRIVAL

TDoA (Diferença entre os tempos de chegada) é uma técnica baseada no cálculo da diferença entre os tempos de chegada de um sinal enviado por um emissor ao receptor com localização conhecida.

Uma outra forma de técnica TDoA existente é a utilização da diferença entre o tempo de chegada de múltiplos sinais (de naturezas diferentes) de um emissor em um mesmo receptor (RODRIGUES, 2011).

Segundo Forcellini (2007), ao utilizar dois emissores para enviarem, no mesmo instante de tempo, uma solicitação à receptor, será calculado a diferença do tempo de chegada das duas versões dos sinais recebidos. Essa diferença de tempo entre os emissores projeta uma hipérbole, que tem como os próprios emissores. Colhendo medidas similares de outro emissor, outra hipérbole é definida, e a intersecção das hipérbolas resulta na localização estimada do receptor.

2.7.3 ANGLE OF ARRIVAL

AoA (Ângulo de chegada em português) é uma técnica baseada no ângulo da chegada do sinal no receptor.

A posição do objeto é encontrada pela intersecção de várias linhas em ângulo, cada uma formada pelo círculo com um raio definido, com centro no emissor de sinal. Esta técnica, num espaço 2-D apenas precisa de dois pontos de referência ou emissores e no plano 3-D apenas precisa de três (SIMÕES, 2015).

²É um frame de sincronismo enviado periodicamente pelo ponto de acesso.

Na tabela 2.9 é possível ver a comparação de técnicas de localização quanto a alguns aspectos importantes (FAGUNDES, 2008)

TAB. 2.9: Comparação entre algumas técnicas de localização (FAGUNDES, 2008).

Técnica	Perda de Confiabilidade		Complexidade do AP
	Multipercurso	Distância	
ToA(TDoA)	Pouca	Nenhuma	Média
AoA	Pouca	Pouca	Alta
RSSI	Severa	Pouca	Baixa
Cell-ID	Nenhuma	Severa	Baixa

2.7.4 RECEIVE SIGNAL STRENGTH INDICATOR

RSSI (Indicador da Força de Sinal Recebido em português) é uma técnica baseada no cálculo da distância estimada a partir do valor de potência do sinal recebido.

Usualmente, são utilizados dois tipos de técnicas para realizar a tarefa de localizar o usuário usando RSSI. A primeira é baseada na utilização de modelos matemáticos de propagação do sinal. Estes modelos tentam relacionar a distância entre o transmissor e receptor à potência do sinal recebido. A segunda é baseada na utilização de um mapa de assinaturas do sinal de radiofrequência (RODRIGUES, 2011).

Kurose (2006) apresenta a equação para o cálculo da distância (Equação 2.5) que correlaciona o RSSI e distância. De forma geral, quanto maior a distância entre emissor e receptor, menor é o RSSI.

$$d = 10^{\frac{RSSI - RSSI_0}{-10 \cdot n}} \quad (2.5)$$

Tal que:

RSSI - Representa o valor da intensidade do sinal que chega a uma distância d em dBm.

RSSI₀ - Representa o valor da intensidade do sinal a 1 metro de distância em dBm.

n - Corresponde ao *path loss*.

d - Distância entre o transmissor e receptor de sinal em metros.

Segundo o Rodrigues (2011), a relação entre RSSI e distância não é proporcional, devido a fenômenos que influenciam o sinal de rádio, como multipercursos, pouca probabilidade de haver linha de visada entre o emissor e transmissor e características específicas do ambiente, como objetos se movendo e superfícies reflexivas.

2.8 PROTOCOLO UBX

O protocolo UBX é um protocolo binário com um sistema próprio da U-blox, uma empresa que produz receptores GPS. Os padrões industriais para sistemas de GPS são definidos pela NMEA. O protocolo UBX segue a norma NMEA 0183, embora este padrão seja baseado em texto (GABRIEL, 2014).

As mensagens do UBX operam em mais de uma conexão, em série assíncrona seguindo um padrão RS-232. Muitas mensagens UBX utilizam um único byte para o identificador de satélite, semelhante a numeração esquemática NMEA “prolongado”, sendo apenas uma extensão em uso dos receptores U-blox. Este protocolo têm as seguintes características principais (GABRIEL, 2014):

- Compacto. Utiliza 8 bits de dados;
- Checksum protegido. Utiliza um algoritmo de soma de verificação de baixa sobrecarga; e
- Modular. Possui um identificador de mensagem de dois estágios: classe e ID da mensagem.

2.8.0.1 TRILATERAÇÃO

Trilateração é um método geométrico que permite calcular a localização do alvo utilizando-se as distâncias entre esse ponto e outros três pontos conhecidos (RODRIGUES, 2011). Baseia-se princípio que existe um ponto de interseção entre três ou mais circunferências.

Segundo Trevisan (2009) a Trilateração é o método de levantamento topográfico baseado exclusivamente na medição de distâncias horizontais.

Este método é utilizado, por exemplo, para garantir a precisão de posição na construção de várias obras de engenharia, como túneis, barragens, pontes etc.

A Figura 2.8 apresenta este cenário de localização utilizando a trilateração para o caso hipotético onde não haja erros nas estimativas de distância relativa, ou seja, só existe um ponto em comum entre as três circunferências 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 (TREVISAN, 2009).

Matematicamente, o problema de trilateração é resolvido a partir do sistema:

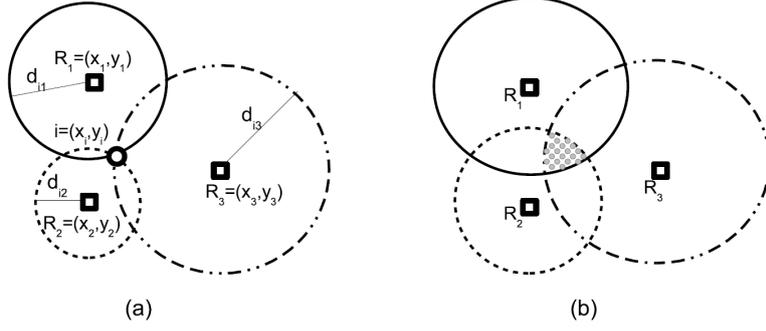


FIG. 2.8: Taxonomia (a) Caso Ideal, (b) Caso real (TREVISAN, 2009).

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \end{cases} \quad (2.6)$$

Em que:

(x_1, y_1) - Localização onde foi lido o primeiro RSSI.

(x_2, y_2) - Localização onde foi lido o segundo RSSI.

(x_3, y_3) - Localização onde foi lido o terceiro RSSI.

d_1 - Distância estimada entre a localização do VANT e o roteador na primeira leitura.

d_2 - Distância estimada entre a localização do VANT e o roteador na segunda leitura.

d_3 - Distância estimada entre a localização do VANT e o roteador na terceira leitura.

Subtraindo-se os membros das duas primeiras equações:

$$- \begin{cases} x^2 - 2xx_1 + x_1^2 + y^2 - 2yy_1 + y_1^2 = d_1^2 \\ x^2 - 2xx_2 + x_2^2 + y^2 - 2yy_2 + y_2^2 = d_2^2 \end{cases} \quad (2.7)$$

E agrupando os termos em comum:

$$x(2x_2 - 2x_1) + y(2y_2 - 2y_1) - (x_1^2 + y_1^2 - d_1^2 - x_2^2 - y_2^2 + d_2^2) = 0 \quad (2.8)$$

Isolando a variável y:

$$y = [(x_2^2 - x_1^2 - y_1^2 + y_2^2 + d_1^2 - d_2^2) - 2x(x_2 - x_1)]/2(y_2 - y_1) \quad (2.9)$$

Para facilitar o cálculo, a equação acima será dividida em blocos que são atribuídos da seguinte forma:

$$A = (x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 - d_1^2 + d_2^2) \quad (2.10)$$

$$B = 2(x_1 - x_2) \quad (2.11)$$

$$C = 2(y_1 - y_2) \quad (2.12)$$

Assim:

$$y = (A - Bx)/C \quad (2.13)$$

Substituindo o resultado da equação acima no sistema 2.6 chegamos a:

$$\begin{aligned} C^2x^2 - 2xC^2x_3 + C^2x_3^2 + A^2 - 2ABx + B^2x^2 - 2ACy_3 + \\ 2BCy_3x + C^2y_3^2 = C^2d_3^2 = 0 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Agrupando os valores:

$$\begin{aligned} (C^2 + B^2)x^2 + (2BCy_3 - 2AB - 2C^2x_3)x + \\ (C^2x_3^2 + A^2 - 2ACy_3 + C^2y_3^2 - d_3^2C^2) \end{aligned} \quad (2.15)$$

A equação 2.15 tem a mesma forma que a fórmula de Bhaskara:

$$[Ex^2 + Fx + G = 0] \quad (2.16)$$

Tal que:

$$E = C^2 + B^2 \quad (2.17)$$

$$F = 2BCy_3 - 2AB - 2C^2x_3 \quad (2.18)$$

$$G = C^2x_3 + A^2 - 2ACy_3 + C^2y_3^2 - d_3^2C^2 \quad (2.19)$$

Substituindo os valores de A , B e C nas equações acima:

$$E = (2(y_1 - y_2))^2 + (2(x_1 - x_2))^2 \quad (2.20)$$

$$F = 2(2(x_1 - x_2))(2(y_1 - y_2))y_3 - 2(x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 - d_1^2 + d_2^2)(2(x_1 - x_2)) - 2(2(y_1 - y_2))^2 x_3 \quad (2.21)$$

$$G = (2(y_1 - y_2))^2 x_3 + (x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 - d_1^2 + d_2^2)^2 - 2(x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 - d_1^2 + d_2^2)(2(y_1 - y_2))y_3 + (2(y_1 - y_2))^2 y_3^2 - d_3^2(2(y_1 - y_2))^2 \quad (2.22)$$

Para resolver a equação de Bhaskara:

$$x = \frac{-F \pm \sqrt{F^2 - 4EG}}{2E} \quad (2.23)$$

Assim, é possível encontrar os possíveis pontos de intersecção entre as três circunferências.

2.8.0.2 TRIANGULAÇÃO

Triangulação é o método geométrico que permite calcular a posição de um objeto baseado nos ângulos formados entre esse objeto e outros objetos de posição conhecida. Especificamente, no caso da utilização de sinais de radiofrequência a técnica utilizada é para fazer triangulação é chamada de ângulo de chegada (AoA - do inglês, *Angle Of Arrival*) (RODRIGUES, 2011) (Figura 2.9).

2.8.1 UTILIZAÇÃO DE ANÁLISE DE CENA PARA ESTIMAR A LOCALIZAÇÃO

O método de análise de cena utiliza a assinatura de determinados pontos do ambiente para realizar a localização. Em localização baseada em RF, a assinatura de um ponto ρ' no ambiente corresponde ao vetor de valores de RSSI que se obtêm em ρ' .

Esse método necessita de duas fases para seu pleno funcionamento. A primeira fase do processo de localização usualmente chamada de fase de treinamento ou fase *offline* e serve para a criação de um mapa de assinatura com todos os valores de RSSI nas coordenadas

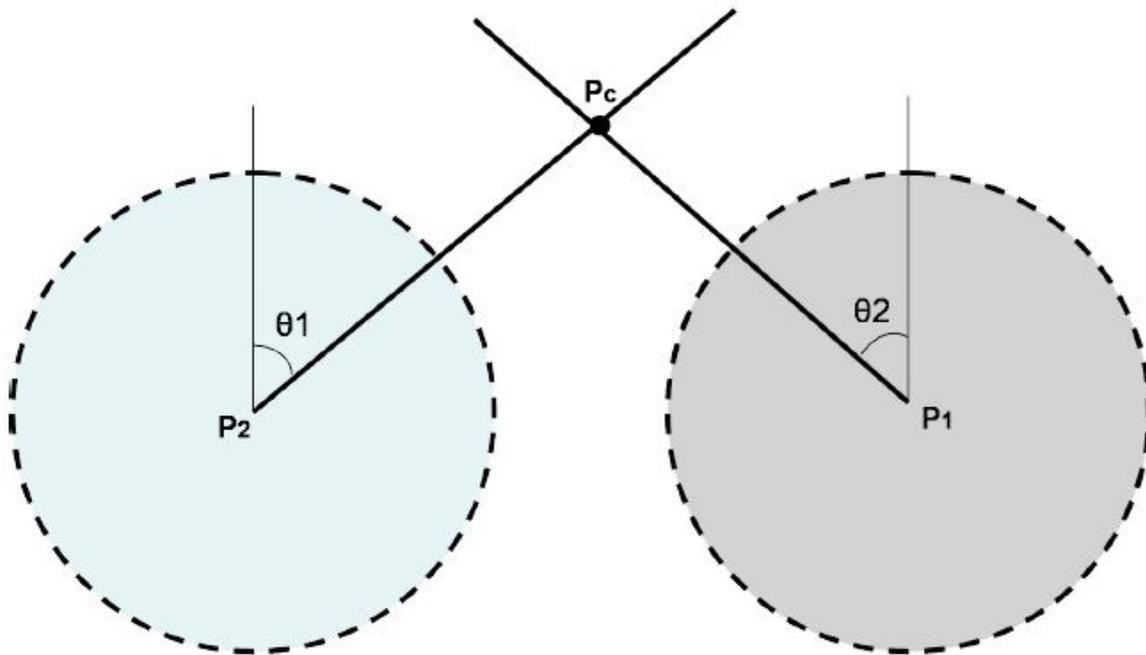


FIG. 2.9: Segundo Rodrigues (2011) essa técnica é baseada na medição do ângulo do sinal recebido em outros dois sensores.

de leitura respectivas. Numa segunda fase, chamada de fase de testes ou fase *online*, coleta-se a assinatura em uma posição qualquer do ambiente e, por meio da utilização de algoritmos, compara a assinatura que acabou de obter com as assinaturas presentes no mapa de assinaturas retornando como posição mais provável aquela que mais se aproxima da posição medida na fase de teste.

2.8.2 UTILIZAÇÃO DE PROXIMIDADE PARA ESTIMAR A LOCALIZAÇÃO

A abordagem baseada em proximidade não utiliza, diretamente, distâncias ou ângulos. Nos sistemas baseados em proximidade a localização do objeto alvo é associada com a posição do sensor mais próximo do objeto. A maior vantagem deste tipo de abordagem é a sua simplicidade de implementação. A desvantagem é que, para obter uma localização com boa resolução, é necessário a instalação de muitos sensores no ambiente, o que aumenta o custo de implantação e manutenção do sistema (RODRIGUES, 2011).

Nessa abordagem, é impossível a determinação das localizações dos objetos alvos em ambientes totalmente novo onde não foi possível a implementação de sensores.

2.9 TRABALHOS RELACIONADOS

Segundo Zhu (2013), para sistemas, tais como rastreamento de alvos, recuperação de desastres e detecção de incêndio, os dados de sensoriamento e as localizações dos nós sensores são imprescindíveis.

A necessidade de compreender como a localização de dispositivos móveis é feita em redes Wi-Fi, tornou relevante a realização de um estudo de alguns sistemas de localização em redes Wi-Fi, analisando as várias arquiteturas usadas, bem como os métodos de localização que certos investigadores usaram para conseguirem chegar a bons resultados (CARVALHO, 2007).

Algoritmos como FILA (WU, 2012b), LIFS (YANG, 2012) e com o filtro ALPHA (PRIETO, 2012), RMCL (ZHU, 2013) foram propostos para realizar o mapeamento das localizações das redes Wi-Fi (802.11). Um dos grandes desafios é conseguir com precisão a posição dos APs das redes devido às perdas de amplitude que ocorrem durante a propagação desse sinal em um meio.

Segundo Zhu (2013), para determinar as posições dos nós sensores, foram propostos vários algoritmos de localização, incluindo o algoritmo de localização Centroid ((BULUSU, 2000)), DV-HOP ((NICULESCU, 2003)), e MDS-MAP ((SHANG, 2003)). Esses algoritmos são esquemas para redes de sensores sem fio estáticos.

Hu (2004) propõe o RMCL, que é baseado no algoritmo de localização Monte Carlo, para a determinação da posição de alvos estáticos e móveis em uma região definida explorando somente as informações de deslocamento. A área de amostragem considerada é uma área pré-determinada, sendo o primeiro passo do algoritmo refinar a área de amostragem a partir de informações captadas por intermédio de do RSSI, caso esses valores existam. Com essa área criada, são retiradas amostras de localizações recebidas e feita uma filtragem para estimar a localização média dessas amostragens.

Segundo Hu (2004), restringir a área de amostragem é uma abordagem válida para melhorar a precisão do algoritmo de localização. Para exemplificar o ganho obtido, são apresentados quatro gráficos comparativos entre cinco algoritmos distintos, sendo eles MCL ((HU, 2004)), MCB ((BAGGIO, 2008)), Amonphous ((NAGPAL, 2003)), Centroid ((BULUSU, 2000)) e o próprio RMCL (Figura 2.10).

Apesar do algoritmo RMCL evidenciar que ao restringir uma área de amostragem, há uma melhora na precisão da localização dos nós, o seu foco é a localização dos nós móveis diferentes do problema abordado neste trabalho. Apesar disso, o algoritmo utiliza o modelo de sombreamento como a propagação de sinal para os cálculos dos valores de

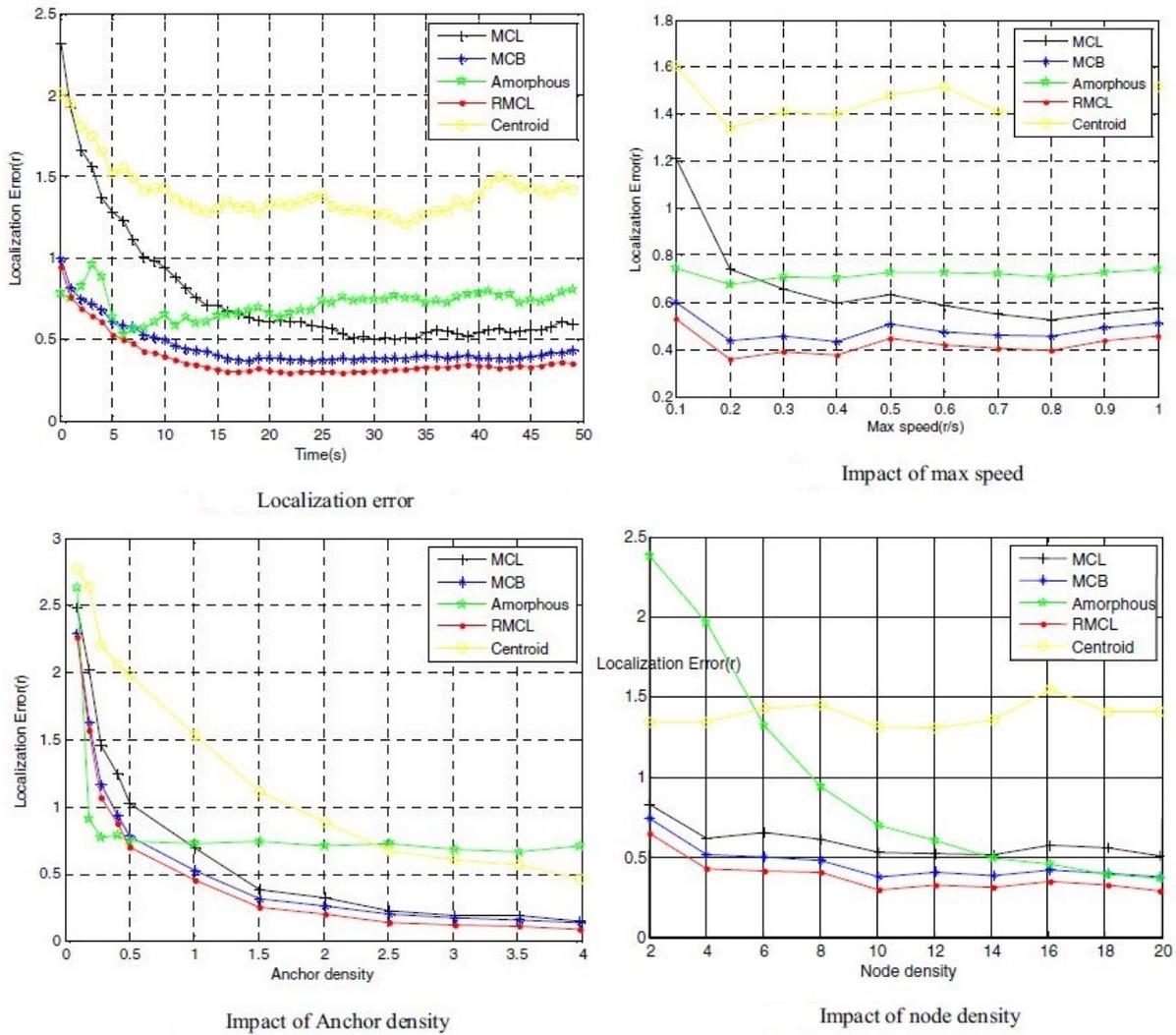


FIG. 2.10: Comparação dos resultados obtidos entre algoritmos RMCL, MCL, MCB, Amorphous e Centroid (ZHU, 2013)

RSSI, que será um dos métodos utilizados no programa proposto servindo como uma das bases iniciais de estudo.

Diferentemente para Prieto (2012), as informações de localização que podem ser alcançadas a partir de medições estão relacionadas com as distâncias (intervalos) entre os nós em técnicas tais como o Tempo de chegada (ToA - *Time Of Arrival*) (FALSI, 2006)- (BAHILLO MARTINEZ, 2009) e RSSI ((WEISS, 2003) - (QI, 2003)), bem como as direções ou diferença de distâncias entre os AoA ou Tempo diferencial de chegada (TDoA - *Time Difference Of Arrival*), respectivamente ((GUSTAFSSON, 2005) - (RAPPAPORT, 1996)). Porém, o comportamento de redes sem fio em ambientes densos desordenados tem sido o grande obstáculo para o desenvolvimento de serviços baseados em localização.

A proposta do trabalho mencionado por Prieto (2012), foi um algoritmo chamado de

ALPHA, que usa técnica adaptativa e sistemática de fusão de dados de localização (os resultados da combinação de dados ToA e RSSI) baseados em funções de probabilidade que representam a relação entre as distâncias e medidas para a obtenção da posição de cada rede, onde utilizaram-se as técnicas de modelagem dinâmica não parametrizada e filtro de partículas.

Segundo os dados fornecidos, o ALPHA alcançou o seu melhor desempenho, com erro inferior a 3 m para mais de 80% das posições (Figura 2.11).

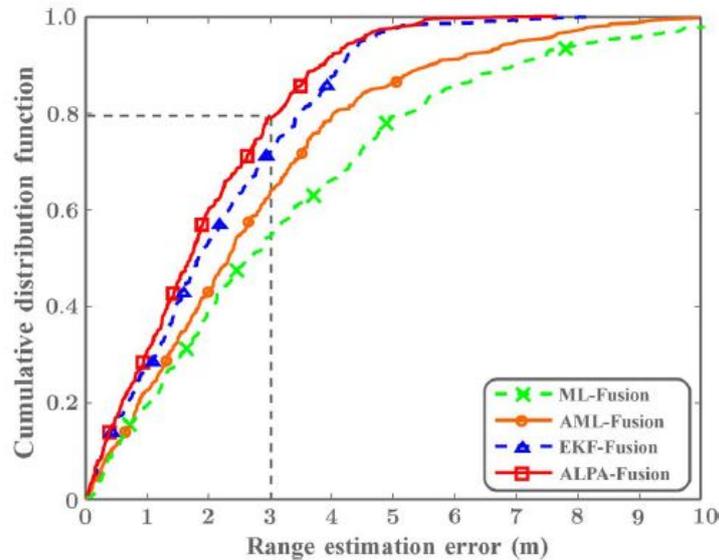


FIG. 2.11: Resultado comparativo do algoritmo ALPHA (PRIETO, 2012)

O ALPHA utiliza como base para os cálculos o valor de RSSI, porém, não é preciso. Segundo Wu (2012a) e Wu (2012b), RSSI é medido a partir do sinal de radiofrequência, que é difícil obter um valor exato. Em segundo lugar, RSSI é facilmente variado pelo efeito multicaminho. Em teoria, é possível estabelecer um modelo para estimar a distância de separação, usando a energia recebida. No entanto, a propagação de uma onda de radiofrequência é atenuada pela reflexão quando atinge a superfície de um obstáculo. Além do LOS (*Line Of Sight*), possivelmente há vários sinais que chegam ao receptor por intermédio de caminhos diferentes. Este efeito multicaminho é ainda mais grave em ambientes *indoors* onde um teto, assoalho e as paredes estão presentes. Esse efeito de multicaminho pode resultar em valores de RSSI diferentes do esperado, isso é, um valor menor de RSSI para o AP que está mais longe. Por conseguinte, não pode ser estabelecida uma relação simples entre a energia recebida e separando a distância, resultando em erros de localização indesejáveis.

Wu (2012b) propõem um algoritmo chamado de Fila, que é baseado em CSI e OFDM

ao invés do RSSI. A ideia é utilizar as informações CSI recebidas junto com a modulação OFDM para estimar a localização de um alvo.

Wu (2012b) demonstram que a utilização da informação de CSI e da técnica de OFDM, por intermédio de experimentos que, é bem melhor que a utilização do RSSI (Figuras 2.12 e 2.13). Porém, uma limitação dessa proposta são as modulações OFDM que estão presentes somente nos padrões 802.11a/g/n. Isso significa que se na rota traçada houver algum roteador ou AP no padrão 802.11b, ele não será localizado.

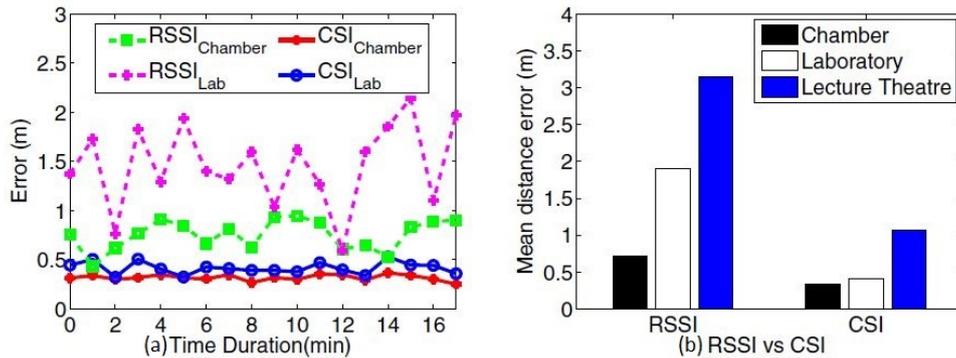


FIG. 2.12: Resultado apresentado do FILA (WU, 2012b). (a) Estimativa de distâncias do CSI e RSSI em diferentes ambientes. (b) Erro médio no cálculo das distâncias.

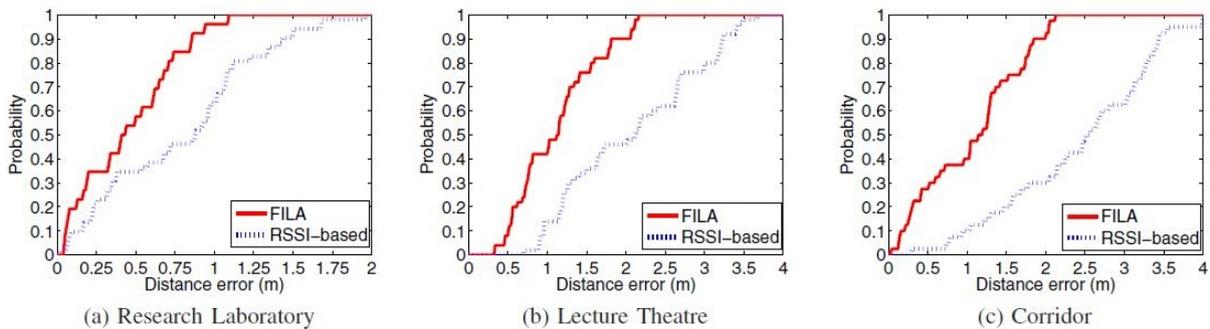


FIG. 2.13: Resultado apresentado do FILA (WU, 2012b). Distribuição cumulativa de erros de localização por intermédio de de 10 posições no (a) laboratório de pesquisa, (b) Teatro de palestra e (c) corredor

O algoritmo FILA falha na localização de redes com outros tipos de técnicas fazendo com que, em um ambiente novo e não estruturado, não seja possível a determinação da posição de todos os alvos.

Em Kotaru (2015), é proposto um algoritmo, SpotFi, que consiga cumprir os três requisitos existentes, ou seja, implementáveis, universais e precisos.

O SpotFi combina 3 técnicas em seu algoritmo: o AoA, TOF (*Time Of Flight*) e o RSSI. Para definir o local de um alvo, ele estima a probabilidade de que cada par de

AoA e o TOF de diferentes componentes de múltiplos caminhos do sinal de um alvo corresponde ao caminho direto entre o *access point* e o alvo usando as informações de CSI. A partir dessas informações é calculado a localização mais provável do alvo que poderia ter produzido o RSSI e o AoA capturados.

SpotFi fornece uma precisão média de 50 cm usando o padrão NICs (*Network Interface Cards*), o que é comparável aos sistemas de melhor desempenho como ArrayTrack (XIONG, 2013) e Ubasicse (KUMAR, 2014b) (Figura 2.14).

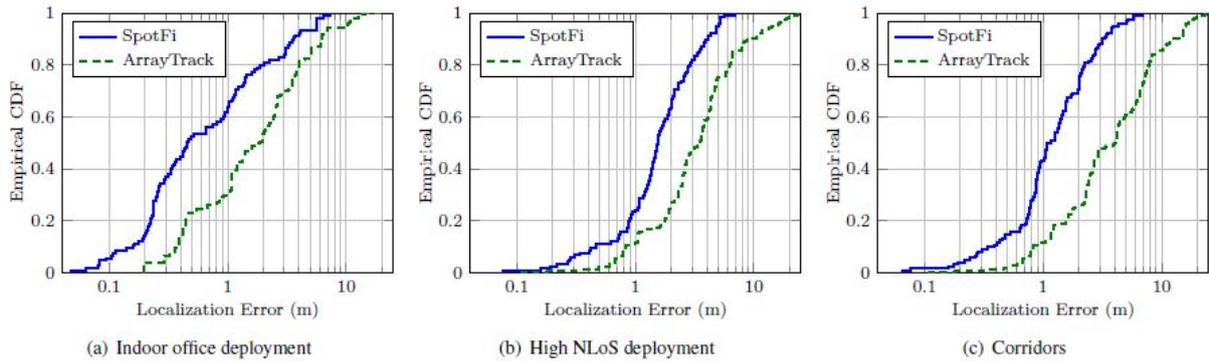


FIG. 2.14: Resultado apresentado do SpotFi (KOTARU, 2015). Parcelas de erros de localização com o ArrayTrack no (a) Implantação dentro de um escritório, (b) Implantação de NLoS alta e (c) corredores

Apesar da precisão fornecida, o SpotFi foi validado com um NICs de três antenas restringindo assim o seu uso, ou seja, não seria possível, por exemplo, embarcar o algoritmo em qualquer *hardware* e obter a mesma precisão na localização sem testes adicionais.

É possível perceber que as técnicas utilizadas por cada um dos algoritmos propostos proporcionaram um aumento de precisão na localização se comparado com algoritmos que utilizam apenas as informações do RSSI para estimar as localizações das redes. Porém, cada um dos trabalhos exemplificados, apresentou um ponto negativo: a restrição de *hardware* e de tipo de modulação lida (Tabela 2.10). Para resolver esses problemas, propõe-se um novo algoritmo neste trabalho.

TAB. 2.10: Tabela comparativa entre os trabalhos relacionados exemplificados

Algoritmo	Nível de precisão	Diferencial	Ponto(s) negativo(s) na utilização do algoritmo
FILA	-	Baseado em CSI e OFDM.	As modulações OFDM não estão presentes em todos os padrões e em um ambiente novo e não estruturado não é possível a determinação de todos os alvos
SpotFi	Precisão média de 50 cm	Baseado em AoA, ToF e o RSSI	Não é possível embarcar o algoritmo em qualquer hardware pois utiliza um NICs de três antenas
ALPHA	Erro inferior a 3 m para mais de 80% das posições	Baseado nas técnicas ToA e RSSI	Falta de precisão no resultado gerado pelo algoritmo.
RMCL	-	Baseado no algoritmo de localização Monte Carlo e RSSI.	Só realiza localização de nós moveis.

3 METODOLOGIA, PLATAFORMA EXPERIMENTAL E EXPERIMENTOS

3.1 PLATAFORMA DE SOFTWARE

A estrutura do algoritmo foi dividida em dois algoritmos menores que rodam paralelamente no *hardware* Raspberry Pi 3 (Figura 3.1). O primeiro algoritmo é responsável pela coleta de dados de GPS e RSSI, além do cálculo de distância estimada e verificação se o valor é válido para uso ou não, enquanto o segundo algoritmo é responsável pelo cálculo da posição estimada utilizando o conceito de trilateração.

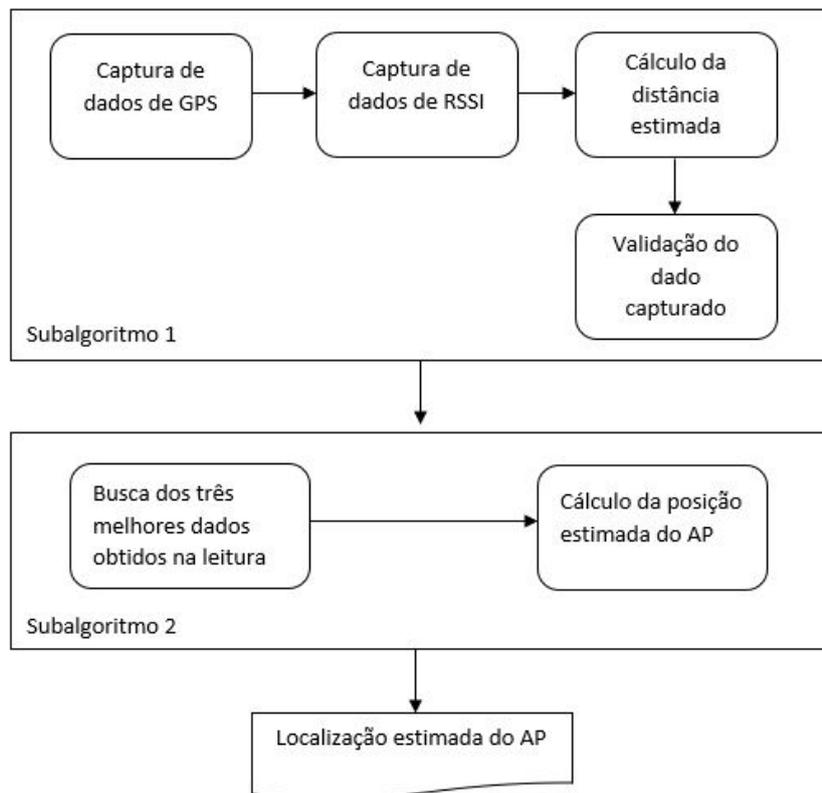


FIG. 3.1: Estrutura atual da solução proposta.

Toda a informação obtida e calculada é guardada no banco de dados o que irá permitir ter um histórico de todos os valores ao final do voo.

3.1.1 CAPTURA DE DADOS DE GPS

A captura de dados de GPS é realizada por intermédio de do controlador de voo Navio2 que fornece informações sobre o estado atual do VANT, tal como, latitude, longitude.

A Emlid, empresa que desenvolve um piloto automático com base no Raspberry Pi, disponibiliza em sua página a biblioteca necessária para a captura de dados, além de dois exemplos projetados nas linguagens C# e Python de um algoritmo de captura de dados de GPS para demonstrar de maneira fácil a captura e decodificação das mensagens recebidas do protocolo UBX.

Os módulos GPS estão conectados por intermédio de de SPI (*Serial Peripheral Interface*) e enviam mensagens, obtendo informações de localização e recebem mensagens com dados de configuração.

A captura dos dados é colocada dentro de um *loop* de forma que fique rodando até que alguém force sua parada (Algoritmo 3.2.1 - linha 1). Após a captura da posição do veículo naquele momento, Latitude e Longitude (Algoritmo 3.2.1 - linha 2 até 4), a informação é persistida no banco de dados (Algoritmo 3.2.1 - linha 18).

3.1.2 CAPTURA DE DADOS DE RSSI

A captura de dados de RSSI é realizada por intermédio de do próprio Raspberry Pi 3 logo após a captura dos dados de GPS do VANT. Para que fosse possível o escaneamento de forma fácil, foi utilizada a biblioteca WIFI (citeprocky_meza_wifi₂017).

Segundo Gavin Wahl (2017), a biblioteca WIFI fornece um conjunto de ferramentas para configurar e conectar-se a redes Wi-Fi (802.11) em sistemas Linux.

Foram utilizados dois receptores de redes Wi-Fi (802.11) e dois roteadores para se obter uma maior massa de dados. Os receptores utilizados foram os que já vêm embutidos no Raspberry Pi 3 e o da Tp-Link, enquanto os emissores foram o celular da Samsung S7 Edge e o roteador TP-Link Nano TL-WR702N.

Após importar a biblioteca WIFI, o algoritmo realiza o *scan* de todas as redes disponíveis para cada um dos receptores (Algoritmo 3.2.1 - linha 5).

Ao capturar os dados das redes disponíveis (Algoritmo 1 - linhas 6 até 11 e 20 até 25), é feita a validação dos dados. Todos os sinais captados que possuem o RSSI ≥ -70 dBm e qualidade de sinal ≥ 41 (dados encontrados durante os testes do algoritmo) são considerados válidos para serem usados no cálculo da trilateração (Algoritmo 1 - linhas 12 até 16 e 26 até 30).

Para determinar a partir de quais valores são válidos, foi feito experimento que mos-

trou que o erro no cálculo da distância era superior a 40 cm quando os valores de RSSI eram menores que -70 dBm e qualidade de sinal menor que 41.

3.1.3 CÁLCULO DE DISTÂNCIA

O cálculo da distância é feito a partir da equação 2.5 como demonstrado anteriormente

Os resultados obtidos por intermédio da equação 2.5 (Algoritmo 1 - linhas 17 e 31), logo após as capturas dos dados de GPS e RSSI, são persistidos no banco de dados pois é usado para o cálculo da trilateração junto com as informações do GPS (Algoritmo 1 - linhas 18 e 32).

3.1.4 CÁLCULO DA TRILATERAÇÃO

São capturados dados de geolocalização de pontos distintos e de preferência não-complanares para que a solução da equação do sistema da trilateração apresente somente um único resultado (Algoritmo 2 - linha 2). Logo após o cálculo da trilateração é feito.

Caso o resultado da trilateração possua dois pontos distintos de intersecção entre as circunferências, uma média entres os pontos é tirada. O valor resultante da média é a localização estimada do *Access Point*. Dessa forma é possível encontrar o valor da posição estimada para um determinado *Access Point*.

3.1.5 CÁLCULO DA POSIÇÃO

E calculado uma média da longitude e latitude das três coordenadas que obtiveram as melhores leituras de RSSI e feito uma média entre o resultado obtido na trilateração e da média dos pontos de longitude e latitude (Algoritmo 2 - linha 23 até 26).

3.2 PLATAFORMA EXPERIMENTAL

3.2.1 RASPBERRY PI

O Raspberry PI é um computador de baixo custo e do tamanho de um cartão de crédito que se conecta a um monitor de computador ou TV, e usa um teclado e mouse padrão (RASPBERRYPI.ORG, 2017).

Segundo Upton (2017), o nome é "Raspberry" porque há uma longa tradição de nomes de frutas em empresas de computador. O "Pi" é uma redução de "Python", que foi pensado

que seria a única linguagem de programação disponível.

Algorithm 1 Cálculo da distância

```
1: while True do
2:    $GPS \leftarrow vehicle.location.global\_relative\_frame$ 
3:    $Long \leftarrow GPS.lon$ 
4:    $Lat \leftarrow GPS.lat$ 
5:    $redes \leftarrow scan()$ 
6:   for rede  $\leftarrow$  rede(receptor 1) do
7:      $Receptor \leftarrow rede.name$ 
8:      $MAC \leftarrow rede.address$ 
9:      $SSID \leftarrow rede.ssid$ 
10:     $RSSI \leftarrow rede.signal$ 
11:     $Qualidade \leftarrow rede.quality$ 
12:    if  $RSSI \geq -70$  e  $Qualidade \geq 41$  then
13:       $valorValido \leftarrow True$ 
14:    else
15:       $valorValido \leftarrow False$ 
16:    end if
17:     $distancia \leftarrow CalculoDistancia(RSSI)$ 
18:    SaveBD (Long, Lat,Receptor, MAC, SSID, RSSI, Qualidade, valorValido, dis-
tancia)
19:  end for
20:  for rede  $\leftarrow$  rede(receptor 2) do
21:     $Receptor \leftarrow rede.name$ 
22:     $MAC \leftarrow rede.address$ 
23:     $SSID \leftarrow rede.ssid$ 
24:     $RSSI \leftarrow rede.signal$ 
25:     $Qualidade \leftarrow rede.quality$ 
26:    if  $RSSI \geq -70$  e  $Qualidade \geq 41$  then
27:       $valorValido \leftarrow True$ 
28:    else
29:       $valorValido \leftarrow False$ 
30:    end if
31:     $distancia \leftarrow CalculoDistancia(RSSI)$ 
32:    SaveBD (Long, Lat,Receptor, MAC, SSID, RSSI, Qualidade, valorValido, dis-
tancia)
33:  end for
34: end while
```

Algorithm 2 Cálculo da posição

Require: Resultado do algoritmo 1

```
1: while True do
2:    $Dados \leftarrow Busca3LonLat()$ 
3:   for (lon,lat,dist)  $\leftarrow$  Dados do
4:      $x_i \leftarrow RaioTerra * (cos(radiano(lat_i)) * cos(radiano(lon_i)))$ 
5:      $y_i \leftarrow RaioTerra * (cos(radiano(lat_i)) * sen(radiano(lon_i)))$ 
6:      $z_i \leftarrow RaioTerra * (sen(radiano(lat_i)))$ 
7:      $P_i \leftarrow (x_i, y_i, z_i)$ 
8:   end for
9:    $a \leftarrow (P_2 - P_1)$ 
10:   $b \leftarrow (P_3 - P_1)$ 
11:   $c \leftarrow (Transposicao(a))$ 
12:   $s = dot(a/c, b)$ 
13:   $ey = (b - s * (a/c)) / (Transposicao(b - s * (a/c)))$ 
14:   $ez = Transposicao((a/c)e(b - s * (a/c)) / (Transposicao(b - si * (a/c))))$ 
15:   $d = Transposicao(a)$ 
16:   $j = dot((b - s * (a/c)) / (Transposicao(b - s * (a/c))), eb)$ 
17:   $x \leftarrow (dist_1^2 - dist_2^2 + d^2) / (2 * d)$ 
18:   $y \leftarrow ((dist_1^2 - dist_3^2 + s^2 + j^2) / (2 * j)) - ((s/j) * x)$ 
19:   $z \leftarrow raiz(abs(teste))$ 
20:   $triPt \leftarrow P1 + x * ex + y * ey + z * ez$ 
21:   $lat \leftarrow graus(arcsine(triPt[2] / RaioTerra))$ 
22:   $lon \leftarrow graus(arctan(triPt[1], triPt[0]))$ 
23:   $x \leftarrow (lon_1 + lon_2 + lon_3) / 3$ 
24:   $y \leftarrow (lat_1 + lat_2 + lat_3) / 3$ 
25:   $Long \leftarrow (lon + x) / 2$ 
26:   $Lat \leftarrow (lat + y) / 2$ 
27: end while
```

O *hardware* do microcomputador é integrado numa única placa de circuito impresso e existem dois modelos: o A e o B, ambos usam processador multimídia Broadcom BCM2835 *system-on-chip* (SoC) de 700 Mhz com placa gráfica integrada VideCore IV. Os modelos possuem uma entrada de cartão SD (*Secure Digital*), por não apresentar memória interna, portanto faz-se necessário adquirir para o armazenamento de dados, bem como a instalação do sistema operacional e aplicações. Os dispositivos A e B respectivamente possuem 256 e 512 MB de memória RAM, saídas de áudio, vídeo, rede, USB (*Universal Serial Bus*) e mini USB, além de 26 pinos que servem como entrada e saída, interligando diversos tipos de hardwares podendo controlá-los (UPTON, 2017).

No projeto foi escolhida a versão 3, principalmente, por causa da melhora de processamento de dados e por já ter integrado o módulo de Wi-Fi (802.11), fazendo desnecessário o uso do *dongle* de Barramento Serial Universal (*Universal Serial Bus* - USB) de Wi-Fi

(802.11).

A versão 3 do microcomputador têm 85,6mm de comprimento por 56mm de largura e 21mm de espessura e já possui integrado os módulos de Wi-Fi (802.11) e *Bluetooth 4.1 Low Energy*. Possui também, CPU *quad-core* de 1,2 GHz (ARMv8 64-bits), processador *VideCore IV 3D graphics*, 4 portas USB, Interface Multimídia de Alta Definição (*High-Definition Multimedia Interface - HDMI*), *Ethernet*, *slot* para microSD, *jack* de áudio de 3,5mm, interface para câmera e vídeo e 40 pinos de entrada e saída de propósito geral (*General Purpose Input/Output- GPIO*) (Figura 3.2).

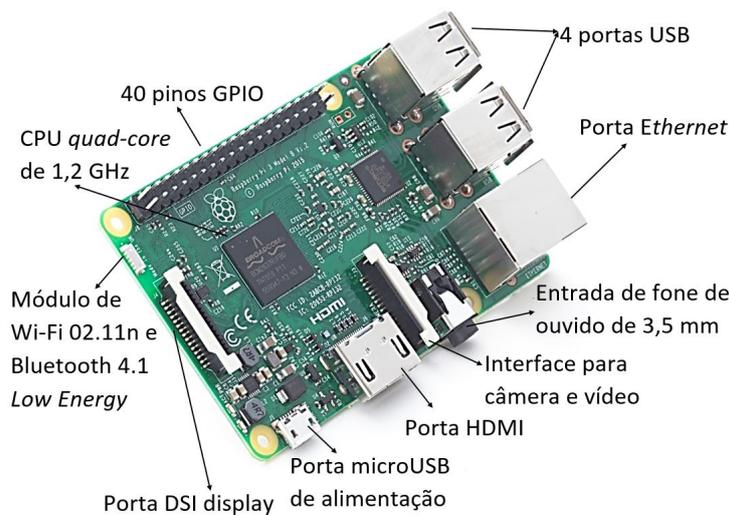


FIG. 3.2: Microcomputador Raspberry Pi 3.

Dentre os sistemas operacionais compatíveis com o *hardware*, foi instalado o *Raspbian* (um sistema baseado no *Debian*).

3.2.2 NAVIO2

O Navio2 possui 2 Unidades de Medida Inercial (*Inertial Measurement Unit - IMUs*) com acelerômetro, giroscópio e magnetômetro nos 3 eixos, Barômetro, GPS, Modulação por Largura de Pulso (*Pulse Width Modulation - PWM*), Modulação por Posição de Pulso (*Pulse-Position Modulation - PPM*), além de extensão transmissão e Recepção Serial de Dados de um Terminal (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter - UART*), Circuito Inter Integrado (*Inter-Integrated Circuit - I2C*) e Conversor Analógico-Digital (*Analog-to-Digital Converter - ADC*) distribuídos numa leve e compacta placa com dimensões de 55mm de comprimento por 65mm de largura e peso de 23g que comporta o piloto automático ArduPlane, parte do projeto de código livre autopilot (EMLID, 2017).

A Figura 3.3 exhibe o processo de acoplamento físico do piloto automático Navio2 com

o Raspberry Pi 3, responsáveis pela integração completa do sistema. A configuração típica desse agente de controle exige a instalação de espaçadores no lado superior do Raspberry, parafusos e cabeçalho de extensão da porta GPIO de 40 pinos em que o Navio2 deve ser anexado. O resultado da configuração é apresentado na Figura 3.4 sendo que nesta foi adicionada uma estrutura em acrílico na parte inferior do Raspberry visando fixar o *hardware* no espaço interno do aeromodelo para a fase de desenvolvimento do sistema embarcado.

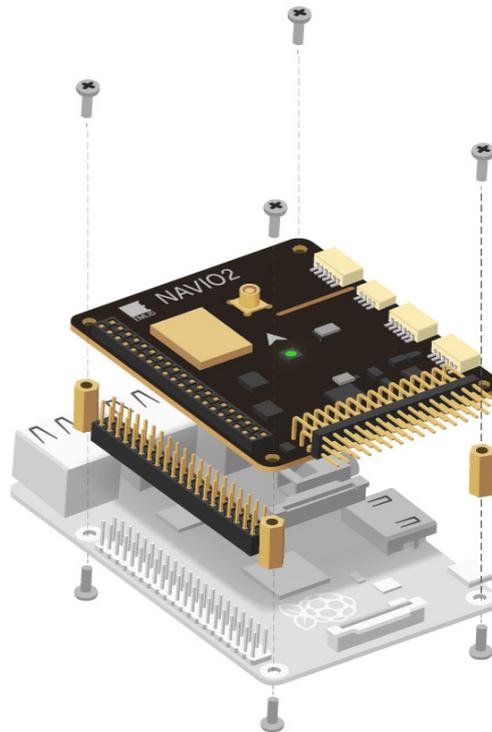


FIG. 3.3: Procedimento correto para a configuração do *hardware* (EMLID, 2017)

3.2.3 VEÍCULO ÁEREO NÃO TRIPULADO

Foi utilizado no projeto o kit ARF DJI F450 (Figuras 3.5 e 3.6) como base do VANT (Tabela 3.2.3). Os componentes utilizados estão listados na tabela 3.2.3.

O Kit ARF DJI F450 possui um material ultra resistente (ultra-strong PA66 + 30GF) que proporciona uma melhor resistência ao dano em desembarques rígidos, enquanto as placas do quadro principal usam o material de PCB composto de alta resistência, que faz com que a E420 lite ESC, a bateria e todos os seus acessórios na parte inferior das duas placas do quadro sejam mais rápidas, mais fáceis e seguras, esta placa também é a placa

TAB. 3.1: Especificação do ARF DJI F450 (DJI, 2017).

Frame	
Distância entre os eixos	450 mm
Peso do Frame	282 g
Peso de Takeoff	800 g ~ 1600 g
Esc	
Máxima voltagem permitida	17.4 V
Máxima corrente permitida	20 A
Máximo pico de corrente permitida	30 A
Nível do sinal de entrada PWM	3.3 V/5 V compatível
Frequência de sinal	30 Hz ~450 Hz
Bateria	3S ~ 4S Lipo
Peso (sem cabos)	12.5 g
Peso (com cabos)	27 g
Motor	
Tamanho do estator	23 X 12 mm
Kv	960 rpm/V
Peso	57 g
Hélice	
Diâmetro/Thread Pitch	24 X 12.7 cm (9.4 X .0 inch)
Peso (Unitário)	13 g

TAB. 3.2: Componentes usados na montagem do ARF DJI F450.

Componente
Kit ARF DJI F450: Frame + 4 motores + 4 ESCs + 3 pares de hélices
Protetores de hélices DJI
Navio2
Antena GPS
Sonar Maxbotic
Plugs Gold 3.5 mm
Medidor de bateria com Buzzer
Borrachas para montagem bases de amortecimento
potenciaer Distribution Board
Raspberry Pi 3
Micro servos Tower Pro MG 90s para Gimbal
GPS externo com bussola
Cartão Micro SD Kingston 16 GB class 10
Tp-link TL-WN722N 150 Mbps High-pain
Radio FlySky FS-i6S 10CH Transmitter com FS-iA6B Receiver
Radio Telemetria 3DR 433 Mhz
Bateria lipo 5200 3s 10c
Carregador Bateria Lipo Tunigy Accucell 6 com fonte

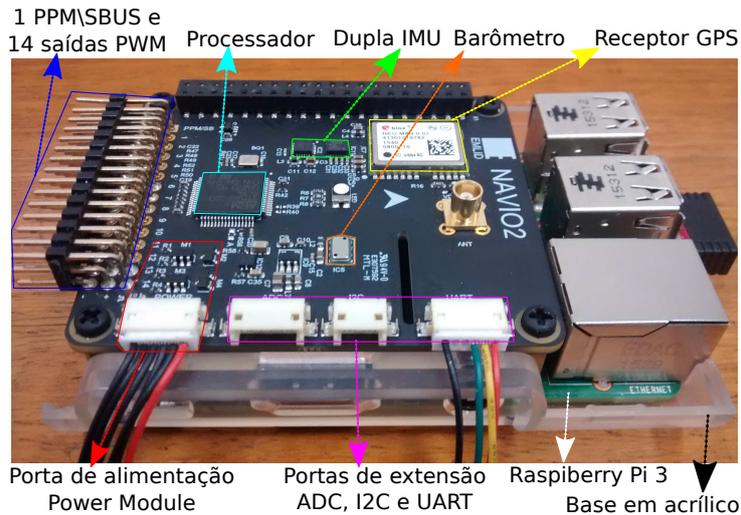


FIG. 3.4: Acoplamento dos *hardwares* Navio2 e Raspberry Pi 3.



FIG. 3.5: ARF DJI F450 montado (DJI, 2017).

de distribuição de energia. A fiação integrada de PCB, design de quadro otimizado, que fornece espaço de montagem abundante para sistemas de piloto automático.

O sistema de propulsão é projetado especificamente para o uso de múltiplos rotores, a maior relação impulso/peso do sistema aumenta a confiabilidade, estabilidade e agilidade do voo por intermédio de de aerodinâmica aprimorada e eficiência da combinação do motor e da hélice.

3.2.3.1 SIMULADOR DE VOO E ESTAÇÃO DE BASE

Realizou-se um estudo dos principais *softwares* relacionados ao desenvolvimento de plataformas de voos autônomos, sendo os de maior interesse os simuladores de voos e as estações de controle em solo (ECS). Como simulador de voo optou-se pelo FlightGear por ser gratuito e possuir código fonte aberto permitindo alterações no código para desenvol-

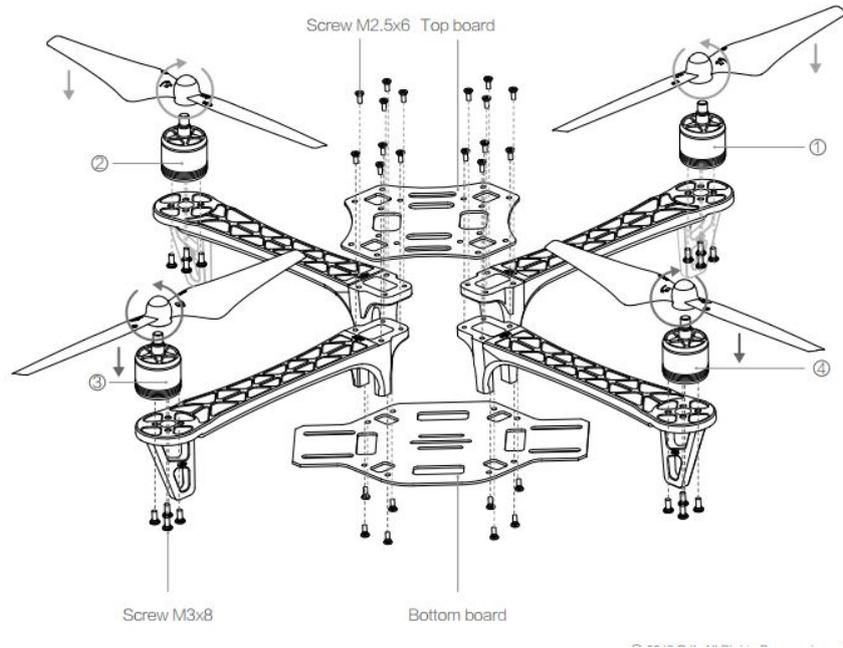


FIG. 3.6: Instrução de montagem do kit ARF DJI F450 (DJI, 2017).

vimento de pesquisas científicas, diferentemente do X-Plane[®]. Como estação de controle em solo escolheu-se o *APM Planner* por ser compatível com o sistema operacional Linux. Outras ECSs mesmo tendo uma base de usuários maior, ainda não fornecem versões para esse sistema, como o *Mission Planner*, ou não mantêm versões totalmente estáveis para o Linux, como o *QGroundControl* que ainda não implementou o recurso de *hardware in the loop*.

Essa infraestrutura permitira que o algoritmo seja embarcado em um VANT autônomo que sobrevoará um ambiente *indoor* controlado sem intervenção humana.

3.3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Todos os experimentos foram realizados em ambientes controlados visando comparação a posição estimada pelo algoritmo com a posição real.

3.3.1 EXPERIMENTOS EM AMBIENTE CONTROLADO

O primeiro experimento do trabalho consistiu em testar parte do algoritmo capaz de capturar os dados das redes Wi-Fi (802.11) em um ambiente *indoor* parcialmente controlado. Após essa captura, foi necessário entender quais informações eram fornecidas pelas redes Wi-Fi (802.11) e quais seriam úteis ao sistema. Depois de feita a avaliação, foi desenvolvida uma biblioteca em Python, chamada de *WiFiList*, capaz de capturar as informações

e persistir as informações consideradas úteis no banco de dados.

A informação disponibilizada pela biblioteca a ser diretamente usada no cálculo da localização de um AP é o valor do RSSI. Esse valor indica, a potência do sinal em um determinado espaço geográfico. A biblioteca WiFiList fornece as informações para identificação da rede além dos valores que serão usadas como base nos cálculos do algoritmo.

Na tabela 3.3 são apresentadas as informações gerais sobre todos os *access points* que foram obtidos e armazenadas durante os testes realizados com a biblioteca WiFiList, tais como, o endereço físico (T01_ADDRESS), informação se a rede é criptografada (T01_ENCRYPTED), nome da rede (T01_NAME) e modo de interface (T01_MODE), enquanto na tabela 3.4 são apresentados os valores obtidos de cada rede tais como, valor do RSSI (T02_RSSI), a qualidade do sinal (T02_QUALITY), e a frequência em que o sinal é enviado (T02_FREQUENCY).

TAB. 3.3: Informações gerais das redes capturadas pelo *hardware* durante os testes

T01_ID	T01_ADDRESS	T01_ENCRYPTED	T01_NAME	T01_MODE
1	64:70:02:73:8E:D2	True	navio	Master
2	00:25:9C:77:7A:B0	True	linksys	Master
3	80:E0:1D:41:D9:52	True	IME-WIFI	Master
4	00:1D:7E:19:52:2C	True	LPI	Master
5	00:E0:20:2C:F1:BE	True	RoboIME	Master
6	80:E0:1D:4C:AA:E2	True	IME-WIFI	Master
7	0C:85:25:69:EB:A2	True	IME-WIFI	Master
8	0C:85:25:7F:6E:B2	True	IME-WIFI	Master
9	00:22:B0:3F:70:87	True		Master
10	F8:D1:11:9B:FB:27	True		Master

TAB. 3.4: Alguns dos valores das redes capturadas pelo *hardware* durante os testes

T01_ID	T02_RSSI	T02_QUALITY	T02_FREQUENCY
1	-19	70	2,437
2	-64	46	2,437
3	-19	70	2,437
4	-59	51	2,422
5	-64	46	2,457
6	-78	32	2,412
7	-92	18	2,462
8	-88	22	2,412
1	-20	70	2,437
2	-66	44	2,437
3	-63	47	2,437
4	-61	49	2,422
5	-65	45	2,457
6	-78	32	2,412
7	-91	19	2,462
8	-88	22	2,412
9	-84	26	2,432
10	-79	31	2,462

O valor de RSSI varia entre 0 e -100 dbm. A relação entre o valor de RSSI e a distância do *access points* segue a seguinte regra: Quanto maior o valor absoluto do RSSI, mais distante o AP se encontra devido às interferências sofridas pelas ondas eletromagnéticas por causa do seu ambiente de propagação.

Com a informação do valor do RSSI e da qualidade de sinal é possível calcular a localização de um AP enquanto as outras informações servem para identificação da rede existente.

No segundo teste, foi adaptado o algoritmo de captura dos dados do sensor de GPS, disponibilizado pelo fabricante no Navio2 (Figura 3.7), de forma que os únicos dados que são guardados são a latitude e longitude.

```

pi@navio: ~/IME/Navio2/Python
pi@navio:~/IME/Navio2/Python $ python GPS.py
gpsFix=3
Longitude=-429929042 Latitude=-228270530 height=10955 hMSL=17720 hAcc=5046 vAcc=8962
gpsFix=3
Longitude=-429929044 Latitude=-228270533 height=10986 hMSL=17751 hAcc=5027 vAcc=8924
gpsFix=3
Longitude=-429929056 Latitude=-228270527 height=11194 hMSL=17959 hAcc=5006 vAcc=8884
gpsFix=3
Longitude=-429929061 Latitude=-228270520 height=10994 hMSL=17758 hAcc=4988 vAcc=8849
gpsFix=3
Longitude=-429929057 Latitude=-228270516 height=10827 hMSL=17592 hAcc=4971 vAcc=8818
gpsFix=3
Longitude=-429929055 Latitude=-228270513 height=10658 hMSL=17423 hAcc=4952 vAcc=8785
gpsFix=3
Longitude=-429929075 Latitude=-228270500 height=10780 hMSL=17545 hAcc=4937 vAcc=8761
gpsFix=3
Longitude=-429929088 Latitude=-228270497 height=10711 hMSL=17476 hAcc=4919 vAcc=8735
gpsFix=3
Longitude=-429929092 Latitude=-228270498 height=10662 hMSL=17426 hAcc=4902 vAcc=8712
gpsFix=3
Longitude=-429929097 Latitude=-228270495 height=10721 hMSL=17485 hAcc=4887 vAcc=8685
gpsFix=3
Longitude=-429929099 Latitude=-228270489 height=10740 hMSL=17504 hAcc=4872 vAcc=8660
gpsFix=3
Longitude=-429929097 Latitude=-228270489 height=10782 hMSL=17546 hAcc=4863 vAcc=8639

```

FIG. 3.7: Resultado disponibilizado pelo algoritmo do fabricante sem adaptação

O terceiro teste foi realizado em um ambiente *outdoor* controlado para validação dos valores da variável de ambiente e também do RSSI de base que são utilizados na equação de distância. Foram utilizados um celular Samsung S7 Edge (denominado como Rot1) e o adaptador-roteador TP-Link TL-WR702N (denominado como Rot2) como emissores do sinal.

Como na literatura existe pouca explicação de como obter de forma assertiva o valor de RSSI de base foi realizado um teste para verificar se existe diferença significativa nas leituras de RSSI se os equipamentos estiverem perto ou longe de uma grande área plana como o solo. Os testes para determinação dos valores de n (variável de ambiente) e do valor de RSSI de base foram feitas em duas etapas, onde os equipamentos estavam em contato com o solo e em cima de um tripé improvisado.

Nesse teste foi realizado medições a 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m, 3,0 m, 4,5 m, 6,0 m, 9,0 m, 10,0 m e 13,0 m. Em cada distância, foram feitas 20 leituras (Tabelas 3.5 e 3.6) com equipamentos perto do solo (Figura 3.8) e 20 leituras (Tabelas 3.7 e 3.8) com os equipamentos a 46 cm do solo (Figuras 3.9 e 3.10).

[Posicionamento dos equipamentos a 50 cm de distância]



[Medição da potência do sinal]



FIG. 3.8: Medição da potência do sinal com os equipamentos encostados no chão

Podemos ver através dos resultados que houve uma melhora significativa nas leituras de sinal realizadas quando os roteadores e o receptor estavam a 46 cm do chão em relação as leituras de sinal realizadas quando os equipamentos estavam enconstado no chão.



FIG. 3.9: Medição da distância entre os equipamentos e o solo

[Posicionamento do equipamento a 50 cm de distância entre os emissores e receptores]



[Medição da potência do sinal]



FIG. 3.10: Medição da potência do sinal com os equipamentos encostados no chão

A partir dessas informações é possível calcular a distância estimada entre o Raspberry Pi e o roteador e determinar os valores de base para o cálculo da distância.

TAB. 3.5: Resultado de leitura dos valores do roteador 1 no segundo teste realizado na altura do chão

Distância entre o roteador e o Raspberry Pi	Média do RSSI (dBm)	Média de Qualidade de Sinal
0,5 m	-37	70
1,0 m	-40	70
1,5 m	-41	69
2,0 m	-45	65
2,5 m	-42	62
3,0 m	-50	60
4,5 m	-62	48
6,0 m	-52	58
9,0 m	-60	50
10,0 m	-55	55
13,0 m	-53	57

TAB. 3.6: Resultado de leitura dos valores do roteador 2 no segundo teste realizado na altura do chão

Distância entre o roteador e o Raspberry Pi	Média do RSSI	Média de Qualidade de Sinal
0,5 m	0	0
1,0 m	-48	62
1,5 m	-46	64
2,0 m	-46	64
2,5 m	-50	60
3,0 m	-51	59
4,5 m	-63	47
6,0 m	-56	54
9,0 m	-66	44
10,0 m	-63	47
13,0 m	-73	37

TAB. 3.7: Resultado de leitura dos valores do roteador 1 no segundo teste realizado 46 cm de altura do chão

Distância entre o roteador e o Raspberry Pi	Média do RSSI (dBm)	Média de Qualidade de Sinal
0,5 m	-20	70
1,0 m	-30	60
1,5 m	-55	55
2,0 m	-56	54
2,5 m	-63	47
3,0 m	-64	46
4,5 m	-68	42
6,0 m	0	0
9,0 m	-78	32
10,0 m	-83	27
13,0 m	-80	30

TAB. 3.8: Resultado de leitura dos valores do roteador 2 no segundo teste realizado a 46 cm de altura do chão

Distância entre o roteador e o Raspberry Pi	Média do RSSI	Média de Qualidade de Sinal
0,5 m	-25	66
1,0 m	-38	52
1,5 m	-45	65
2,0 m	-58	52
2,5 m	-61	49
3,0 m	-65	45
4,5 m	-69	41
6,0 m	0	0
9,0 m	-74	36
10,0 m	-72	38
13,0 m	-80	30

O cálculo da distância segue a equação 2.5 que usa o RSSI lido em tempo real como base para o cálculo.

Em todos os artigos lidos que trabalham em ambientes *outdoors*, os autores atribuem o valor dois para a constante n no ambiente *outdoor* porém, não foi encontrado uma experiência científica que mostre que valor é o melhor para a constante n .

Para descobrir o melhor valor de n , foram realizados os cálculos de distância utilizando os valores de $n = 2, 2.5$ e 3 .

A partir dos resultados obtidos existiam seis valores que poderiam ser usados como RSSI de base (Tabela 3.9) e usando as combinações presente na Tabela 3.10 foram feitos

gráficos de tendência (Figuras 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15 e 3.16) a partir do cálculo matemático da distância estimada baseado no RSSI.

TAB. 3.9: Valores de RSSI de base

Distância entre os emissores e o chão	RSSI de Base	Descrição
0 cm	-40 dBm	Média dos RSSI do roteador 1 medidos a distância igual a 1 m
0 cm	-44 dBm	Média dos RSSI do roteador 1 e 2 medidos a distância igual a 1 m
0 cm	-48 dBm	Média dos RSSI do roteador 2 medidos a distância igual a 1 m
46 cm	-30 dBm	Média dos RSSI do roteador 1 medidos a distância igual a 1 m
46 cm	-34 dBm	Média dos RSSI do roteador 1 e 2 medidos a distância igual a 1 m
46 cm	-38 dBm	Média dos RSSI do roteador 2 medidos a distância igual a 1 m

TAB. 3.10: Combinações de RSSI de Base e variável de ambiente testados

RSSI de Base (dbm)	n (variável de ambiente)
-40	2
-40	2,5
-40	3
-44	2
-44	2,5
-44	3
-48	2
-48	2,5
-48	3
-30	2
-30	2,5
-30	3
-34	2
-34	2,5
-34	3
-38	2
-38	2,5
-38	3

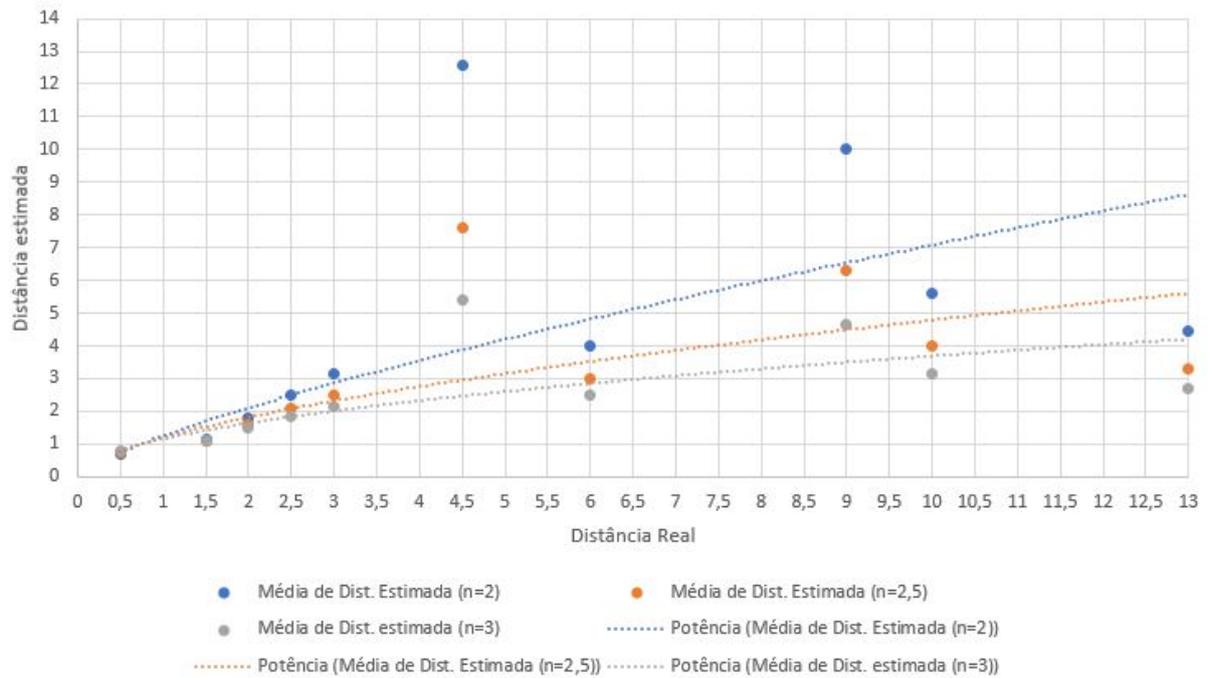


FIG. 3.11: Combinações com o RSSI de base igual a -40

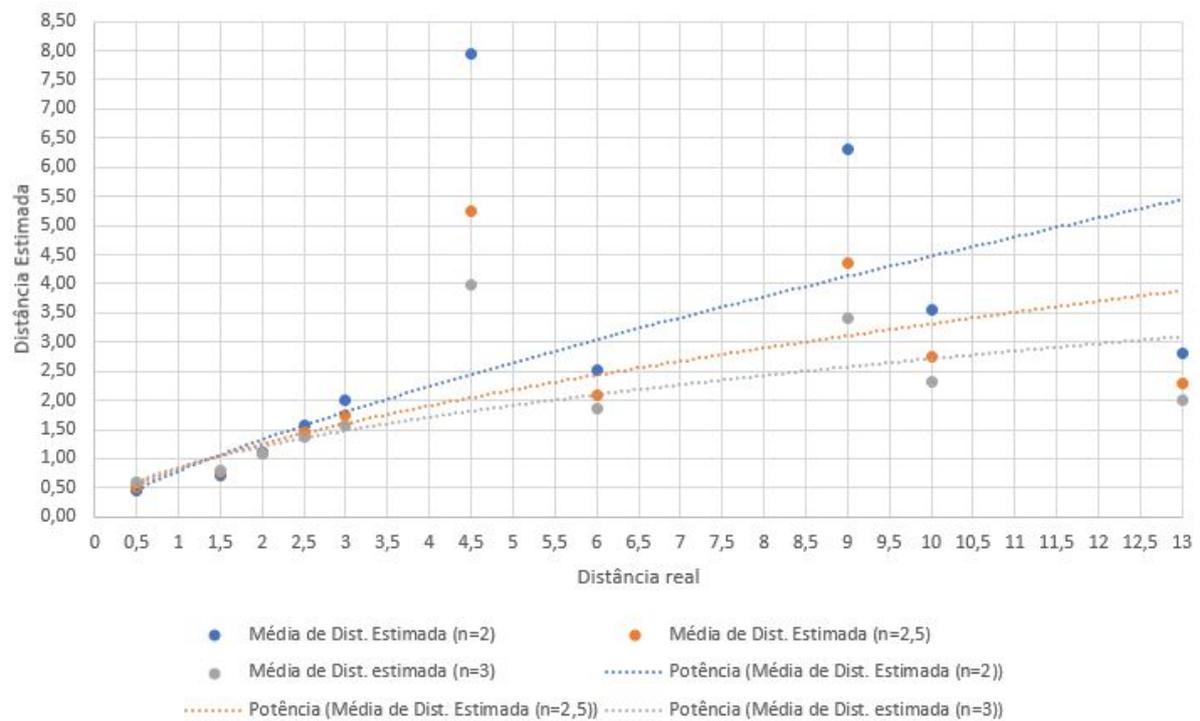


FIG. 3.12: Combinações com o RSSI de base igual a -44

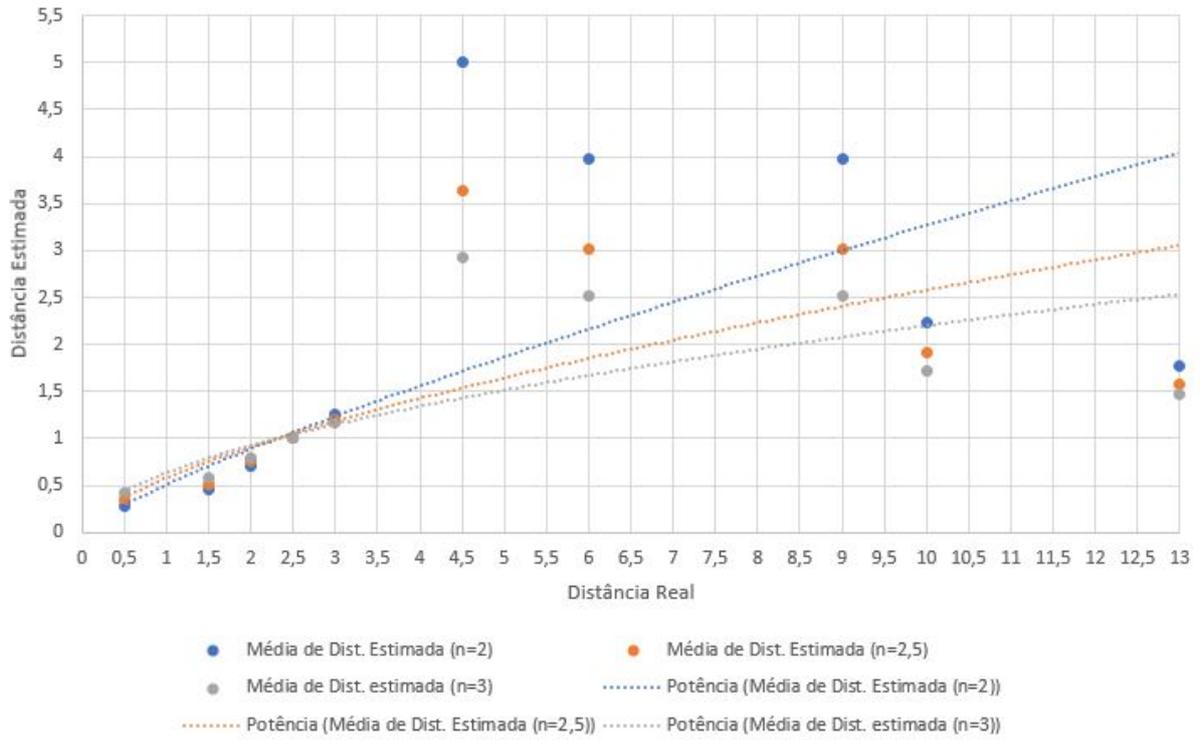


FIG. 3.13: Combinações com o RSSI de base igual a -48

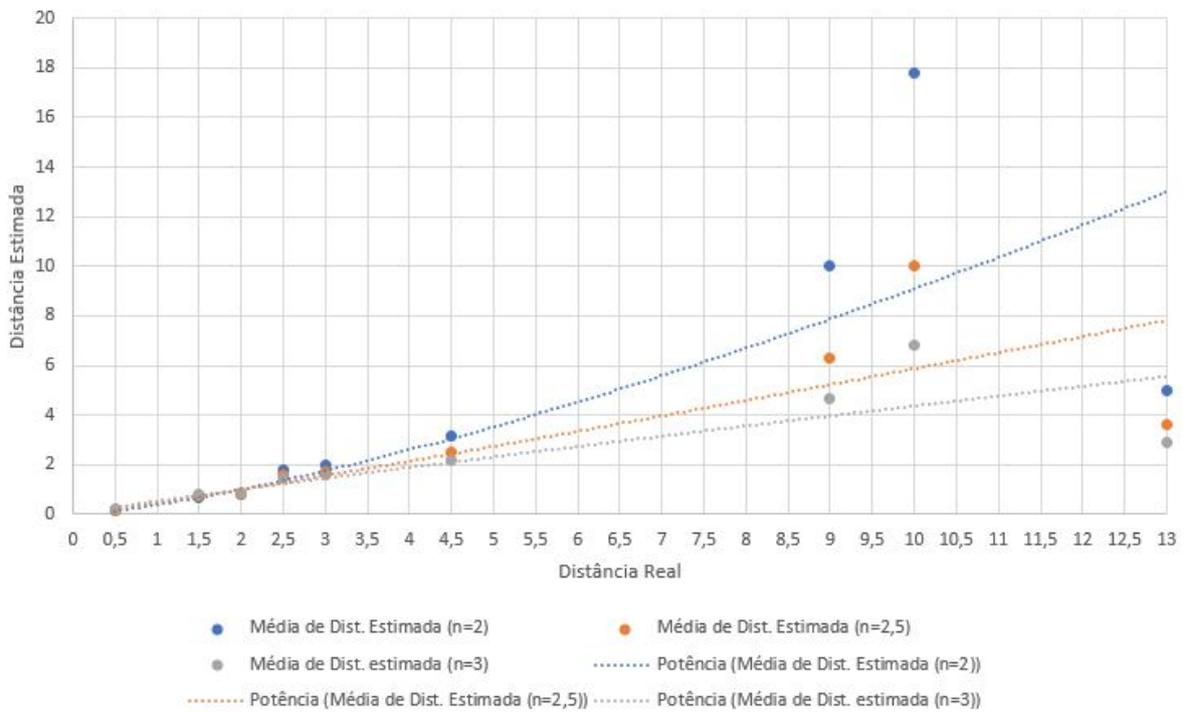


FIG. 3.14: Combinações com o RSSI de base igual a -30

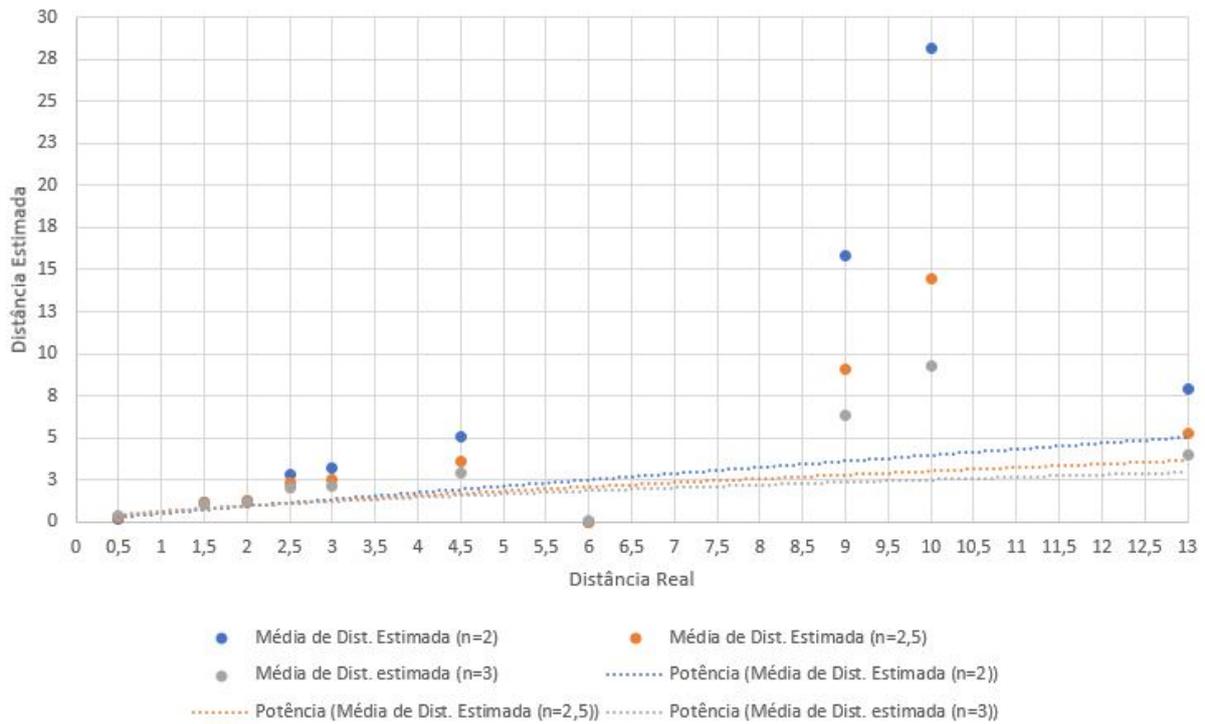


FIG. 3.15: Combinações com o RSSI de base igual a -34

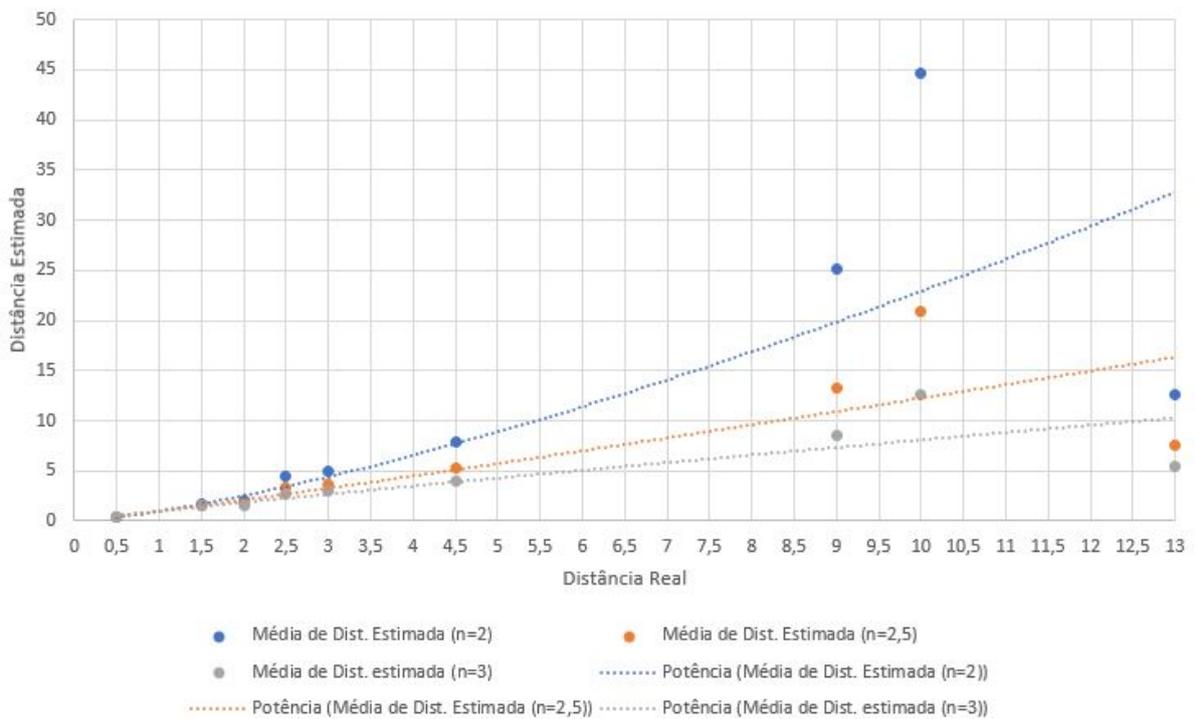


FIG. 3.16: Combinações com o RSSI de base igual a -38

Foi possível verificar que o melhor resultado, ou seja, a combinação que apresenta a menor diferença entre a distância real e a estimada acontece quando se utiliza o RSSI

base igual a -30 dBm, a variável de ambiente n igual a 3 e os equipamentos não estão em contato direto com uma grande área plana. Além disso, foi possível verificar que a precisão só acontece quando os valores de RSSI e a qualidade do sinal são iguais ou superiores a -70 dBm e 41 respectivamente.

Com os valores de RSSI de base, a variável n e também quais valores eram válidos para o cálculo da trilateração definidos foi possível criar a lógica do cálculo da geolocalização dos APs em ambientes *outdoors*.

O cálculo de trilateração começa fazendo uma busca no banco de dados pelos melhores valores válidos de RSSI. Após selecionar os três melhores valores de RSSI, é pego no banco de dados os valores de GPS e de distância estimada associados aquele RSSI.

No último teste, foi feita uma validação total da proposta apresentada. Foram utilizados dois aparelhos como roteadores (um celular Samsung S7 e um roteador da TP-link TL-WR702N Portátil) e 2 como receptores (Raspberry Pi, chamado de Receptor 1 e um receptor da TP-link chamado de Receptor 2). As suas respectivas localizações (Tabela 3.11) foram anotadas para que pudesse confirmar a eficácia da proposta.

TAB. 3.11: Roteadores usados para validação da proposta.

Roteador	Identificador	latitude	longitude	Distância do chão
Celular Samsung 1	rot1	$-22,95527^{\circ}S$	$-43,16581^{\circ}O$	1,526.7 m
TP-link TL-WR702N	rot2	$-22,95535^{\circ}S$	$-43,16580^{\circ}O$	0.754 m

Após o voo, foi possível obter os dados de total de leitura e total de leituras válidas (Tabela 3.12 e Tabela 3.13) realizadas por cada roteador e por cada receptor. Os resultados completos do teste são apresentados no anexo desse documento.

TAB. 3.12: Quantidade de leituras feitas para cada roteador versus quantidade de leitura válida.

Roteador	Quantidade total de leituras	Quantidade Leituras válidas
rot1	60	36
rot2	60	47

TAB. 3.13: Quantidade de leituras feitas para cada roteador versus quantidade de leitura válida por receptor.

Receptor	Roteador	Quantidade total de leituras	Quantidade Leituras válidas
receptor 1	rot1	30	15
	rot2	30	29
receptor 2	rot1	30	21
	rot2	30	28

O cálculo da trilateração é feita com os três melhores valores de leitura de cada receptor. Nesse trabalho foi feita o cálculo da trilateração de duas formas diferentes, a primeira separando as leituras dos receptores 1 e 2 (Tabela 3.14) e segunda utilizando os três melhores das leituras dos dois receptores (Tabela 3.15).

TAB. 3.14: As três melhores leituras consideradas válidas para cada emissor em cada receptor.

Receptor	Roteador	RSSI (dBm)	Qualidade de sinal	Distância calculado (m)
Receptor 1	Rot 1	-54	56	0,001584893
		-55	55	0,001467799
		-56	54	0,001359356
	Rot 2	-51	59	0,001995262
		-55	55	0,001467799
		-67	43	0,000584341
Receptor 2	Rot 1	-47	63	0,002712273
		-61	49	0,000926119
		-63	47	0,000794328
	Rot 2	-41	69	0,004298662
		-53	57	0,001711328
		-62	48	0,000857696

TAB. 3.15: As três melhores leituras consideradas válidas para cada roteador.

Roteador	RSSI (dBm)	Qualidade	Distância calculado (m)
rot1	-51	59	0,199526231496888
rot1	-54	56	0,158489319246111
rot1	-55	55	0,146779926762207
rot2	-41	69	0,429866234708228
rot2	-47	63	0,271227257933203
rot2	-53	57	0,171132830416178

Utilizando esses valores no cálculo da trilateração, chega-se as localizações estimadas dos roteadores por roteador e pela combinação de roteador e receptor. Os resultados são apresentados nas Tabelas 3.16 e 3.17:

TAB. 3.16: Resultado da solução proposta por receptor.

Receptor	Roteador	latitudo real	longitudo real	latitudo estimada	longitudo estimada
intwif0	rot1	-22,95527	-43,16581	-23,12075	-43,60682
intwif0	rot2	-22,95535	-43,16580	-22,86113	-43,35391
wlan0	rot1	-22,95527	-43,16581	-22,90689	-43,16517
wlan0	rot2	-22,95535	-43,16580	-23,42572	-43,86182

TAB. 3.17: Resultado da solução proposta por roteador.

Roteador	latitudo real	longitudo real	latitudo estimada	longitudo estimada
rot1	-22,95527	-43,16581	-23,12338	-43,70753
rot2	-22,95527	-43,16581	-23,02234	-42,77688

Analisando a diferença entre as localizações reais dos roteadores e suas localizações estimadas foi possível perceber que o erro médio foi de 0,43669795 cm. O erro médio entre a localização real e a estimada pelo algoritmo é apresentado na tabela 3.18.

TAB. 3.18: Erro médio entre a posição real e a posição estimada pela solução proposta.

Tipo de cálculo	Erro médio (m)
Por roteador	0,3924629
Por receptor	0,4809330

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo é dedicado à conclusão, à descrição dos trabalhos futuros e aos agradecimentos institucionais.

4.1 CONCLUSÃO

O trabalho apresentado teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema que seja implementável, universal e preciso, capaz de estimar a localização de um AP sem o conhecimento prévio de sua localização com base em medições de RSSI em ambiente *outdoor*.

O algoritmo apresentado juntou métodos matemáticos conhecidos de estimativa de distância e localização como uma solução parcial para o problema de aplicações específicas em que a localização exata é considerada crítica.

Assumiu-se que a relação entre o RSSI e a distância entre os APs era exponencial com base igual a 10, sendo capaz de estimar a distância entre os APs e os receptores (Vide Seção 3.1.3). Após a estimativa da distância, é possível calcular, por intermédio de do método de de trilateração e da média das posições de leitura, a geolocalização estimada de cada AP (Vide Seção 3.1.5)).

Pôde-se concluir que a estimação da localização dos APs pode ser realizada de maneira satisfatória, desde que o modelo consiga se adaptar ao ambiente onde é incorporado.

4.2 TRABALHOS FUTUROS

Uma das dificuldades desse trabalho foi conseguir estabelecer quais dados capturados eram os melhores para o cálculo da trilateração pois em um ambiente real, com o algoritmo rodando e calculando em tempo real a geolocalização de todos os APs, pode ocorrer do sistema de equações gerar duas respostas distintas ou então não haver ponto em comum. Uma análise em cima dos pontos lidos em tempo de execução, para determinação se todos os três pontos que pretendem ser utilizados não são coplanares já iria produzir a redução da margem de erro do algoritmo. Uma outra possibilidade é uso do conceito de multilateração, que consiste em utilizar mais de três conjuntos de valores capturados (Posição atual do VANT no momento de leitura e valor de distância estimada) para o cálculo de geolocalização.

4.3 AGRADECIMENTOS INSTITUCIONAIS

Faz-se agradecimentos às seguintes instituições que viabilizaram a realização deste trabalho:

- CAPES (Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior), por conceder uma bolsa de MESTRADO por meio do Edital Pró-Estratégia no 50/2011;
- IME (Instituto Militar de Engenharia) - por conceder a honra de fazer parte do quadro de alunos e poder completar o programa de Pós-Graduação.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AÉREO, DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO. Notícias - ANAC propõe regras para RPA e aeromodelos, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/uWeX4Q>>. Acesso em: 08 de Nov. de 2015.
- AÉREO, DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO. Veículos Aéreos não Tripulados, 2010. Disponível em: <<https://goo.gl/98pNvH>>. Acesso em: "30 de out. de 2017".
- BAGGIO, ALINE ; LANGENDOEN, K. Monte carlo localization for mobile wireless sensor networks. **Ad Hoc Networks**, v. 6, p. 718–733, 2008.
- BAHILLO MARTINEZ, ALFONSO ; MAZUELAS FRANCO, S. . P. T. J. . L. T. R. M. . F. R. P. . A. E. J. Indoor location based on IEEE 802.11 round-trip time measurements with two-step NLOS mitigation. **Progress In Electromagnetics Research B**, v. 15, p. 285–306, 2009.
- BAHL, PARAMVIR ; PADMANABHAN, V. N. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. **INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE**, v. 2, p. 775–784, 2000.
- BISATTO, ANA PAULA ; PERES, A. Localização de estação sem fio utilizando trilateração. **XII Seminário Intermunicipal de Pesquisa**, v. 7, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/yKBehn>>. Acesso em: 30 de Out. de 2017.
- BRASIL, MARINHA DO. O programa ARP-E da Marinha do Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.defesaaereanaval.com.br/o-programa-arp-e-da-marinha-do-brasil/>>. Acesso em: "14 de Nov. de 2015".
- BULUSU, NIRUPAMA ; HEIDEMANN, J. . E. D. GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices. **Personal Communications, IEEE**, v. 7, n. 5, p. 28–34, 2000.
- CARVALHO, J. F. M. **Repositório da UTAD: Localização de Dispositivos Móveis em Redes Wi-Fi**. 2007. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.utad.pt/handle/10348/78>>. Acesso em: 30 de Out. 2017.
- CHINTALAPUDI, KRISHNA ; PADMANABHA IYER, A. . P. V. N. Indoor localization without the pain. In: PROCEEDINGS OF THE SIXTEENTH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE COMPUTING AND NETWORKING, 16., 2010. **Anais...** [S.l.]: ACM, 2010, p. 173–184.
- CIVIL, AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO. Proposta de instrução suplementar, intitulada " Emissão de certificado de autorização de voo experimental para sistemas de veículo aéreo não tripulado", 2012. Disponível

em: <<http://www2.anac.gov.br/transparencia/consulta2012/01/Justificativa.pdf>>. Acesso em: 08 de Nov. de 2015.

COLEMAN, DAVID D ; WESTCOTT, D. A. **Cwna: certified wireless network administrator official study guide: exam Pw0-105**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012.

DJI. Flame Wheel Arf, 2017. Disponível em: <<http://www.dji.com/flame-wheel-arf>>. Acesso em: 30 de Out. de 2017.

EMLID. Navio2, 2017. Disponível em: <<https://docs.emlid.com/navio2/>>. Acesso em: 30 de Out. de 2017.

FAGUNDES, L. P. **Técnicas de localização de dispositivos móveis em redes WiFi-TDOA**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Tecnologias, Gerência e Segurança de Redes de Computadores) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2008.

FALSI, CHIARA ; DARDARI, D. . M. L. . W. M. Z. Time of arrival estimation for UWB localizers in realistic environments. **EURASIP Journal on Applied Signal Processing**, v. 2006, p. 152–152, 2006.

FERRIS, BRIAN ; FOX, D. . L. N. D. **WiFi-SLAM Using Gaussian Process Latent Variable Models**. [S.l.: s.n.], 2007. 2480–2485 p. (Relatório Técnico).

FORCELLINI, S. **Localização de usuários usando o sistema celular**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GABRIEL, T. A. R. **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE NAVEGAÇÃO DE BAIXO CUSTO DE VEÍCULO TERRESTRE NÃO TRI-PULADO**. 2014. Dissertação (MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA) – INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://www.ime.eb.br/arquivos/teses/se4/mec2014/ThiagoGabriel.pdf>>. Acesso em: 30 de Out. de 2017.

ROCKY MEZA ; GAVIN WAHL. **wifi**, a Python interface¶, 2017. Disponível em: <<https://wifi.readthedocs.io/en/latest/>>. Acesso em: 30 de Out. de 2017.

GODOY VIERA, ANGEL FREDDY ; GODOY VIERA, S. D. . G. V. L. E. Tecnologia de identificação por radiofreqÜência: fundamentos e aplicações em automação de bibliotecas. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 24, 2007. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/147/14702413/>>. Acesso em: 30 de Out. de 2017.

GUSTAFSSON, FREDRIK ; GUNNARSSON, F. Mobile positioning using wireless networks: possibilities and fundamental limitations based on available wireless network measurements. **Signal Processing Magazine, IEEE**, v. 22, n. 4, p. 41–53, 2005.

HU, LINGXUAN ; EVANS, D. Localization for mobile sensor networks. In: PROCEEDINGS OF THE 10TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE

- COMPUTING AND NETWORKING, 10., 2004. **Anais...** [S.l.]: ACM, 2004, p. 45–57.
- KIM, MINKYONG ; FIELDING, J. J. . K. D. Risks of using AP locations discovered through war driving. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 4., 2006. **Anais...** Dublin, Ireland: [s.n.], 2006, p. 67–82.
- KOTARU, MANIKANTA ; JOSHI, K. . B. D. . K. S. SpotFi: Decimeter level localization using WiFi. **Proceedings of the 2015 ACM Conference on Special Interest Group on Data Communication**, v. 15, p. 269–282, 2015.
- KUMAR, SWARUN ; HAMED, E. . K. D. . E. L. L. LTE radio analytics made easy and accessible. In: PROCEEDINGS OF THE 2014 ACM CONFERENCE ON SIGCOMM, 14., 2014. **Anais...** [S.l.]: ACM, 2014, p. 211–222.
- KUMAR, SWARUN ; GIL, S. . K. D. . R. D. Accurate indoor localization with zero start-up cost. In: PROCEEDINGS OF THE 20TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE COMPUTING AND NETWORKING, 20., 2014. **Anais...** [S.l.]: ACM, 2014, p. 483–494.
- KUROSE, JAMES F; ROSS, KEITH W. *Redes de Computadores e a Internet*, 2006. Disponível em: <<https://goo.gl/chF6sw>>. Acesso em: 30 de Out. de 2017.
- MATIAS, LÚCIO; JAMEL, CARLOS. Webinar - A Invasão dos VANTs, 2012. Disponível em: <<http://mundogeo.com/webinar/vant/novaterra.pdf>>. Acesso em: 30 de Out. de 2017.
- MORAES, EC DE ; FIORIO, PETERSON R. *Fundamentos de sensoriamento remoto*, 2002. Disponível em: <<https://goo.gl/wzSsei>>. Acesso em: 30 de Out. 2017.
- NAGPAL, RADHIKA ; SHROBE, H. . B. J. Organizing a global coordinate system from local information on an ad hoc sensor network. In: SECOND INTERNATIONAL WORKSHOP, 2., 2003. **Anais...** [S.l.]: Springer, 2003, p. 333–348.
- NAJNUDEL, M. **Estudo de propagação em ambientes fechados para o planejamento de WLANs**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<https://goo.gl/UU58nM>>. Acesso em: 30 de Out. de 2017.
- NICULESCU, DRAGOȘ ; NATH, B. DV based positioning in ad hoc networks. In: TELECOMMUNICATION SYSTEMS, 22., 2003. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2003, p. 267–280. Acesso em: 30 de Out. de 2017.
- PRIETO, JAVIER ; MAZUELAS, S. . B. A. . F. P. . L. R. M. . A. E. J. Adaptive data fusion for wireless localization in harsh environments. In: IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, 4., 2012. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2012, p. 1585–1596.
- QI, Y. **Wireless geolocation in a non-line-of-sight environment**. 2003. Tese (Doutorado em Filosofia) – Princeton University, Princeton, EUA, 2003.

- RAPPAPORT, THEODORE S ; REED, J. H. . W. B. D. Position location using wireless communications on highways of the future. **Communications Magazine, IEEE**, v. 34, n. 10, p. 33–41, 1996.
- RASPBERRYPI.ORG. Raspberry Pi, 2017. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/>>. Acesso em: 30 de Out. 2017.
- RODRIGUES, M. L. **Localização em ambientes internos utilizando múltiplas tecnologias sem fio**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação.) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<file:///C:/Users/siqan/Desktop/moisesislisboa.pdf>>. Acesso em: 30 de Out. de 2017.
- SCHIRMER, GABRIEL THOME DA CRUZ ; BONFADA, E. B. . D. O. J. A. P. Z. Transmissão de informações através de ondas eletromagnéticas. **Salão do Conhecimento**, v. 1, n. 1, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/DsYwvS>>. Acesso em: 30 de Out. 2017.
- SHANG, YI ; RUML, W. . Z. Y. . F. M. P. Localization from mere connectivity. In: PROCEEDINGS OF THE 4TH ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE AD HOC NETWORKING & COMPUTING, 4., 2003. **Anais...** [S.l.]: ACM, 2003, p. 201–212.
- SILVA, GERCINA GONÇALVES DA ; SOUZA, K. P. D. . G. A. B. . P. H. . G. J. F. Veículos aéreos não tripulados com visão computacional na agricultura : aplicações, desafios e perspectivas. **Anais do Encontro Científico de Administração, Economia e Contabilidade**, v. 1, n. 1, 2015. Disponível em: <<http://anaisonline.uems.br/index.php/ecaeco/article/view/2832>>. Acesso em: 30 de Out. 2017.
- SIMEK, MILAN ; MICA, I. . K. J. . B. R. Bandwidth efficiency of wireless networks of wpan, wlan, wman and wwan. **Electrotechnic magazine Elektrotechnik**, v. s.n, 2007. Disponível em: <<http://www.elektrotechnik.cz/en/articles/analogue-technics/0/bandwidth-efficiency-of-wireless-networks-of-wpan-wlan-wman-and-wwan-1/>>. Acesso em: 30 de Out. 2017.
- SIMÕES, D. M. **Navegação indoor baseada na rede WIFI como suporte a serviços baseados na localização: estudo de caso no campus da UL**. 2015. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica, Tecnologias e Aplicações) – Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10451/20769>>. Acesso em: 30 de Out. de 2017.
- STEFANUTO, IAGO ; DOS SANTOS, J. A. M. . T. C. T. Evolução das redes sem fio: Comparativo entre Wi-Fi e bluetooth. **Caderno de Estudos Tecnológicos**, v. 4, n. 1, 2016. Disponível em: <<http://www.fatecbauru.edu.br/ojs/index.php/CET/article/view/226>>. Acesso em: 30 de Out. 2017.
- TELECOMUNICAÇÕES, AGÊNCIA NACIONAL DE. Resolução número 506, de 1 de julho de 2008, 1999. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2008/104-resolucao-506art2>>. Acesso em: 30 de Out. 2017.

- TOOLEY, M. **Circuitos eletrônicos**. [S.l.]: CAMPUS, 2007. ISBN 978-85-352-2364-4.
- TRENTIN, F. P. **Sistema de localização e sensoriamento de objetos alvo utilizando rede de sensores sem fio**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica.) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2011. Acesso em: 30 de Out. de 2017.
- TREVISAN, L. **Um Algoritmo de Localização de nós em Redes Sem-Fio Usando Nível de Potência do Sina**. 2009. Dissertação (Pós-Graduação em Informática) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/b1YekZ>>. Acesso em: 30 de Out. de 2017.
- UPTON, EBEN ; HALFACREE, G. **Raspberry Pi – Manual do Usuário**. [S.l.]: Novatec Editora, 2017. ISBN 978-85-7522-609-4.
- WEISS, A. J. On the accuracy of a cellular location system based on RSS measurements. **Vehicular Technology, IEEE Transactions on**, v. 52, p. 1508–1518, 2003.
- WU, KAISHUN ; TAN, H. . N. H.-L. . L. Y. . N. L. M. Chip error pattern analysis in IEEE 802.15. 4. In: MOBILE COMPUTING, IEEE TRANSACTIONS ON, 4., 2012. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2012, p. 543–552.
- WU, KAISHUN ; XIAO, J. . Y. Y. . G. M. . N. L. M. Fila: Fine-grained indoor localization. **INFOCOM, 2012 Proceedings IEEE**, v. 25, p. 2210–2218, 2012.
- XIONG, JIE ; JAMIESON, K. Arraytrack:a fine-grained indoor location system. In: NSDI, s.n., 2013. **Anais...** [S.l.: s.n.], 2013, p. 71–84.
- YANG, ZHENG ; WU, C. . L. Y. Locating in fingerprint space: wireless indoor localization with little human intervention. In: PROCEEDINGS OF THE 18TH ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE COMPUTING AND NETWORKING, 18., 2012. **Anais...** [S.l.]: ACM, 2012, p. 269–280.
- ZHU, HAIPING ; ZHONG, X. . Y. Q. . W. Y. A localization algorithm for mobile wireless sensor networks. In: INTELLIGENT SYSTEM DESIGN AND ENGINEERING APPLICATIONS (ISDEA), 2013 THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 3., 2013. **Anais...** [S.l.]: IEEE, 2013, p. 81–85.

6 APÊNDICES

APÊNDICE 1: DADOS CAPTURADOS NO ÚLTIMO VOO

Tabela que apresenta todos os dados capturados no último voo onde se utilizou 3 roteadores para emissão do sinal e 2 receptores para captura de dados (Tabela 6.1).

TAB. 6.1: Quantidade de leituras feitas para cada roteador versus quantidade de leitura válida.

Lon	Lat	SSID	RSSI	Quality	Receptor de sinal	válido
-43,1657852	-22,9553107	rot2	-47	63	wlan0	True
-43,1657852	-22,9553107	rot2	-56	54	intwif0	True
-43,1657832	-22,9553093	rot2	-45	65	wlan0	True
-43,1657832	-22,9553093	rot2	-55	55	intwif0	True
-43,1657832	-22,9553093	rot1	-67	43	intwif0	True
-43,1657817	-22,9553069	rot2	-39	70	wlan0	True
-43,1657817	-22,9553069	rot2	-65	45	intwif0	True
-43,1657817	-22,9553069	rot1	-41	69	intwif0	True
-43,1657802	-22,9552458	rot2	-55	55	wlan0	True
-43,1657802	-22,9552458	rot1	-47	63	wlan0	True
-43,1657802	-22,9552458	rot1	-63	47	intwif0	True
-43,1658160	-22,9551928	rot2	-67	43	wlan0	True
-43,1658160	-22,9551928	rot2	-68	42	intwif0	True
-43,1658160	-22,9551928	rot1	-53	57	intwif0	True
-43,1658267	-22,9552455	rot2	-51	59	wlan0	True
-43,1658267	-22,9552455	rot1	-63	47	wlan0	True
-43,1658267	-22,9552455	rot1	-62	48	intwif0	True
-43,1657884	-22,9553085	rot2	-47	63	lan0	True
-43,1657884	-22,9553085	rot1	-61	49	lan0	True
-43,1657884	-22,9553085	rot2	-47	63	intwif0	True
-43,1657884	-22,9553085	rot1	-69	41	intwif0	False
-43,1657936	-22,9553630	rot2	-35	70	lan0	True
-43,1657936	-22,955363	rot2	-54	56	intwif0	True
-43,1657936	-22,955363	rot1	-62	48	intwif0	True

-43,165776	-22,9553064	rot2	-55	55	wlan0	True
-43,165776	-22,9553064	rot1	-79	31	wlan0	False
-43,165776	-22,9553064	rot2	-59	51	intwifi0	True
-43,165776	-22,9553064	rot1	-60	50	intwifi0	True
-43,165777	-22,9553041	rot2	-53	57	wlan0	True
-43,165777	-22,9553041	rot1	-81	29	wlan0	False
-43,165777	-22,9553041	rot2	-62	48	intwifi0	True
-43,165777	-22,9553041	rot1	-61	49	intwifi0	True
-43,1657787	-22,9553035	rot2	-65	45	wlan0	True
-43,1657787	-22,9553035	rot1	-59	51	wlan0	True
-43,1657787	-22,9553035	rot2	-69	41	intwifi0	False
-43,1657787	-22,9553035	rot1	-49	61	intwifi0	True
-43,1657731	-22,9552675	rot2	-75	35	wlan0	False
-43,1657731	-22,9552675	rot1	-65	45	wlan0	True
-43,1657731	-22,9552675	rot2	-75	35	intwifi0	False
-43,1657731	-22,9552675	rot1	-71	39	intwifi0	False
-43,1657982	-22,9552067	rot2	-75	35	wlan0	False
-43,1657982	-22,9552067	rot1	-75	35	wlan0	False
-43,1657982	-22,9552067	rot2	-68	42	intwifi0	True
-43,1657982	-22,9552067	rot1	-64	46	intwifi0	True
-43,1658268	-22,9552253	rot2	-61	49	wlan0	True
-43,1658268	-22,9552253	rot1	-55	55	wlan0	True
-43,1658268	-22,9552253	rot2	-64	46	intwifi0	True
-43,1658268	-22,9552253	rot1	-64	46	intwifi0	True
-43,1658076	-22,9552795	rot2	-49	61	wlan0	True
-43,1658076	-22,9552795	rot1	-73	37	wlan0	False
-43,1658076	-22,9552795	rot2	-36	70	intwifi0	True
-43,1658076	-22,9552795	rot1	-86	24	intwifi0	False
-43,1657855	-22,9553538	rot2	-41	69	wlan0	True
-43,1657855	-22,9553538	rot1	-69	41	wlan0	False
-43,1657855	-22,9553538	rot2	-48	62	intwifi0	True
-43,1657855	-22,9553538	rot1	-66	44	intwifi0	True
-43,1657962	-22,9553367	rot2	-65	45	wlan0	True

-43,1657962	-22,9553367	rot1	-57	53	wlan0	True
-43,1657962	-22,9553367	rot2	-54	56	intwif0	True
-43,1657962	-22,9553367	rot1	-58	52	intwif0	True
-43,1051325	-22,8698794	rot1	-57	53	Receptor1	True
-43,1051325	-22,8698794	rot3	-27	70	Receptor1	True
-43,1051325	-22,8698794	rot2	-53	57	Receptor1	True
-43,1051325	-22,8698794	rot3	-38	70	Receptor2	True
-43,1051325	-22,8698794	rot1	-63	47	Receptor2	True
-43,1051325	-22,8698794	rot2	-54	56	Receptor2	True
-43,1051353	-22,8698680	rot1	-59	51	Receptor1	True
-43,1051353	-22,8698680	rot3	-37	70	Receptor1	True
-43,1051353	-22,8698680	rot2	-41	69	Receptor1	True
-43,1051353	-22,8698680	rot3	-38	70	Receptor2	True
-43,1051353	-22,8698680	rot1	-72	38	Receptor2	False
-43,1051353	-22,8698680	rot2	-54	56	Receptor2	True
-43,1051315	-22,8698730	rot1	-63	47	Receptor1	True
-43,1051315	-22,8698730	rot3	-45	65	Receptor1	True
-43,1051315	-22,8698730	rot2	-55	55	Receptor1	True
-43,1051315	-22,8698730	rot3	-46	64	Receptor2	True
-43,1051315	-22,8698730	rot1	-76	34	Receptor2	False
-43,1051315	-22,8698730	rot2	-51	59	Receptor2	True
-43,1051341	-22,8698601	rot1	-69	41	Receptor1	False
-43,1051341	-22,8698601	rot3	-47	63	Receptor1	True
-43,1051341	-22,8698601	rot2	-47	63	Receptor1	True
-43,1051341	-22,8698601	rot3	-45	65	Receptor2	True
-43,1051341	-22,8698601	rot1	-72	38	Receptor2	False
-43,1051341	-22,8698601	rot2	-51	59	Receptor2	True
-43,1051251	-22,8698656	rot1	-73	37	Receptor1	False
-43,1051251	-22,8698656	rot3	-49	61	Receptor1	True
-43,1051251	-22,8698656	rot2	-55	55	Receptor1	True
-43,1051251	-22,8698656	rot3	-50	60	Receptor2	True
-43,1051251	-22,8698656	rot1	-72	38	Receptor2	False
-43,1051251	-22,8698656	rot2	-47	63	Receptor2	True

-43,1051268	-22,8698699	rot1	-61	49	Receptor1	True
-43,1051268	-22,8698699	rot3	-41	69	Receptor1	True
-43,1051268	-22,8698699	rot2	-55	55	Receptor1	True
-43,1051268	-22,8698699	rot3	-39	70	Receptor2	True
-43,1051268	-22,8698699	rot1	-73	37	Receptor2	False
-43,1051268	-22,8698699	rot2	-59	51	Receptor2	True
-43,1051344	-22,8698723	rot1	-71	39	Receptor1	False
-43,1051344	-22,8698723	rot3	-47	63	Receptor1	True
-43,1051344	-22,8698723	rot2	-55	55	Receptor1	True
-43,1051344	-22,8698723	rot3	-52	58	Receptor2	True
-43,1051344	-22,8698723	rot1	-71	39	Receptor2	False
-43,1051344	-22,8698723	rot2	-56	54	Receptor2	True
-43,1051279	-22,8698695	rot1	-73	37	Receptor1	False
-43,1051279	-22,8698695	rot3	-35	70	Receptor1	True
-43,1051279	-22,8698695	rot2	-59	51	Receptor1	True
-43,1051279	-22,8698695	rot3	-51	59	Receptor2	True
-43,1051279	-22,8698695	rot1	-70	40	Receptor2	False
-43,1051279	-22,8698695	rot2	-60	50	Receptor2	True
-43,1051099	-22,8698674	rot1	-63	47	Receptor1	True
-43,1051099	-22,8698674	rot3	-57	53	Receptor1	True
-43,1051099	-22,8698674	rot2	-43	67	Receptor1	True
-43,1051099	-22,8698674	rot3	-38	70	Receptor2	True
-43,1051099	-22,8698674	rot1	-72	38	Receptor2	False
-43,1051099	-22,8698674	rot2	-41	69	Receptor2	True
-43,1051022	-22,8698572	rot1	-69	41	Receptor1	False
-43,1051022	-22,8698572	rot3	-27	70	Receptor1	True
-43,1051022	-22,8698572	rot2	-49	61	Receptor1	True
-43,1051022	-22,8698572	rot3	-49	61	Receptor2	True
-43,1051022	-22,8698572	rot1	-67	43	Receptor2	True
-43,1051022	-22,8698572	rot2	-45	65	Receptor2	True
-43,1051061	-22,8698474	rot1	-65	45	Receptor1	True
-43,1051061	-22,8698474	rot3	-29	70	Receptor1	True
-43,1051061	-22,8698474	rot2	-79	31	Receptor1	False

-43,1051061	-22,8698474	rot3	-40	70	Receptor2	True
-43,1051061	-22,8698474	rot1	-73	37	Receptor2	False
-43,1051061	-22,8698474	rot2	-78	32	Receptor2	False
-43,1051185	-22,8698446	rot1	-61	49	Receptor1	True
-43,1051185	-22,8698446	rot3	-31	70	Receptor1	True
-43,1051185	-22,8698446	rot2	-73	37	Receptor1	False
-43,1051185	-22,8698446	rot3	-41	69	Receptor2	True
-43,1051185	-22,8698446	rot1	-71	39	Receptor2	False
-43,1051185	-22,8698446	rot2	-69	41	Receptor2	False
-43,1051201	-22,8698450	rot1	-47	63	Receptor1	True
-43,1051201	-22,8698450	rot3	-57	53	Receptor1	True
-43,1051201	-22,8698450	rot2	-65	45	Receptor1	True
-43,1051201	-22,8698450	rot3	-58	52	Receptor2	True
-43,1051201	-22,8698450	rot1	-55	55	Receptor2	True
-43,1051201	-22,8698450	rot2	-65	45	Receptor2	True
-43,1050972	-22,8698498	rot1	-63	47	Receptor1	True
-43,1050972	-22,8698498	rot3	-65	45	Receptor1	True
-43,1050972	-22,8698498	rot2	-67	43	Receptor1	True
-43,1050972	-22,8698498	rot3	-64	46	Receptor2	True
-43,1050972	-22,8698498	rot1	-54	56	Receptor2	True
-43,1050972	-22,8698498	rot2	-76	34	Receptor2	False
-43,1051007	-22,8698494	rot1	-71	39	Receptor1	False
-43,1051007	-22,8698494	rot3	-67	43	Receptor1	True
-43,1051007	-22,8698494	rot2	-75	35	Receptor1	False
-43,1051007	-22,8698494	rot3	-52	58	Receptor2	True
-43,1051007	-22,8698494	rot1	-63	47	Receptor2	True
-43,1051007	-22,8698494	rot2	-64	46	Receptor2	True
-43,1050980	-22,8698465	rot10	-59	51	Receptor1	True
-43,1050980	-22,8698465	rot3	-65	45	Receptor1	True
-43,1050980	-22,8698465	rot2	-61	49	Receptor1	True
-43,1050980	-22,8698465	rot3	-63	47	Receptor2	True
-43,1050980	-22,8698465	rot1	-60	50	Receptor2	True
-43,1050980	-22,8698465	rot2	-75	35	Receptor2	False

-43,1050673	-22,8698426	rot1	-55	55	Receptor1	True
-43,1050673	-22,8698426	rot3	-65	45	Receptor1	True
-43,1050673	-22,8698426	rot2	-69	41	Receptor1	False
-43,1050673	-22,8698426	rot3	-65	45	Receptor2	True
-43,1050673	-22,8698426	rot1	-47	63	Receptor2	True
-43,1050673	-22,8698426	rot2	-70	40	Receptor2	False
-43,1050112	-22,8698294	rot1	-65	45	Receptor1	True
-43,1050112	-22,8698294	rot3	-59	51	Receptor1	True
-43,1050112	-22,8698294	rot2	-67	43	Receptor1	True
-43,1050112	-22,8698294	rot3	-68	42	Receptor2	True
-43,1050112	-22,8698294	rot1	-63	47	Receptor2	True
-43,1050112	-22,8698294	rot2	-69	41	Receptor2	False
-43,1050272	-22,8698968	rot1	-61	49	Receptor1	True
-43,1050272	-22,8698968	rot3	-63	47	Receptor1	True
-43,1050272	-22,8698968	rot2	-65	45	Receptor1	True
-43,1050272	-22,8698968	rot3	-64	46	Receptor2	True
-43,1050272	-22,8698968	rot1	-69	41	Receptor2	False
-43,1050272	-22,8698968	rot2	-58	52	Receptor2	True
-43,1050254	-22,8699608	rot1	-75	35	Receptor1	False
-43,1050254	-22,8699608	rot3	-73	37	Receptor1	False
-43,1050254	-22,8699608	rot2	-67	43	Receptor1	True
-43,1050254	-22,8699608	rot3	-73	37	Receptor2	False
-43,1050254	-22,8699608	rot1	-71	39	Receptor2	False
-43,1050254	-22,8699608	rot2	-60	50	Receptor2	True
-43,1050409	-22,8699745	rot1	-65	45	Receptor1	True
-43,1050409	-22,8699745	rot3	-73	37	Receptor1	False
-43,1050409	-22,8699745	rot2	-67	43	Receptor1	True
-43,1050409	-22,8699745	rot3	-63	47	Receptor2	True
-43,1050409	-22,8699745	rot1	-63	47	Receptor2	True
-43,1050409	-22,8699745	rot2	-71	39	Receptor2	False
-43,1050613	-22,8699211	rot1	-71	39	Receptor1	False
-43,1050613	-22,8699211	rot3	-57	53	Receptor1	True
-43,1050613	-22,8699211	rot2	-67	43	Receptor1	True

-43,1050613	-22,8699211	rot3	-58	52	Receptor2	True
-43,1050613	-22,8699211	rot1	-63	47	Receptor2	True
-43,1050613	-22,8699211	rot2	-81	29	Receptor2	False
-43,1051076	-22,8698780	rot1	-57	53	Receptor1	True
-43,1051076	-22,8698780	rot3	-35	70	Receptor1	True
-43,1051076	-22,8698780	rot2	-63	47	Receptor1	True
-43,1051076	-22,8698780	rot3	-39	70	Receptor2	True
-43,1051076	-22,8698780	rot1	-62	48	Receptor2	True
-43,1051076	-22,8698780	rot2	-68	42	Receptor2	True
-43,1051227	-22,8698512	rot1	-67	43	Receptor1	True
-43,1051227	-22,8698512	rot3	-25	70	Receptor1	True
-43,1051227	-22,8698512	rot2	-63	47	Receptor1	True
-43,1051227	-22,8698512	rot3	-32	70	Receptor2	True
-43,1051227	-22,8698512	rot1	-66	44	Receptor2	True
-43,1051227	-22,8698512	rot2	-70	40	Receptor2	False
-43,1051351	-22,8698448	rot1	-51	59	Receptor1	True
-43,1051351	-22,8698448	rot3	-17	70	Receptor1	True
-43,1051351	-22,8698448	rot2	-63	47	Receptor1	True
-43,1051351	-22,8698448	rot3	-40	70	Receptor2	True
-43,1051351	-22,8698448	rot1	-66	44	Receptor2	True
-43,1051351	-22,8698448	rot2	-68	42	Receptor2	True
-43,1051313	-22,8698253	rot1	-59	51	Receptor1	True
-43,1051313	-22,8698253	rot3	-21	70	Receptor1	True
-43,1051313	-22,8698253	rot2	-65	45	Receptor1	True
-43,1051313	-22,8698253	rot3	-38	70	Receptor2	True
-43,1051313	-22,8698253	rot1	-68	42	Receptor2	True
-43,1051313	-22,8698253	rot2	-52	58	Receptor2	True
-43,1051285	-22,8698331	rot1	-67	43	Receptor1	True
-43,1051285	-22,8698331	rot3	-21	70	Receptor1	True
-43,1051285	-22,8698331	rot2	-65	45	Receptor1	True
-43,1051285	-22,8698331	rot3	-33	70	Receptor2	True
-43,1051285	-22,8698331	rot1	-67	43	Receptor2	True
-43,1051285	-22,8698331	rot2	-50	60	Receptor2	True

-43,1051311	-22,8698313	rot1	-75	35	Receptor1	False
-43,1051311	-22,8698313	rot3	-25	70	Receptor1	True
-43,1051311	-22,8698313	rot2	-31	70	Receptor1	True
-43,1051311	-22,8698313	rot3	-35	70	Receptor2	True
-43,1051311	-22,8698313	rot1	-73	37	Receptor2	False
-43,1051311	-22,8698313	rot2	-45	65	Receptor2	True
-43,1051355	-22,8698408	rot1	-59	51	Receptor1	True
-43,1051355	-22,8698408	rot3	-27	70	Receptor1	True
-43,1051355	-22,8698408	rot2	-31	70	Receptor1	True
-43,1051355	-22,8698408	rot3	-34	70	Receptor2	True
-43,1051355	-22,8698408	rot1	-73	37	Receptor2	False
-43,1051355	-22,8698408	rot2	-51	59	Receptor2	True
-43,1051408	-22,8698444	rot1	-47	63	Receptor1	True
-43,1051408	-22,8698444	rot3	-27	70	Receptor1	True
-43,1051408	-22,8698444	rot2	-35	70	Receptor1	True
-43,1051408	-22,8698444	rot3	-35	70	Receptor2	True
-43,1051408	-22,8698444	rot1	-73	37	Receptor2	False
-43,1051408	-22,8698444	rot2	-45	65	Receptor2	True

7 ANEXOS

ANEXO 1: INSTALAÇÃO DA BIBLIOTECA WIFI

Este capítulo foi gerado com base em (Gavin Wahl (2017)) e busca descrever todas as etapas necessárias de instalação da biblioteca wifi.

7.2 INSTALAÇÃO

Wifi está disponível para instalação através do seguinte comando:

```
1 pip instalar wifi
```

Isso instalará o comando wifi, uma biblioteca Python para descobrir e conectar-se a redes wifi e um arquivo de conclusão bash para o comando wifi.

Em alguns sistemas, o nome do comando wifi já é usado, e a instalação de wifi causará problemas com o sistema. Nesses casos, você pode substituir o nome do comando que está instalado:

```
1 WIFI_CLI_NAME = cool-wifi pip instalar wifi
```

O wifi executável < *wifi_command* > será chamado de cool-wifi .

Se você quer apenas a biblioteca Python e não se preocupe com a CLI, também pode desativá-la:

```
1 WIFI_INSTALL_CLI = False pip install wifi
```

Não haverá nenhum executável extra instalado, mas a CLI wifi ainda estará disponível usando esse estilo de invocação:

```
1 python -m wifi
```

ANEXO 3: TUTORIAL DA BIBLIOTECA WIFI

Este tutorial assume que você está confortável na linha de comando. (Se você não estiver, talvez o wifi não seja a ferramenta certa para você.)

Primeiro, se você ainda não o fez, instale wifi.

```
1 pip instalar wifi
```

Agora, você quer ver quais redes estão disponíveis. Você pode executar o *scan* comando para fazer isso.

Nota - Todos esses comandos precisam ser executados como superusuário.

```
1 # wifi scan
2 -61 SomeNet protegido
3 -62 SomeOtherNet desprotegido
4 -78 zxy-12345 protegido
5 -86 TP-LINK_CB1676 protegido
6 -86 TP-LINK_PocketAP_D8B616 desprotegido
7 -82 TP-LINK_C1DBE8 protegido
8 -86 XXYYZZZZ protegido
9 -87 Nome elaborado protegido
```

Nota - O comando wifi também é acessível através do argumento python como:

```
1 # python -m wifi
```

O comando de varredura retorna três bits de dados: a qualidade do sinal, o SSID e se a rede está protegida ou não. Se você deseja ordenar as redes por qualidade, você pode transmitir a saída para classificar.

```
1 # wifi scan | classifique -rn
2 -61 SomeNet protegido
3 -62 SomeOtherNet desprotegido
4 -78 zxy-12345 protegido
5 -82 TP-LINK_C1DBE8 protegido
6 -86 XXYYZZZZ protegido
7 -86 TP-LINK_PocketAP_D8B616 desprotegido
8 -86 TP-LINK_CB1676 protegido
9 -87 Nome elaborado protegido
```

Quanto maior o número, melhor será o sinal.

Decidiu-se usar a rede *SomeNet* porque essa é a mais próxima (e é conhecida a senha). Pode-se conectar diretamente com o comando *connect*.

```
1 # wifi connect --ad-hoc SomeNet
2 senha
```

A opção *--ad-hoc* ou *-a* nos permite nos conectar a uma rede que não configuramos anteriormente. O *wifi* pede uma chave de acesso se a rede estiver protegida e depois ela se conectará.

Se você quiser realmente salvar a configuração em vez de apenas se conectar uma vez, você pode usar o comando *add*.

```
1 # wifi add some SomeNet
2 senha
```

some - Aqui está um apelido para a rede que você pode usar quando quiser se conectar novamente à rede. Agora podemos conectar-se à rede salva se quiser usar o comando *connect*.

```
1 # wifi conecte alguns
2 ...
```

Se você deseja ver todas as redes salvas, você pode usar o comando *list*.

```
1 # wifi list
2 alguns
```

7.3.1 USO

```
1 uso : wifi { scan , list , config , add , connect , init } ...
```

7.3.1.1 VARREDURA

Mostra uma lista de redes disponíveis.

```
1 uso : varredura wifi
```

7.3.1.2 LISTA

Mostra uma lista de redes já configuradas.

```
1 uso : lista wifi
```

7.3.1.3 ADICIONAR E CONFIGURAR

Imprime ou adiciona a configuração para se conectar a uma nova rede.

```
1 uso : wifi config SCHEME [ SSID ]
2 uso : wifi add SCHEME [ SSID ]
```

Argumentos posicionais: SCHEME = Um apelido memorável para uma rede sem fio. Se SSID é não fornecido, a rede vai ser adivinhado usando o scheme. O SSID para a rede à qual você deseja se conectar. Esta é difusa combinado, de modo que você não tem que ser preciso.

7.3.1.4 CONECTAR

Conecta-se à rede correspondente ao ESQUEMA.

```
1 uso : wifi conecte [ - a ] SCHEME
```

posicionais argumentos : SCHEME - O apelido da rede para que você desejar para conectar.

opcionais argumentos : - um, -ad-hoc. Ligue para uma rede sem armazenar isso na configuração do arquivo

7.3.1.5 AUTO-CONEXÃO

Procura por esquemas salvos atualmente disponíveis e se conecta ao primeiro que ele encontra.

```
1 uso : wifi autoconnect
```

7.3.2 CONCLUSÃO

Consulte os arquivos *wifi – completion.bash* e *bin/wifi* para obter mais informações.