

Drag and Drop The image will be downloaded by Fatkun

1.5em



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA – FACULDADE DE ENGENHARIA DA  
COMPUTAÇÃO  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

LIDIA GIANNE SOUZA DA ROCHA

***FRAMEWORK PARA AQUISIÇÃO, MODELAGEM  
E PLANEJAMENTO DE REDES SEM FIO***

Belém

2019

**LIDIA GIANNE SOUZA DA ROCHA**

***FRAMEWORK PARA AQUISIÇÃO, MODELAGEM E  
PLANEJAMENTO DE REDES SEM FIO***

Monografia apresentada no curso de graduação em Engenharia da Computação da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos para obtenção de diploma em Engenharia de Computação

Orientador: Msc. Iury da Silva Batalha

Coorientadora: Dra. Jasmine Priscyla Leite de Araújo

**Belém**

**2019**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD**  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S719f Souza da Rocha, Lidia Gianne  
Framework para Aquisição, Modelagem e Planejamento de  
Redes sem Fio / Lidia Gianne Souza da Rocha. — 2019.  
154 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Me. Iury da Silva Batalha  
Coorientação: Profª. Dra. Jasmine Priscyla Leite de Araújo  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de  
Engenharia da Computação e Telecomunicações, Instituto de  
Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Simulação. 2. Redes WLAN. 3. Redes Móveis. I. Título.

CDD 621.3824

---

**LIDIA GIANNE SOUZA DA ROCHA**

***FRAMEWORK PARA AQUISIÇÃO, MODELAGEM E  
PLANEJAMENTO DE REDES SEM FIO***

Este trabalho foi julgado aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia da Computação, aprovado em sua forma final pela banca examinadora que atribuiu o conceito \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Msc. Iury da Silva Batalha  
(Orientador - PPGEE/UFPA)

---

Dra. Jasmine Priscyla Leite de Araújo  
(Coorientadora - FCT/UFPA)

---

Dr. Bruno Souza Lyra Castro  
(Membro da Banca - CCAST/UFPA)

---

Msc. Rafael Fogarolli Vieira  
(Membro da Banca - PPGEE/UFPA)

**Visto**

---

Dr. Marcelino Silva da Silva  
(Diretor - FCT/UFPA)

---

## Agradecimentos

Dedico meus sincero agradecimentos, primeiramente aos meus pais e meu irmão, que me auxiliaram ao longo de todas a dificuldades, sendo meu porto seguro.

Aos meus orientadores, Jasmine Araújo e Iury Batalha, por acreditar na ideia desse trabalho e me ajudar a concluir-lo. Sempre me desafiando a melhorar cada vez mais. Ambos foram mais do que orientadores para mim, tornando o desenvolvimento desse trabalho muito mais tranquilo.

Aos meus amigos, Sidnir, Lorena e Kaíque por sempre estarem ao meu lado mesmo quando o que eu mais queria fazer era desistir. Ao Danilo, Alessandra e o Felipe Casseb por me ensinarem a crescer e irem me ajudando e estimulando nessa jornada no meu ritmo. A Ilana que sempre esteve do meu lado me colocando para frente e incentivando a perder o medo de seguir adiante. E ao Felipe por estar presente para me ouvir seja para desestressar, brincar de algo aleatório, me acalmar ou contar história para me motivar.

Ao LDI, LCT e ao FabLAb Belém que foram uma segunda casa para mim nos últimos anos, e as pessoas que frequentam esses lugares por terem sido minha segunda família. Proporcionando suporte emocional e acadêmico para me fazer evoluir como pessoa e concluir a graduação.

A todos aqueles que, de alguma forma, me ajudaram, incentivaram ou serviram de motivação durante esse período, podendo ter sido direta ou indiretamente, que de alguma forma, também me ajudaram a chegar até e, da mesma forma, a esses também agradeço.

*"If you can dream it. You can do  
it."*  
**Walt Disney**

---

## Resumo

Simulação, Redes WLAN, Redes Móveis

A sociedade está cada vez mais conectada, fazendo mais uso de dados complexos, como mídias, que demandam uma melhor capacidade do canal. Além disso, as redes sem fio estão sendo inseridas no cotidiano da população, sendo preciso cada vez mais soluções em tempo real capazes de realizar a transferência de um alto volume de dados. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um *framework*, o qual conecta um aplicativo para medição de potência recebida, intensidade do campo elétrico e RSRQ; um site capaz de realizar simulações, comparações e otimizações de modelos de propagação, informando suas métricas, como SNR, SINR, capacidade do canal, intensidade do campo elétrico, assim como os parâmetros de cada modelo e o RMSE em relação aos dados medidos; e um *software* em realidade virtual para a visualização do sinal, visando deixá-lo mais interativo para facilitar a análise e atrair novas pessoas para a área. O mesmo possui a proposta de melhorar o planejamento de redes sem fio da futura geração, deixando-o de forma automática para otimizar o tempo do engenheiro sem perder a qualidade do serviço. Sendo possível simular ambientes com os principais modelos de propagação e obter métricas do mesmo. Por fim, as simulações foram validadas através do modelo de friis, o qual representa o sinal fisicamente, e um baixo RMSE entre os dados medidos e os modelos presentes no simulador, demonstrando a precisão do simulador. O RMSE para os modelos *Close In* e *floating intercept* no modo *indoor* foram de 5.79 e 3.57, respectivamente, tendo uma perda inicial de 40 dB, assim como o modelo de friis para a distância e frequência definidas. Já o RMSE para os modelos *Close In* e *floating intercept* no modo *outdoor* foram de 2.3994 e 2.3962, respectivamente, tendo uma perda inicial de 153 dB, estando a uma diferença de 3 dB para a perda calculada pelo modelo de friis para a distância e frequência definida.

---

## Abstract

Simulation; WLAN Networks; Mobile Networks

The society is increasingly connected, making more use of complex data, such as media, which demand better channel capacity. In addition, wireless networks are being inserted into the daily lives of the population, and more solutions are needed in real time capable of transferring a high volume of data. The present work presents the development of a *framework*, which connects an application for measurement of received power, electric field strength and RSRQ; a site capable of performing simulations, comparisons and optimizations of propagation models, informing its metrics, such as SNR, SINR, channel capacity, electric field strength, as well as the parameters of each model and the RMSE in relation to the measured data; and a software virtual reality for the visualization of the signal, aiming to make it more interactive to facilitate the analysis and attract new people to the area. It also has the proposal to improve the planning of wireless networks of the future generation, making it automatic to optimize the engineer's time without losing the quality of the service. It is possible to simulate environments with the main models of propagation and obtain metrics of the same. Finally, the simulations were validated through the friis model, which represents the signal physically, and a low RMSE between the measured data and the models present in the simulator, demonstrating the accuracy of the simulator. The RMSE for the *Close In* and *floating intercept* models in the *indoor* mode were 5.79 and 3.57, respectively, having an initial loss of 40 dB, as well as the friis model with this distance and frequency. The RMSE for the *Close In* and *floating intercept* models in the *outdoor* mode were 2.3994 and 2.3962, respectively, having an initial loss of 153 dB, being a difference of 3 dB for the loss calculated by the friis model with the distance and frequency defined.

---

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	.....	p. 19
1.1	Visão Geral	.....	p. 19
1.2	Justificativa	.....	p. 19
1.3	Objetivos Gerais	.....	p. 20
1.4	Objetivos Específicos	.....	p. 20
1.5	Trabalhos Correlatos	.....	p. 20
1.6	Organização do Trabalho	.....	p. 21
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	.....	p. 23
2.1	Considerações Iniciais	.....	p. 23
2.2	Redes WLAN	.....	p. 23
2.2.1	Padrão IEEE 802.11	.....	p. 23
2.3	Redes Móveis	.....	p. 26
2.3.1	1 <sup>a</sup> Geração	.....	p. 26
2.3.2	GSM	.....	p. 26
2.3.3	UMTS	.....	p. 26
2.3.4	LTE	.....	p. 27
2.3.5	5G	.....	p. 29
2.4	Modelos de Propagação	.....	p. 31
2.4.1	Dependência com a Distância	.....	p. 32
2.4.2	Perda por Penetração	.....	p. 32
2.4.3	Multipercursos	.....	p. 32
2.4.4	Modelos Teóricos	.....	p. 33
2.4.5	Modelos Empíricos	.....	p. 34
2.4.6	Modelos <i>Outdoor</i>	.....	p. 34
2.4.6.1	SUI	.....	p. 35

2.4.6.2	Cost	231	.....	p. 36
2.4.6.3	ECC-33	.....	.....	p. 37
2.4.7	Modelos <i>Indoor</i>	.....	.....	p. 37
2.4.7.1	Motley Keenan	.....	.....	p. 38
2.4.7.2	ITU-R P.1238-1	.....	.....	p. 39
2.4.8	Modelos <i>Indoor</i> e <i>Outdoor</i>	.....	.....	p. 39
2.4.8.1	<i>Close In</i>	.....	.....	p. 39
2.4.8.2	<i>Floating Intercept</i>	.....	.....	p. 40
2.4.9	Métricas do Sistema	.....	.....	p. 41
2.4.9.1	Potência Recebida	.....	.....	p. 41
2.4.9.2	Perda de Percurso	.....	.....	p. 41
2.4.9.3	SNR	.....	.....	p. 42
2.4.9.4	SINR	.....	.....	p. 42
2.4.9.5	Intensidade do Campo Elétrico	.....	.....	p. 42
2.4.9.6	Capacidade do Canal	.....	.....	p. 43
2.4.9.7	RSRQ	.....	.....	p. 43
2.4.9.8	RMSE	.....	.....	p. 44
2.4.9.9	Coeficiente de Atenuação	.....	.....	p. 44
2.5	Técnicas de Otimização	.....	.....	p. 45
2.5.1	Algoritmo Genético	.....	.....	p. 45
2.6	Banco de Dados	.....	.....	p. 50
2.6.1	Banco de Dados NoSQL	.....	.....	p. 51
2.7	Considerações Finais	.....	.....	p. 53
<b>3</b>	<b>Ferramentas de Desenvolvimento</b>	.....	.....	p. 54
3.1	Considerações Iniciais	.....	.....	p. 54
3.2	Desenvolvimento Android	.....	.....	p. 54
3.3	Desenvolvimento Web	.....	.....	p. 57
3.3.1	Python	.....	.....	p. 57
3.3.2	Heroku	.....	.....	p. 58
3.3.3	Flask	.....	.....	p. 59
3.3.4	GitHub	.....	.....	p. 60
3.4	Desenvolvimento do Banco de Dados	.....	.....	p. 61
3.5	Desenvolvimento em Realidade Virtual	.....	.....	p. 62
3.6	Algoritmo Genético	.....	.....	p. 64
3.7	Considerações Finais	.....	.....	p. 64
<b>4</b>	<b>Framework Desenvolvido</b>	.....	.....	p. 65

4.1	Ziwi . . . . .	p. 65
4.2	Aplicativo . . . . .	p. 65
4.2.1	Modo <i>Indoor</i> . . . . .	p. 65
4.2.2	Modo <i>Outdoor</i> . . . . .	p. 66
4.2.3	Diagramação do <i>Software</i> . . . . .	p. 67
4.3	<i>Website</i> . . . . .	p. 70
4.3.1	Modo <i>Indoor</i> . . . . .	p. 70
4.3.1.1	Mapas de Calor . . . . .	p. 70
4.3.1.2	Cálculos e Comparações . . . . .	p. 72
4.3.1.3	Otimização . . . . .	p. 72
4.3.1.4	Cenário . . . . .	p. 75
4.3.2	Modo <i>Outdoor</i> . . . . .	p. 77
4.3.3	Diagramação do <i>Software</i> . . . . .	p. 78
4.4	Banco de Dados . . . . .	p. 79
4.4.1	Armazenamento . . . . .	p. 79
4.4.2	Utilização dos Dados . . . . .	p. 80
4.5	Aplicativo em Realidade Virtual . . . . .	p. 80
4.5.1	Visualização . . . . .	p. 80
4.5.2	Diagramação do <i>Software</i> . . . . .	p. 81
<b>5</b>	<b>Resultados . . . . .</b>	<b>p. 83</b>
5.1	Simulações <i>Indoor</i> . . . . .	p. 83
5.1.1	Descrição do Cenário . . . . .	p. 83
5.1.2	Modelagem . . . . .	p. 85
5.1.3	Comparação dos Modelos . . . . .	p. 88
5.1.4	Otimização com Algoritmo Genético . . . . .	p. 90
5.1.5	Otimização por Permutação . . . . .	p. 93
5.1.6	Realidade Virtual . . . . .	p. 94
5.2	Simulações <i>Outdoor</i> . . . . .	p. 96
5.2.1	Descrição do Cenário . . . . .	p. 96
5.2.2	Comparação dos Modelos . . . . .	p. 97
5.3	Validação . . . . .	p. 99
5.3.1	<i>Indoor</i> . . . . .	p. 99
5.3.2	<i>Outdoor</i> . . . . .	p. 99
5.4	Evoluções em Relação aos Trabalhos Correlatos . . . . .	p. 99
<b>6</b>	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>p. 101</b>

**Referências .....** ..... p. 103

**Apêndice A – Manuais de Instrução.....** ..... p. 113

---

## Lista de Abreviações

2G	2th Generation of Mobile Communications
3G	3th Generation of Mobile Communications
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	4th Generation of Mobile Communications
5G	5th Generation of Mobile Communications
AP	Access Point
app	aplicativo
BaaS	Backend as Service
BFWA	Broadband Fixed Wireless Applications
BSS	Basic Service Set
CLI	Command Lines
COST	Cooperation in the Field of Scientific and Technical
CQI	Channel Quality Indicator
ECC	Comitê de Comunicação Eletrônica
FIFA	Fédération Internationale de Football Association
GA	Genetic Algorithm
GSA	Global Mobile Suppliers Association
GSM	Global System for Mobile
GPS	Global Positioning System
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access

IEEE	Institute of Electrical Electronic Engineers
IDE	Integrated Development Environment
IoT	Internet of Things
ITU	International Telecommunications Union
LAN	Local Area Network
LCT	Laboratório de Computação e Telecomunicação
LoS	Line of Sight
LTE	Long Term Evolution
MAC	Media Access Control
MIMO	Multiple Input Multiple Output
mMTC	Massive Machine Type Communications
MU-MIMO	Multi User Multiple Input Multiple Output
NLoS	Non Line of Sight
PaaS	Platform as Service
PCS	Personal Communications System
PCT	Parque de Ciência e Tecnologia
PHY	Physical Layer
png	Portable Network Graphics
PSO	Particle Swarm Optimization
RB	Resource Blocks
RMSE	Root Mean Square Error
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
RSSI	Received Signal Strength Indicator
SDK	Software Development Kit
SINR	Signal to Interference Plus Noise Ratio
SNR	Signal to Noise Ratio
STA	stations
SUI	Stanford University Interim

UFPA	Universidade Federal do Pará
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
VoLTE	Voice over LTE
VR	Virtual Reality
WCDMA	Wide Band Code Division Multiple Access
WiFi	Wireless Fidelity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WSGI	Web Server Gateway Interface

---

## Lista de Figuras

Figura 1	Como Funciona a Rede WLAN .....	24
Figura 2	Avanço do LTE .....	28
Figura 3	Categorias de Aplicação para o 5G .....	29
Figura 4	Status de Licenciamento do 5G, por Banda de Espectro .....	30
Figura 5	Multipercurso em Ambiente Urbano .....	33
Figura 6	(a) Reflexão e Refração (b) Difração (c) Espalhamento .....	34
Figura 7	Cenário NLoS para o modelo Cost 231 .....	36
Figura 8	Fluxograma Geral de um Algoritmo Genético .....	47
Figura 9	Cruzamento entre Dois Cromossomos .....	49
Figura 10	Mutação de Genes em um Cromossomo .....	49
Figura 11	Níveis de Abstração do Banco de Dados .....	51
Figura 12	Tabela de Telefones com SQL .....	52
Figura 13	Tabela de Telefones com NoSQL .....	53
Figura 14	Sistema Operacional de <i>Smartphones</i> ao Redor do Mundo .....	55
Figura 15	IDE do Android Studio .....	56
Figura 16	IDE na Aba de Design do Android Studio .....	56
Figura 17	Fluxo de Desenvolvimento para o <i>website</i> .....	58
Figura 18	Fluxo de Funcionamento do Banco de Dados .....	62
Figura 19	IDE do Unity .....	64
Figura 20	Modo <i>Indoor</i> do Aplicativo .....	66

Figura 21	Modo <i>Outdoor</i> do Aplicativo .....	67
Figura 22	Diagrama de Caso de Uso do Aplicativo .....	68
Figura 23	Diagrama de Classe do Aplicativo .....	69
Figura 24	Tela onde Insere os Dados para Gerar os Mapas de Calor .....	71
Figura 25	Tela para Inserir e Visualizar Dados da Comparaçao de Modelos .....	72
Figura 26	Tela de Respostas para os Cálculos Realizados .....	73
Figura 27	Tela onde Insere os Dados para Otimizar o Ambiente .....	74
Figura 28	Tela para Criar Ambientes <i>Indoor</i> .....	76
Figura 29	Tela do Modo <i>Outdoor</i> .....	77
Figura 30	Diagrama de Caso de Uso do Site .....	78
Figura 31	Estrutura do Banco de Dados no Firebase .....	79
Figura 32	Visualizaçao em Realidade Virtual .....	81
Figura 33	Diagrama de Caso de Uso do Aplicativo em Realidade Virtual .....	81
Figura 34	Diagrama de Classe do Aplicativo em Realidade Virtual .....	82
Figura 35	Radiais Medidas no Ambiente <i>Indoor</i> .....	84
Figura 36	Ambiente onde foi Realizado as Medições <i>Indoor</i> .....	84
Figura 37	Predicão de Potênciia Recebida no Modelo Close In .....	85
Figura 38	Predicão de Perda de Percurso no Modelo Close In .....	86
Figura 39	Predicão de SNR no Modelo Close In .....	86
Figura 40	Predicão de SINR no Modelo Close In .....	87
Figura 41	Predicão de Capacidade do Canal no Modelo Close In .....	87
Figura 42	Predicão de Intensidade do Campo Elétrico no Modelo Close In .....	88
Figura 43	Comparacão entre Modelos <i>Indoor</i> .....	89
Figura 44	<i>Fitness</i> do Algoritmo Genético .....	90
Figura 45	Comparacão entre Mapa de Calor de Potênciia Recebida e sua Otimizaçao por AG .....	91
Figura 46	Comparacão entre Mapa de Calor de Perda de Percurso e sua Otimizaçao por AG .....	91
Figura 47	Comparacão entre Mapa de Calor de SNR e sua Otimizaçao por AG ..	92
Figura 48	Comparacão entre Mapa de Calor de SINR e sua Otimizaçao por AG ..	92

Figura 49	Comparação entre Mapa de Calor de Capacidade do Canal e sua Otimização por AG .....	93
Figura 50	Comparação entre Mapa de Calor de Intensidade do Campo Elétrico e sua Otimização por AG .....	93
Figura 51	Otimização Considerando Tomadas .....	94
Figura 52	Visão em Realidade Virtual do Cenário .....	95
Figura 53	Análise de Dados em Realidade Virtual .....	95
Figura 54	Movimentação no Ambiente Virtual .....	96
Figura 55	Ambiente onde foi Realizado as Medições <i>Outdoor</i> .....	97
Figura 56	Comparação entre Modelos <i>Outdoor</i> .....	98
Figura 57	QRCode para Acessar o Site do Ziwi .....	113
Figura 58	QRCode para Baixar o Aplicativo de Medição Ziwi .....	113

---

## Lista de Tabelas

Tabela 1	Principais propriedades para os diferentes padrões 802.11 presentes no simulador .....	25
Tabela 2	Principais propriedades para os diferentes padrões 802.11, em desenvolvimento, presentes no simulador .....	25
Tabela 3	Parâmetros relacionados aos tipos de terreno .....	35
Tabela 4	Perdas de penetração em obstáculos .....	38
Tabela 5	Coeficiente de atenuação em relação à distância .....	39
Tabela 6	Coeficiente de atenuação em relação à distância para ambientes <i>indoor</i> .....	40
Tabela 7	Coeficiente de atenuação em relação à distância para ambientes <i>outdoor</i> .....	40
Tabela 8	Limites para exposição ocupacional a CEMRF .....	43
Tabela 9	Métricas da Comparação e Modelos <i>Indoor</i> .....	89
Tabela 10	Métricas da Comparação e Modelos <i>Outdoor</i> .....	98

---

---

# CAPÍTULO 1

---

## Introdução

### 1.1 Visão Geral

As redes móveis e WLAN estão sendo cada vez mais usadas de modo mais complexo devido o aumento do número de serviços oferecidos ao usuário, como por exemplo os conteúdos de mídia que vem sido cada vez mais explorado na internet, requerendo uma melhor conexão. Com isso, o usuário tem estado cada vez mais dependente de uma boa conexão, desejando-a independente do lugar.

Por isso, há uma demanda crescente por cobertura de rede sem interrupções a qualquer hora e em qualquer lugar, levando a uma necessidade real de redes móveis, e WiFi, para lidar com maior capacidade e oferecer a qualidade exigida pelos clientes. Pensando nisso, operadoras estão implementando novas células externas e roteadores tem tido cada vez mais velocidade.

Com isso, surgiu a real necessidade de um planejamento de redes adequado, a fim de prover uma eficiente cobertura de sinal para o ambiente, e a necessidade de uma ferramenta gratuita que possa auxiliar na previsão da cobertura de sinal no ambiente e na tomada de decisões a fim de otimizá-la para se tornar viável para a futura demanda de conexão.

### 1.2 Justificativa

No decorrer do tempo a população está mais conectada, através da internet, com objetos e entre si (SKOUBY; LYNGGAARD, 2014). Cada vez mais soluções que necessitam de resposta em tempo real, sem estar no mesmo local, têm sido criadas (CHEN et al., 2017). Com o passar dos anos a tecnologia está cada vez mais inserida no cotidiano do ser humano (CAMPOLO et al., 2017) e tende crescer cada vez mais com a chegada do 5G (PATZOLD, 2019) (OUGHTON; FRIAS, 2016), e consequentemente, a quantidade de dados. Por isso, é importante ter um bom planejamento de redes, *indoor* e *outdoor*, visando uma conexão contínua e com qualidade.

## 1.3 Objetivos Gerais

Disponibilizar uma *framework* para o público geral, com interface intuitiva, capaz de realizar o planejamento de redes móveis e WiFi, que seja de fácil uso e eficaz. Desse modo, foi construído um simulador de redes funcional através da interface gráfica que tem fácil comunicação com um aplicativo capaz de medir o sinal eletromagnético, em ambientes *indoor* e *outdoor*, e um *software* em realidade virtual, visando aumentar a interatividade do usuário com o sinal do ambiente, podendo auxiliar na análise do mesmo. O *framework* foi nomeado de Ziwi.

## 1.4 Objetivos Específicos

Disponibilizar uma *framework* capaz de realizar o planejamento de redes inteligente e automático, visando o alto consumo de dados que a próxima geração de dados irá precisar ao utilizar o 5G e cidades conectadas (IJAZ et al., 2016). Aumentar a produtividade do usuário a partir de *softwares* interligados que trarão agilidade para a pesquisa, sendo capaz de aumentar a interatividade do utilizador com o sinal eletromagnético através da realidade virtual.

## 1.5 Trabalhos Correlatos

A partir de (RODRIGUES et al., 2011) foi possível perceber o quanto serviços que necessitam internet vem aumentando e requerendo dados cada vez mais complexos. Antigamente, a preocupação era como enviar mensagens de texto, hoje em dia já é preciso pensar em como transferir um vídeo através da internet, rapidamente, e sem diminuir a qualidade do serviço para o usuário. Com isso, notou-se a importância de realizar um bom planejamento de redes, visando as futuras gerações.

Ziwi foi inspirado nos simuladores Ranplan (CHARBONNEAU, 2005) e IBWave (QIN et al., 2011). O Ranplan tem a capacidade de realizar o planejamento de rede *indoor*, *outdoor* e híbrido e o IBWave tem a capacidade de realizar o planejamento de redes *indoor*. Ambos visam melhorar a cobertura de rede pensando no cenário do 5G, além de focar no tempo em que o planejador de redes pode salvar utilizando esses *softwares*. No entanto, ambos os *softwares* são pagos e objetivam grandes projetos, como *smart cities* e atendimento hospitalar em tempo real, ou seja, situações em que os projetos terão grandes investimentos.

Outra inspiração para o desenvolvimento desse *framework* foi o trabalho de (KAR et al., 2016) que desenvolveu um simulador *indoor* para o modelo Motley Keenan. No entanto, o *software* é limitado ao modelo Motley Keenan e a padrões ultrapassados de internet, como IEEE 802.11a, IEEE 802.11b e IEEE 802.11g. Além de não possuir interface gráfica, deixando o processo complicado, e não possui a opção de otimização da posição dos roteadores. Porém, o programa possui um diferencial, além de informar a potência recebida e perda de percurso para o usuário, também informa os valores de SNR, SINR e capacidade do canal. Ao analisar o trabalho de (DEMERS et al., 1991) decidiu-se adicionar a intensidade do campo elétrico aos valores a serem informados para o usuário, visando prever a saúde do mesmo.

No trabalho (FURTADO et al., 2016) foi criado um simulador para redes WLAN, o qual se aproximou bastante do simulador IBWave. No entanto, este trabalho focou apenas em ambientes *indoor*, sendo que, atualmente, muitos dados são consumidos fora de casa, utilizando redes móveis, então também se vê a necessidade de criar um módulo *outdoor*. Além disso, a ferramenta criada foi feita para *desktop* e pensando na mobilidade do planejador de redes, chegou-se a conclusão que seria melhor uma ferramenta

que pudesse funcionar em qualquer lugar, sem depender do *hardware* do utilizador. Desse modo, chegou-se a conclusão de construir um *software* com interface web capaz de realizar análises do sinal em ambientes *indoor* e *outdoor*.

No artigo (NAJNUDEL, 2004) são apresentados os principais modelos de propagação para ambientes *indoor*. Já no trabalho de (MACCARTNEY et al., 2015) é apresentado um modelo de propagação que tende se adaptar melhor aos dados medidos, já que possui dois parâmetros que são modelados de acordo com as medições, sendo o ponto de ancoragem e o de inclinação da curva. Por sim, no trabalho de (CASTRO et al., 2010) são apresentados os principais modelos de propagação para ambientes *outdoor*, considerando ambientes arborizados, os quais foram usados como ambiente de medição nesse estudo.

Todos os modelos apresentados são semi-empíricos, ou seja, necessitam de dados medidos no ambiente para conseguir realizar a simulação do mesmo. É possível realizar as medições dos ambiente utilizando aplicativos compatíveis com dispositivos móveis. O trabalho de (BHATT et al., 2016) realiza uma revisão na literatura mostrando os principais aplicativos desenvolvidos com esse foco. A maioria deles é capaz de gravar apenas a potência recebida e não gera *log* dos dados. Por isso, optou-se por desenvolver um aplicativo de medição próprio para o *framework* capaz de capturar outras métricas e salvar os *logs* capturados pelo mesmo.

Analizando os focos do "Raplan" e do "IBWave", planejar redes para a futura geração e otimizar o tempo do planejador de redes, percebeu-se que seria necessário implementar alguma técnica de otimização, para planejar os ambientes *indoor*, com o objetivo de ter a maior cobertura de rede utilizando o menor tempo possível.

No trabalho (TEIXEIRA et al., ) foi utilizado redes neurais para predizer o sinal, porém esse estilo de técnica requer conjuntos de treinamento, o que pode não ser uma solução viável para diversas situações. No trabalho (KELLY, 2016) foi utilizado o PSO como técnica de otimização, esta é uma técnica que visa encontrar a solução ótima do problema e apesar de obter uma resposta mais rápida, o algoritmo genético consegue uma solução mais precisa por utilizar parâmetros genéticos para intensificar e diversificar a população. Por isso, optou-se por utilizar algoritmos genéticos como técnica de otimização, os quais também buscam a solução ótima, que apesar de serem um pouco mais demorado do que a técnica do PSO tendem a ter um resultado mais preciso.

Ainda pensando em otimizar o tempo do planejador de redes, considerou-se que nem sempre um *hardware* com alto desempenho computacional estará à disposição, então foram implementados modelos semi-empíricos, os quais utilizam medições realizadas no ambiente como base. Por isso decidiu-se construir um *framework* e construir um aplicativo para realizar as medições. Desse modo, o simulador e as medições podem se comunicar rapidamente. No trabalho (BHATT et al., 2016) foi estudado alguns aplicativos capazes de realizar medição nos ambientes, porém a maioria não está mais funcionando ou não possuem uma interface intuitiva para o usuário.

Como diferencial no trabalho foi desenvolvido uma versão do simulador em realidade virtual visando melhorar a análise dos dados e melhorar o aprendizado de alunos da área. Segundo (WICKENS, 1992) aplicações em realidade virtual podem aumentar a retenção do usuário a longo prazo, além de melhorar o desempenho do usuário na área especificada.

## 1.6 Organização do Trabalho

- Capítulo 2 detalha os fundamentos teóricos e conceitos utilizados neste trabalho, como as noções de redes móveis e WLAN, os modelos de propagação, algoritmo genético e banco de dados.
- Capítulo 3 explica os métodos utilizados, como foram usados e o motivo da escolha,

mostrando as vantagens.

- Capítulo 4 detalha o *framework* criado e suas funcionalidades.
- Capítulo 5 avalia o *framework* e suas soluções em comparação com aplicações semelhantes, utilizadas atualmente.
- Capítulo 6 informa uma visão geral das contribuições deste trabalho, assim como as dificuldades encontradas e dá uma visão geral das contribuições deste trabalho.

---

# CAPÍTULO 2

---

## Fundamentação Teórica

### 2.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo será apresentado o conceito e a evolução das redes móveis e redes WLAN. Além de explicar os modelos propagação *indoor* e *outdoor* que foram inseridos no simulador e os valores que podem ser exportados pelo mesmo. Por fim será explicado o conceito de algoritmo genético e banco de dados, e explicar o motivo da escolha de cada um deles.

### 2.2 Redes WLAN

No final do século passado, as tecnologias de redes de comunicação WLAN (Wireless Local Area Network) começaram a se popularizar no mercado, com a chegada do padrão IEEE 802.11. Hoje, essa tecnologia se encontra bem estabelecida, compondo a infra-estrutura de soluções de comunicação de dados para os mais diversos ambientes, por conta de seu relativo baixo custo e facilidade de implementação (AHMAVAARA; HAVERINEN; PICHNA, 2003).

Uma rede sem fio é uma extensão ou uma alternativa de uma rede local (LAN) convencional com fio, criando-se o conceito de rede local sem fio (WLAN). Uma WLAN converte pacotes de dados em onda de rádio ou infravermelho e os envia para outros dispositivos sem fio ou para um ponto de acesso que serve como uma conexão para LAN com fio, ou seja, uma rede sem fio é um sistema que interliga vários equipamentos fixos ou móveis utilizando o ar como meio de transmissão (AHMAVAARA; HAVERINEN; PICHNA, 2003).

#### 2.2.1 Padrão IEEE 802.11

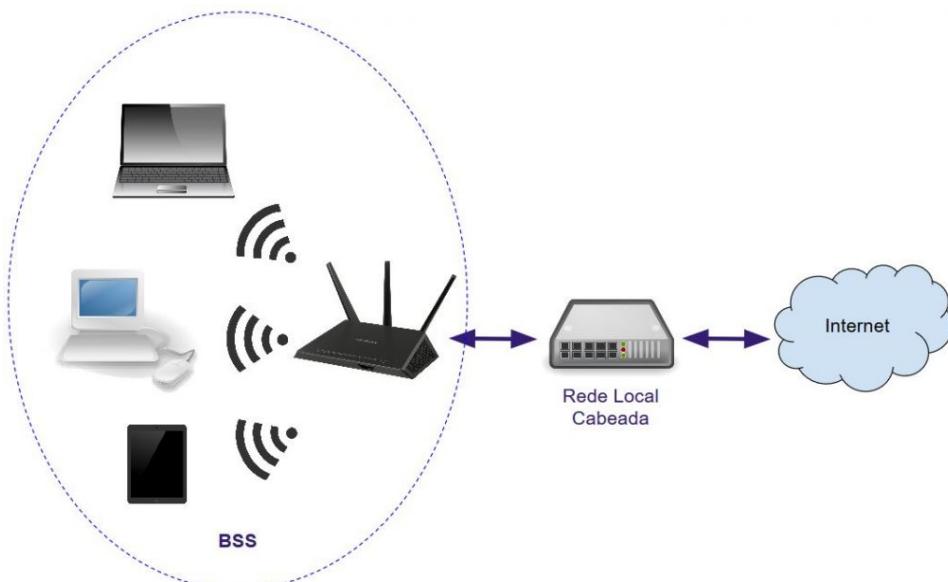
A fim de criar padrões para integrar diferentes tecnologias e fazê-los trabalhar em conjunto, o IEEE começou a trabalhar nos padrões da família 802. A família IEEE 802 é uma série de especificações para rede local (LAN), cujas especificações estão relacionadas com as duas camadas mais baixas do modelo OSI, as quais incorporam componentes físicos e de enlace de dados. Todas as redes IEEE 802 possuem um componente de acesso ao meio chamado de MAC e uma camada física (PHY). O MAC é um termo utilizado em redes de computadores para designar parte da camada de enlace. É provedora de acesso

a um canal de comunicação e o endereçamento neste canal possibilitando a conexão de diversos computadores numa rede. (GAST, 2005).

Em 1997, após quase vinte anos do desenvolvimento das redes WLAN, o IEEE enfrentou um novo desafio que previa o aumento do uso de *laptops* e posteriormente dos *smartphones*. No ano mencionado, o padrão IEEE 802.11 foi proposto com o objetivo de fornecer uma solução sem fio confiável, rápida, barata, robusta e que pudesse crescer em um padrão com ampla aceitação do público, usando a banda ISM regulada de 2,4-2,5 GHz (BERG, 2011); visava também atender as expectativas de seus utilizadores de forma idêntica as LANs e melhorar o desempenho (O'HARA; PETRICK, 2005) a partir de aspectos como: mobilidade, facilidade e velocidade de implantação, flexibilidade e custo.

De forma simplificada, a estrutura básica do padrão IEEE 802.11 consiste em dispositivos terminais conhecidos como estações (STA) que se interconectam, ou por meio de um dispositivo centralizador da comunicação conhecido como Ponto de Acesso (AP), ou de forma direta – configuração conhecida como Ad Hoc. Quando as estações estão interconectadas, essa rede é denominada Conjunto de Serviço Básico (BSS), que pode ser classificado em independente - no caso de redes Ad Hoc -, ou infraestruturado - no caso de comunicação por meio de um AP (FURTADO et al., 2016), como visto na Figura 1 .

Figura 1: Como Funciona a Rede WLAN



Fonte: Cisco

No Ziwi é possível implementar qualquer modelo, de acordo que sejam especificadas suas propriedades, como vistas na Tabela 1 e 2.

- **IEEE 802.11n:** O 802.11n é uma emenda que melhora os padrões 802.11 anteriores, adicionando antenas (MIMO). O 802.11n opera nas bandas de 2,4 GHz e 5 GHz. Sua taxa de dados líquida varia de 54 Mbit/s a 600 Mbit/s. O IEEE aprovou a emenda, e foi publicado em outubro de 2009 (XIAO, 2005). Atualmente, essa é a emenda mais utilizada domesticamente.
- **IEEE 802.11ac:** O IEEE 802.11ac é uma emenda ao IEEE 802.11, publicado em dezembro de 2013, que se baseia no 802.11n. Suas vantagens em relação ao padrão 802.11n incluem canais mais largos na banda de 5 GHz, mais fluxos espaciais, modulação de ordem mais alta e a adição de MIMO multiusuário (MU-MIMO). Em

Tabela 1: Principais propriedades para os diferentes padrões 802.11 presentes no simulador

	IEEE 802.11	IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac	IEEE 802.11ad
Máxima taxa de dados		96.3 Mbps (20 MHz, 400ns)	72.2 Mbps (20 MHz, 400ns)	200 Mbps (40 MHz, 400ns)
		150 Mbps (40 MHz, 400ns)	433.3 Mbps (80 MHz, 400ns)	7 Gbit/s
			866.7 Mbps (160 MHz, 400ns)	
Frequência	2.4, 5 GHz	5 GHz	60 GHz	
Protocolo PHY	OFDM	OFDM	DMG	
Largura de Banda	20, 40 MHz	20, 40, 80, 160 MHz		2160 MHz
Modulação	64 QAM	256 QAM	OFDM	
MIMO	4x4	8 x 8 (UL) 4 x 4 (DL, MU -MIMO)		N/D

Fonte: (PINTO, 2003)

Tabela 2: Principais propriedades para os diferentes padrões 802.11, em desenvolvimento, presentes no simulador

	IEEE 802.11	IEEE 802.11ax	IEEE 802.11ay
Máxima taxa de dados		10.53 Gbit/s	20 Gbit/s
Frequência	2.4, 5 GHz	60 GHz	
Protocolo PHY	MIMO-OFDM	OFDM	
Largura de Banda	*	8000 MHz	
Modulação	MIMO-OFDM	OFDM	
MIMO	*	4	

Fonte: (PINTO, 2003)

canais de 80 MHz, na banda de 5 GHz, é possível gerar uma taxa de dados de 433,3 Mbit/s por fluxo espacial, totalizando 1300 Mbit/s (ONG et al., 2011).

- **IEEE 802.11ad:** O IEEE 802.11ad é uma emenda que define uma camada física para as redes 802.11 operarem no espectro de onda de 60 GHz . Esta banda de frequência tem características de propagação significativamente diferentes das bandas de 2,4 GHz e 5 GHz em que as redes WiFi operam. O IEEE 802.11ad é um protocolo usado para taxas de dados muito altas (cerca de 8 Gbit/s) e para comunicação de curto alcance (cerca de 1 a 10 metros) (ANASTASI et al., 2003).
- **IEEE 802.11ax:** O IEEE 802.11ax é o sucessor do 802.11ac e aumentará a eficiência das redes WLAN. Atualmente em desenvolvimento, este projeto tem o objetivo de fornecer 4 vezes a taxa de transferência de 802.11ac na camada de usuário, tendo 37% a mais de taxas de dados nominais na camada PHY (YANG; DENG; CHEN, 2018).

- **IEEE 802.11ay:** O IEEE 802.11ay é um padrão que está sendo desenvolvido. É uma emenda que define uma camada física para as redes 802.11 operarem no espectro de ondas milimétricas de 60 GHz. Será uma extensão do padrão IEEE 802.11ad existente, com o objetivo de estender o *throughput*, o intervalo e os casos de uso. Os principais casos de uso incluem: operação interna, *back-haul* e comunicações de curto alcance (GHASEMPOUR et al., 2017).

## 2.3 Redes Móveis

As pessoas estão cada vez mais dependentes de conectividade. Não são apenas os computadores que têm conexão com a internet – os dispositivos móveis deixam os usuários conectados a informações de todo o mundo. As tecnologias capazes de fornecer *internet* a esses dispositivos são o 2G, 3G, 4G e mais recentemente o 5G.

### 2.3.1 1<sup>a</sup> Geração

A primeira geração de redes de telefones celulares comerciais utilizava a modulação analógica para que o sinal fosse transmitido pelo espaço livre. A recepção e a transmissão do sinal de voz era feita pela mesma frequência portadora. O espectro de frequência era limitado, somente uma faixa finita do espectro era disponível para os dispositivos móveis. Uma das dificuldades encontradas pelo sistema, além do aumento da demanda por parte dos usuários, foi a de se otimizar o sistema, codificar e comprimir o sinal de voz. Portanto era necessária a digitalização do sinal (PINTO, 2003).

### 2.3.2 GSM

GSM é a rede de segunda geração, e com ela vieram diversas vantagens na telefonia móvel. A partir do 2G era possível circular (com roaming, pagando taxas) pelos países mantendo a sua cobertura através da migração automática para outras operadoras. Além de poder realizar livremente as trocas de aparelhos, mesmo assim retendo seus números de telefone graças à utilização de chips independentes, chamados de cartões SIM. Nestes mesmos cartões ainda ficam armazenados alguns dados, como agendas de contatos que podem ser importados para os aparelhos diretamente. Ainda foi inserido mais um método de comunicação rápido: o SMS. Também conhecidos como mensagens de texto ou torpedos, esta forma de troca de informações ganhou popularidade pela praticidade de envio e, acima de tudo, pelos baixos custos em relação às ligações convencionais (MOULY; PAUTET; BY-HAUG, 1992).

### 2.3.3 UMTS

O UMTS é o sucessor do GSM, sendo a rede de terceira geração, a qual foi criada para levar internet rápida para os celulares. No seu primeiro padrão, WCDMA, oferece tempos de latência menores e uma conexão muito mais utilizável em relação ao GSM, a velocidade máxima teórica era de 384 kbits por segundo. Também começou a ser possível realizar videochamadas via rede celular (PILLEKEIT et al., 2004).

A situação melhorou com a chegada do padrão HSDPA, que reduz a latência e aumenta a taxa de *download* da rede, com velocidades máximas teóricas de 3,6 Mb/s e 7,2 Mb/s. Quando as operadoras começaram a construir suas redes 3G no Brasil, o padrão adotado já era o HSDPA. Com o tempo, as operadoras brasileiras adotaram o HSPA+,

que atinge velocidades máximas teóricas de até 42 Mb/s dependendo da construção da rede (HALONEN; ROMERO; MELERO, 2004).

Porém o HSDPA funciona bem apenas a distâncias relativamente curtas, por isso os aparelhos chaveiam automaticamente para o WCDMA nas áreas de menor cobertura, fazendo com que a taxa de transmissão seja reduzida. Outra limitação é que o HSDPA aumenta apenas a taxa de *download*, mantendo o *upload* em apenas 384 kbit/s, assim como no WCDMA. O 3G utiliza duas faixas de frequência no Brasil, 850 e 2100 MHz, variando de acordo com a operadora e o estado (HALONEN; ROMERO; MELERO, 2004).

### 2.3.4 LTE

LTE, rede de quarta geração, é o sucessor do UMTS, tendo como seu principal diferencial a rede de dados. Em testes de laboratório, uma rede experimental de LTE, com 20 MHz de espectro, alcançou, aproximadamente, 300 Mbps de *downstream* e 75 Mbps de *upstream* (SESSA; BAKER; TOUFIK, 2011). Entretanto, a velocidade real de navegação beira aos 100 Mb/s de *download* e 50 Mb/s de *upload* em um bom cenário. Em condições normais, a latência do LTE chega a, no máximo, 30 ms (GHOSH et al., 2010).

Outra diferença é sobre a quantidade de usuários na rede: 5 MHz de espectro permitem até 200 acessos simultâneos — praticamente o dobro das redes anteriores. O LTE permite, ainda, manter a velocidade e latência quando utilizados em movimento, em uma velocidade de até 350 km/h. Dependendo da frequência de operação da rede, esse valor pode alcançar até 500 km/h.

O LTE não foi desenvolvido para funcionar com voz, apenas transferências de dados. No entanto, como a maioria das cidades podem ter a faixa de 700 MHz, há mais estabilidade em ambientes internos e maior cobertura por antena, o que possibilita a ativação do padrão, deixando viável o uso do VoLTE, ou seja, possibilita ligações telefônicas pela rede LTE. Além disso, se os dois lados da chamada estiverem fazendo a ligação por VoLTE, a qualidade tende a ser melhor, já que o padrão utiliza um *codec* de áudio superior (DOPPLER et al., 2009).

O 4G foi implementado, rapidamente, no Brasil, por conta das exigências da FIFA para a copa das confederações de 2013 e para a copa do mundo em 2014. Na época, a frequência de 2600 MHz foi implementada, já que a de 700 MHz estava ocupada pela televisão analógica. Além disso, a alta demanda por internet móvel proporcionou ao 4G uma fácil penetração no mercado global, devido ao rápido crescimento da venda de *smartphones*, tendo demanda em diversos segmentos como o agronegócio, cidades, governo, segurança, entre outros.

Considerando os objetivos iniciais do 4G no Brasil, cobrir a copa do mundo, a faixa de 2500 MHz desempenhou um bom trabalho. Embora percorra uma baixa distância, a mesma consegue transportar um maior volume de dados, consequentemente, servir um número maior de pessoas. Desse modo, a rede conseguia atender as demandas dos estádios da copa e cobrir centros urbanos. No entanto, seu baixo alcance demanda a instalação de um número maior de torres, o que encarece os custos em cidades menores. Além disso, sua baixa penetração em paredes prejudica a recepção em ambientes internos (LOHMAR et al., 2013).

Como a desativação da televisão analógica demorou mais do que o previsto, as operadoras brasileiras começaram a procurar alternativas para o 4G. A saída encontrada foi utilizar a faixa de 1800 MHz. Como se trata de uma rede com frequência menor, o 4G de 1800 MHz consegue cobrir uma área maior com a instalação de menos antenas. Além disso, os sinais deste espectro também tinham penetração melhor em paredes, melhorando a recepção interna. Por fim, é possível combinar as duas redes (*carrier aggregation*) para alcançar velocidades maiores (CLIFTON; WILSON, 2015).

Quando a televisão analógica foi desativada a Anatel liberou a faixa de 700 MHz

para a utilização do 4G no Brasil (CLIFTON; WILSON, 2015). Essa faixa consegue alcançar longas distâncias, o que a torna muito mais atrativa para cidades do interior. Além disso, nos grandes centros, esta é a faixa que promete entregar a maior recepção em ambientes internos.

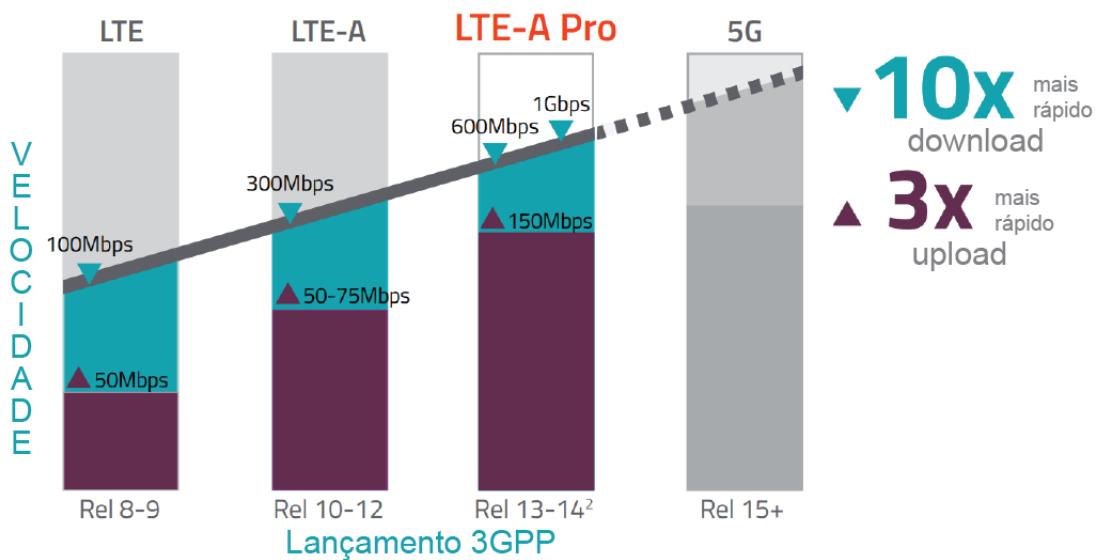
Em 2017, chegou ao Brasil uma evolução do 4G, o LTE *advenced*, chamado por 4.5G, 4G Max ou 4G+ de acordo com as operadoras, onde é possível oferecer uma internet com velocidade mais alta e há mais estabilidade do sinal. O LTE *advenced* é um sistema regulamentado em 2011 pela 3GPP (GHOSH et al., 2010).

Esse avanço funciona por meio do *Carrier Aggregation*. Ou seja, as operadoras usam mais de uma faixa de frequência para disponibilizar o 4.5G, formando uma só faixa. Contudo, a qualidade do sinal e a velocidade da conexão vão depender justamente do quanto a operadora consegue agregar. Normalmente são agregadas três faixas, sendo elas: 2.600 Mhz, 1.800 Mhz e 700 Mhz (GHOSH et al., 2010).

Algumas operadoras no Brasil dizem já estar utilizando o LTE *advenced* pro no 4.5G. Nesse caso, existe a comunicação entre quatro antenas de comunicação e quatro antenas de transmissão para conectar torre e dispositivo móvel. É o chamado MIMO 44. Com isso, é possível transferir mais informações. Contudo, a conexão se torna mais rápida e estável. No entanto, é necessário que o dispositivo seja compatível com algumas tecnologias para se conectar ao 4.5G. Para isso, eles precisam ter as seguintes configurações: *carrier aggregation*, MIMO 44 e modulação avançada 256QAM (WIRELESS, 2019).

O LTE Advanced pro permite o uso do *carrier aggregation* com até 32 operadoras, cada uma com uma largura de banda de 100MHz - oferecendo uma largura de banda agregada máxima de 640 MHz. Ele praticamente dobra a capacidade da rede sem a necessidade de qualquer espectro adicional ou estações base, aumenta a capacidade permitindo múltiplos sinais de transmissão e recepção simultaneamente e torna possível transportar mais bits por símbolo, aumentando o rendimento e fazendo um melhor uso de o espectro. Além disso a duração da bateria é aproximadamente 10 vezes maior e tem um alinhamento mais próximo com o 5G para melhorar a segurança do futuro da rede (DAHLMAN; PARKVALL; SKOLD, 2016). O avanço da tecnologia pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: Avanço do LTE



Fonte: (WIRELESS, 2019)

### 2.3.5 5G

A rede 5G trata de um grande salto evolutivo em relação à rede que é empregada atualmente, chamada 4G. A rede 5G vem sendo desenvolvida para comportar o crescente volume de informações trocado diariamente por bilhões de dispositivos sem fio espalhados mundialmente.

Enquanto 5G ainda é um padrão em desenvolvimento, várias mudanças podem ser esperadas em comparação com seus predecessores. As redes 5G terão que transportar até 1000 vezes mais tráfego do que a atual infraestrutura LTE (BEYRANVAND et al., 2017) (JI et al., 2018). As redes 5G devem consumir até 90% menos energia que as redes 4G atuais. Os tempos de conexão entre aparelhos móveis devem ser inferiores a 5 ms (milissegundos). O número de aparelhos conectados por área devem ser 50 a 100 vezes maior que o atual.

O 5G está sendo desenvolvido para atuar em áreas urbanas movimentadas, estádios, shoppings, estações ferroviárias, casas e empresas que usam acesso sem fio fixo. Além de trens, drones, ônibus e carros regulares e autônomos. As principais aplicações do 5G são: transmissão de dados em dezenas de gigabits; IoT; realidade aumentada e virtual; vídeo *streaming* com baixas latências (4K sem compressão e 8K); automação industrial com baixas latências e alta confiabilidade; *wearables*, cuidados com animais, *smart city*, cirurgias remotas e serviços em nuvem. Sendo que esses serviços dependem de uma banda larga melhorada, comunicações confiáveis e intensa comunicação entre máquinas (INTEL-LIGENCE, 2018), como visto na Figura 3. As comunicações massivas de tipo de máquina (mMTC) visam a conexão acessível e robusta de bilhões de dispositivos, sem sobrecarregar a rede.

Figura 3: Categorias de Aplicação para o 5G

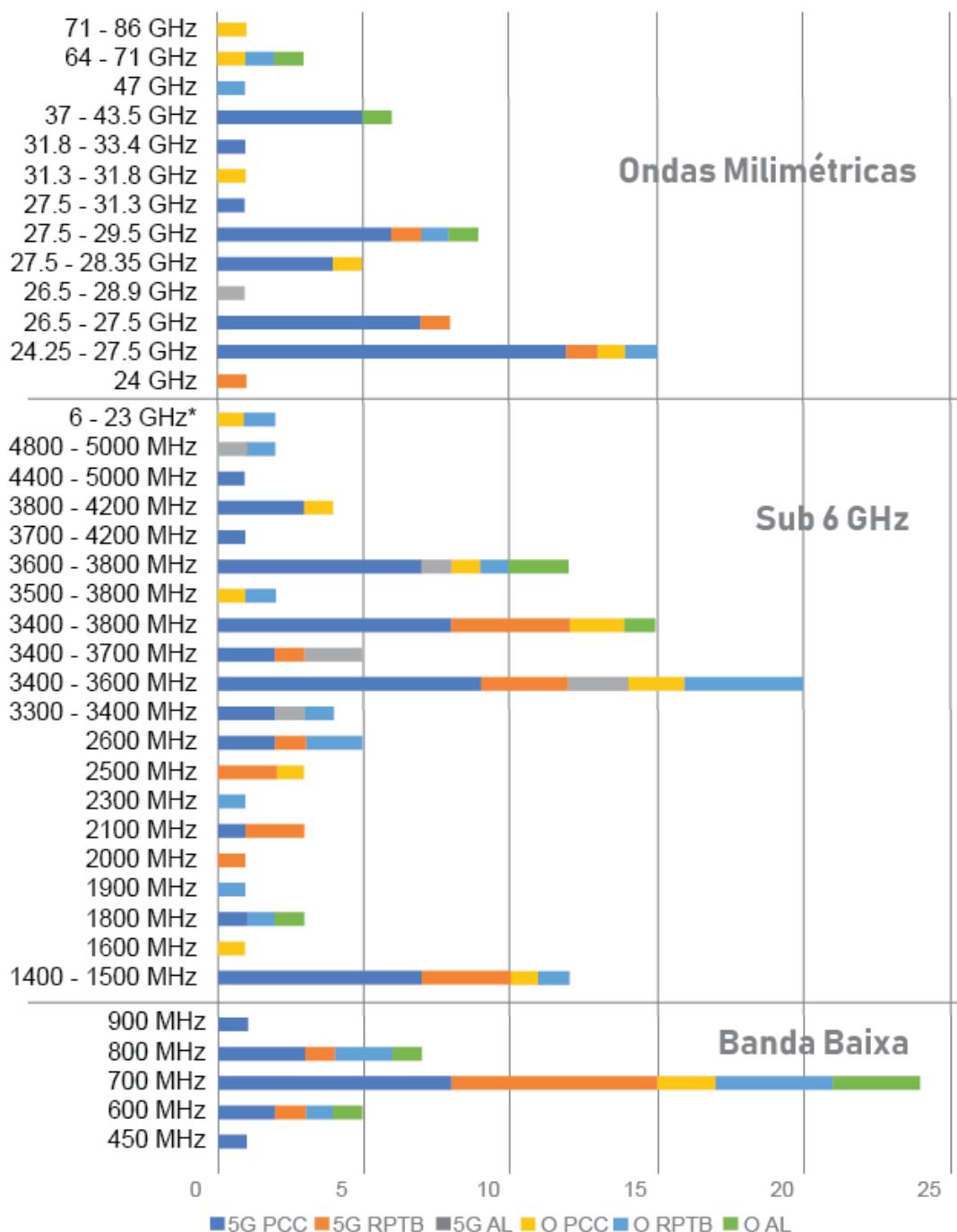


Fonte: Office of the Communications Authority

O 5G operará em diversas frequências, podendo ser com ondas milimétricas ou não. A *Global Mobile Suppliers Association* (GSA) fez um relatório examinando o espectro

5G. Os dados são de julho de 2018 e abrangem os leilões e designações de espectro de 42 reguladores nacionais, analisando-os, como visto na Figura 4.

Figura 4: Status de Licenciamento do 5G, por Banda de Espectro



**Legenda:**

5G = Só 5G ou 5G e LTE | O = Outro (tecnologia neutra, sem licença, uso móvel, IMT) | PCC = Proposto, considerando ou consultando sobre | RPTB = Reservado, planejado, para ser leiloado, ou em leilão | AL = alocado, ou licenciado

Fonte: Global Mobile Suppliers Association

No gráfico é possível dividir as frequências em ondas milimétricas (*mmWave*, acima de 24 GHz), sub 6 GHz e banda baixa (*Low-Band*, menor que 1 GHz). Sendo a frequência de 700 MHz com mais espectro disponível. O provisionamento de espectro de banda média e baixa é muito maior que o de *mmWave*.

Frequências abaixo de 1 GHz irão sustentar a cobertura em longas distâncias e na borda da célula. O espectro adicional de banda baixa é particularmente importante para melhorar a conectividade da borda da célula, tanto a uma distância das principais áreas metropolitanas quanto geograficamente complexas. As redes Sub 6 GHz e *mmWave* não funcionam bem em longas distâncias. Não será possível gerenciar uma cidade com centenas de estações base *mmWave*. As bandas de 700 MHz irão sustentar as redes 5G de cobertura ampla, tanto em termos de geografia quanto de novas tecnologias de IoT conectadas (KWOK, 2017), ideal para o uso em mMTC.

A maioria das futuras redes 5G provavelmente consistirá no grupo de *mid-band* “sub 6 GHz”, que engloba tudo entre 1 e 6GHz. Esta já é uma área de espectro razoavelmente congestionada, já que 2,4 GHz e 5 GHz WiFi e 2,45 GHz *Bluetooth* estão nessa faixa, assim como muitas bandas 4G LTE. Assim, grande parte desse novo espectro aparecerá na faixa de 3 a 4 GHz, ficando entre as atuais redes WiFi e LTE para evitar problemas de congestionamento (NOKIA, 2017).

O espectro sub 6 GHz é como um meio-termo ideal entre os *backbones* de rede existentes no espaço 3G e 4G, com a capacidade aumentada, como as *mmWave*. As estações base do *mmWave* oferecem alta capacidade de transferência de dados e são impedidas por obstáculos como paredes, mesmo com avanços na forma de distribuição de sinal. Sub 6 GHz não sofre com esses problemas tão severamente e irá fornecer maiores áreas de cobertura em áreas densamente povoadas, se aproximando das necessidades das aplicações que necessitam de comunicações confiáveis e com baixa latência (NOKIA, 2017).

Além disso, o mercado de equipamentos de redes Wifi de 2,4 a 5 GHz já está bem estabelecido e é rentável. Dimensionar isso para cobrir áreas maiores para redes 5G não exigirá muito trabalho para grandes antenas MIMO e matrizes de estações base como a *mmWave* (NOKIA, 2017).

O espectro *mmWave* é limitado em suas aplicações - tem cobertura para intervalos curtos e áreas densamente povoadas que precisam de uma capacidade muito alta e atualmente é caro de implementar. No entanto, ele visa cobrir a terceira área do 5G, a melhor banda larga, conseguindo atingir taxas de transferência de gigabits por segundo, visando *streamer* de vídeos, computação em nuvem, realidade virtual/aumentada, entre outros (RAPAPORT et al., 2013).

## 2.4 Modelos de Propagação

O conhecimento do meio de transmissão é indispensável quando se objetiva realizar um bom planejamento de cobertura. Modelar a propagação do sinal eletromagnético é traduzir tal fenômeno físico em uma linguagem calculável. Entende-se como Modelo de Propagação, portanto, uma ou mais expressões matemáticas, que podem estar ou não acompanhadas de algum algoritmo específico, capazes de predizer a atenuação sofrida pelo sinal eletromagnético no decorrer de sua propagação (FURTADO et al., 2016).

As características e efeitos sobre a informação trafegada no canal de rádio são de natureza complexa, impossibilitando uma análise completamente determinística, desse modo, tendo de usar dados experimentais. Para isso, é necessário realizar medições do sinal no local em que deseja modelar o sinal. A partir das medições, é possível determinar a variação da potência do sinal devido ao movimento de pessoas no ambiente ou ao atravessar obstáculos fixos, como paredes, pisos, vidros, corredores, móveis, entre outros.

Estes parâmetros são importantes para a construção de um modelo de propagação condizente com a realidade, embora quanto maior a precisão desejada, mais detalhes

sobre o ambiente de propagação são necessários como dados de entrada para o modelo (NAJNUDEL, 2004).

### 2.4.1 Dependência com a Distância

Qualquer sinal tem seu nível de potência atenuado à medida que se propaga no canal. Este fato se dá, devido ao espalhamento do sinal no espaço, reduzindo a sua densidade de potência. No caso de um sinal se propagando no espaço livre (sem obstruções ou reflexões), esta atenuação tem uma relação quadrática com a distância percorrida pelo sinal (MELLO, 2006).

O modelo mais simples para o cálculo da perda de propagação é o da equação de Friis (2.1) que representa a perda por atenuação em espaço livre. O modelo depende apenas da distância e da frequência, sendo ideal para medições em visada direta para perceber a dependência com a distância (NAJNUDEL, 2004)..

$$L = V + 20 \log d + 20 \log f - G_T - G_R \quad (2.1)$$

Onde:

- V - 32.4 para *indoor* e 92.4 para *outdoor*
- d - distância [m]
- f - frequência [GHz]
- $G_T$  - ganho da antena transmissora [dBi]
- $G_R$  - ganho da antena receptora [dBi]

No entanto, esta equação não pode ser usada para o planejamento de redes sem fio, pois não considera obstáculos e multipercursos. Para tal, serão utilizados os modelos apresentados a seguir.

### 2.4.2 Perda por Penetração

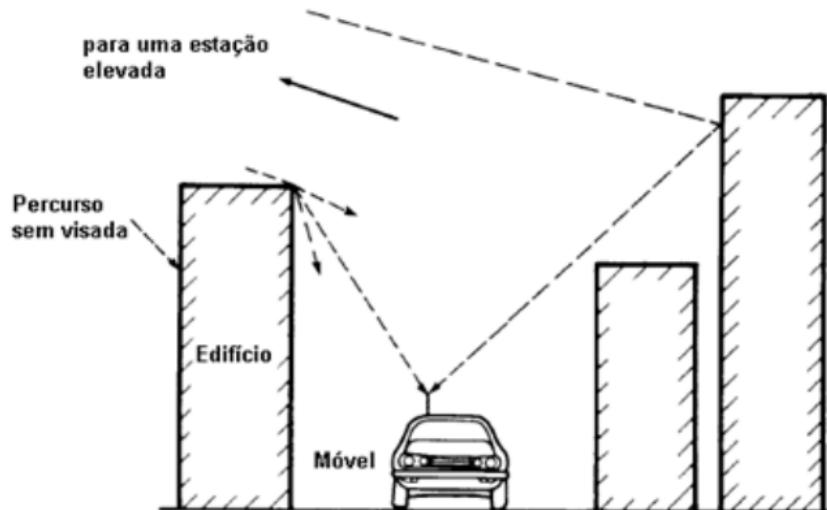
As perdas de penetração em paredes e pisos são extraídas de medições que contemplam diversos efeitos de propagação como reflexão múltipla e refração. Sendo assim, para cada material e cada frequência haverá uma perda diferente.

Também deve-se considerar que obstáculos metálicos sólidos refletem grande parte do sinal incidente; obstáculos sólidos de madeira, plástico e feitos de tijolos refletem uma parte do sinal e permitem que uma parcela deste seja transmitido através; e Água e objetos úmidos tendem a absorver uma grande parte do sinal incidente (MELLO, 2006).

### 2.4.3 Multipercursos

O efeito de multipercursos é causado por três fenômenos, a reflexão, a difração e o espalhamento. Estes fenômenos permitem que um sinal atinja um destino por diferentes percursos, além do percurso direto (LoS), quando existe, podendo ver um exemplo na Figura 6. A interseção destes raios faz com que o sinal no dado ponto no espaço seja composto pelos diversos sinais, de modo construtivo, isto é, aumentando o nível de potência do sinal, ou de modo destrutivo, diminuindo o nível de potência do sinal (MELLO, 2006).

Figura 5: Multipercorso em Ambiente Urbano



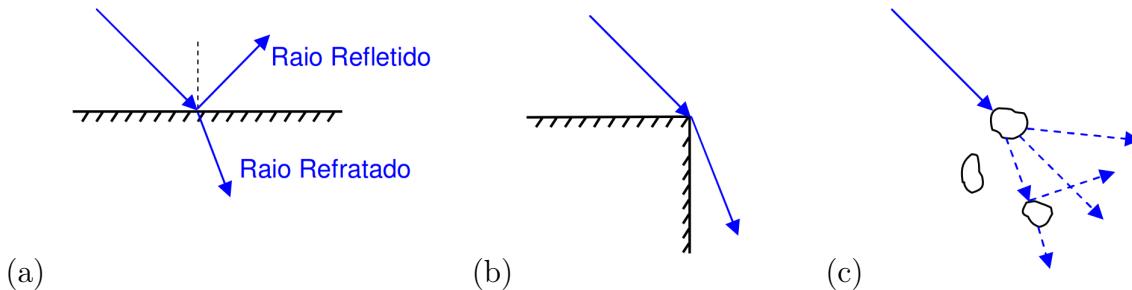
Fonte: (GUERRA, 2012)

- **Reflexão:** Ocorre quando uma onda eletromagnética incide sobre um objeto maior do que o comprimento de onda do sinal incidente. Este efeito pode implicar em uma atenuação na potência do sinal, podendo uma parte deste conseguir atravessar o obstáculo, e refletir a onda para diferentes direções.
- **Refração:** Ocorre quando uma onda atravessa um meio de densidade diferente do meio em que se propagava. Quando uma onda propagante no ar incide sobre a água ou uma superfície de vidro por exemplo, a direção da onda incidente muda. Uma parte do sinal é refletida e outra é refratada, continuando o percurso através do obstáculo, mas em uma diferente direção.
- **Difração:** Ocorre quando o percurso de uma onda é obstruído por um obstáculo de superfície irregular ou pela extremidade de um obstáculo. A difração depende fortemente da frequência da onda propagante. Em sinais de alta frequência, a difração pode inviabilizar uma transmissão entre dois pontos, entretanto, este efeito é muito útil para sinais de frequência mais baixa, como as faixas de celulares e computadores, para fazer com que o sinal mude sua trajetória ao incidir sobre o topo de um edifício.
- **Espalhamento:** Ocorre quando uma onda eletromagnética incide sobre um objeto cujo tamanho é demasiadamente menor em relação ao comprimento de onda do sinal incidente. Este efeito causa uma atenuação no sinal, assim refletindo-o para diferentes direções.

#### 2.4.4 Modelos Teóricos

Os modelos puramente teóricos são baseados em formulações teóricas, fundamentadas em suposições originadas de dados coletados em medições, ou em leis físicas. Alguns tipos de modelos teóricos não se tornam viáveis para o planejamento de redes sem fio por não levarem em consideração as características específicas do ambiente. Há modelos que se baseiam na aquisição de bases de dados que descrevem detalhadamente as características do meio, e na teoria de propagação de ondas eletromagnéticas, como é o caso da técnica *Ray-Tracing* (SCHAUBACH et al., 1992). Porém, essa técnica pode

Figura 6: (a) Reflexão e Refração (b) Difração (c) Espalhamento



Fonte: (NAJNUDEL, 2004)

não se adequar a alguns projetos já que os modelos que descrevem detalhadamente as características de propagação do meio exigem grande esforço computacional e representam apenas as características de um local específico.

#### 2.4.5 Modelos Empíricos

No estudo de propagação de sinal encontra-se uma grande variedade de modelos de predição de atenuação, sendo a maior parte obtida empiricamente. Modelos de propagação empíricos são baseados em diversas medições e observações em ambientes reais de propagação. A equação que rege um modelo empírico é criada para se ajustar da melhor forma aos dados medidos. Para que um modelo empírico possa representar com eficiência as perdas de propagação em um determinado ambiente, o mesmo deve ter seus parâmetros derivados de características do local, vinculados com a frequência de operação do sistema e alturas efetivas das antenas utilizadas para transmissão e recepção de sinais (SAUNDERS; ARAGÓN-ZAVALA, 2007).

Modelos dessa categoria, em especial os modelos dados por uma expressão final, apresentam a vantagem de serem, em geral, de fácil aplicação e de necessitarem de um tempo de execução (computacional) relativamente baixo. Por outro lado, por serem baseados em medições realizadas em locais específicos, modelos empíricos tendem a não fornecer resultados muito confiáveis quando aplicados a regiões que difiram significativamente da região original (MELLO, 2006). Embora certos modelos apresentem adaptações para a predição em áreas de características globais distintas da original, os modelos empíricos são melhores adaptados a regiões de mesmas características da região onde foram realizadas as medidas (BARIZON, 2004). No simulador foram implementados os seguintes modelos empíricos: *Floating Intercept*, SUI, COST 231, ECC-33 Close in, Motley Keenan e ITU-R P.1238-8.

#### 2.4.6 Modelos *Outdoor*

Em um ambiente *outdoor*, há grandes distâncias entre o transmissor e o receptor e, algumas vezes, visada direta entre eles, em geral, a propagação do sinal é bastante previsível, e, portanto, se temos informações sobre a topografia e as construções presentes no terreno, conseguimos determinar de forma eficiente a área de cobertura do transmissor (ABBAS et al., 2012).

### 2.4.6.1 SUI

O modelo SUI, é um modelo empírico para a caracterização de canais de rádio, para frequências abaixo de 11 GHz, comumente classificado como um modelo de tempo dispersivo, desenvolvido em uma parceria entre o grupo IEEE 802.16, o qual é um dos principais grupos que desenvolvem padrões técnicos para sistemas de banda larga fixa, e pesquisadores da *Stanford University*. Um extenso trabalho foi realizado, com o objetivo de se desenvolver um modelo de caracterização de canal para aplicações WiMAX e BFWA (ABHAYAWARDHANA et al., 2005). O modelo básico de perda de trajetos e a categorização de ambientes de propagação foram obtidos de (ANDERSON, 2003). A Equação pode ser vista em 2.2 (SANCHEZ-RUBIO et al., 2014) (LIMA, 2017).

$$L_{sui} = A + 10\gamma \log \frac{d}{d_0} + S, d > d_0 \quad (2.2)$$

$$A = 20 \log \frac{4\pi d_0}{\lambda} \quad (2.3)$$

$$\gamma = a - bh_b + \frac{c}{h_b} \quad (2.4)$$

Onde:

- d - distância [m]
- $d_0$  - distância inicial,  $d_0 = 100$  metros
- $\lambda$  - comprimento de onda [m]
- $\gamma$  - coeficiente de atenuação
- $h_b$  - altura da estação base,  $10 \leq h_b \leq 80$  metros

Os parâmetros a, b e c possuem valores que variam de acordo com o tipo de terreno (ERCEG et al., 1999), podendo ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros relacionados aos tipos de terreno

Parâmetro do modelo	Urbano	Suburbano	Rural
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

Fonte: (ERCEG et al., 1999)

A variável S na equação 2.2 simboliza o desvanecimento lento do sinal, dependente essencialmente da distância. Os valores de S variam entre 8.2 e 10.6 dB de acordo com a morfologia do terreno (ERCEG et al., 1999). O modelo é válido para frequências próximas de 2 GHz e alturas de recepção de até 2 metros. Para utilizar o modelo descrito em outras frequências e alturas de recepção entre 2 e 10 metros, é necessário usar a equação do modelo de propagação com os fatores de correção mostrados em 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8 (CASTRO et al., 2010).

$$L = L_{sui} + \Delta PL_f + \Delta PL_h \quad (2.5)$$

$$\Delta PL_f = 6 \log \frac{f}{2000} \quad (2.6)$$

$$\Delta PL_h = -10.8 \log \frac{h}{2}, \text{ ambientes urbanos e suburbanos} \quad (2.7)$$

$$\Delta PL_h = -20 \log \frac{h}{2}, \text{ ambientes rurais} \quad (2.8)$$

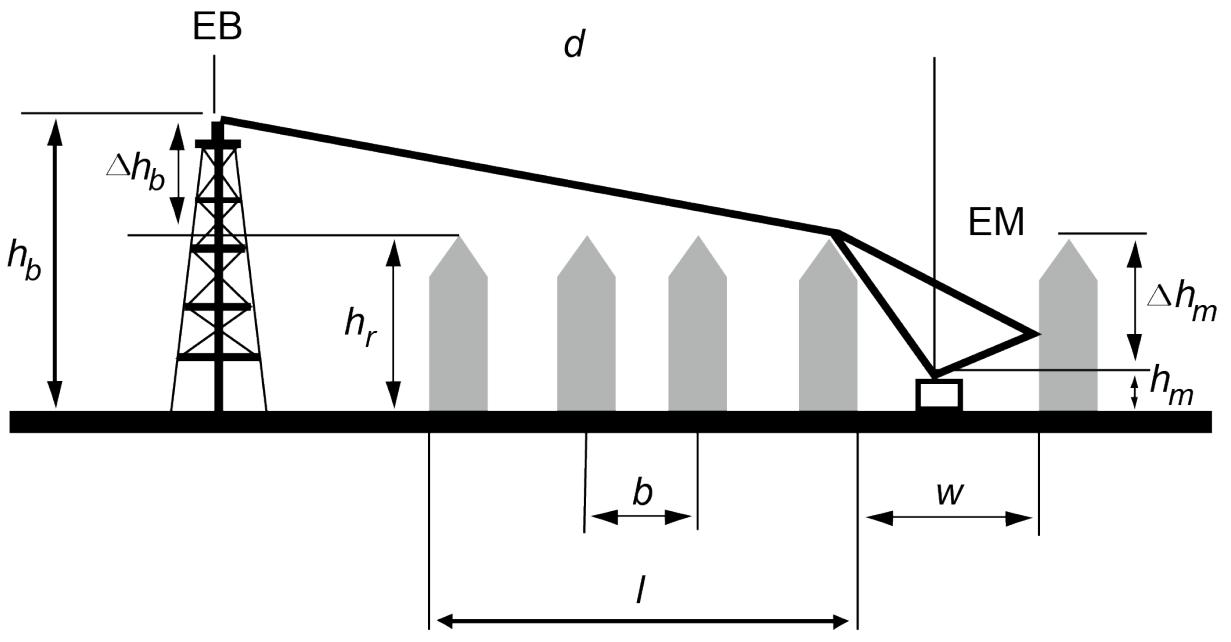
Onde:

- $\Delta PL_f$  - fator de correção de frequência [dB]
- $\Delta PL_h$  - fator de correção para altura de recepção [dB]
- h - altura de recepção [m]

#### 2.4.6.2 Cost 231

Este modelo tem como base um referencial *outdoor*, tendo diferenças quanto às alturas entre as antenas do transmissor e do receptor, e também uma dependência em relação à localidade que será feita a análise da cobertura. É uma extensão do modelo Hata (MEDEISIS; KAJACKAS, 2000) para faixa de PCS. O modelo foi desenvolvido pelo comitê de pesquisas europeu COST 231, mais recomendado para ambientes urbanos, visto na Figura 7, operando nas bandas de frequência próximas a 2000 MHz, altura da estação móvel da antena variando de 30 à 200 metros e a altura da estação base receptora de 1 à 10 metros (SANTOS, 2010). Sua equação está definida na Equação 2.9 (SINGH, 2012).

Figura 7: Cenário NLoS para o modelo Cost 231



Fonte: (REZENDE, 2017)

$$L_{cost231} = 46.3 + 33.9 \log f_r - 13.82 \log h_t - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log d + C_M \quad (2.9)$$

Onde:

- $f_r$  - frequência de transmissão [MHz]
- $h_t$  - altura efetiva da estação base da antena [m]
- $h_r$  - altura efetiva da estação receptora [m]
- $a(h_r)$  - fator de correção da altura efetiva da estação base da antena receptora
- $d$  - distância da estação base da antena transmissora [m]
- $C_M$  - para cidades médias = 0 dB e para área metropolitana = 3 dB

#### 2.4.6.3 ECC-33

O ECC-33 é um modelo de perda de percurso desenvolvido pelo Comitê de Comunicação Eletrônica (ECC). Foi baseado no modelo Okumura Hata, modificando suas suposições para representar melhor um sistema de acesso sem fio fixo, como roteadores. O modelo de propagação ECC-33 pode prever o funcionamento de sinais em faixas de até 3,5 GHz, de acordo com a *International Telecommunications Union* (ITU). Sua peculiaridade é o envolvimento dos ganhos das antenas em Tx e Rx, considerando também suas alturas, como variáveis em sua modelagem (ABHAYAWARDHANA et al., 2005) (AYYAPPAN; DANANJAYAN, 2008). O modelo é capaz de predizer a perda de percurso em ambientes urbanos, mas inutilizável em ambientes rurais. Este pode ser resumido em 2.10.

$$L_{ecc33} = Af_s + Ab_m - G_b - G_r \quad (2.10)$$

Onde:

- $Af_s$  - atenuação do espaço livre [dB]
- $Ab_m$  - média básica da perda de pacote [dB]
- $G_b$  - ganho da antena transmissora [dBi]
- $G_r$  - ganho da antena receptora [dBi]

#### 2.4.7 Modelos *Indoor*

Em um ambiente *indoor* a área de cobertura possui um raio muito menor combinada com uma complexidade maior no ambiente e grande variabilidade de materiais, tornando a predição da propagação do sinal eletromagnético consideravelmente mais complexa do que em ambientes *outdoor* (SARKAR et al., 2003).

### 2.4.7.1 Motley Keenan

Este modelo é o modelo mais completo para predição de sinais em ambientes *indoor* com existência de obstáculos. Sua expressão matemática é muito abrangente, mas requer o conhecimento de um grande volume de dados para definir o valor dos seus parâmetros de entrada (SOLAHUDDIN; MARDENI, 2011) (MOTLEY; KEENAN, 1988). O modelo considera um comportamento não linear da atenuação por múltiplos pisos e paredes (DÖHLER; AGHVAMI, 1999), no entanto o simulador não é capaz de fazer cálculos com mais de um andar. A equação para o modelo de propagação, desconsiderando os pisos, pode ser vista em 2.12 (RUDD, 2001).

$$FSPL = 32.5 + 20 \log_{10} \frac{d_0}{1000} + 20 \log_{10} f \quad (2.11)$$

$$L_{mk} = FSPL + 10n \log d + \sum_{j=l}^J K_{w,j} \cdot L_{w,j} \quad (2.12)$$

Onde:

- FSPL - perda de propagação a um metro da antena irradiante [dB]
- n - coeficiente de atenuação
- d - distância percorrida pelo sinal [m]
- $K_{f,i}$  - número de paredes com a mesma característica
- $L_{w,i}$  - perda de propagação do sinal através da parede j [dBi]
- J - número de paredes atravessadas pelo sinal
- $d_0$  - menor distância até o roteador [m]
- f - frequência [MHz]

Para cada tipo de parede há uma perda diferente, podendo variar de acordo com o material da parede e sua espessura. Alguns desses valores foram obtidos experimentalmente e podem ser vistos Tabela 4.

Tabela 4: Perdas de penetração em obstáculos

Obstáculos	Frequência		
	1.8 GHz	2.4 GHz	5.2 GHz
Concreto espesso (sem janelas)	13	17	36
Vidraça	2	13	15
Parede com janela (valor exato depende da razão entre área de janelas e de concreto)	2 a 13      13 a 17      15 a 36		

Fonte: (NAJNUDEL, 2004)

### 2.4.7.2 ITU-R P.1238-1

O modelo descrito a seguir foi desenvolvido pelo ITU, para predição de sinais na faixa de frequências entre 900 MHZ e 100 GHz em ambientes *indoor*. Este modelo considera reflexão e difração em objetos fixos, transmissão através de paredes, pisos e outros obstáculos fixos, confinamento da energia em corredores e pessoas e objetos em movimento no ambiente (RECOMENDATIONS, 1999). Apesar do modelo considerar pisos, o mesmo foi retirado pois o simulador não é capaz de fazer cálculos com mais de um andar.

$$L_{itu} = 20 \log f + 10 * n \log d - 28 \quad (2.13)$$

Onde:

- f - frequência de operação [MHz]
- n - coeficiente de atenuação
- d - distância percorrida pelo sinal [m]

O ITU-R fornece o coeficiente de atenuação com a distância para três diferentes tipos de ambientes e para seis diferentes faixas de frequência. Nenhuma das faixas existentes na tabela contempla a frequência de 2,4 GHz, por isso é o *framework* disponibiliza a função de calcular o valor do coeficiente de atenuação (n) através dos dados medidos por regressão linear. A tabela a seguir apresenta os dados para a frequência de 2 GHz, pois é a mais próxima da utilizada pelo LTE e WiFi.

Tabela 5: Coeficiente de atenuação em relação à distância

Ambiente	Residencial	Escritório	Comercial
Coeficiente (n)	2.8	3	2.2

Fonte: (NAJNUDEL, 2004)

### 2.4.8 Modelos *Indoor* e *Outdoor*

Alguns modelos podem ser usados tanto para ambientes *indoor* como para ambiente *outdoor*, pois são baseados nos dados medidos, e como não consideram paredes, podem se adaptar a ambos ambientes.

#### 2.4.8.1 Close In

O modelo *Close In* é genérico para o estudo da propagação de sinais, que descrevem a perda em larga escala em um determinado ambiente de propagação. Devido à sua facilidade de implementação, esse modelo fornece uma predição preliminar para a perda de propagação para os futuros sistemas 5G (SUN et al., 2016) (SUN et al., 2015) (MACCARTNEY et al., 2015). O modelo de perda de percurso pode ser visto na Equação 2.15. O modelo *close in* usa uma distância de referência fisicamente baseada  $d_0$ .

$$FSPL = V + 20 \log_{10} 1000 + 20 \log_{10} f \quad (2.14)$$

$$L_{ci} = FSPL + 10n \log_{10} d \quad (2.15)$$

Onde:

- FSPL - perda de propagação a um metro da antena irradiante [dB]
- V - 32.4 para *indoor* e 92.4 para *outdoor*
- n - coeficiente de atenuação
- d - distância percorrida pelo sinal [m]
- $d_0$  - menor distância até o roteador [m]
- f - frequência [GHz]

O FSPL descreve a atenuação do espaço livre, calculada a uma distância de referência  $d_0$  (em dB), enquanto o termo  $10n \log_{10} d$ , descreve a atenuação de larga escala, com a dependência do modelo com a distância (em dB) e  $n$  o coeficiente de atenuação do ambiente fornecido pelo modelo, os quais estão definidos na Tabela 6 para ambientes *indoor* e na Tabela 7 para ambientes *outdoor*, para a frequência de 2.4 GHz. Caso seja utilizado outra frequência ou outro ambiente o *framework* é capaz de calcular o coeficiente através de regressão linear a partir das medições no local.

Tabela 6: Coeficiente de atenuação em relação à distância para ambientes *indoor*

Cenário	$n$
Corredor	1.8
Quartos Grandes e Vazios	2
Quartos Mobiliados	3
Quartos Densamente Mobiliados	4

Fonte: (RAMIREZ, 2008)

Tabela 7: Coeficiente de atenuação em relação à distância para ambientes *outdoor*

Cenário	$n$
Espaço Livre	2
Área Urbana	2.7 a 3.5
Área Urbana com Sombra	3 a 5
Ambiente com Prédios (LoS)	1.6 a 1.8
Ambiente com Prédios (NLoS)	4 a 6
Ambiente com Fábricas	2 a 3

Fonte: (RAPPAPORT et al., 1996)

#### 2.4.8.2 Floating Intercept

O modelo de perda de percurso *Floating Intercept* (FI) é usado nos padrões WINNER II e 3GPP (MEINILÄ et al., 2009) (PARTNERSHIP PROJECT, TECH. REP. TR 25.996., 2003). Este modelo requer dois parâmetros e não é fisicamente baseado na potência transmitida das medições (MACCARTNEY et al., 2013) (SAMIMI; RAPPAPORT; MACCARTNEY, 2015). Podendo ser visto na Equação 2.18.

$$\alpha_{fia} = \frac{\sum D \sum DB - \sum D^2}{(\sum D)^2 - N \sum D^2} \quad (2.16)$$

$$\text{beta} = \frac{\sum D \sum B - N \sum DB}{(\sum D)^2 - N \sum D^2} \quad (2.17)$$

$$L_{fi} = alfa + 10 * beta * \log_{10} d \quad (2.18)$$

Onde:

- D -  $10 \log_{10} d$
- B -  $PL_{fi}$
- N - número de dados medidos
- d - distância percorrida pelo sinal [m]

Alfa é o ponto de intercepção em dB (diferente da referência FSPL), e beta é o declive da linha, também com uma variável aleatória, gaussiana, com média zero (em dB). Semelhante ao modelo *close in*, o melhor ajuste envolve a resolução de alfa e beta para minimizar o desvio padrão. O modelo *floating intercept* requer dois parâmetros de modelo, enquanto o *close in* requer apenas um. No entanto, ambos modelos produzem um desvio padrão semelhantes em canais *mmWave* externos (MACCARTNEY et al., 2015).

## 2.4.9 Métricas do Sistema

Ao realizar as simulações no Ziwi, versão web, será mostrado seis mapas de calor, exibindo: potência recebida perda de percurso, SNR, SINR, intensidade do campo elétrico e capacidade do canal. Ao fazer medições no Ziwi versão *mobile*, é capturado o valor da potência recebida, intensidade do campo elétrico, e, caso seja uma medição *outdoor* também captura os valores de RSRQ.

### 2.4.9.1 Potência Recebida

Dispositivos móveis conseguem capturar o valor da potência recebida que chegam até eles. O valor serve para auxiliar a medir a qualidade do sinal, sendo que quanto maior o valor, melhor estará o sinal (AFROZ et al., 2015).

### 2.4.9.2 Perda de Percurso

Perdas de percurso é a redução na densidade de potência de uma onda eletromagnética à medida que ela se propaga pelo espaço, sendo uma relação entre a potência recebida e a potência transmitida para um dado caminho de propagação e é função da distância de propagação sendo dada em dB (KAR et al., 2016).

$$P_L = P_{tdbm} - P_{rdbm} \quad (2.19)$$

Onde:

- $P_L$  - perda de percurso
- $P_{tdbm}$  - potência de transmissão [dBm]
- $P_{rdbm}$  - potência recebida [dBm]

### 2.4.9.3 SNR

SNR é a relação entre a amplitude de um sinal de dados analógicos ou digital desejado e a amplitude de ruído em um canal de transmissão em um ponto específico no tempo, expresso em decibéis (dB).

SNR mede a qualidade de um canal de transmissão ou um sinal através de um canal de rede. Quanto maior a proporção, mais fácil é identificar e, consequentemente, isolar e eliminar a fonte de ruído. Um SNR de zero indica que o sinal desejado é virtualmente indistinguível do ruído indesejado (KAR et al., 2016). Podendo ser definido pela Equação 2.20.

$$SNR = Pr/P_n \quad (2.20)$$

Sendo:

$$P_n = 10^{fatorRuido/10} * K_b * T * B * 10^6 \quad (2.21)$$

$$P_{n(dBm)} = 10 \log_{10} P_n + 30 \quad (2.22)$$

Onde:

- fatorRuido - quantidade de ruído introduzida pelo próprio amplificador
- $K_b$  - constante de Boltzmann
- T - temperatura [Kelvin]
- B - largura de banda do canal [MHz]

### 2.4.9.4 SINR

O SINR é usado para medir a qualidade de conexões sem fio. Normalmente, a energia de um sinal diminui com a distância, que é referida como uma perda de caminho nas redes sem fio. No entanto, para redes sem fio é preciso considerar outros fatores, como roteadores próximos, ruído do sinal, entre outros, sendo a interferência do sinal. O SINR também é uma medida da qualidade do sinal (IYER; ROSENBERG; KARNIK, 2009). Podendo ser definido pela Equação 2.23.

$$SINR = Pr / \sum_{I \in L} P_{rl} + P_n \quad (2.23)$$

Onde:

- $P_{rl}$  - potência recebida do roteador I, sendo L o conjunto de todos os roteadores ativos

O SINR é muito usado pelas operadoras e pela indústria LTE, pois quantifica melhor a relação entre as condições de RF e o throughput. Normalmente, os dispositivos móveis com LTE usam o SINR para calcular o CQI que é reportado à rede (JO et al., 2012).

### 2.4.9.5 Intensidade do Campo Elétrico

A intensidade do campo elétrico, V/m, é a medida que a ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações, utiliza para descobrir o limite de exposição máximo permitido,

pois um alto valor da intensidade do campo elétrico pode ser nocivo ao ser humano (CRO-CETTI et al., 2013) (HARDELL; SAGE, 2008). Desse modo, ao já ter o valor é possível comparar o valor diretamente com o ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019 (ANATEL, 2019), o qual a tabela pode ser vista em 8.

$$E = 10^{P_r + 20 \log f + 77.2} * 10^{-6} \quad (2.24)$$

Onde:

- $f$  - frequência [MHz]
- $P_r$  - potência recebida
- $E$  - intensidade do campo elétrico [V/m]

Tabela 8: Limites para exposição ocupacional a CEMRF

Faixa de Radiofrequências	Intensidade de Campo, $E(V/m)$	Intensidade de Campo, $H(A/m)$	Densidade de potência da onda plana equivalente, $S_{eq}(W/m^2)$
8.3 kHz a 65 kHz	170	24.4	-
0.065 MHz a 3.6 MHz	170	$1.6/f$	-
3.6 MHz a 10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	-
10 MHz a 400 MHz	31	0.16	10
400 MHz a 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f/40$
2 GHz a 300 GHz	137	0.36	50

Fonte: (RAMIREZ, 2008)

#### 2.4.9.6 Capacidade do Canal

A distribuição de capacidade em Mbps é calculado através da Equação 2.25, e tem por objetivo mostrar para o usuário a velocidade em que o seu wifi estará em certo ponto da sala (KAR et al., 2016).

$$Capacity = B \log_2(1 + SNR) * 10^{-3} \quad (2.25)$$

Onde:

- $B$  - largura de banda do canal [MHz]

#### 2.4.9.7 RSRQ

No aplicativo *mobile* do Ziwi é possível fazer a medição do RSRQ através de uma função do android. O RSRQ, Reference Signal Received Quality, considera o RSSI e o número de blocos de recursos usados para indicar a qualidade do sinal de referência

recebido. A medição RSRQ fornece informações adicionais quando RSRP não é suficiente para fazer uma decisão confiável de transferência ou seleção de células (AFROZ et al., 2015).

Também é possível calcular o valor de RSRQ através da Equação 2.27.

$$RSRQ = \frac{N * RSRP}{RSSI} \quad (2.26)$$

Onde:

- N - número de RB's na largura de banda.
- RSRQ - qualidade do sinal [dB]
- RSRP - potência de sinal de referência recebida [dBm]
- RSSI - indicador de intensidade do sinal recebido [dB]

#### 2.4.9.8 RMSE

O RMSE, também conhecido como desvio padrão, é uma medida utilizada para expressar a diferença entre valores medidos e preditos por um modelo (BARNSTON, 1992). Essa métrica é importante para se ter conhecimento de quanto o modelo predito se aproxima aos dados reais, assim como é importante para validar informações de dados medidos com um modelo já concretizado na literatura.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(Predito_i + Medido_i)^2}{N}} \quad (2.27)$$

Onde:

- N - número total de dados medidos/preditos
- Predito - vetor com os valores preditos
- Medido - vetor com os valores medidos

#### 2.4.9.9 Coeficiente de Atenuação

O coeficiente de atenuação caracteriza o quanto o ambiente está obstruído. Um grande coeficiente de atenuação significa que há diversas obstruções entre o transmissor e o receptor. Um pequeno coeficiente de atenuação significa que é um ambiente em LoS entre o transmissor e o receptor, ou com pouca obstrução (NAJNUDEL, 2004).

O valor pode ser obtido através da regressão linear entre os dados medidos e preditos, sendo o  $n$  uma variável desconhecida no modelo para encontrar os dados preditos. Assim como pode ser calculado pela Equação 2.28 (MACCARTNEY et al., 2015).

$$n = \frac{\sum DA}{\sum D^2} \quad (2.28)$$

Onde:

- D -  $10 \log_{10} d$
- A - dados de perda de percurso medidos
- d - distância [m]

## 2.5 Técnicas de Otimização

Grande parte dos algoritmos de otimização utilizados atualmente são determinísticos, como por exemplo, os métodos utilizados para programação linear e método de Newton que é baseado na orientação do vetor gradiente (LUCIANA et al., 1997).

Contrastando com os métodos determinísticos de otimização existem os métodos estocásticos: heurísticos e meta heurísticos. Heurística é um conjunto de regras e métodos que conduzem à descoberta, à invenção e à resolução de problemas. Os métodos heurísticos baseiam-se em técnicas específicas descobertas pelo homem que através de tentativa e erro na resolução de um determinado problema desenvolveu uma metodologia para resolvê-lo (TANAKA et al., 2009).

Os métodos meta heurísticos são aqueles cujas técnicas de resolução do problema incorporam processos inteligentes que tendem a melhor otimizar a solução obtida em comparação com os métodos heurísticos convencionais. Esses métodos são algoritmos que buscam resolver problemas. Geralmente não envolvem a implementação computacional de um conhecimento especializado, ou seja, não utiliza fórmulas pré-definidas para resolver um problema. Por este motivo, muitas vezes, esses métodos são classificados como “busca cega” (MEDEIROS; KRIPKA, 2012).

Uma solução ótima de um problema nem sempre é o alvo desses métodos, uma vez que, tendo como ponto de partida uma solução viável, baseiam-se em sucessivas aproximações direcionadas a um ponto ótimo. Logo, estes métodos costumam encontrar as melhores soluções possíveis para problemas, e não soluções exatas. Esta subjetividade, ou falta de precisão dos métodos heurísticos, não se trata de uma deficiência, mas uma particularidade análoga à inteligência humana. Pois em diversas situações cotidianas, a melhor solução imediata é encontrada e adotada, em detrimento de soluções comprovadamente ótimas e precisas (SUCUPIRA, 2004).

Em (COLIN, 2007), há uma ótima analogia entre os métodos heurísticos e o problema de localizar, empiricamente, o ponto mais alto da Terra. Para resolver este problema, partiria-se de um ponto viável, ou seja, de qualquer lugar na superfície terrestre, em busca das montanhas mais altas. Neste processo, várias montanhas seriam escaladas e suas alturas comparadas. O ponto mais alto iria progressivamente aumentando com as novas descobertas (os chamados ótimos locais). Até que em determinado momento as buscas se dessem por encerradas por algum motivo (a não descoberta de pontos mais altos por um longo período, falta de segurança, restrições de tempo ou financeiras) e o ponto mais alto fosse definido, mesmo sem uma comprovação científica, mesmo que outro mais alto possa ainda estar oculto.

### 2.5.1 Algoritmo Genético

O algoritmo genético é um método meta heurístico formulado a partir do estudo de sistemas naturais. Desde os anos 1960s os algoritmos evolutivos baseados no comportamento da natureza têm sido desenvolvidos no intuito de melhor resolver problemas complexos de espaço com busca extenso e por vezes descontínuos (ARCANJO et al., 2014).

Um algoritmo genético (AG) é uma técnica de busca para achar soluções aproximadas em problemas de otimização e busca. Algoritmos genéticos são uma classe particular de algoritmos evolutivos que usam técnicas inspiradas pela biologia evolutiva como hereditariedade, mutação, seleção natural e *crossover* (DAVIS, 1991). Este método é baseado na genética e na seleção natural. É uma simulação computacional iterativa que faz analogia a um processo evolutivo de várias gerações de uma população (SANTOS, 2001), onde cada indivíduo é uma representação abstrata de uma solução do problema, a seleção natural é um critério de escolha das melhores soluções e eliminação das ruins, o cruzamento e a mutação são meios para a obtenção de novas soluções.

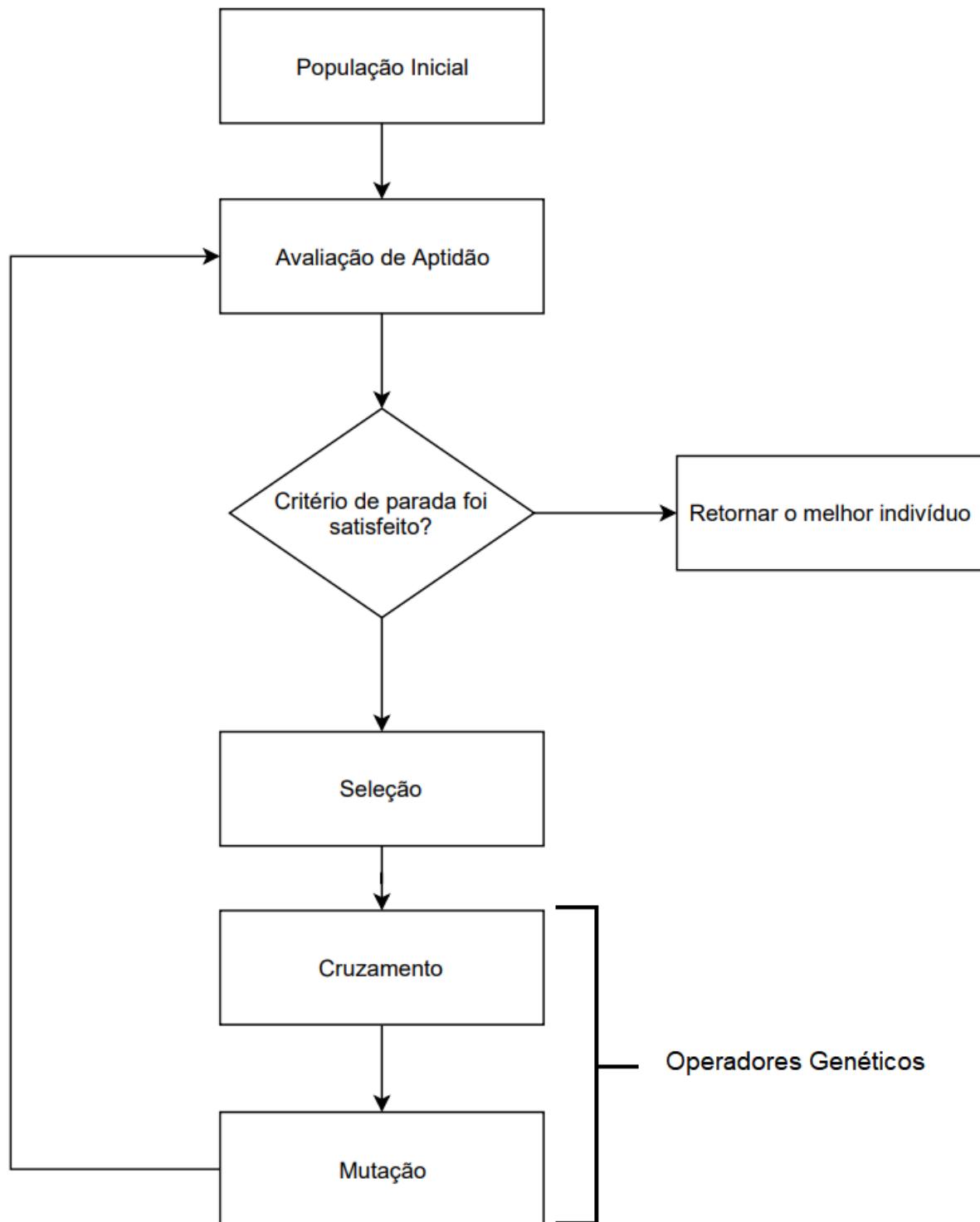
Os algoritmos genéticos possuem algumas características diferentes em relação a outros métodos de busca, já que são baseados em um conjunto de soluções possíveis; não envolvem modelagem do problema; o algoritmo apresenta como resultado uma população de soluções e não apenas uma; e dificilmente apresentará os mesmos resultados para um mesmo problema (ZUBEN, 2000).

Como os algoritmos genéticos são baseados na genética, utilizam alguns termos mantendo os conceitos semelhantes (ZUBEN, 2000), como:

- População: conjunto de cromossomos ou soluções;
- Cromossomo: conjunto de genes. Cada cromossomo representa uma solução do problema. Podendo ser chamado de indivíduo;
- Gene: menor unidade de informação em um cromossomo. Cada gene representa uma variável da solução do problema;
- Locus: posição de um gene em um cromossomo. Alguns genes podem ter seu locus alterado em processos de cruzamento ou mutação;
- Cruzamento (*crossover*): processo de reprodução sexuada em que há combinação de genes dos cromossomos originando um ou mais descendentes. O cruzamento é o principal responsável pela variabilidade genética;
- Mutação: anomalias que causam a alteração aleatória de genes, na localização ou em seu conteúdo;
- Seleção natural: processo que elimina os indivíduos menos adaptados em relação à cada geração da população;
- Geração: iteração do algoritmo genético;
- Aptidão (*fitness*): indicador qualitativo de um indivíduo. O grau de aptidão de um indivíduo é obtido a partir de uma função objetivo;
- Função objetivo: função matemática que avalia as soluções (indivíduos) em relação ao problema.

Embora haja uma grande variedade e implementações, a estrutura geral de um algoritmo genético é basicamente a mesma. Na Figura 8 é possível visualizar o fluxograma do algoritmo genético para melhor compreensão do mesmo.

Figura 8: Fluxograma Geral de um Algoritmo Genético



Fonte: (BUENO, 2009)

No Algoritmo 1 é possível observar um pseudo código para um algoritmo genético.

---

**Algoritmo 1** Algoritmo Genético

---

**Saída:** Gráfico com os melhores indivíduos e a média da população

**início**

Gera população inicial (Pop);

**repita**

Definir os dois melhores cromossomos (popPais);

Cruzar os dois cromossomos (popFilhos);

Inserir os cromossomos na população (Pop);

Mutação na população (Pop);

Salvar melhor indivíduo e a média;

**até** número de gerações;

**fim**

---

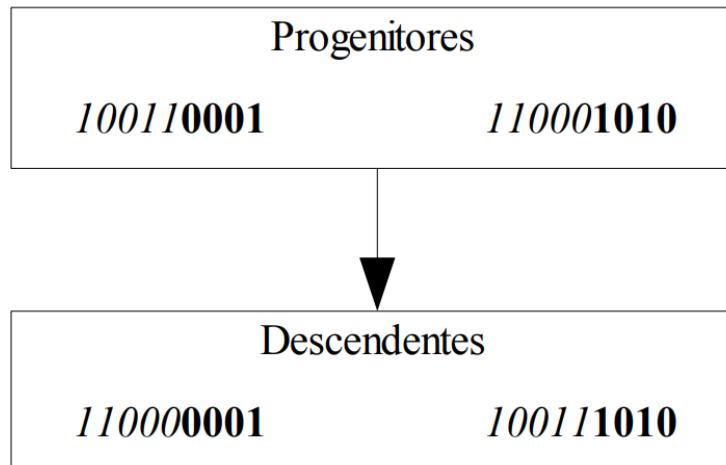
As maiores variações que se pode encontrar em algoritmos genéticos envolvem, normalmente, a seleção de indivíduos, cruzamento e mutação, e critérios de parada. Estas variações são baseadas em particularidades dos problemas a serem resolvidos.

Os métodos de seleção podem ser usados tanto na escolha de quais indivíduos serão progenitores, quanto na escolha dos melhores adaptados para passar à próxima geração (SANTOS, 2001). A seleção é baseada em um método de avaliação de aptidão de indivíduos (*fitness*). Quanto mais apto um indivíduo, maior sua probabilidade de realizar cruzamentos e melhor será sua resposta em relação ao problema. As estratégias de seleção podem acelerar ou retardar tanto a busca pela solução ótima, quanto a convergência, uma vez que definem os cromossomos que irão gerar e participar da próxima geração.

A principal estratégia para os métodos de seleção é usar a técnica do torneio, onde são selecionados diversos pequenos subconjuntos da população, sendo selecionado o indivíduo de maior adequação de cada um desses grupos (LINDEN, 2008). Uma vez selecionados os indivíduos, os mais aptos vencerão o torneio. Devem ser definidos previamente o número de indivíduos a participarem de cada torneio e quantos torneios serão realizados. A vantagem deste método é a impossibilidade de alguns cromossomos dominarem a população, o que levaria a uma rápida convergência.

Os métodos de cruzamento são responsáveis pela reprodução de cromossomos e a mistura de genes, o que garante a diversidade e a constante evolução populacional. Este mecanismo consiste em selecionar os pontos de cruzamento nos progenitores, separar os cromossomos, e trocar as partes destes cromossomos (GOLDBARG; LUNA, 2005). A Figura 9 ilustra o um cruzamento de dois cromossomos, cujos genes, consistem em números binários. Note que foi selecionado apenas um ponto de cruzamento, entre o quinto e sexto gene, ou locus, e os descendentes receberam as cargas genéticas trocadas com base neste ponto (SANTOS, 2001).

Figura 9: Cruzamento entre Dois Cromossomos



Fonte: (BUENO, 2009)

Já o *crossover* uniforme consiste em um sorteio binário para cada gene, definindo como os genes de cada progenitor serão distribuídos entre os descendentes. Ou seja, caso seja sorteado 1 para um determinado gene, o primeiro descendente recebe o gene do primeiro progenitor e o segundo descendente recebe o gene do segundo progenitor. Caso seja sorteado 0, o processo se inverte. Este sorteio é realizado para cada um dos genes dos cromossomos. Esta estratégia de *crossover* tende a prover maior diversidade, porém tem um custo de processamento mais alto, uma vez que há um sorteio para cada gene de cada indivíduo (PACHECO et al., 1999).

A mutação consiste em selecionar um ou mais locus cujos genes devem ser alterados. Geralmente ocorre na criação do cromossomo, ou seja, durante ou logo após o cruzamento. A mutação, de forma análoga à biologia evolutiva, é um importante fenômeno para a diversidade e evolução, podendo ser benéfica, tornando o indivíduo mais apto, ou maléficas, condenando o indivíduo a não sobreviver à seleção natural (FUTUYMA, 1992). Portanto, ela pode desencadear o surgimento de soluções melhores, bem como soluções inferiores ou inviáveis.

A Figura 10 ilustra duas diferentes mutações em um mesmo cromossomo. Note que em negrito estão nos loci escolhidos para a troca de genes. Já o locus sublinhado teve seu gene alterado de 0 para 1. Apesar de sua importância para a diversidade e evolução, a mutação excessiva em uma população pode acarretar várias soluções anômalas, impedindo a evolução da população (SILVEIRA; BARONE, 1998).

Figura 10: Mutação de Genes em um Cromossomo



Fonte: (BUENO, 2009)

O algoritmo genético (GA) pode usar um controle de elitismo, uma variante do NSGA II (KONAK; COIT; SMITH, 2006). O GA elitista sempre favorece indivíduos com melhor valor de aptidão. Além disso, também favorece indivíduos que podem ajudar a aumentar a diversidade da população, mesmo que tenham um valor menor de aptidão.

É importante manter a diversidade da população para a convergência em uma frente de pareto ideal. A diversidade é mantida pelo controle dos membros da elite da população a medida que o algoritmo avança (FERREIRA ROCHA, 2018). Caso o controle de elitismo seja usado, o cromossomo mais apto nunca será modificado pela mutação.

O tempo de busca por soluções de problemas está associado à sua complexidade. Problemas intratáveis, como o planejamento de redes tornam as técnicas tradicionais inviáveis. Sendo os problemas intratáveis aqueles que possuem um tempo inaceitável para encontrar uma solução pois o seu limite superior de complexidade é exponencial ou fatorial (CAMPOS, 2017), como algoritmos NP-completos, os quais não possuem uma solução exata (NÚÑEZ, 2004). Por isso, optou-se por utilizar o algoritmo genético pois não é necessário dados para treinamento e por que com esse algoritmo consegue-se encontrar o resultado ótimo para um problema, não necessariamente sendo o melhor de todos, mas um resultado dentro dos padrões requisitados pelo usuário e em tempo hábil.

## 2.6 Banco de Dados

Um banco de dados é uma coleção de dados persistentes, usados pelos sistemas de uma aplicação (HEUSER, 2009). A função dos bancos de dados é o armazenamento dos mesmos, ou seja, um conjunto de registros consistindo em uma ou várias tabelas, que tem como objetivo organizar e guardar dados, o que facilita a comunicação desses dados com o sistema. Sempre que for possível agrupar informações que se relacionam e tratam de um mesmo assunto, é possível dizer que se tem um banco de dados (ROCHA, 2015).

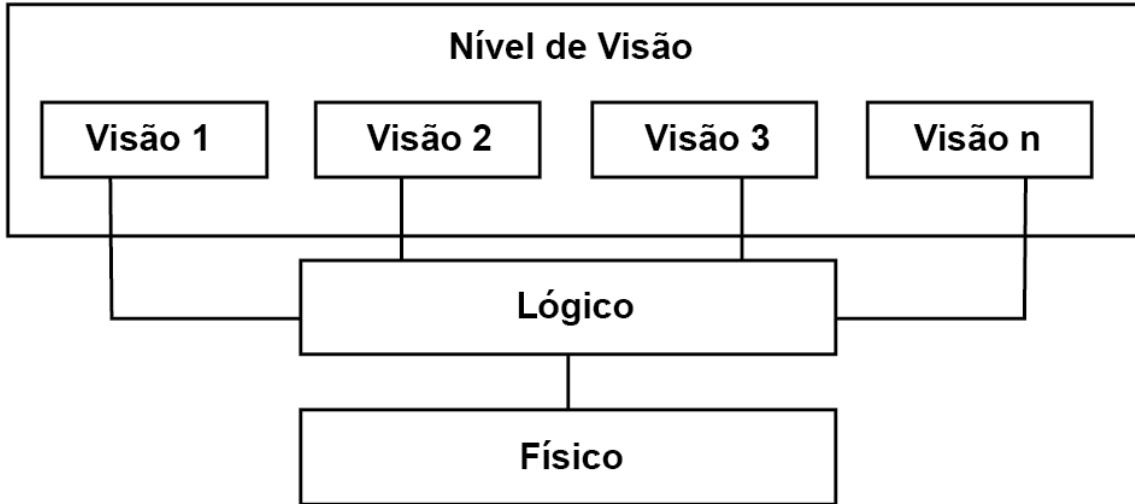
Os bancos de dados constituem uma parte essencial das empresas, e projetos em geral, para armazenar informações. Ao longo das últimas quatro décadas do século XX, a utilização de bases de dados cresceu. Inicialmente, poucas pessoas interagiam diretamente com sistemas de banco de dados, porém, elas interagiam com bancos de dados indiretamente através de relatórios impressos, como extratos de cartões de crédito (SILBERSCHATZ; SUNDARSHAN; KORTH, 2016).

Um sistema que utiliza banco de dados deve garantir uma visão totalmente abstrata do banco de dados para o usuário, ou seja, o usuário deve conseguir guardar e acessar os dados independentemente do que acontece, sendo assim, alguma unidade de armazenamento precisa estar disponível (ELMASRI et al., 2005).

Esta abstração se dá em três níveis (DATE, 2004), como na Figura 11, onde:

- Nível de visão do usuário: as partes do banco de dados que o usuário tem acesso de acordo com a necessidade individual de cada usuário ou grupo de usuários, no caso, o *framework*;
- Nível lógico: define quais os dados que estão armazenados e qual o relacionamento entre eles, ou a forma em que serão organizados, no caso de bancos de dados não relacionais;
- Nível físico: é o nível mais baixo de abstração, em que define efetivamente de que maneira os dados estão armazenados.

Figura 11: Níveis de Abstração do Banco de Dados



Fonte: (CARVALHO, 2017)

Na última década o volume de dados cresceu exponencialmente em virtude da grande difusão de computadores e da adesão cada vez maior de empresas e usuários a geração de informações (MURARI, 2014). Segundo a IBM, nos últimos dois anos foram gerados cerca de noventa por cento de todas as informações existentes no mundo. Este número só é possível pelo uso de redes sociais, dispositivos móveis, GPS e inúmeras outras formas de obter e gerar informação (IBM, 2019).

Para lidar com o grande volumes de dados que vem sido criados utilizam-se bancos de dados não relacionais (NoSQL) já que eles possuem elasticidade, pois precisam suportar não só grandes volumes, mas grandes volumes que crescem muito em pouco tempo. Eles também precisam ser flexíveis para aceitar vários tipos de mídias.

Bancos de dados relacionais (CONRAD, 2006) escalam, mas quanto maior o tamanho, mais custoso se torna essa escalabilidade, seja pelo custo de novas máquinas, seja pelo aumento de especialistas nos bancos de dados utilizados. Já os não relacionais, permitem uma escalabilidade mais barata e menos trabalhosa, pois não exigem máquinas extremamente poderosas e sua facilidade de manutenção permite que um número menor de profissionais seja necessário. Assim, os bancos de dados NoSQL, vão ficando mais populares entre as grandes empresas pois reúnem as características de poder trabalhar com dados semi-estruturados, ou sem pré-processamento.

### 2.6.1 Banco de Dados NoSQL

A linguagem NoSQL teve origem em 1998 por meio de uma solução que não contava com SQL. Mais tarde, passou a significar uma abreviação de *Not Only SQL*. Banco de dados não relacionais, ou NoSQL, podem ser vistos como um padrão de armazenamento alternativo ao modelo SQL (relacional), podendo oferecer uma maior escalabilidade. Eles surgiram exatamente pela necessidade de se ter uma melhor performance e alta escalabilidade, para dessa forma ter um maior e melhor gerenciamento de dados (SADALAGE; FOWLER, 2013).

No final do século passado a internet se popularizou, diversos novos dados foram surgindo e tratá-los foi se tornando gradualmente mais complexo e sua manutenção cada vez mais cara. Em 2006, a google publicou um artigo (CHANG et al., 2008) que retornou o conceito NoSQL para o mercado. Com a crescente popularização das redes sociais,

a geração de conteúdo por dispositivos móveis bem como o número cada vez maior de pessoas e dispositivos conectados, faz com que o trabalho de armazenamento de dados com o objetivo de utilizá-los em ferramentas analíticas, comece a esbarrar nas questões de escalabilidade e custos de manutenção desses dados.

O surgimento de bancos de dados NoSQL deve-se, principalmente, à grande dificuldade relacionada à distribuição dos dados em diversos servidores quando utilizado um banco de dados relacional (LEITE, 2010). De todos os dados do mundo que foram gerados nos últimos anos apenas 10% destes dados estão estruturados. Os 90% restantes estão desestruturados (TESSAROLO<sup>1</sup>; MAGALHÃES<sup>1</sup>, 2015). Os bancos de dados NoSQL começaram a se tornar populares em 2009, surgindo como solução para questões como escalabilidade e processamento de grandes volumes de dados. Um enorme volume de dados é gerado diariamente, o qual excede a capacidade de armazenamento e gerenciamento das tecnologias atuais, geralmente baseadas em bancos de dados relacionais (RÉGO, 2013).

Uma das vantagens dos bancos não relacionais é a escalabilidade, claro que o esquema rígido dos bancos relacionais torna difícil, por exemplo, adicionar um dado que não se tem certeza de quantos irão ser inseridos. Outra vantagem é a flexibilidade da estruturação que além de tornar a escalabilidade mais fácil facilita a inserção e acesso aos dados (BOSCAROLI et al., 2006).

Utilizando NoSQL, não se tem a necessidade de fazer todo o esquema antes de começar a utilizá-lo, já que as informações serão agrupadas em um registro, então não precisa que se tenha relacionamentos entre várias tabelas para ser formada a informação, ela estará em sua totalidade no mesmo registro. Se precisa apenas fazer o registro diretamente e de uma forma que o banco de dados que você está usando consiga entender (BOSCAROLI et al., 2006).

Nas Figura 12 e 13 pode-se ver a diferença entre a estruturação e inserção de dados entre os bancos SQL e NoSQL, respectivamente. Ambas tabelas foram feitas visando a problemática de adicionar um usuário ao banco de dados e pode ser necessário adicionar mais de um número de telefone (CARVALHO, 2017). Na Figura 12 é mostrado a estrutura do banco de dados SQL para esse problema, onde foi necessário criar uma tabela extra, específica, para adicionar os telefones do cliente.

Figura 12: Tabela de Telefones com SQL

Tabela Cliente (Tabcli):

```
id, Integer  
Nome, Character, 50
```

Tabela Telefones (Tabtel):

```
id_cliente, integer  
Fone, Character, 15
```

Fonte: DevMedia

Já na Figura 13 é mostrado como será a inserção dos dados em um esquema NoSQL. Os dados serão armazenados em um único arquivo, onde a variável *fones* foi definida que iria receber um vetor de caracteres. Sendo assim, será possível inserir quantos números forem necessários para o usuário, demonstrando a escalabilidade dos bancos não relacionais.

Figura 13: Tabela de Telefones com NoSQL

```
db.clientes.save( {_id: 1, fones: ["123-4567", "456-7899"]})
```

Fonte: DevMedia

Optou-se por utilizar um banco de dados não relacional pois os dados serão medidas de potência recebida, podendo conter informações de localização do usuário. Esses dados não possuem tamanhos pré-definidos, então um banco escalável seria uma melhor opção. Além de que o *framework* desenvolvido nesse trabalho é a versão inicial, e tende a crescer no futuro, então foi melhor construir o sistema em cima de uma estrutura que suporte mudanças.

## 2.7 Considerações Finais

Nesse capítulo foram apresentados os principais conceitos sobre os canais de comunicação sem fio, mostrando a evolução e características das redes sem fio. Logo em seguida foi detalhado os modelos de propagação e as métricas utilizadas pelo *framework*. Por fim, foi mostrado o referencial teórico das tecnologias utilizadas no simulador e como as mesmas funcionam. Assim como também foi apresentado os motivos das escolhas.

---

# CAPÍTULO 3

---

## Ferramentas de Desenvolvimento

### 3.1 Considerações Iniciais

Para desenvolver o *framework* Ziwi foram utilizados três *softwares* distintas de comunicação com usuário, sendo elas: android, web e realidade virtual, além do uso de um algoritmo genético para otimizar o planejamento de redes. Cada uma delas foi desenvolvida de uma maneira específica visando a melhor experiência para o usuário. Dessa maneira, podendo resolver um problema, tendo os melhores resultados e com um tempo mínimo gasto na plataforma.

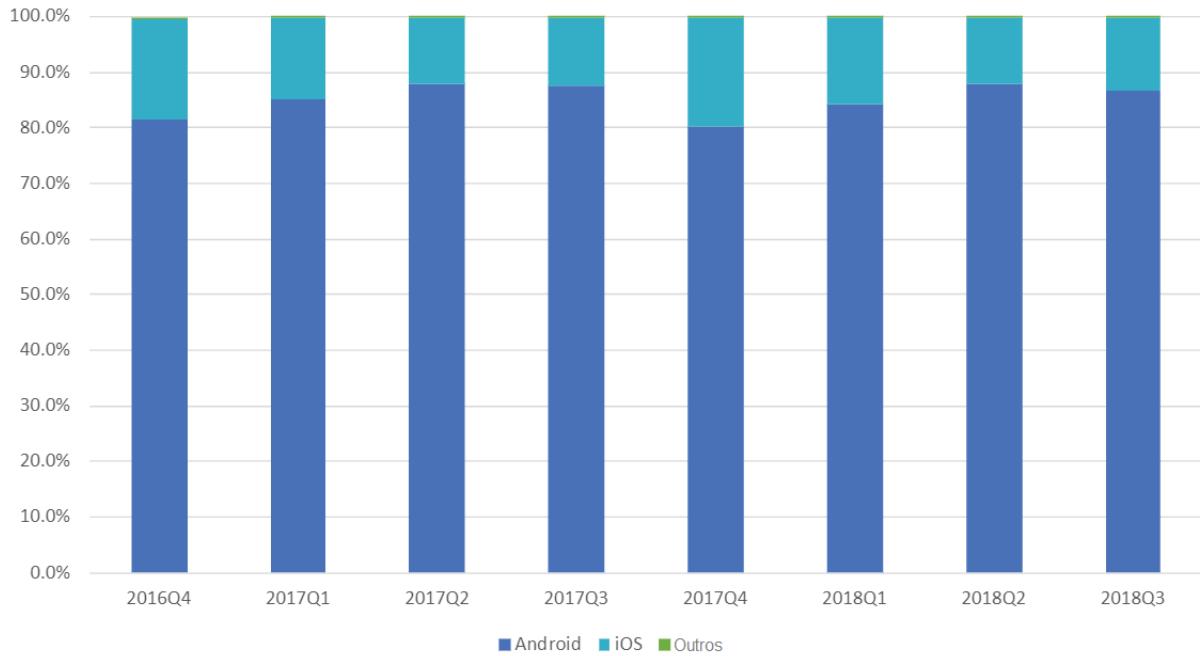
### 3.2 Desenvolvimento Android

Android é um sistema operacional baseado em Linux, desenvolvido pela Google. Com interface gráfica, o Android foi projetado principalmente para dispositivos móveis com tela sensível ao toque como *smartphones* e *tablets*, tendo interface específica para Android Tv, android Auto e Android Wear. O sistema operacional utiliza uma tela sensível ao toque para que o usuário possa manipular objetos virtuais e também um teclado virtual.

O código do sistema operacional é disponibilizado pela Google sob licença de código aberto, apesar de a maior parte dos dispositivos ser lançada com uma combinação de software livre e software privado, como visto nos dispositivos móveis. O Android é conhecido por ter um baixo custo e ser personalizável. A natureza do software de código aberto do sistema operacional tem encorajado uma grande comunidade de programadores e entusiastas a desenvolver aplicações para o sistema ou a trazer o Android para dispositivos que inicialmente não foram lançados com a plataforma.

Um dos principais motivos para se ter o focado o desenvolvimento em sistemas operacionais Android é o alto volume de dispositivos compatíveis. Além de se ter mais facilidade para publicar aplicações em sua loja virtual, já que só é necessário possuir uma conta de desenvolvedor, a qual é uma compra vitalícia. Na Figura 14 é possível perceber que desde de 2016 mais de 80% dos dispositivos móveis são compatíveis com o android, sendo que ao passar dos anos está chegando cada vez mais perto dos 90% dos *smartphones* serem compatíveis com o sistema operacional do android.

Figura 14: Sistema Operacional de Smartphones ao Redor do Mundo



Fonte: *International Data Corporation*

Para se construir um aplicativo compatível com o Android é possível criar aplicações nativas, sendo desenvolvida com linguagem específica para cada plataforma, ou aplicações híbridas, as quais são aplicações multi-plataforma. Para este trabalho optou-se por fazer uma aplicação nativa pois são capazes de proporcionar aos usuários uma experiência mais refinada do que os híbridos. Isso porque eles são desenvolvidos especialmente para funcionar em determinado sistema operacional e, assim, oferecem melhores recursos de *hardware*, facilitando a utilização de funções e recursos próprios do aplicativo.

Para construir aplicações nativas para o Android usa-se o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), Android Studio, visto na Figura 15, da Google, podendo desenvolver utilizando Java ou Kotlin, usando-as em conjunto ou separadas (STUDIO, 2017).

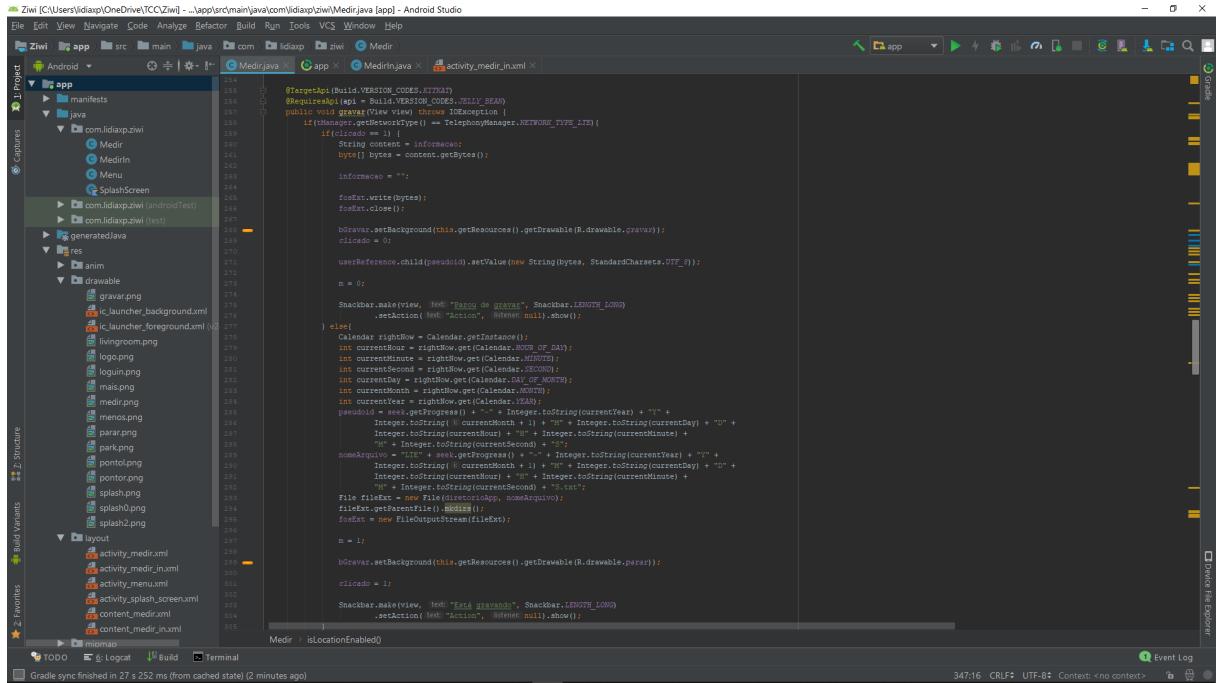
Para desenvolver o Ziwi foi necessário ter acesso a algumas funções nativas do Android, através da biblioteca de gerenciamento do telefone e ao gerenciador do wifi, que dá acesso aos valores de potência recebida referentes às redes sem fio. Além disso, também foi necessário pedir permissão para o usuário para ter acesso aos dados de GPS do dispositivo e a permissão para salvar arquivos na memória interna.

Para gerar os gráficos em tempo real foi utilizado uma biblioteca de gráficas desenvolvida por usuários, a *jjoe64*, a qual oferece compatibilidade com gráficos em tempo real. Para isso, foram usados *threads*, as quais chamam a função para medir a potência recebida do local a cada 50 milissegundos. *Threads* são uma maneira de realizar duas ou mais tarefas simultaneamente no dispositivo.

A partir do Android Studio também é possível fazer o design da aplicação, a partir dos arquivos *xml* na pasta de *layouts*, como visto na Figura 16. Quando se está definindo o design de uma tela é possível escolher em qual celular será sua visualização no computador. No entanto, na momento de compilar será necessário abrir uma máquina virtual ou testar em um aparelho físico, o que pode alterar a interface, por isso é importante construir um design escalável para todas as telas.

A interface gráfica para criação de telas auxilia para inserir componentes básicos, como botões, imagens e textos. Sendo que suas configurações de tamanho, cor, *id*, entre

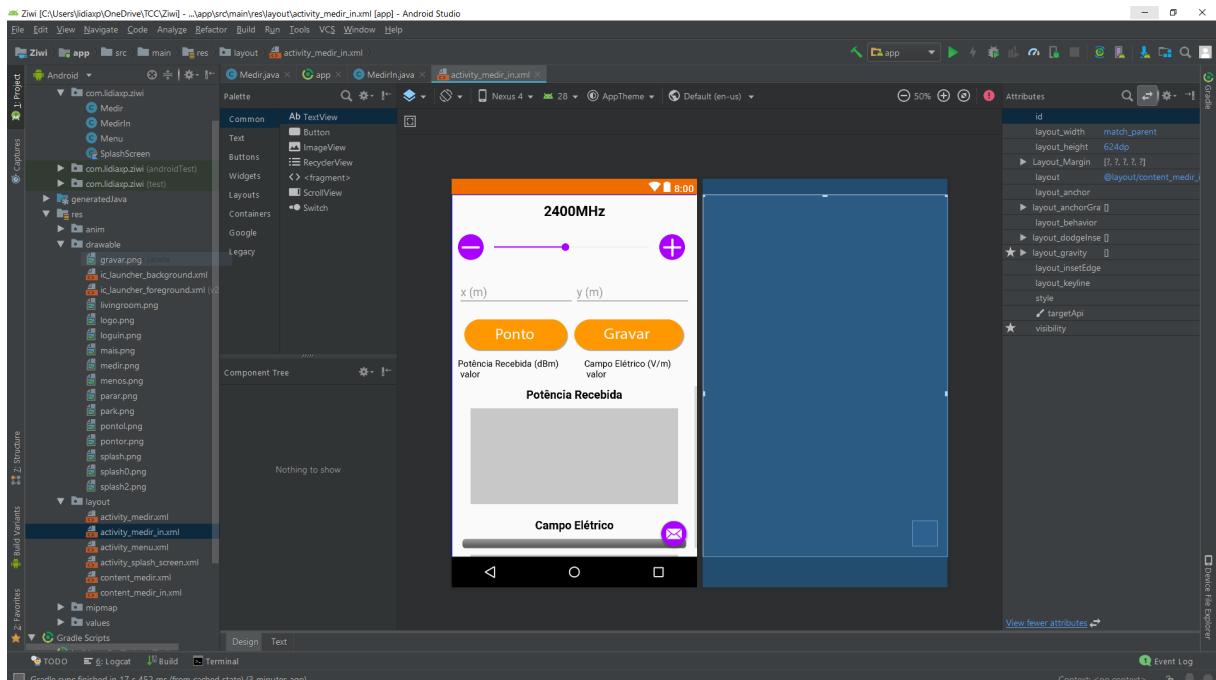
Figura 15: IDE do Android Studio



Fonte: Autora

outras, podem ser definidas no menu lateral direito, também por interface gráfica. No entanto, para configurar elementos mais complexos, como gráficos e tempo em que a tela fica acesa, só podem ser configurados alterando o arquivo *xml* diretamente.

Figura 16: IDE na Aba de Design do Android Studio



Fonte: Autora

### 3.3 Desenvolvimento Web

Existem diversas linguagens de programação capazes de construir um *website*. Para uma linguagem de programação ser capaz de colocar um *site* na *internet* ela precisa se comunicar com um *framework* web, compatível com a mesma, e seu código deve ser carregado em um servidor, com o objetivo de ficar disponível para qualquer usuário, em qualquer hora e local.

Este trabalho foi desenvolvido com a linguagem de programação *python*, na versão 3.6, e foi portado para web através do *framework Flask*. Durante os teste foi utilizado uma aplicação web que permite compilar códigos em *python*, o *jupyter notebook*, mas para a versão final foi utilizado o editor de texto *sublime 3*. Apesar do *back-end* ter sido baseado em *python*, foi utilizado *javascript* para criar os gráficos interativos do site, através do *plotly.js*.

Para desenvolver o *front-end* foi utilizado o *framework bootstrap*, com auxilio do HTML, *javascript* e css. O bootstrap visa o desenvolvimento de componentes de interface para aplicações web, baseado em modelos de design para a tipografia, melhorando a experiência do usuário em um site amigável e responsivo. Foi utilizado o bootstrap 4, o qual foi uma reescrita completa do bootstrap 3. Suas vantagens incluem componentes reutilizáveis, folhas de estilo com Sass e componentes responsivos para a construção de uma página web.

Quando o site foi desenvolvido foi necessário testá-lo no *localhost* antes de enviá-lo para ambiente de produção. Para isso, foi definido uma porta no servidor local para testar a aplicação. É importante enviar para um ambiente de desenvolvimento similar ao de produção para evitar erros ocasionais e testar a aplicação em diversas telas, assim como checar se todas as funcionalidades estão funcionando devidamente.

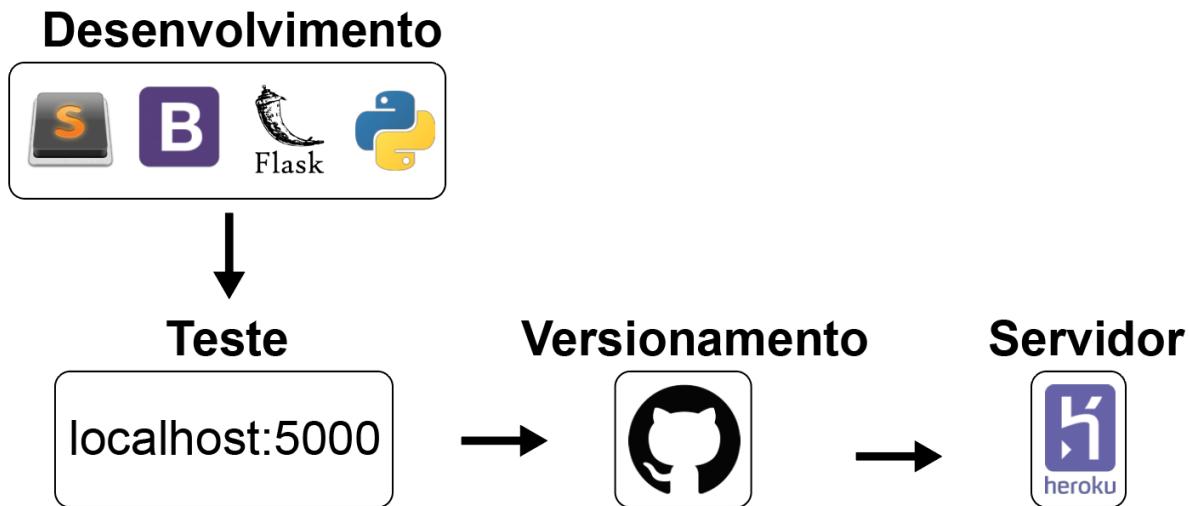
Após o *website* já estar funcionando em *localhost* será o momento de enviá-lo para um site de versionamento de códigos, o GitHub. O site possui a função de guardar todas as versões do código da aplicação, caso seja necessário voltar para alguma delas em um momento futuro.

O principal motivo de se usar o github nesse projeto é a sua alta compatibilidade com os outros serviços. O mesmo possui compatibilidade com o Heroku, o qual é um servidor em nuvem capaz de deixar o *website* funcionando ininterruptamente. Ao criar uma aplicação no heroku só é necessário informar qual o projeto do github deseja alojar e o servidor fará o processo automaticamente de deixar o site em ambiente de produção. O fluxograma de desenvolvimento pode ser visto na Figura 17.

#### 3.3.1 Python

*Python* é uma linguagem *open-source* criada em 1991 com o objetivo de aumentar a produtividade e a legibilidade nos códigos, por isso ela é uma linguagem interpretada, sendo diversas vezes comparada ao pseudocódigo executável (OLIPHANT, 2007). Também é capaz de rodar em diversas plataformas, permitindo desenvolvedores criarem códigos nela sem se preocupar se será possível utilizá-lo para ser o *back-end* de um jogo e depois utilizar o mesmo código para ser o *back-end* de um *website*, por exemplo.

*Python* vem sido bastante usado em *data science* por ser uma linguagem leve, que roda em qualquer lugar, e capaz de manipular um alto fluxo de dados. O que realmente chama a atenção de cientistas e engenheiros para utilizar o *Python* são suas bibliotecas externas (OLIPHANT, 2007), como o *Numpy* que permite uma implementação eficiente de cálculos através de cálculos de vetorização, evitando copiar dados na memória e minimizando contagens de operação (WALT; COLBERT; VAROQUAUX, 2011). E o *Pandas*, para a análise de dados e estatísticas, já que a mesma fornece rotinas integradas e intuitivas para realizar manipulações de dados comuns e análise desses conjuntos de dados (MCKINNEY, 2011).

Figura 17: Fluxo de Desenvolvimento para o *website*

Fonte: Autora

Como *Python* é uma linguagem que funciona em diversas plataformas e consegue manipular um grande fluxo de dados, a mesma foi escolhida para o desenvolvimento da aplicação.

Existem algumas IDEs para desenvolver em *python*, como o pycharm e o spider. Assim como é possível programar diretamente pelo terminal (prompt de comando). Por outro lado, a maneira mais conhecida de se desenvolver um *software* em *python* é através de blocos de notas, como o atom e o *sublime*. Esses blocos de notas foram desenvolvidos visando a programação, então é possível ver todos os diretórios e arquivos no menu à esquerda e selecionar a linguagem de programação, além de precisarem de menos processamento para funcionar. Ao definir a sintaxe que será usada no projeto, as palavras especiais terão uma coloração diferenciada, além de que a função de *auto complete* será ativada, que permite completar uma parte do código demasiadamente utilizada.

Ao usar editor de texto, o código será interpretado e completamente interpretado quando rodar o arquivo. No entanto, nos últimos anos foi desenvolvido uma ferramenta onde se executa apenas uma parte do código por vez, chamada *jupyter notebook*, a qual fornece todas as vantagens de um editor de texto. No momento de desenvolvimento, essa ferramenta é muito útil, pois permite checar cada trecho do código, sendo mais fácil descobrir onde está o erro.

Com a popularização do *jupyter*, a Google decidiu lançar um ambiente de desenvolvimento semelhante, o *google collab*. Esta ferramenta tem todas as vantagens do *jupyter notebook* e mais algumas. Como o *software* funciona *online*, é possível ter acesso a ele de qualquer lugar e de qualquer dispositivo. Além disso, como foi desenvolvido pela google, é possível utilizar a GPU e TPU, fornecida pela empresa, na IDE, o que auxilia para rodar códigos que exijam maior processamento, sem ser necessário um computador muito potente.

### 3.3.2 Heroku

*Heroku* é uma plataforma em nuvem baseada em sistemas de *containers* (containers) gerenciados, chamados de *dynos*, os quais são preparados para rodar e depurar sistemas *web* em diversas linguagens de programação (MIDDLETON; SCHNEEMAN, 2013). Sendo um serviço PaaS, tem por objetivo ajudar a criar, hospedar e gerir um soft-

ware próprio. Oferecendo gerenciamento e acesso a um grande volume de dados extensos e complexos, bem como a atualização e acesso aos aplicativos hospedados na rede via dispositivos móveis (XU, 2012).

Desenvolvedores de aplicações contam com abstrações de *software* para simplificar o desenvolvimento e aumentar a produtividade. Visando a execução de aplicativos, a conteinerização abstrai o trabalho de gerenciar *hardware* ou máquinas virtuais. Em vez de gerenciar, é possível implantar um aplicativo no *heroku*, que empacota o código e as dependências do aplicativo em contêineres - ambientes leves e isolados que fornecem processamento, memória, sistema operacional e um sistema de arquivos efêmero. Os contêineres geralmente são executados em um *host* compartilhado, mas são completamente isolados uns dos outros (KEMP; GYGER, 2013).

A plataforma *heroku* usa o modelo de contêiner para executar e dimensionar todos os aplicativos. Os contêineres usados no *heroku* são chamados de *dynos*. *Dynos* são contêineres Linux isolados e virtualizados projetados para executar código com base em um comando especificado pelo usuário. Seu aplicativo pode ser dimensionado para qualquer número especificado de *dynos* com base em suas demandas de recursos. Os recursos de gerenciamento de contêineres do *heroku* fornecem uma maneira fácil de dimensionar e gerenciar o número, o tamanho e o tipo de *dynos* que o aplicativo pode precisar, a qualquer momento (MIDDLETON; SCHNEEMAN, 2013).

*Dynos* são os blocos de construção que auxiliam todos os aplicativos no *heroku*, do simples ao sofisticado. Implantar em *dynos* e confiar no gerenciamento da *heroku* facilita a criação e a execução de aplicativos flexíveis e escalonáveis. Desse modo o desenvolvedor não precisa se preocupar com o gerenciamento de infraestrutura, podendo se concentrar na criação e execução de *softwares* (MIDDLETON; SCHNEEMAN, 2013).

Para utilizar o servidor da *heroku* é possível instalar a CLI no computador e realizar todas as ações pelo terminal (prompt de comando). Também é possível importar um projeto do github, o qual irá acontecer a implantação automática do código no servidor, e dentro de alguns minutos o site estará rodando no servidor da *heroku*.

### 3.3.3 Flask

O *Flask* é um micro *framework* web, desenvolvido em *python*. Ou seja, fornece ferramentas, bibliotecas e tecnologias que permitem criar um aplicativo na web. Micro *frameworks* são estruturas com pouca ou nenhuma dependência de bibliotecas externas. Deixando-o leve, tendo poucas dependências para atualizar e observar os *bugs* de segurança. No entanto, durante o desenvolvimento, provavelmente, será necessário adicionar novos *plugins* (VOGEL et al., 2017).

O *framework* utiliza uma *engine* de *templates*. Desse modo, é possível definir um *layout* básico para as páginas e mencionar qual elemento será alterado. Dessa forma, será possível definir o cabeçalho uma vez e mantê-lo consistente em todas as páginas do site, se for necessário alterar o cabeçalho, será preciso alterá-lo em apenas um lugar. Esse mecanismo economiza muito tempo ao criar uma aplicação, atualizá-la e mantê-la (VOGEL et al., 2017).

*Flask* é baseado em *Werkzeug*, *Jinja 2* e *good intentions*. *WerkZeug* é uma biblioteca para desenvolvimento de aplicações WSGI que é a especificação universal de como deve ser a interface entre um app *python* e um *web server*. Possui a implementação básica deste padrão para interceptar *requests* (requisições) e lidar com *response* (respostas), controle de cache, *cookies*, *status* HTTP, roteamento de urls e também possui uma ferramenta de *debug*. Além disso o *werkzeug* possui um conjunto de *utils* (utilidades) que os projetos para a web (LOKHANDE et al., 2015).

*Jinja2* é uma *engine* de *templates* escrita em *python*. É possível escrever *templates* utilizando marcações como a vista em *exemploFlask.html*. O *jinja* se encarrega de

renderizar o *template*, ou seja, ele substitui os *placeholders* pelo valor de suas variáveis. O *jinja2* já vem com a implementação da maioria das ferramentas necessárias na construção de *templates html*, além disso é muito fácil de ser customizado com outros *templates* (LOKHANDE et al., 2015).

```
1 % for nome in listaDeNomes %
2   Hello {{nome}}!!
3 % endfor %
```

exemploFlask.html

*Good Intentions* integra o *flask* ao *python*. Além do código ter alta qualidade nos quesitos de legibilidade, o *framework* também tenta seguir as premissas do *python* e dentro dessas boas intenções, há o fato dele ser um micro *framework*. Característica que traz mais liberdade para estruturar a aplicação da maneira que desejar. Tem os padrões de projeto e extensões que auxiliam no crescimento da aplicação. Há *blueprints* para que seja reaproveitado os módulos desenvolvidos. Além de possuir uma comunidade bastante ativa, que compartilha diversos projetos de extensão de código aberto como o *Flask Admin*, *Flask-Cache*, *Flask-Google-Maps*, *Flask-Mongoengine*, *Flask-SQLAlchemy*, *Flask-Login*, *Flask-Mail*, entre outros (LOKHANDE et al., 2015).

Como o *flask* é um micro *framework* leve e pouco invasivo a um código que já foi desenvolvido em *python*, optou-se por utilizá-lo como *back-end* para o *website*.

### 3.3.4 GitHub

Para entender o *github*, deve-se primeiro compreender o *git*. O *Git* é um sistema de controle de versão de código aberto que foi desenvolvido pelo criador do *Linux*. O *git* é semelhante a outros sistemas de controle de versão, como o *CVS* e *Mercurial* (TSAY; DABBISH; HERBSLEB, 2014).

O *git* é um sistema de controle de versão, ou seja, sempre que for feita alguma alteração no código, o sistema irá manter as alterações, armazenando-as em um repositório central. Desse modo, permitindo que desenvolvedores colaborem facilmente, pois será possível fazer o *download* de uma nova versão do *software*, fazer alterações e fazer o *upload* da versão mais recente. Todo desenvolvedor pode ver as novas alterações, baixá-las e contribuir. Da mesma forma, as pessoas que não colaboraram com o desenvolvimento de um projeto ainda podem baixar os arquivos e usá-los (TSAY; DABBISH; HERBSLEB, 2014).

Sendo o sistema de controle de versão mais utilizado pelos desenvolvedores (VASILESCU; FILKOV; SEREBRENIK, 2013), já que possui múltiplas vantagens em relação aos outros sistemas disponíveis. É possível armazenar as alterações de arquivos com mais eficiência e garantir a integridade dos arquivos (TSAY; DABBISH; HERBSLEB, 2014). Além de ser uma ferramenta de linha de comando. Onde os desenvolvedores armazenam seus projetos e se relacionam com as pessoas é no *github*. Ou seja, o *github* é a plataforma *online* onde fica centralizado todas as versões dos códigos dos usuários (VASILESCU; FILKOV; SEREBRENIK, 2013).

Pode ser criado repositórios no *github*, o qual pode armazenar todos os arquivos de um projeto específico. Cada projeto tem seu próprio repositório e pode ser acessado com uma url exclusiva. Há uma ferramenta chamada *fork*, sendo utilizada para criar um novo projeto baseado em outro projeto que já existe. Este é um recurso que incentiva o desenvolvimento de programas e novos projetos. Caso seja necessário alterar um projeto de outro dono é possível criar um *fork*, fazer as alterações desejadas e liberar o projeto em um novo repositório. Caso o repositório original atualize o projeto, será possível adicionar as modificações aos *forks* facilmente.

Caso seja necessário atualizar o repositório original é possível fazer solicitações *pull request* para o dono do projeto. Os autores do projeto poderão analisar as modifica-

ções e decidir se irá adicioná-lo ao projeto oficial. Se for aceito o repositório oficial será alterado, dando reconhecimento para o desenvolvedor pois estará na lista de contribuidores do projeto. Quando diversas pessoas colaboram com um projeto, é difícil acompanhar todas as modificações, como quem alterou, a data e onde os arquivos estão armazenados. O github mantém uma linha temporal com todas essas informações, incluindo de quem deu *fork* do projeto e em que parte.

Há duas maneiras de inserir um código no github. É possível fazer todo o processo através da interface gráfica no site, criando um repositório e fazendo *upload* dos arquivos. No entanto, essa maneira tem uma limitação de 100 arquivos por *upload*. Também é possível atualizar o repositório através do git, que pode ser usado através do terminal (prompt de comando) ou pelo seu aplicativo próprio, onde só será necessário criar o repositório pela interface gráfica. Em seguida, poderá inserir, deletar, atualizar os arquivos por linha de comando, aumentando a velocidade no projeto.

## 3.4 Desenvolvimento do Banco de Dados

Um banco de dados é uma coleção de informações que é organizada para que possa ser facilmente acessada, gerenciada e atualizada. Um gerenciador de banco de dados fornece aos usuários a capacidade de controlar o acesso de leitura e gravação e analisar o uso. Os bancos de dados evoluíram desde a sua criação, começando com bancos de dados hierárquicos e de rede até bancos de dados relacionais e não relacionais (NoSQL), podendo ser em nuvem ou não (CATTELL, 2011).

Um banco de dados em nuvem opera de forma semelhante aos que operam em servidores locais. A diferença está onde o banco de dados reside. Em um servidor local há uma sala destinada para guardar discos rígidos, a qual precisa de uma infraestrutura específica. Já um banco de dados em nuvem, o desenvolvedor utiliza o armazenamento de outra pessoa, não precisando se preocupar com a infraestrutura física do mesmo (SOUZA et al., 2010). Exemplo de empresas que alugam espaço em seus servidores são a Amazon e a Google.

O NoSQL é uma abordagem ao *design* de banco de dados que pode armazenar uma ampla variedade de modelos de dados, incluindo documentos, colunas e imagens. O NoSQL significa "não apenas SQL", é uma alternativa aos bancos de dados relacionais tradicionais, nos quais os dados são colocados em tabelas e o esquema de dados é projetado antes de sua criação. Bancos de dados NoSQL focados em grandes conjuntos de dados distribuídos (CATTELL, 2011).

Foi utilizado o *firebase* como banco de dados que é um banco de dados não relacional em nuvem, sendo um BaaS que começou como uma *startup* e cresceu em uma plataforma de desenvolvimento de aplicativos, o *Google Cloud Platform*. O *firebase* é um servidor, uma API e o local para armazenamento de dados. Desse modo, eliminando as tarefas de gerenciar servidores e desenvolver APIs dos desenvolvedores, fazendo-os focar apenas na experiência do usuário ao usar a aplicação (LI et al., 2018).

Para desenvolver o Ziwi foi utilizado o banco de dados em tempo real do *firebase*, o qual é um banco de dados NoSQL hospedado na nuvem que permite armazenar e sincronizar dados entre seus usuários em tempo real. A sincronização em tempo real facilita o acesso dos usuários aos dados a partir de qualquer dispositivo, sendo web ou um dispositivo móvel. Uma vantagem do uso do banco em tempo real do *firebase* é que quando os usuários ficam *offline*, os SDKs do banco utilizam o cachê local do dispositivo para armazenar as alterações. Quando o dispositivo fica *online*, os dados locais são automaticamente sincronizados (ALSALEMI et al., 2017).

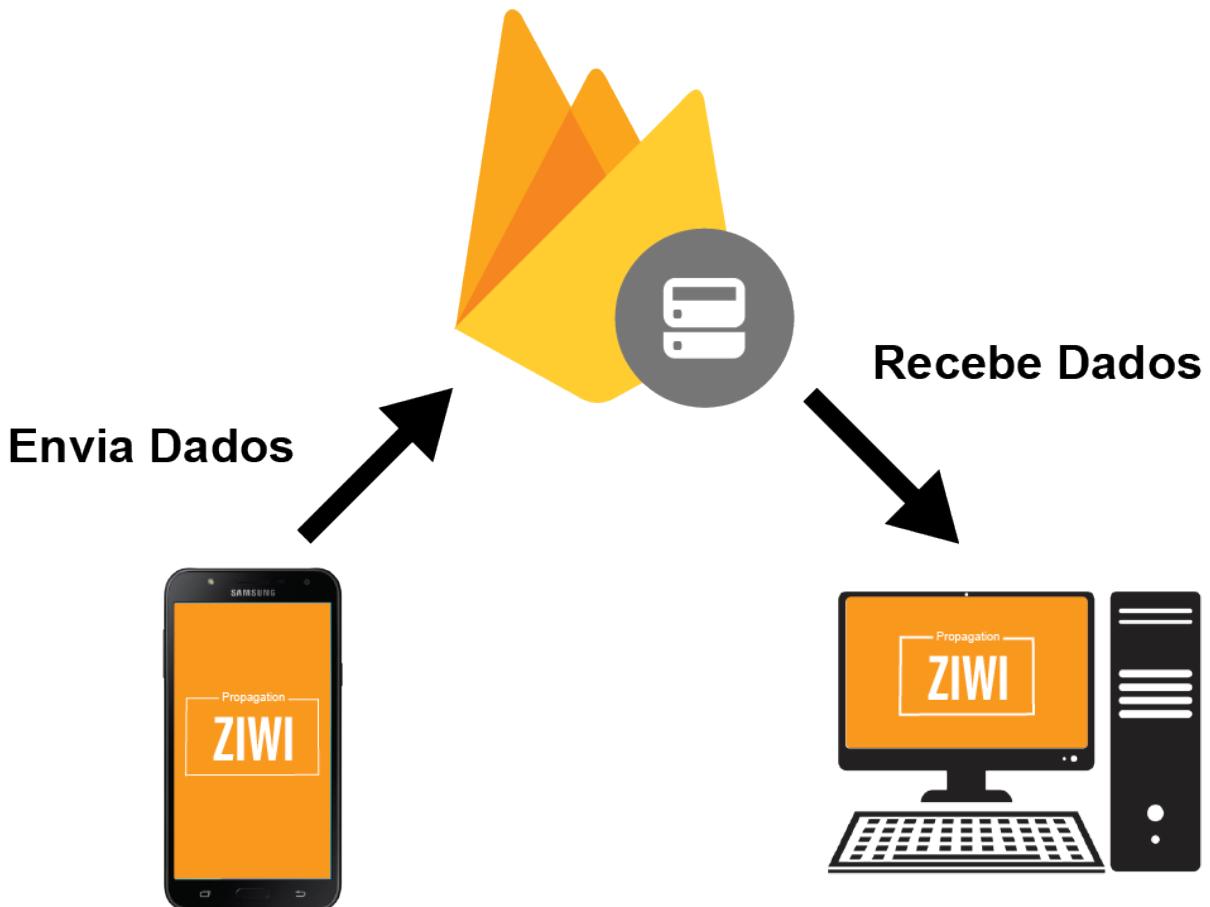
Na maioria dos bancos de dados são exigidas chamadas HTTP para obter e sincronizar os dados, sendo que os dados só são fornecidos quando solicitados. Ao usar um app com o *firebase* está sendo realizada uma conexão através de um *websocket*, sendo

mais rápidos que uma requisição HTTP. Não é necessário fazer chamadas individuais para um *websocket*, pois a conexão de soquete é suficiente. Todos os dados serão sincronizados automaticamente por um único *websocket*. O *Firebase* envia novos dados assim que são atualizados. Ao salvar uma nova alteração nos dados, todos os clientes conectados recebem os dados atualizados quase instantaneamente (ALSALEMI et al., 2017).

O banco de dados conectado diretamente ao aplicativo *mobile* do Ziwi é o do *firebase* em tempo real. Desse modo, sempre que é feita alguma gravação, os dados são enviados para a base de dados na nuvem, podendo ser um dado *indoor* ou *outdoor*.

Também é possível recuperar esses dados do servidor através de um *script* desenvolvido em *python* que ficará disponível para o laboratório de computação e telecomunicação da UFPA, visando auxiliar em pesquisas futuras. O *script* acessa o *firebase* com as credenciais e realiza o download das medições *indoor* e *outdoor*. O fluxo de funcionamento do banco de dados pode ser visto na Figura 18.

Figura 18: Fluxo de Funcionamento do Banco de Dados



Fonte: Autora

## 3.5 Desenvolvimento em Realidade Virtual

A realidade virtual tem por objetivo inserir o usuário em um ambiente fictício criado pela aplicação, trocando a realidade atual pela qual foi inserido. Dessa maneira é possível obter maior interatividade do cliente com o que está sendo proposto. A maior diferença entre a realidade e a realidade virtual é que na virtual o utilizador possui total

do controle do que está acontecendo, então pode ser possível voar, nadar, correr na água, de acordo com as necessidades da aplicação (JERALD et al., 2014).

Unity é uma *engine* para desenvolvimento de jogos que utiliza *javascrip* ou C. Capaz de construir jogos para *desktops*, celulares, *tablets*, *consoles* e navegadores (BLACKMAN, 2013). Neste projeto utilizou-se o unity 3D, onde a IDE pode ser vista na Figura 19, para construir o ambiente em realidade virtual. A aplicação foi construída em C, mas faz requisição ao servidor em *Python* do *framework* Ziwi.

Uma *engine* de jogo é um *framework* de desenvolvimento de jogos que suporta e reúne várias áreas importantes. É possível importar gráficos e recursos 2D e 3D de outros *softwares*, como *Maya*, *Blender* ou *Photoshop*, montá-los em cenas e ambientes, adicionar iluminação, áudio, efeitos especiais, física e animação, interatividade e lógica de jogo. Também sendo possível editar, depurar e otimizar o conteúdo para suas plataformas de destino (CRAIGHEAD; BURKE; MURPHY, 2008).

Já a definição de realidade virtual é oriunda das definições de ambas palavras. Sendo a primeira o que vivenciamos como seres humanos, e a segunda se refere a proximidade do que é real. Portanto, o termo "realidade virtual" significa basicamente "quase realidade", o que geralmente se refere a um tipo específico de emulação de realidade (STEUER, 1992).

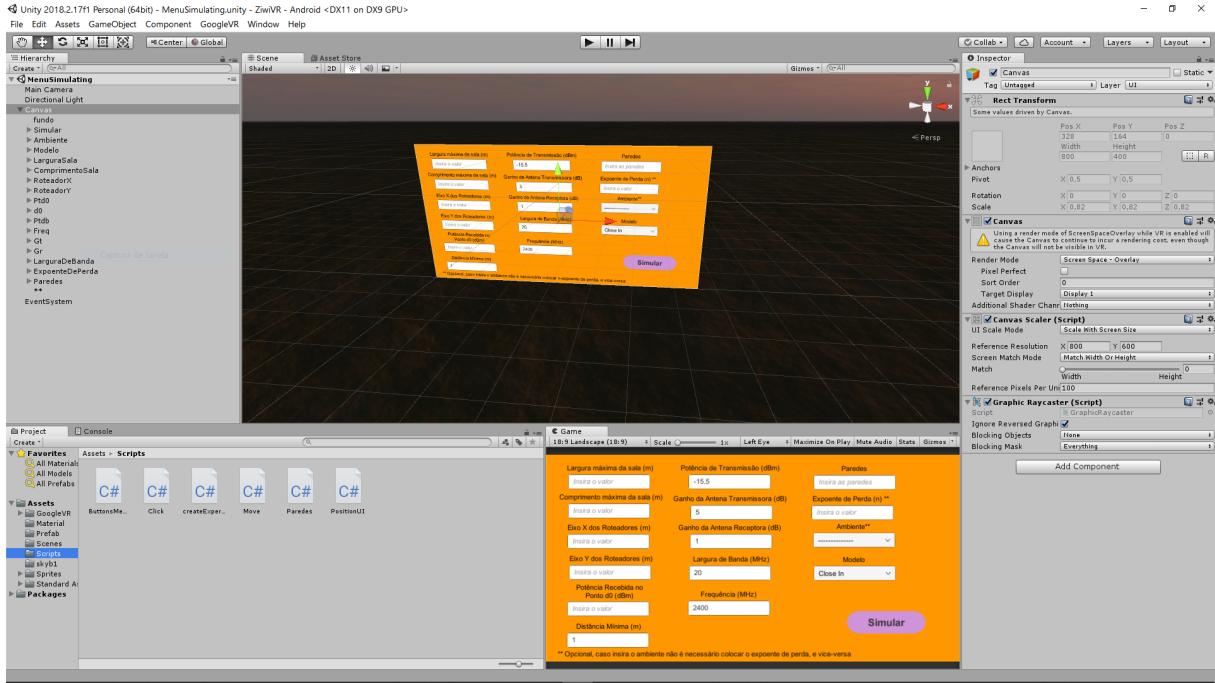
O conhecimento sobre a realidade se vem através dos sentidos do corpo humano. Em outras palavras, a experiência da realidade é uma combinação de informações sensoriais e de mecanismos do cérebro para criação de sentido dessa informação. Sendo assim, caso apresente aos sentidos informações criadas, a percepção da realidade mudaria em resposta aos dados, apresentando ao usuário uma realidade que não existe (STEUER, 1992).

Em outras palavras, a realidade virtual implica em apresentar aos sentidos um ambiente tridimensional gerado por computador, que pode ser explorado e interagido por uma pessoa. O usuário se torna parte do mundo virtual ou está imerso nesse ambiente e, enquanto está lá, é capaz de manipular objetos e realizar uma série de ações. Se uma implementação de realidade virtual consegue obter a combinação de *hardware*, *software* e sincronicidade sensorial, é alcançado algo conhecido como um senso de presença. Onde o usuário realmente se sente como se estivesse presente naquele ambiente (STEUER, 1992).

Existem diversos tipos de sistemas de realidade virtual, mas todos compartilham as mesmas características, como a capacidade de permitir que a pessoa visualize imagens tridimensionais. Essas imagens parecem em tamanho natural para a pessoa. Além disso, eles mudam à medida que a pessoa se move em torno de seu ambiente, o que corresponde à mudança em seu campo de visão. O objetivo é uma junção perfeita entre a cabeça da pessoa e os movimentos dos olhos e a resposta apropriada, por exemplo, mudança na percepção. Isso garante que o ambiente virtual seja realista e agradável (BURDEA; COIFFET, 2003).

O Google VR é o SDK de desenvolvimento em realidade virtual da Google para o Unity. É a tecnologia por trás das plataformas Google *Daydream* e Google *Cardboard VR*. Com ele é possível criar aplicações em realidade virtual. As vantagens de se utilizar esse SDK é que o aplicativo gerado por ele pode ser rodado em qualquer celular, sendo assim a maioria dos usuários tem acesso a aplicação (LINOWES, 2018). Outros SDK exportam aplicativos em realidade virtual que precisam de um *hardware* específico para funcionar, e algumas vezes, muito processamento no computador. Nos *softwares* desenvolvidos com esse SDK será necessário apenas *cardboard*, ou similares, os quais funcionam apenas pelo jogo de lente do óculos, sem necessitar de bateria externa ou do celular (MACISAAC, 2015).

Figura 19: IDE do Unity



Fonte: Autora

## 3.6 Algoritmo Genético

Neste trabalho um gene foi representado pelos pontos X e Y de cada roteador, tendo como *fitness* o nível de cobertura do ambiente. O nível de cobertura é definido de acordo com a potência recebida, e o usuário pode definir qual será a melhor para o seu projeto. Sendo assim, o melhor cromossomo será o que apresentar maior cobertura do ambiente de acordo com a potência recebida definida pelo usuário.

Tendo o cromossomo e seu modo de avaliação foi possível aplicá-lo a um algoritmo genético (AG), o qual, em cada interação, realizou a seleção pelo método do torneio, o *crossover* por máscara binária e uma mutação a uma taxa de 0.1, considerando o elitismo. Cada população tem o tamanho de 100 cromossomos. O número de gerações para a simulação será definido pelo usuário, sendo que quanto mais gerações mais preciso será, no entanto, levará mais tempo.

## 3.7 Considerações Finais

Nessa seção, foram apresentadas as principais ferramentas escolhidas e utilizadas no desenvolvimento da ferramenta de simulação do presente trabalho, bem como as vantagens e o que motivou a escolha de cada ferramenta. Além de ter sido apresentado a maneira de que cada tecnologia foi implementada no simulador.

---



---

## CAPÍTULO 4

---

### *Framework Desenvolvido*

#### 4.1 Ziwi

A modelagem de canal de rádio pode ser feita através de algumas medições, com o intuito de analisar o cenário e definir como o sinal está se comportando no ambiente, simulando os dados com modelos de propagação presentes na literatura, com o objetivo de analisar melhor o ambiente e o comportamento do sinal. Ziwi é uma ferramenta que disponibiliza ao usuário comunicação entre seus *softwares*, tornando o trabalho de modelagem e análise mais fácil.

#### 4.2 Aplicativo

O início da modelagem de canal de rádio depende da medição do ambiente. O aplicativo *mobile* tem a função de realizar as medições do ambiente, sendo compatível com os outros *softwares* do Ziwi visando agilizar o processo de planejamento de redes. Além de conseguir capturar até 20 pontos por segundo.

O aplicativo do Ziwi é capaz de realizar medições do sinal *indoor* e *outdoor*. Sendo exibido ao usuário, no modo *indoor*, o gráfico de potência recebida e campo elétrico dos últimos 30 segundos, além de mostrar ambos valores em tempo real. Já no modo *outdoor*, é possível acompanhar o sinal em tempo real, tendo como histórico os últimos 30 segundos no gráfico, da potência recebida, da intensidade do campo elétrico e do RSRQ.

##### 4.2.1 Modo *Indoor*

A interface do modo *indoor* foi desenvolvida visando otimizar o tempo do planejador de redes, visto na Figura 20. Primeiramente deve-se definir a frequência da antena transmissora, a qual foi fixada em 2400 e 5200 MHz, principais frequências do WiFi, visando minimizar os erros dos usuários. Os valores da frequência da antena transmissora será usado apenas para realizar o cálculo da intensidade do campo elétrico. Logo em baixo há duas caixas de entrada, onde devem ser definidos os pontos X e Y da medição.

Figura 20: Modo *Indoor* do Aplicativo

Fonte: Autora

Abaixo existe dois botões, "Ponto" e "Gravar". O primeiro botão tem a função de ir salvando cada ponto. A cada coordenada inserida deve-se clicar nesse botão, então o mesmo ficará roxo até que clique novamente nele para parar as medições nesse ponto, podendo repetir o processo diversas vezes. Já o segundo botão tem a finalidade abrir o arquivo *txt* onde serão gravados os dados, indicando o início da medição. Para terminar a gravação é necessário clicar novamente no botão "Gravar" para salvar os arquivos e finalizar as medições, consequentemente, enviando os dados para o banco de dados do *firebase*.

Embaixo há os valores de potência recebida, em dBm, e campo elétrico, em V/m, em tempo real. Depois há dois gráficos. Os dois mantém o histórico dos últimos 30 segundos de dados, sendo o primeiro de potência recebida e o segundo da intensidade do campo elétrico. Há cada segundo são gravados aproximadamente 20 pontos. Acima do gráfico da intensidade do campo elétrico há uma barra, que tem a finalidade de indicar a radiação nociva dos sinais eletromagnéticos no ambiente, segundo a Anatel (ANATEL, 2019). Quando a barra ficar vermelha significa que o valor da intensidade do campo eletromagnético está nocivo ao ser humano.

Os dados são gravados automaticamente na memória interna do celular e no banco de dados do *framework*. No entanto, caso o usuário deseje enviar os dados para o seu *email* para garantir que não se perca e organizá-los, é possível destinar a um endereço de *email* clicando no botão roxo, no lado inferior direito da tela.

#### 4.2.2 Modo *Outdoor*

A interface do modo *outdoor* foi desenvolvida visando otimizar o tempo do planejador de redes, visto na Figura 21. Primeiramente deve-se definir a frequência do antena

transmissora, a qual foi fixada em 700, 1800 e 2500 MHz, principais frequências do LTE, visando minimizar os erros dos usuários. Os valores da frequência da antena transmissora será usado apenas para realizar o cálculo da intensidade do campo elétrico.

Figura 21: Modo *Outdoor* do Aplicativo



Fonte: Autora

Abaixo há os valores de potência recebida, em dBm, campo elétrico, em V/m, e RSRQ, em dB, em tempo real. Ao lado desses valores está o botão "Gravar", o qual irá iniciar a gravação, abrindo o arquivo *txt* na memória interna do celular, e ao clicar novamente no botão, a gravação será finalizada e os dados serão salvos na memória do dispositivo e no banco de dados do *firebase*.

Depois há três gráficos. os três mantém o histórico dos últimos 30 segundos de dados, sendo o primeiro de potência recebida, o segundo da intensidade do campo elétrico e o terceiro de RSRQ. Há cada segundo são gravados aproximadamente 20 pontos. Acima do gráfico da intensidade do campo elétrico há uma barra, que tem a finalidade de indicar a radiação nociva dos sinais eletromagnéticos no ambiente, segundo a Anatel (ANATEL, 2019). Quando a barra ficar vermelha significa que o valor da intensidade do campo eletromagnético está nocivo ao ser humano.

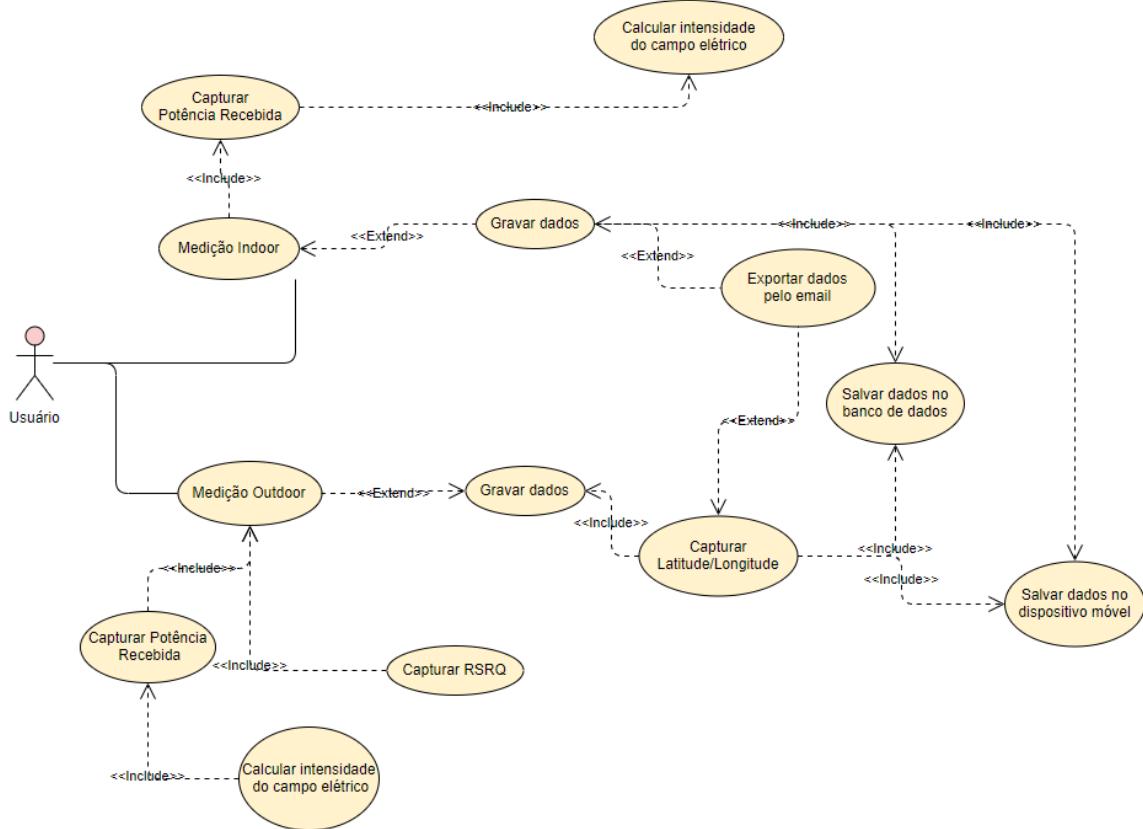
Os dados são gravados automaticamente na memória interna do celular e no banco de dados do *framework*. No entanto, caso o usuário deseje enviar os dados para o seu *email* para garantir que não se perca e organizá-los, é possível destinar a um endereço de *email* clicando no botão roxo, no lado inferior direito da tela.

#### 4.2.3 Diagramação do *Software*

Foi adotado uma abordagem *top-down* no desenvolvimento da ferramenta, que consiste em partir de uma visão geral, final e resumida das funcionalidades do sistema

para então ir detalhando seus subcomponentes e suas funcionalidades mais básicas. Na Figura 22 mostra o diagrama de caso de uso para o aplicativo *mobile*, capaz de realizar as medições do sinal, o qual serviu como base para o detalhamento da estrutura da ferramenta.

Figura 22: Diagrama de Caso de Uso do Aplicativo

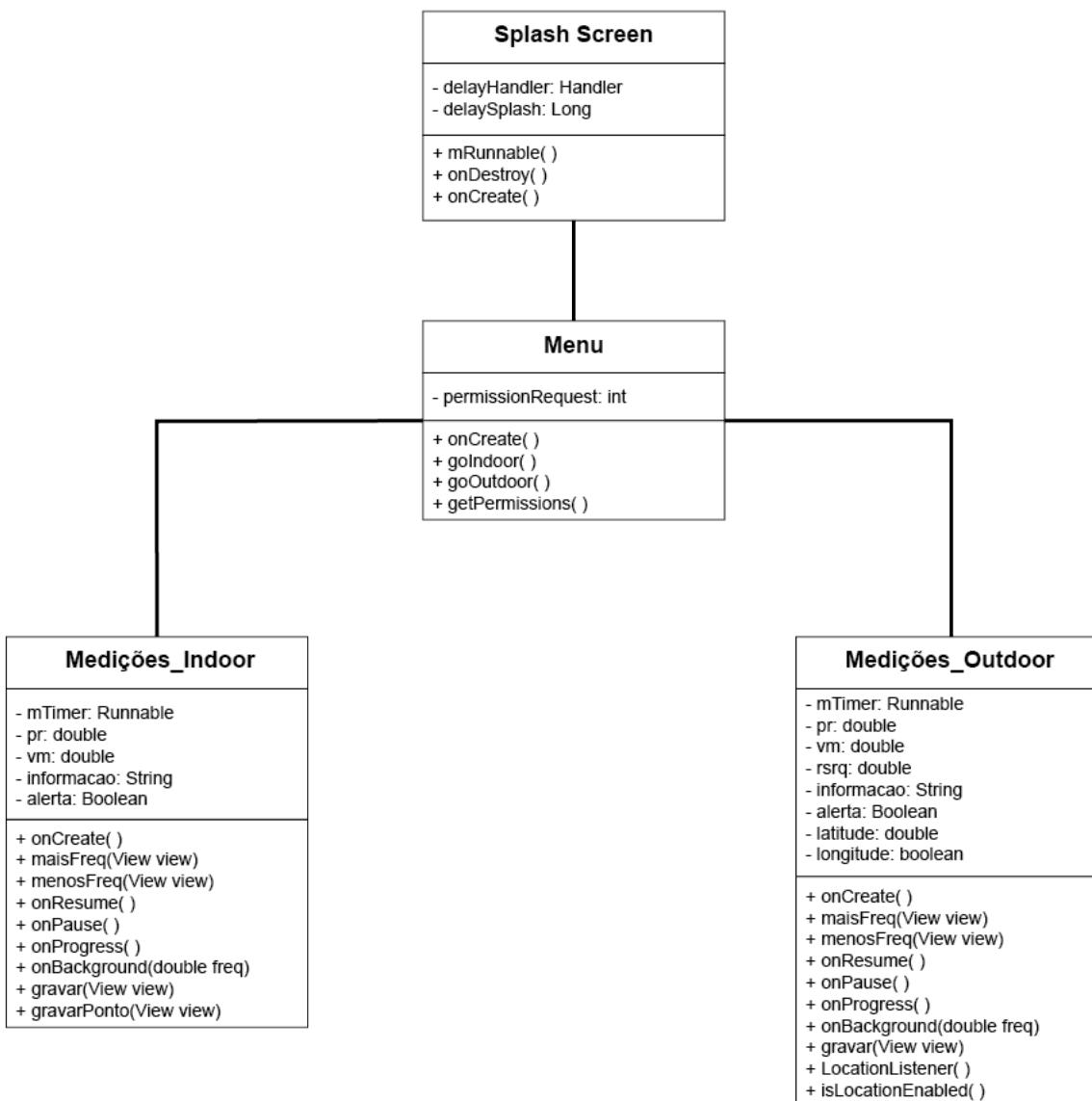


Fonte: Autora

No *software* em questão há apenas um *stackholder*, sendo ele o usuário interessado em realizar a medição do sinal, e é esse o usuário que está sendo demonstrado no diagrama. Tendo apenas duas funções básicas que seria a medição *indoor* e *outdoor*. As quais são subdivididas em outras funções obrigatórias, mostradas como *include*, usado quando sempre for a ver o relacionamento entre as ações, como a opção de gravar dados quando se entra no modo de medição *indoor*. Podendo também existir funções opcionais, denominadas por *extend*, ou seja, nem sempre haverá relacionamento entre as funções, como a opção de enviar os dados por email, já que o usuário poderá gravar os dados, mas não será obrigatório o envio do mesmo pelo email.

Na Figura 23 está sendo apresentado o diagrama de classes do aplicativo de medição do Ziwi. Onde a primeira classe a ser executada é a de *splash screen*, a qual utiliza *handler* para realizar um *delay* do sistema enquanto é feita uma animação da logo. A segunda classe é o menu, o qual serve para ser conexão entre os dois principais modos do *software*, de medição *indoor* e *outdoor*. Além de armazenar os métodos de permissão do sistema, como as permissões de acesso da localização e armazenamento de arquivo na memória interna do dispositivo.

Figura 23: Diagrama de Classe do Aplicativo



Fonte: Autora

Depois o usuário poderá escolher se irá realizar a medição *indoor* ou *outdoor*. As classes são bem semelhantes entre si, funcionando a partir de *runnable* na função *onBackground* para realizar os cálculos de intensidade do campo elétrico em segundo plano e disponibilizar os gráficos em tempo real de cada métrica disponível. Tendo funções para gravar os pontos e aumentar e diminuir a frequência. Além disso, faz uso das funções *onPause* e *onResume* para sempre capturar os dados do sinal e expô-los em tempo real para o usuário. Por fim, possui a variável informação, onde será armazenado os dados para os arquivos *txt* e para o banco de dados. E uma variável alerta que fica checando o valor da intensidade do campo elétrico, observando se passa dos valores permitidos pela Anatel, com o objetivo de avisar o usuário caso isso ocorra.

A principal diferença entre os dois modos é que em medição *outdoor* a posição do usuário é de acordo com a latitude e longitude do local. Por isso, é utilizado o método *LocationListener* para a captura da posição do usuário em tempo real. Em ambos os casos, a função de enviar os dados por email fica no método *onCreate* que supervisiona

as ações enviadas para o botão flutuante da tela.

## 4.3 Website

O site é o ponto central de comunicação entre todos os *softwares*, capaz de realizar todos os cálculos necessários para a visualização dos modelos. O site do Ziwi é capaz de realizar comparação entre os principais modelos de propagação, gerar mapas de calor, informar os valores do expoente de perda e desvio padrão, criar os cenários dos ambiente *indoor*, além de otimizá-los através do algoritmo genético, visando o melhor planejamento de redes, com o menor tempo necessário.

### 4.3.1 Modo *Indoor*

O modo *indoor* do site é a principal ferramenta do Ziwi. Nele é possível calcular o expoente de perda e desvio de padrão. Gerar mapa de calor de todos os modelos *indoor* disponíveis na ferramenta, os quais mostram os valores de potência recebida, perda de percurso, SNR, SINR, intensidade do campo elétrico e capacidade do canal. Realizar comparação entre os principais modelos *indoor*. No próprio *software* é possível desenhar o cenário que deseja simular. Além de poder otimizar o cenário através do algoritmo genético, considerando ou não a posição das tomadas do ambiente. Os modelos de propagação disponíveis no modo *indoor* são: *Floating Intercept*, *Close In*, Motley Keenan e ITU-R P.123-8.

#### 4.3.1.1 Mapas de Calor

Os mapas de calor serão gerados de acordo com o modelo de propagação escolhido. As informações necessárias, como visto na Figura 24, são: largura e comprimento máximo da sala (m), eixo X e Y dos roteadores (m) e a potência recebida no ponto d0 (dBm). Há informações que também são necessárias, mas já vem pré-definidas, podendo ser mudadas, sendo elas: distância mínima da medição (m), potência de transmissão (dBm), frequência (MHz), ganho da antena transmissora e receptora (dBi), largura de banda (MHz) e o modelo que deseja simular. Onde os dados das antenas transmissoras e receptoras são utilizadas para calcular a potência efetivamente irradiada.

Há dois espaços para fazer *upload* de arquivos. Nos “Arquivo com as Medições” deve-se colocar os arquivos oriundos do aplicativo Ziwi, sendo esse campo necessário apenas se o ambiente não for definido ou se o modelo *floating intercept* esteja sendo usado. Já em “Inserir o Arquivo com as Paredes” deve-se inserir o arquivo gerado pela parte de criação de cenários, disponível no próprio site, sendo esse campo necessário apenas se utilizar o modelo Motley Keenan.

O modelo Motley Keenan é capaz de simular o ambiente considerando a perda de percurso nas paredes e janelas, por isso é necessário o arquivo com o cenário, para se saber as posições das paredes e qual seu material, com o objetivo de calcular a perda. No entanto, esses valores foram definidos experimentalmente para as frequências de: 1.8, 2.4 e 5.5 GHz, como visto na Tabela 4. Então ao simular um ambiente com o modelo Motley Keenan será utilizado os valores de perda para a frequência mais próxima da utilizada pelo usuário.

Ao clicar no botão “Simular” será simulado um ambiente interno de acordo com as informações fornecidas. Com isso será gerado uma nova seção no site com o resultado. O usuário será levado até ele automaticamente. No resultado será exibido um slide contendo mapas de calor da perda de percurso, potência recebida, SNR, SINR, intensidade do campo elétrico e capacidade do canal. Os mapas podem ser baixados em um *zip* através do botão escrito “Downlaod”.

Figura 24: Tela onde Insere os Dados para Gerar os Mapas de Calor

Largura Máxima da Sala (m)

Comprimento Máximo da Sala (m)

Eixo X dos Roteadores (m)

Ex: 5.5,8,7,3  
Adicione os roteadores depois de vírgulas e não coloque espaço

Eixo Y dos Roteadores (m)

Ex: 5.5,8,7,3  
Adicione os roteadores depois de vírgulas e não coloque espaço

Potência Recebida no Ponto d0 (m)

Distância Mínima (m)

15

2400

Frequência (MHz)

Ganho da Antena Transmissora (dB)

Ganho da Antena Receptora (dB)

Largura de Banda (MHz)

Ambiente

Arquivo com as Medidas (.txt)

Inserir o Arquivo com as Paredes (.txt)

Modelo

Simular

Fonte: Autora

### 4.3.1.2 Cálculos e Comparações

No modo *indoor* há o módulo capaz de comparar os principais modelos de propagação com os dados medidos, além de realizar os principais cálculos, sendo eles o valor do expoente de perda e o desvio padrão em relação aos dados medidos. Para isso, é necessário inserir alguns dados, como visto na Figura 25. Sendo eles o ponto X e Y do roteador (m), o ambiente onde ocorreu as medições e o arquivo de medição *indoor*, gerado pelo aplicativo *mobile* do Ziwi. Algumas informações já vem pré-definidas, mas podem ser mudadas de acordo com a necessidade do usuário, sendo elas: frequência (MHz), distância em que foi medido o primeiro ponto (m), potência de transmissão (dBm) e o ganho da antena receptora e transmissora (dB). Onde os dados das antenas transmissoras e receptoras são utilizadas para calcular a potência efetivamente irradiada.

Figura 25: Tela para Inserir e Visualizar Dados da Comparação de Modelos



Fonte: Autora

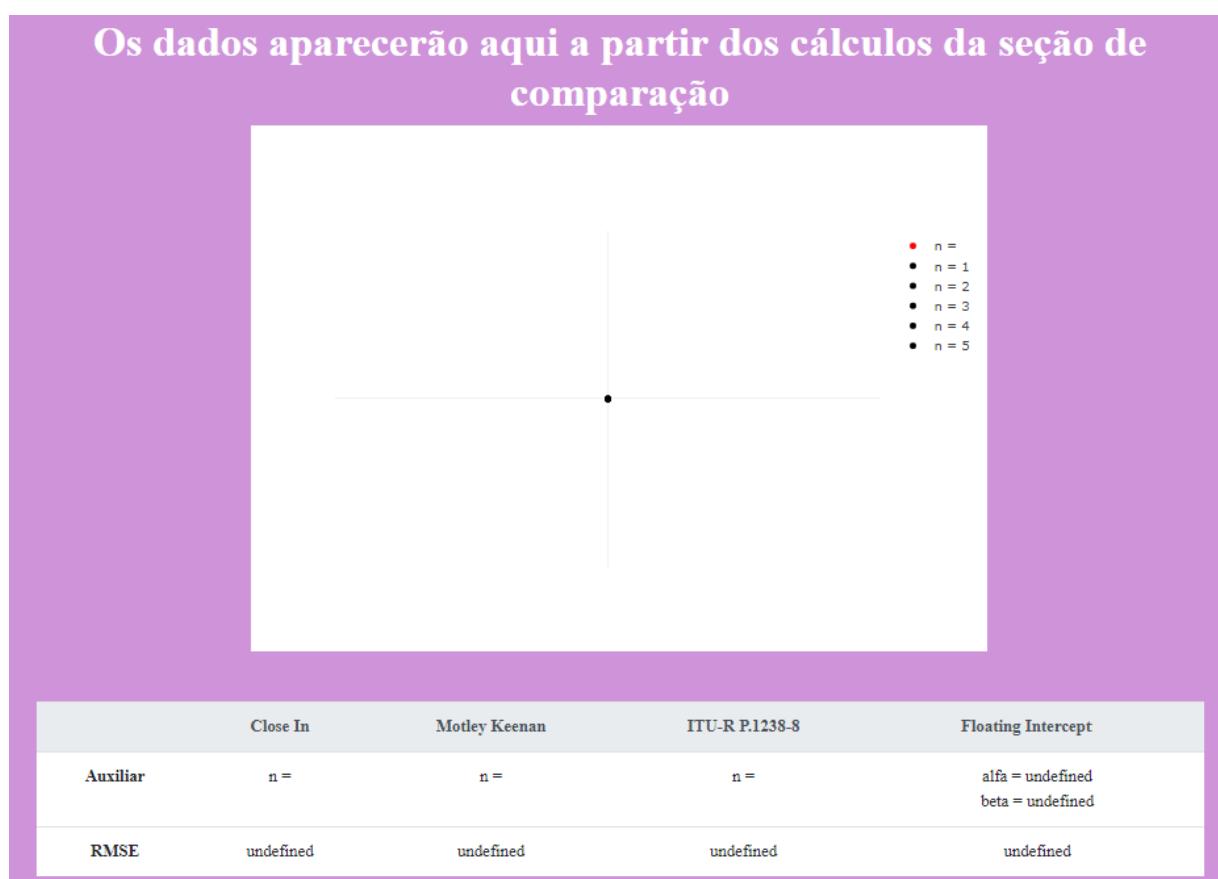
Ao clicar no botão “Comparar e Calcular  $n$ ” os dados serão processados e será o gráfico de comparação entre os modelos de propagação e os dados medidos, o gráfico de espalhamento do expoente de perda e a tabela contendo o valor do expoente de perda e do desvio padrão para cada modelo. Ao clicar no botão, o usuário será levado a seção do gráfico com espalhamento do expoente de perda e a tabela, como visto na Figura 26, mas poderá subir a tela para ver o gráfico contendo a comparação dos modelos.

Tanto o gráfico de comparação, como o de espalhamento, são interativos, ou seja, ao passar o mouse por cima será possível ver o valor de perda percurso de todos os modelos para o ponto em específico e a qual modelo cada um pertence. Além de ter um botão logo abaixo do gráfico para realizar *download* do mesmo em uma imagem png.

### 4.3.1.3 Otimização

O modo de otimização é similar ao que gera mapas de calor, como visto na Figura 27. A seção tem por objetivo ajudar o planejamento de redes *indoor* agilizando o processo

Figura 26: Tela de Respostas para os Cálculos Realizados



Fonte: Autora

para definir o melhor local para os roteadores. A partir do modelo de propagação escolhido pelo usuário e as informações será dado a melhor localização para instalar um, ou mais, roteadores. Podendo considerar a localização das tomadas.

Figura 27: Tela onde Insere os Dados para Otimizar o Ambiente

Fonte: Autora

Há duas maneiras de utilizar esta seção, considerando ou não a localização das tomadas. Caso considere-as o algoritmo irá realizar a permutação entre todos os pontos X e Y das tomadas e calcular todas as combinações possíveis de tomadas para no final informar para o usuário qual será a melhor combinação. Caso não considere as tomadas será simulado a melhor localização para os roteadores através do algoritmo genético.

As informações necessárias, em comum, para as duas maneira são: largura e comprimento máximo da sala (m), eixo X e Y dos roteadores (m) e a potência recebida no ponto d0 (dBm). Há informações que também são necessárias, mas já vem pré-definidas, podendo ser mudadas, sendo elas: distância mínima da medição (m), potência de transmissão (dBm), frequência (MHz), ganho da antena transmissora e receptora (dBi), largura de banda (MHz) e o modelo que deseja simular. Onde os dados das antenas transmissoras e receptoras são utilizadas para calcular a potência efetivamente irradiada.

Há dois espaços para fazer *upload* de arquivos. Nos “Arquivo com as Medições” deve-se colocar os arquivos oriundos do aplicativo Ziwi, sendo esse campo necessário apenas se o ambiente não for definido ou se o modelo *Floating Intercept* esteja sendo

usado. Já em “Inserir o Arquivo com as Paredes” deve-se inserir o arquivo gerado pelo aba “Cenários” do site Ziwi, sendo esse campo necessário apenas se utilizar o modelo Motley Keenan.

Caso o usuário deseje considerar as tomadas, deve selecionar a opção “com tomadas” no início do formulário. Informar os eixos X e Y das tomadas e o número de roteadores que deseja inserir no ambiente. Caso contrário, deve-se selecionar a opção “sem tomadas” e informar o número de interações com o algoritmo genético e o limiar de qualidade, em dB. Ambos valores já vem pré-definidos, mas podem ser configurados de acordo com a necessidade do usuário. Sendo que quanto mais interações, mais próximo do valor ótimo o algoritmo estará, no entanto demorará mais para obter a resposta. Como essa é uma ação demorada, irá aparecer o símbolo Ziwi de carregamento para demonstrar que está sendo compilado em segundo plano.

Ao clicar no botão “Simular”, e tiver considerado as tomadas, será gerado um mapa de calor da perda de percurso com o melhor resultado. Abaixo do título será mostrado as melhores posições para o eixo X e Y. Podendo clicar no botão “Download” para baixar o mapa de calor.

Caso o usuário deseje não considerar as tomadas, o resultado será um gráfico de *fitness* do algoritmo genético e mapas de calor com a melhor localização do roteador. Serão gerados mapas de calor informando a potência recebida, perda de percurso, SNR, SINR, intensidade do campo elétrico e capacidade. Ao clicar no botão “Download” poderá ser baixado todas essas imagens em um arquivo *zip*.

Se o resultado de alguma das otimizações não seja em tempo real, irá aparecer um *gif*, sendo a logo Ziwi animada capturando o sinal de internet, para mostrar ao usuário de que o sistema está funcionando e a simulação está sendo processada em nuvem.

#### 4.3.1.4 Cenário

No site do Ziwi é possível modelar o ambiente onde serão feitas as medições e gerar um arquivo *txt* com esses dados, o qual é necessário para se calcular através do modelo Motlley Keenan, pois indica a posição e composição das paredes. Ao entrar no modo de construção de cenário será perguntado a largura e comprimento total do ambiente, em metros, ambos valores devem ser informados e separados pela letra ‘x’, sem espaço, como: 5x7, para um ambiente que tenha 5 metros de largura e 7 de comprimento.

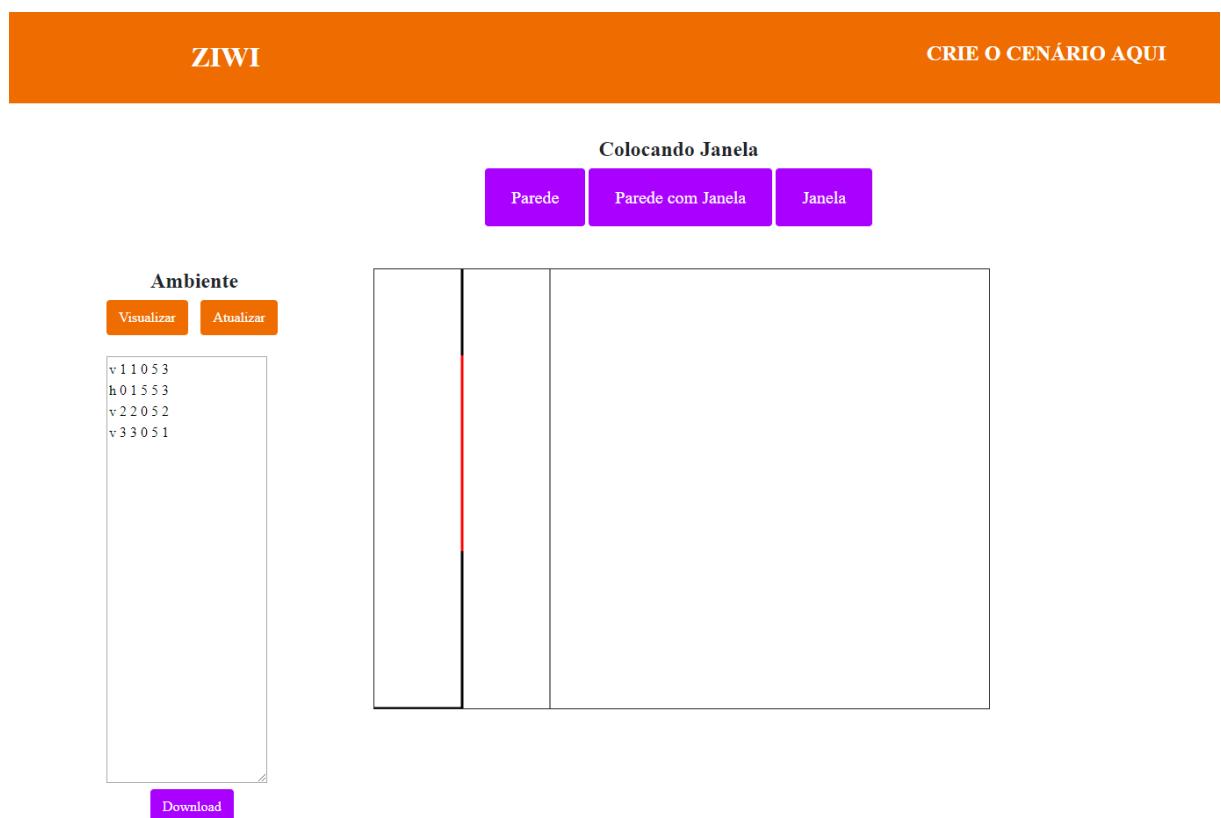
A interface do modo de criação de cenário pode ser vista na Figura 28. Logo no topo da tela deve-se indicar se será inserido uma parede, janela ou parede com janela. Essas informações podem ser trocadas enquanto se constrói o ambiente. O tipo de parede escolhido será informado logo acima dos botões.

Na parte central da página haverá um quadrado, caso seja inserido as dimensões do ambiente corretamente. Será nesse quadrado onde o usuário irá desenhar seu ambiente. Ao clicar duas vezes na tela, dentro do quadrado, denominado de *canvas*, o *software* irá perceber se foi mais próximo de uma linha horizontal ou vertical. Então irá perguntar qual o início e fim da linha, além da distância até a parede superior, caso seja horizontal, ou parede esquerda, caso seja vertical. Os três valores devem ser inseridos em metro, sendo separados por um espaço. Ao criar uma parede serão criadas linhas coloridas no quadrado, sendo: a linha preta mais grossa para parede de concreto, a linha preta mais fina para parede com janela e a linha vermelha sendo a janela.

No lado esquerdo da página há três botões e uma caixa de texto. A caixa de texto é o histórico interativo do ambiente que o usuário está construindo. Ou seja, quando se cria paredes no *canvas*, suas informações serão adicionadas dinamicamente na caixa de texto, informando a orientação da parede, suas coordenadas e material. Também é possível adicionar ou excluir linhas apenas escrevendo ou retirando informações da caixa de texto. Caso seja inserido ou retirado uma linha pela caixa de texto é necessário clicar no botão “atualizar” para visualizar no *canvas* as alterações.

Para retirar linhas é necessário excluí-las da caixa de texto, no entanto, pode ser

Figura 28: Tela para Criar Ambientes *Indoor*



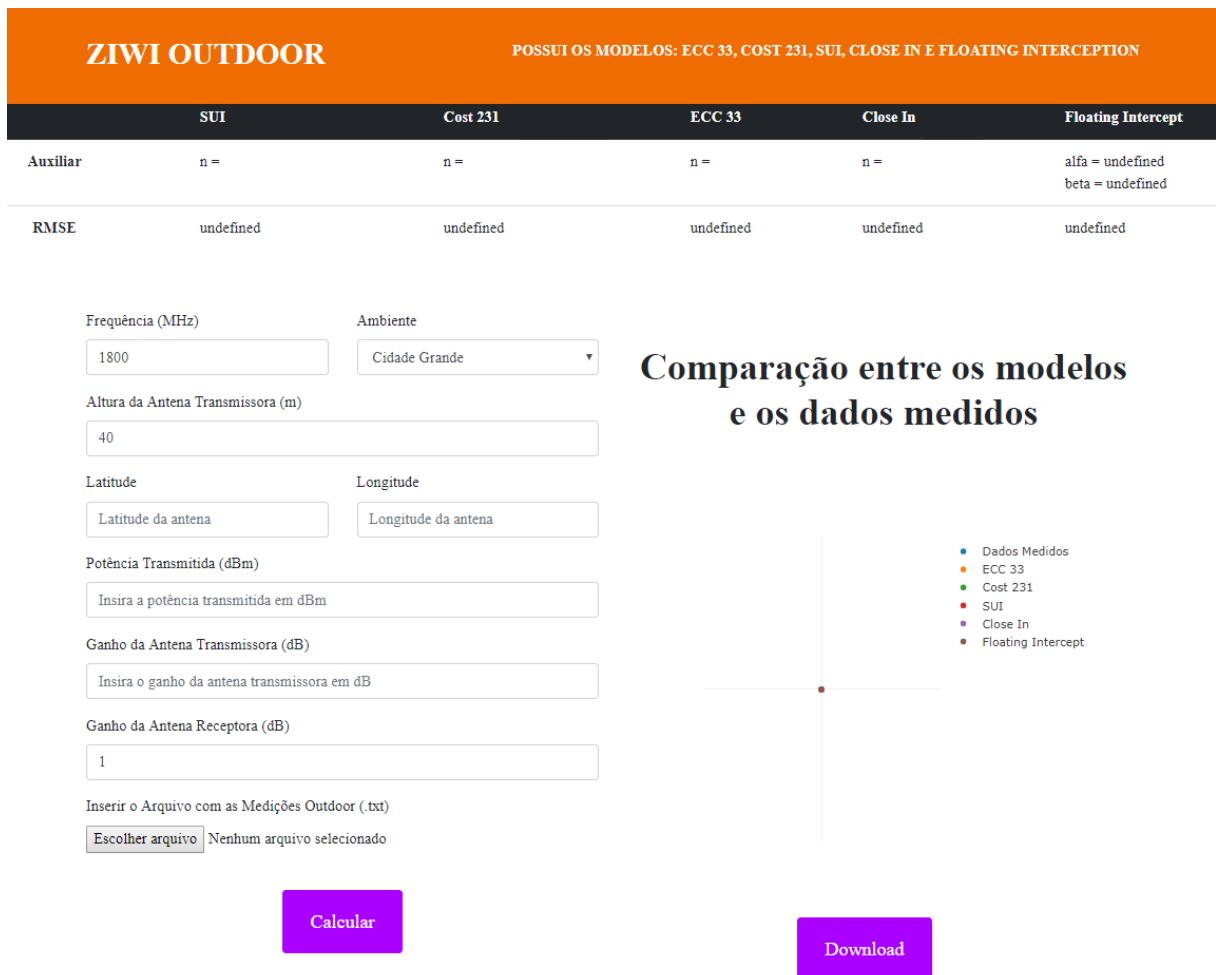
Fonte: Autora

uma linha colocada há muito tempo, então o usuário não sabe mais qual linha contém as informações da parede. Por isso, é possível selecionar uma linha e clicar no botão "Visualizar". Desse modo, a linha correspondente a essas informações irá ficar verde e o utilizador poderá decidir se deseja alterar a mesma. Por fim, o botão "Download" serve para fazer o *download* em *txt* das informações, o qual será usado para modelagem do modelo Motley Keenan.

#### 4.3.2 Modo *Outdoor*

Na Figura 29 encontra-se a interface do modo *outdoor*. Na parte superior encontra-se a tabela onde será mostrado o valor do expoente de perda e do desvio padrão para cada modelo de propagação. Os modelos de propagação disponíveis no modo *outdoor* são: SUI, Cost 231, ECC 33, *Close In* e *Floating Intercept*.

Figura 29: Tela do Modo *Outdoor*



Fonte: Autora

A principal função do modo *outdoor* é a comparação entre os modelos e os dados medidos. Para realizar a simulação é necessário inserir os valores de frequência (MHz), altura da antena transmissora (m), latitude da antena transmissora, longitude da antena transmissora, potência da antena transmissora (dBm), a menor distância que ocorreu a medição (m), ganho da antena transmissora (dBi), ganho da antena receptora (dBi)

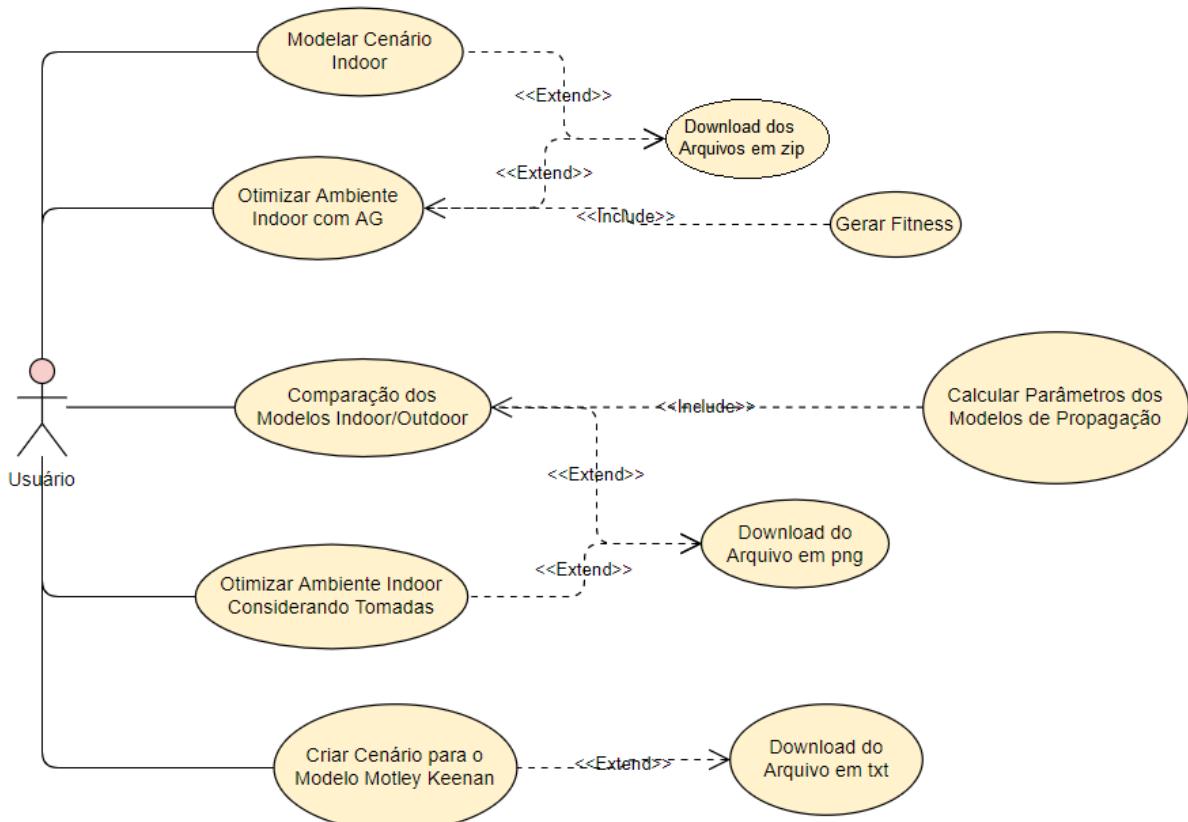
e o arquivo com os valores da medição *outdoor*, o qual a versão *mobile* do Ziwi pode exportar. Onde os dados das antenas transmissoras e receptoras são utilizadas para calcular a potência efetivamente irradiada.

Após inserir esses dados, deve-se clicar no botão "Calcular" para aparecer o gráfico fazendo a comparação entre os modelos e os dados medidos. Também será preenchido a tabela com os valores do expoente de perda e desvio padrão para cada modelo. O gráfico que irá aparecer será totalmente interativo, sendo assim, quando o usuário passa o mouse por cima de algum ponto, será informado o valor de perda de percurso para todos os modelos no ponto X que está sobreposto pelo mouse. O gráfico poderá ser baixado em *png* ao apertar o botão "Download".

#### 4.3.3 Diagramação do Software

Para o desenvolvimento do site também foi adotado uma abordagem *top-down* no desenvolvimento da ferramenta, visando apresentar de forma resumida as funcionalidades do sistema para então ir detalhando seus subcomponentes e suas funcionalidades mais básicas. Na Figura 30 mostra o diagrama de caso de uso para o site - onde é realizado a modelagem, comparação e otimização dos dados - o qual serviu como base para o detalhamento da estrutura da ferramenta.

Figura 30: Diagrama de Caso de Uso do Site



Fonte: Autora

No *software* em questão há apenas um *stackholder*, sendo ele o usuário interessado em realizar análise do sinal ou otimizá-lo, e é esse o usuário que está sendo demonstrado

no diagrama. O site possui cinco funções principais apresentadas na imagem. As quais possuem sub funções que podem ser obrigatórias ou opcionais.

As obrigatorias são apresentadas pelo relacionamento *include*, como o caso de quando é feito a comparação entre os modelos *indoor* ou *outdoor*, consequentemente, irá ser feito o cálculo dos parâmetros dos modelos de propagação. As opcionais são demonstradas pelo relacionamento *extend*, como a opção de realizar o *download* dos arquivos após cada operação.

O site não possui diagrama de classe pois foi desenvolvido em *python* com auxílio do *flask*. Por ser *python* o uso de classes não é obrigatório e por ter sido construído com o auxílio do *flask*, a aplicação foi baseada em rotas que podiam ser chamadas por um *get* ou *post*.

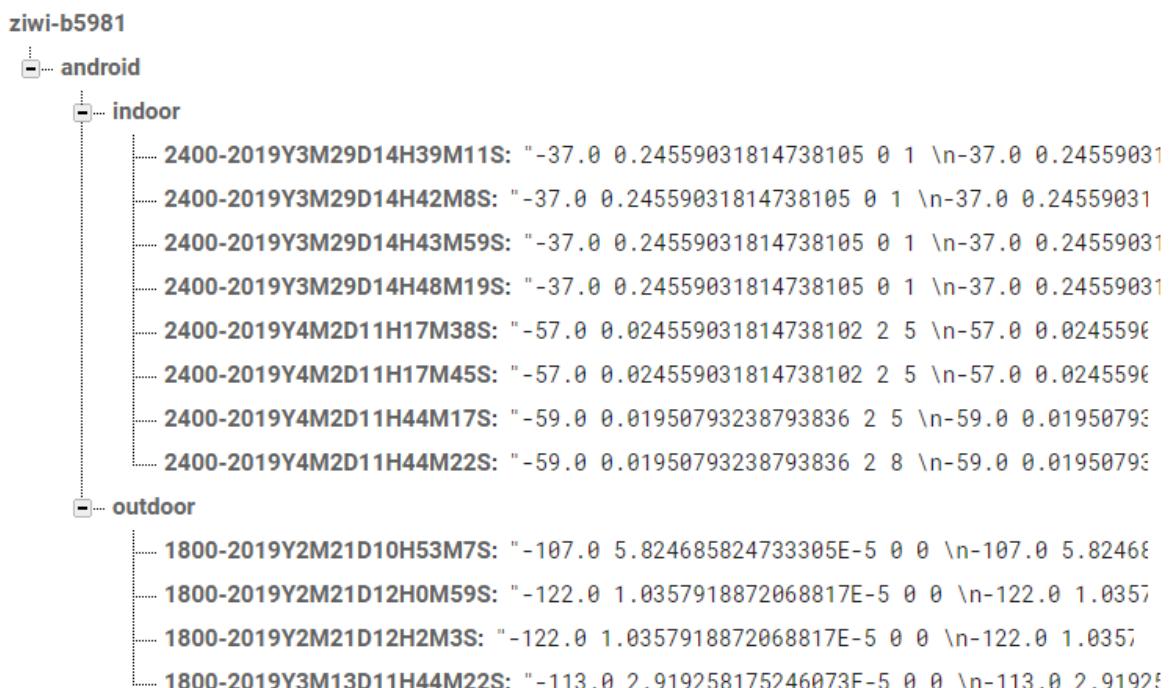
#### 4.4 Banco de Dados

O banco de dados irá guardar todas as medições feitas pelo aplicativo. Ele foi construído visando realizar uma futura análise de dados, os quais serão medidos pelo aplicativo.

#### 4.4.1 Armazenamento

Para salvar os dados foi usado o banco de dados em *realtime* do *firebase*. Foi criado uma pasta para as medições e dentro há uma para os dados *indoor* e outra para os dados *outdoor*, como visto na Figura 31, essa estrutura foi desenvolvida para já estar preparada caso seja necessário um crescimento do banco de dados.

Figura 31: Estrutura do Banco de Dados no Firebase



Fonte: Autora

O dispositivo móvel envia uma requisição ao banco informando suas credenciais e a pasta que deseja acessar através da internet. Caso a conexão não esteja disponível, as informações são salvas localmente até o usuário ter acesso a internet novamente.

#### 4.4.2 Utilização dos Dados

Os usuários não terão acesso ao banco de dados, apenas aos próprios dados medidos, os quais podem ser encontrados na memória interna do dispositivo na pasta "Ziwi", presente na pasta "Documentos".

O acesso ao banco de dados será exclusivo para pesquisas, o qual apenas pesquisadores da área de telecomunicações da UFPA, do LCT, terão acesso inicialmente. Para acessar o banco foi feito dois *scripts* em *python* que retornam todos os arquivos *txt* em ordem cronológica, um *script* foi feito para os dados *indoor* e o outro para os dados *outdoor*.

### 4.5 Aplicativo em Realidade Virtual

O aplicativo em realidade virtual tem a finalidade de visualizar os dados em 3D com o objetivo de deixar a observação mais interativa. Sendo capaz de simular ambientes e mostrar a visualização do mapa de calor dos mesmos para o usuário, informando o eixo X, Y e a perda do ponto em que o usuário está examinando. No *software* também é possível andar pelo cenário para fazer as observações mais de perto.

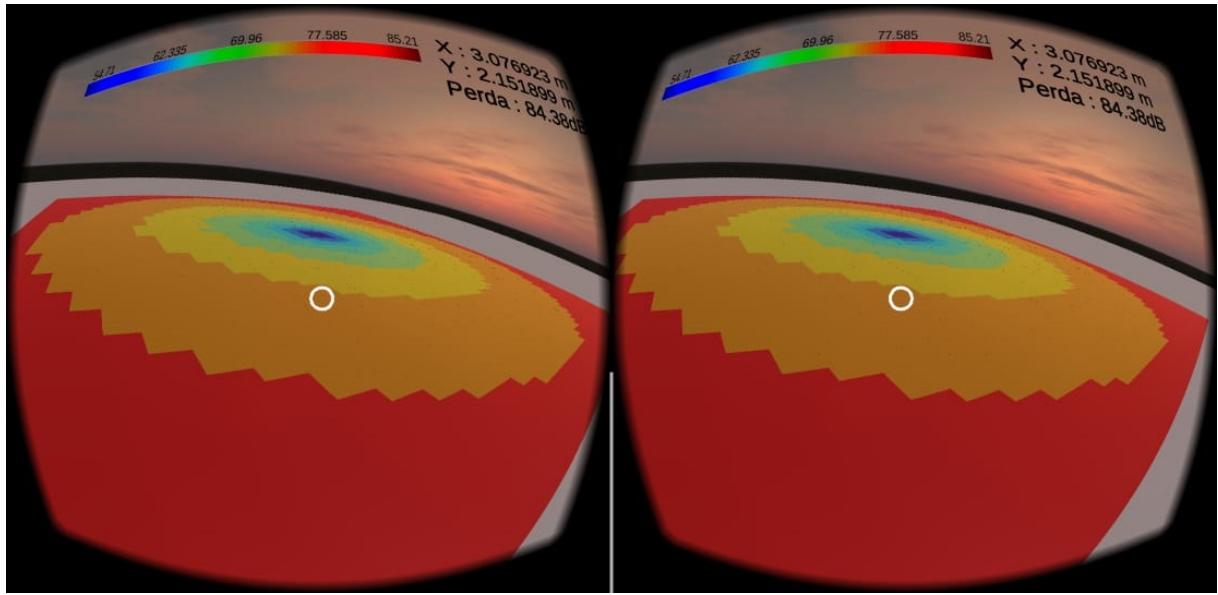
#### 4.5.1 Visualização

Para utilizar o Ziwi VR é necessário um dispositivo móvel que funcione com *android Kit Kat (4.4)*, ou superior. Um óculos de realidade virtual, dos que não são ligados ao computador e nem ao celular, funcionam apenas pelo *software* do telefone e pelas lentes especiais. Caso o usuário deseje andar pelo cenário também será necessário um *joystick bluetooth*, ou com cabo (se o dispositivo móvel tiver suporte).

Para simular um ambiente é necessário informar os valores de largura e comprimento do ambiente a ser simulado (em metro), o eixo X e Y dos roteadores (em metro), a potência recebida na menor distância até o roteador (em dBm), a menor distância até o roteador (em metro), a potência de transmissão do roteador (em dBm), o ganho da antena transmissora e receptora (em dBi), a frequência do roteador (em MHz), a largura de banda da tecnologia (em MHz), as paredes (se houver, só são obrigatórias caso use o modelo *Motley Keenan*, o expoente de perda (o qual pode ser calculado no site) e o modelo de propagação escolhido.

Ao informar esses dados o usuário será levado a tela onde estará o ambiente em realidade virtual, como visto na Figura 32. No lado superior esquerdo está apresentado uma barra a qual faz relação entre o valor de perda de percurso e a coloração apresentada no chão. No lado superior direito está presente o valor do eixo X e Y, e o valor de perda do local que o usuário está olhando. O utilizador pode se locomover pelo cenário utilizando o controle e olhando ao redor virando a cabeça, ou através do botão L3 do controle.

Figura 32: Visualização em Realidade Virtual

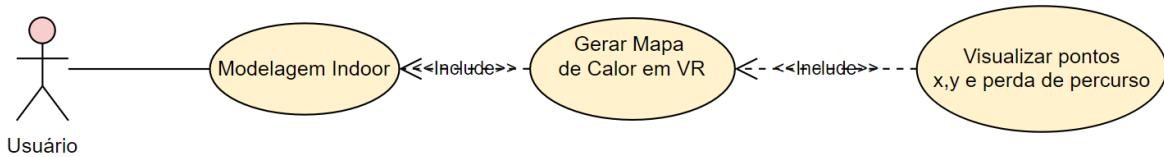


Fonte: Autora

#### 4.5.2 Diagramação do Software

Assim como os *softwares* anteriores, o aplicativo em realidade virtual também adotou uma abordagem *top-down* no desenvolvimento da ferramenta, visando apresentar uma versão resumida das funcionalidades do sistema para então ir detalhando seus sub-componentes e suas funcionalidades mais básicas. Na Figura 33 mostra o diagrama de caso de uso para o aplicativo VR - capaz de visualizar os dados de perda de percurso em 3D, de modo interativo - o qual serviu como base para o detalhamento da estrutura da ferramenta.

Figura 33: Diagrama de Caso de Uso do Aplicativo em Realidade Virtual



Fonte: Autora

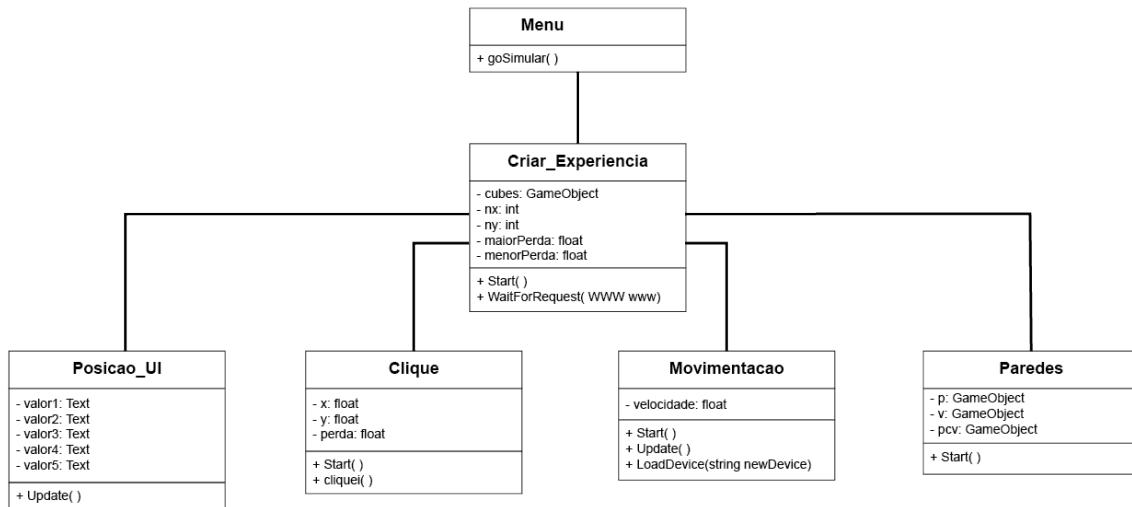
No *software* em questão há apenas um *stackholder*, sendo ele o usuário interessado em analisar a propagação de sinal de maneira mais interativa, e é esse o usuário que está sendo demonstrado no diagrama. Tendo como principal função a modelagem *indoor*, sendo dividida apenas em funções que precisam ser obrigatoriamente realizadas para o modo, representado pelo *include* no diagrama. Tendo como exemplo a geração do mapa de calor em realidade virtual e visualização dos pontos X, Y e a perda de percurso no cenário.

Na Figura 34 está sendo apresentado o diagrama de classes do aplicativo VR do Ziwi. Onde a primeira classe a ser executada é a do menu, a qual possui como principal função a passagem de dados para a cena do cenário virtual. A classe 'Criar\_Experiencia' é a primeira a ser chamada na cena com o ambiente do usuário, a qual armazena os cubos

que serão utilizados para construir o mapa de calor e faz requisição ao servidor para realizar a simulação, com o objetivo de colocar cada cubo no ponto correto do ambiente.

Essa classe possui quatro classes auxiliares para ajudar na construção da experiência do usuário. A classe 'Posicao\_UI' define na tela do usuário os valores máximos e mínimos da perda de percurso. A classe 'clique' tem a função de atualizar a interface gráfica do usuário com os valores obtidos, de acordo do local em que o usuário está olhando. A classe 'Movimentacao' tem a função de dar a capacidade do usuário se movimentar pelo cenário, além de configurar o cenário em realidade virtual de acordo com o dispositivo em que o *software* foi aberto. Por fim, a classe 'Paredes', a qual só é utilizada caso o modelo de propagação escolhido seja o Motley Keenan. A classe guarda os objetos para cada tipo de parede e quando é iniciado checa se o modelo considera paredes. Em caso afirmativo, disponibiliza cada parede em seu local no cenário de acordo com a informações sobre a localização das paredes fornecidas pelo usuário.

Figura 34: Diagrama de Classe do Aplicativo em Realidade Virtual



Fonte: Autora

---

# CAPÍTULO 5

---

## Resultados

### 5.1 Simulações *Indoor*

Nesta seção serão mostradas as diversas medições realizadas com o objetivo de testar e validar o simulador. Assim como a simulação em realidade virtual. O resultado de algumas das medições *indoor* serão mostrados a seguir.

#### 5.1.1 Descrição do Cenário

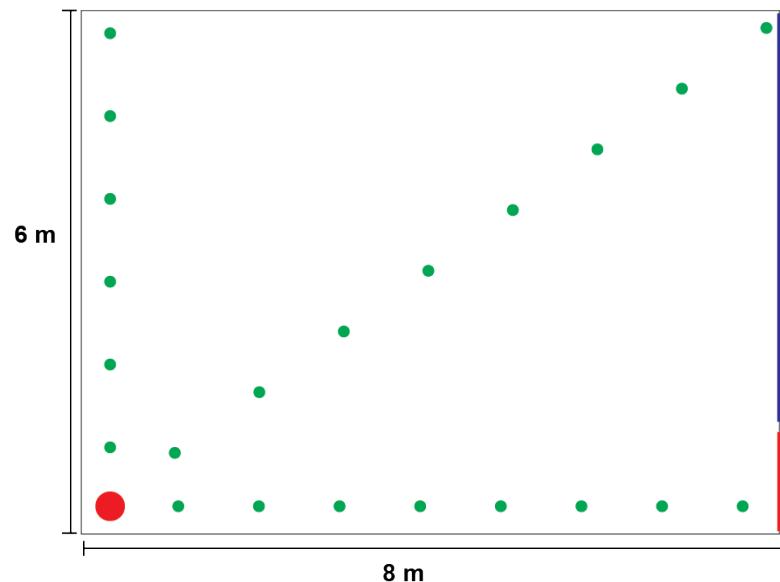
As medições *indoor* foram realizadas em uma sala do bloco de aulas, no setor profissional, da Universidade Federal do Pará. Durante toda a medição o celular ficou na vertical, sendo uma polarização cruzada em relação ao roteador, a aproximadamente 1 metro do chão. A sala possui 8 metros de largura e 6 metros de comprimento. O roteador ficou instalado em um dos cantos da sala, estando a meio metro de cada parede, também há um metro do chão, em cima da mesa.

A trajetória realizada na sala está sendo mostrada na Figura 35. Ou seja, as medições foram realizadas em 3 radiais a cada 1 metro de distância, totalizando 22 pontos. O celular se manteve parado em cada ponto por aproximadamente 10 segundos e com o aplicativo é possível gravar 20 pontos por segundo. Sendo assim, foram medidos aproximadamente 4400 pontos em toda a sala.

As medições foram realizadas utilizando um Samsung Galaxy S9. E o roteador usado para as medições era um D-Link com o padrão IEEE 802.11n, na frequência de 2400 MHz, tendo um ganho da antena de aproximadamente 5 dB. Além de ter uma potência de transmissão de 15 dBm.

O cenário pode ser visto na Figura 36. As imagens 36(a), (b), (c) e (d) foram feitas da parte superior de cada canto da sala com o objetivo de se obter uma visão geral do ambiente, com todos seus detalhes. Sendo que na imagem 36(d) é possível observar uma visão geral da sala, da posição em que o roteador estava instalado.

Nas imagens 36(e), (f) e (g) observa-se a visão do roteador para cada uma das radiais que as medições foram realizadas, sendo a primeira, segunda e terceira radial, respectivamente. A figura 36(h) é uma imagem mais detalhada da radial presente em 36(e), pois é a que mais possui obstrução devido os diversos objetos que haviam no caminho.

Figura 35: Radiais Medidas no Ambiente *Indoor*

Fonte: Autora

A partir das imagens presentes na Figura 36 também é possível observar o material das paredes e objetos. Tendo 3 paredes de alvenaria e uma de parede, a qual pode ter tido reflexão durante as medições na primeira radial. Todas as medições foram realizadas acima das cadeiras, então não houve obstrução direta por elas.

Figura 36: Ambiente onde foi Realizado as Medições *Indoor*

Fonte: Autora

### 5.1.2 Modelagem

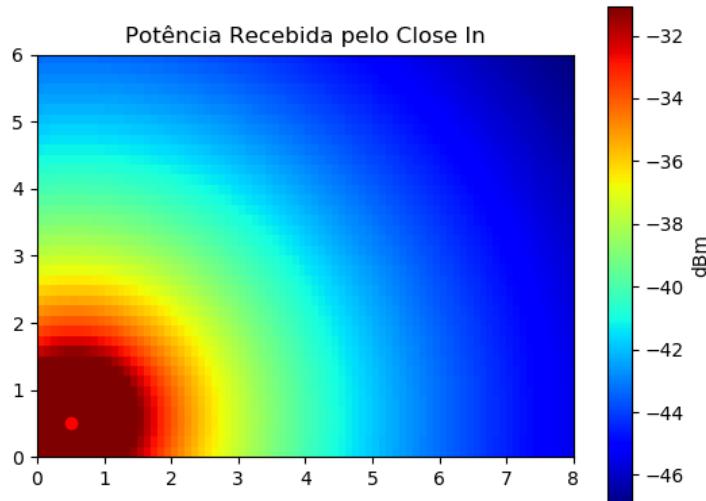
Na primeira seção do site é possível simular um ambiente *indoor* em um mapa de calor de acordo com diversas métricas, como: potência recebida, perda de percurso, SNR, SINR, capacidade do canal e intensidade do campo elétrico. Além de ser possível simular o ambiente utilizando o modelo *close in*, motley keenan, ITU-R P.1238-1 e *floating intercept*.

Para esta simulação foi usado um roteador IEEE 802.11n na frequência de 2400 MHz com ganho de 5dBi. O roteador estava posicionado a uma distância de meio metro de cada parede e há 1 metro do chão. A potência de transmissão do roteador é de 15 dBm e a potência recebida no ponto d0 foi de -43 dBm. Como os dados foram medidos através de um dispositivo móvel o ganho da antena receptora é de 1 dBi.

Da Figura 37 até 42 são os resultados da simulação, gerados pelo *framework*. As métricas obtidas foram: potência recebida, perda de percurso, SNR, SINR, capacidade do canal e intensidade do campo elétrico, respectivamente.

Na Figura 37 é mostrado o mapa de calor da potência recebida e na Figura 38 é mostrado o mapa de calor da perda de percurso para o ambiente citado. Em ambos os gráficos pode-se perceber que o sinal tende a atenuar de acordo com a distância com o roteador aumenta.

Figura 37: Predição de Potência Recebida no Modelo Close In



As Figuras 39 e 40 mostram o mapa de calor do SNR e SINR, respectivamente. Ambas métricas servem para mostrar a relação sinal e ruído, sendo que o SINR também considera a interferência do sinal entre os roteadores. Os mapas de calor ficaram idênticos nesse caso pois o cenário possui apenas um ponto de acesso, então não há interferência entre eles.

Figura 38: Predição de Perda de Percurso no Modelo Close In

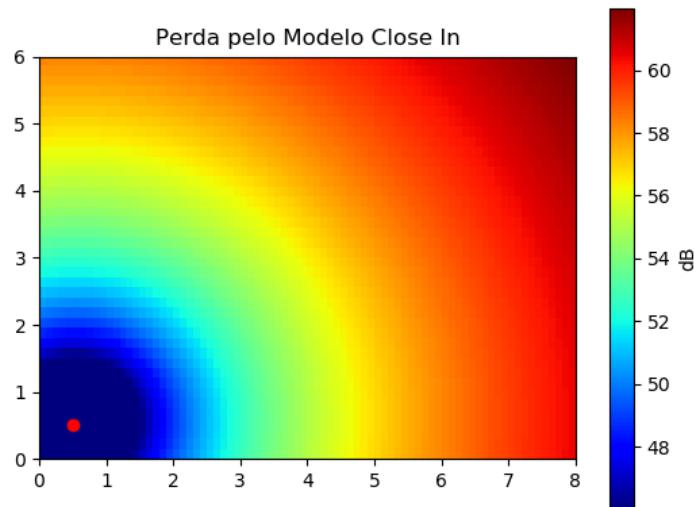


Figura 39: Predição de SNR no Modelo Close In

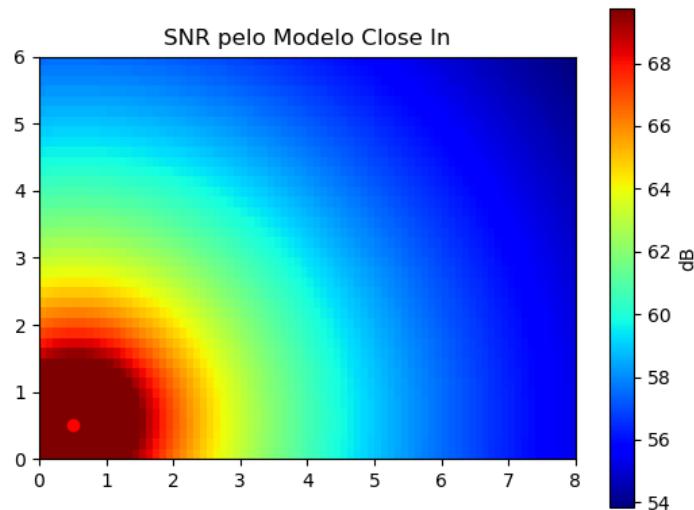
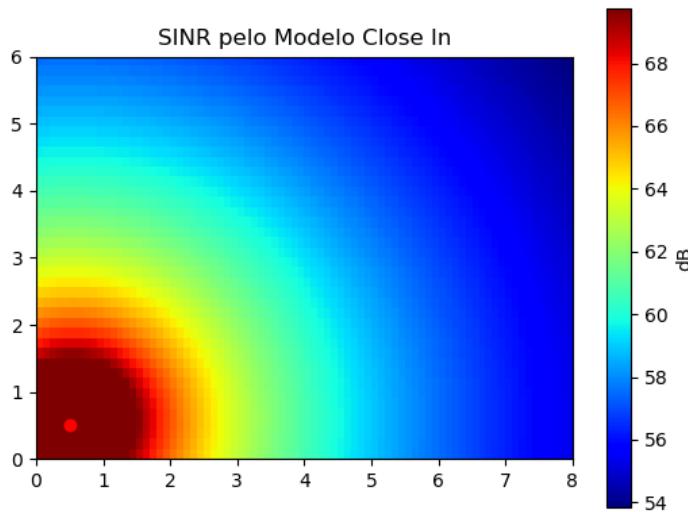
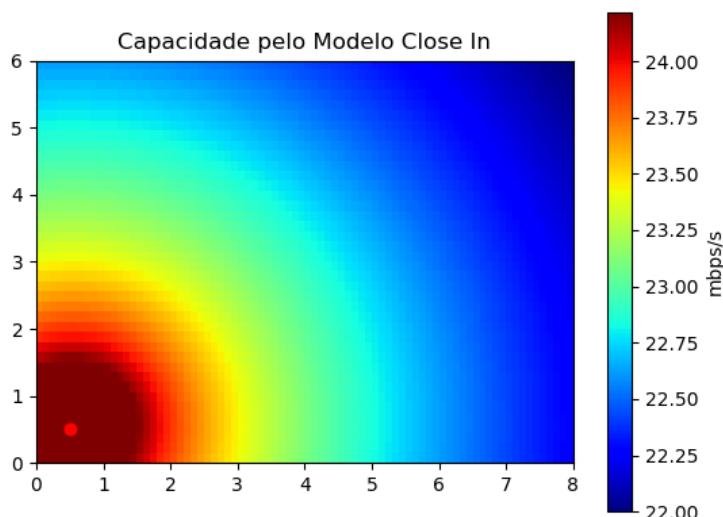


Figura 40: Predição de SINR no Modelo Close In



A Figura 41 mostra o mapa de calor da capacidade do canal, a qual tende a melhorar de acordo que os valores SINR diminuem. No entanto, ainda é diretamente proporcional a essa métrica, pois quanto mais próximo do roteador melhor será a capacidade do canal. A mesma pode ser calculada através do teorema de Shannon–Hartley. Segundo a Cisco, a velocidade média de banda larga no Brasil, em 2019, é de 19 Mbps. Sendo assim, pode-se perceber que o cenário simulado possui uma capacidade do canal acima da média brasileira.

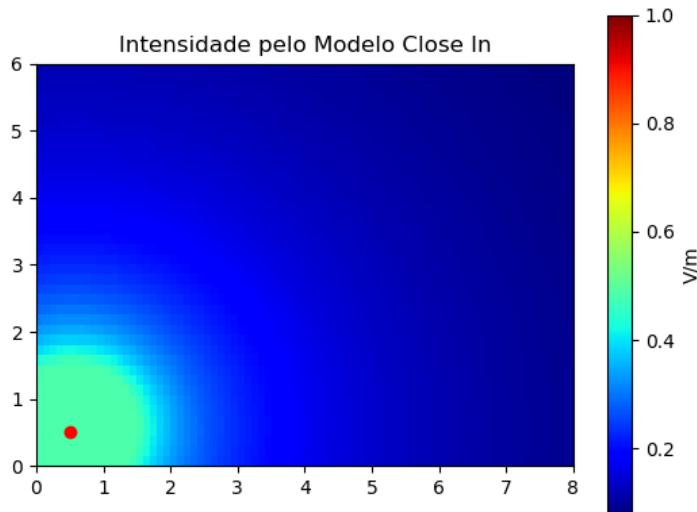
Figura 41: Predição de Capacidade do Canal no Modelo Close In



Fonte: Autora

Por fim, na Figura 42 é apresentado o mapa de calor da intensidade do campo elétrico. Onde pode-se perceber que segundo o Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019, o cenário apresentado não é nocivo para o ser humano. Já que para um ambiente ser perigoso, segundo a ANATEL, precisa chegar a aproximadamente 61 V/m, valor normalmente obtido próximo a torres de transmissão. Em cenários *indoor* é raro obter uma intensidade do campo elétrico prejudicial à saúde. Observando o gráfico percebe-se que o valor mais próximo do roteador equivale a aproximadamente 0.45 V/m, ou seja, muito distante de apresentar algum risco à saúde humana.

Figura 42: Predição de Intensidade do Campo Elétrico no Modelo Close In



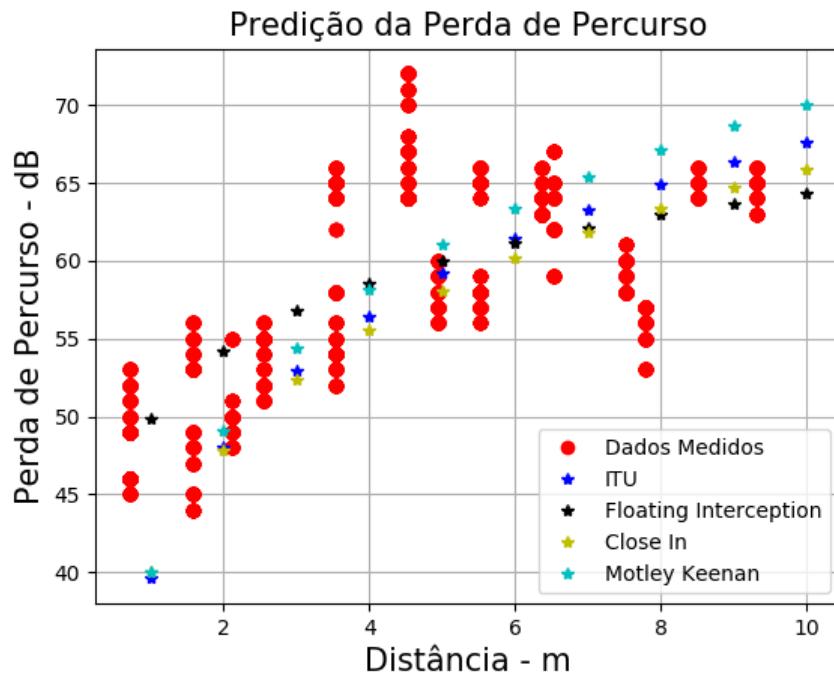
Fonte: Autora

### 5.1.3 Comparação dos Modelos

Na segunda seção é possível comparar todos os modelos de propagação disponíveis para o modo *indoor* e os dados medidos. Precisando ser inserido o valor da frequência, potência de transmissão, potência recebida no ponto d0, os ganhos das antenas, a posição dos roteadores, o ambiente que ocorreu as medições e o arquivo com dados medidos. Na Figura 43 é possível ver a comparação entre os modelos.

Os parâmetros utilizados para os modelos *Close In* e *floating intercept* foram calculados a partir dos dados inseridos no sistema. Já para os modelos ITU-R P.1238-1 e Motley Keenan, o coeficiente de atenuação utilizado foram tabelados de acordo com o ambiente especificado pelo usuário, no caso desse trabalho sendo um ambiente mobiliado.

Segundo o modelo de friis, a perda de sinal para 1 metro de distância na frequência de 2400 MHz é de 40 dB, assim como mostrado no gráfico para os modelos *Close In*, ITU-R P.1238-1 e Motley Keenan. No modelo *floating intercept* a perda inicial foi de aproximadamente 50 dB, estando mais próximo dos dados medidos. Isso deve-se ao fato do modelo ser baseado apenas nas medições do ambiente, se ajustando a elas. Como as medições foram feitas com polarização cruzada, a perda do ambiente tende a ser mais elevado do que a calculada pelo modelo de friis.

Figura 43: Comparação entre Modelos *Indoor*

Fonte: Autora

A partir dessas informações também é gerado o valor de RMSE de cada modelo em relação aos dados medidos e valores auxiliares, como o valor do coeficiente de atenuação, e os valores de alfa e beta, utilizados no modelo *floating intercept*. Os valores estão sendo mostrados na Tabela 9.

Os valores do coeficiente de atenuação e o beta tendem ser próximos, assim como o valor de FSPL e do alfa, representando a inclinação da curva e a perda inicial, respectivamente. A principal diferença é os valores de alfa e beta são calculados baseados exclusivamente nas medições realizadas no ambiente.

Tabela 9: Métricas da Comparação e Modelos *Indoor*

	Close In	Motley Keenan	ITU-R P.1238-1	Floating Intercept
Auxiliar	$n = 2.58$	$n = 3$	$n = 2.8$	$\text{alfa} = 49.86$ $\text{beta} = 1.45$
RMSE	5.79	5.81	5.72	3.57

Fonte: Autora

O valor de RMSE demonstra o quanto cada modelo se aproximou aos dados medidos. Podendo-se perceber que o modelo *floating intercept* foi o que mais se aproximou dos dados medidos. Isso acontece pois o modelo depende de dois parâmetros físicos para se ajustar, o alfa e o beta, já os outros modelos dependem apenas do coeficiente de atenuação. Já os outros modelos obtiveram pouca ou nenhuma diferença entre os RMSE.

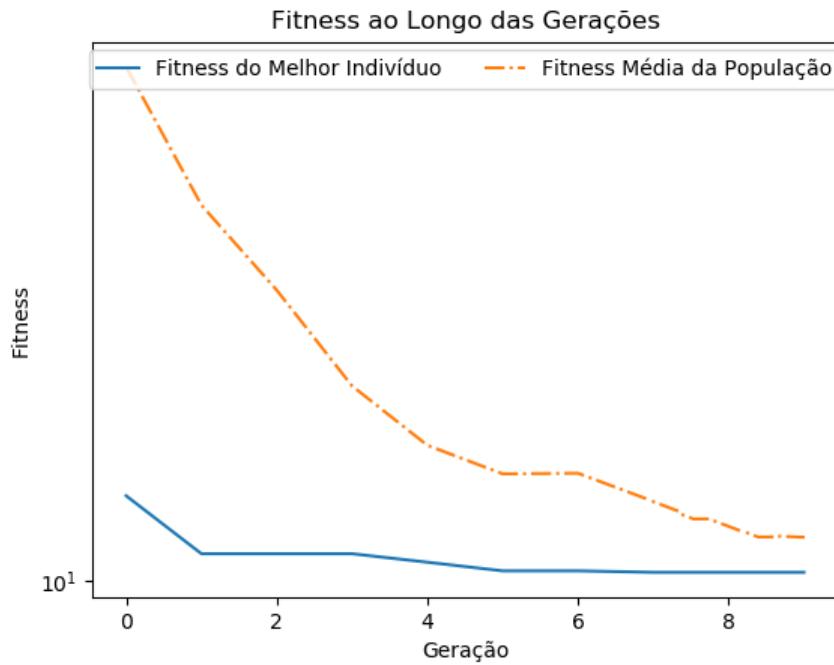
### 5.1.4 Otimização com Algoritmo Genético

Na última seção do site é possível otimizar os ambientes *indoor*. Em um ambiente fechado é preciso colocar roteadores, os quais necessitam estar ligados a uma tomada. A otimização por algoritmo genético visa ambientes fechados que ainda estejam em construção, ou seja, pode-se instalar as tomadas em qualquer posição. Desse modo, o GA procura por todo o ambiente quais serão os melhores pontos para se inserir um roteador, visando a melhor qualidade do sinal no ambiente.

Esse modo se chama "Sem tomada" e pede os mesmos dados de uma simulação normal, mostrado na modelagem, além do número de interações com o algoritmo genético e o limiar de qualidade, em dB. Sendo que quanto mais interações tiver, melhor será o resultado, no entanto também irá demorar mais. E o limiar de qualidade é a potência recebida aceitável para o projeto que está sendo otimizado.

Na Figura 44 é possível ver a curva de *fitness* do algoritmo genético. Onde pode-se perceber que *fitness* do melhor indivíduo e da média da população tendem a convergir em um erro mínimo com o passar das gerações. Também é possível perceber o elitismo no algoritmo já que a *fitness* sempre diminuiu ao decorrer das gerações.

Figura 44: *Fitness* do Algoritmo Genético



Fonte: Autora

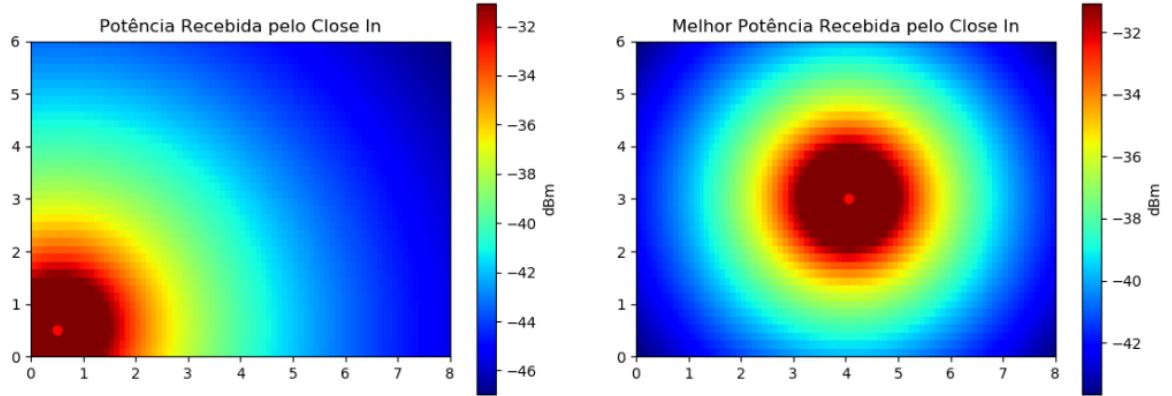
Da Figura 45 até 50 são apresentados os resultados da simulação otimizados pelo algoritmo genético em comparação as simulações obtidas sem otimização, para facilitar a análise entre os dois. Apresentando dados de potência recebida, perda de percurso, SNR, SINR, capacidade do canal e intensidade do campo elétrico, respectivamente.

Na Figura 45 pode-se perceber a comparação entre os mapas de calor informando a potência recebida do ambiente. Com a otimização da posição do roteador houve uma melhora de 4 dB no ambiente. Observando o *range* de perda da Figura 46 nota-se uma melhoria de 2 dB.

Além disso, no mapa de perda de percurso é possível visualizar a localização dos roteadores para serem implementados no ambiente e a porcentagem de cobertura do

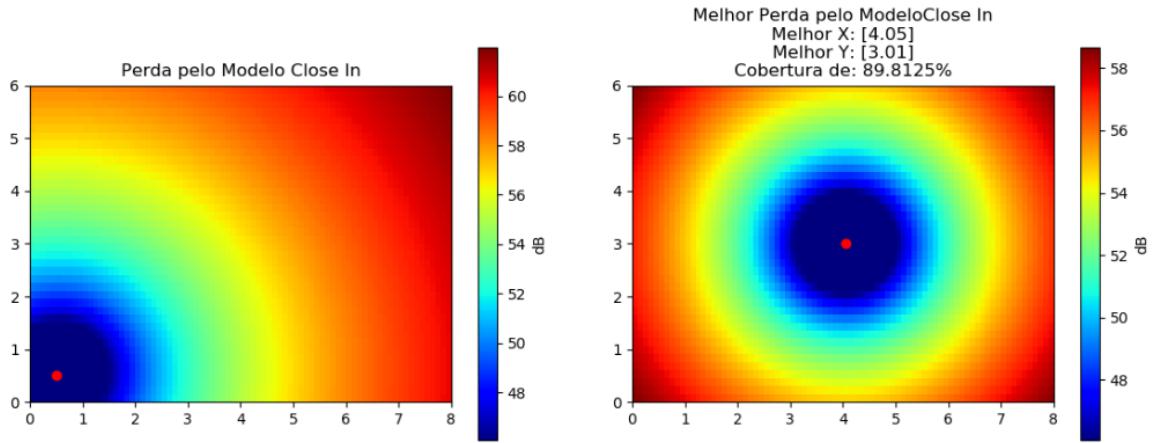
ambiente, levando em consideração a potência recebida aceitável definida pelo usuário no momento da simulação. No cenário utilizado para este trabalho obteve-se uma cobertura de 89.81%, sendo a melhor localização para o roteador o ponto (4.05, 3.01).

Figura 45: Comparação entre Mapa de Calor de Potência Recebida e sua Otimização por AG



Fonte: Autora

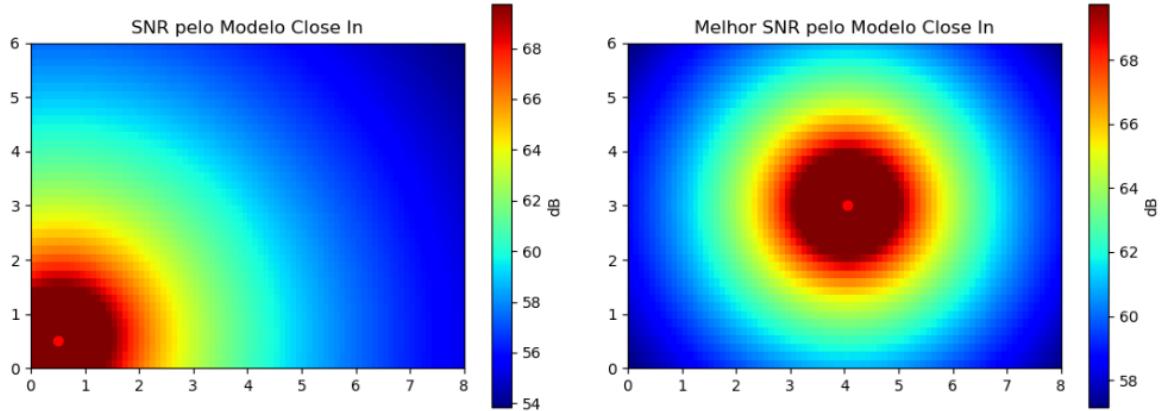
Figura 46: Comparação entre Mapa de Calor de Perda de Percurso e sua Otimização por AG



Fonte: Autora

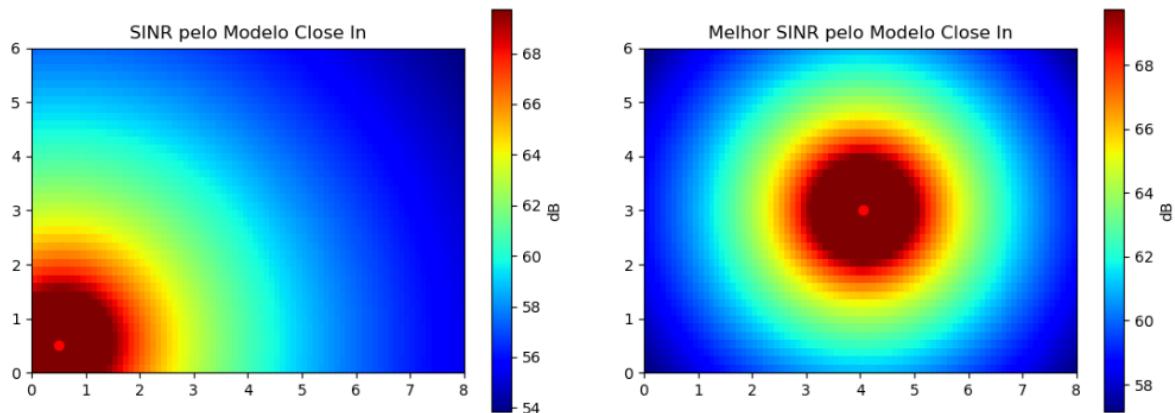
Nas Figuras 47 e 48 encontra-se os mapas de calor de SNR e SINR, respectivamente. Ambos os gráficos possuem uma melhoria de 4 dB em relação ao cenário não otimizado. Ambos os gráficos são iguais pois só foi considerado um roteador no ambiente.

Figura 47: Comparação entre Mapa de Calor de SNR e sua Otimização por AG



Fonte: Autora

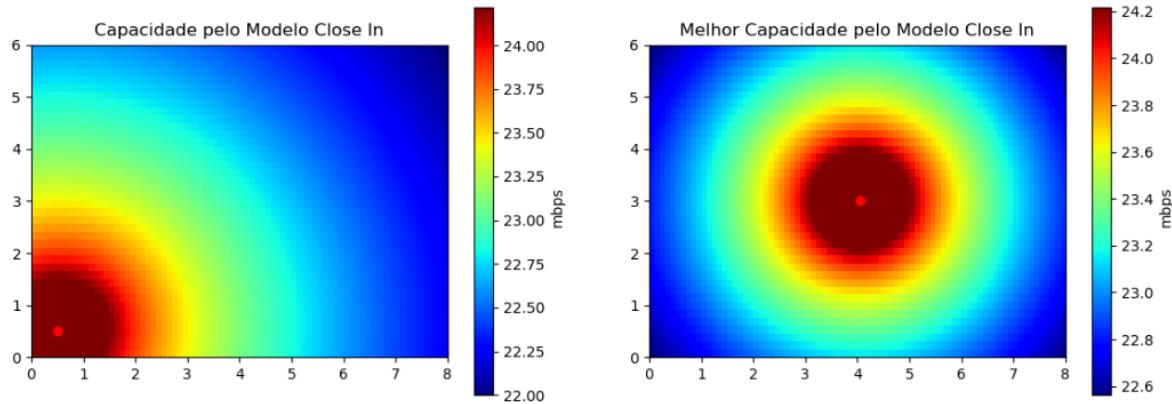
Figura 48: Comparação entre Mapa de Calor de SINR e sua Otimização por AG



Fonte: Autora

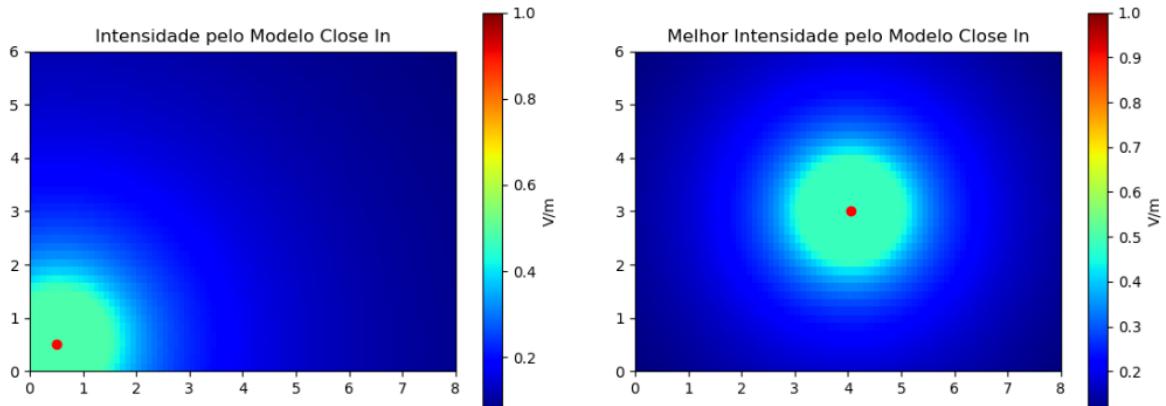
Na Figura 49 apresenta-se a comparação entre os mapas de calor da capacidade de canal. Realizando a análise entre os dois mapas é possível perceber uma melhoria de 0.6 mbps no ambiente. Por fim, tem o mapa de intensidade do campo elétrico na Figura 50 onde não houve melhorias significativas. No entanto o maior dado desse ambiente foi de 0.45 V/m e para a onda eletromagnética começar a ser nociva para ser o humano é a partir de 61 V/m, então o ambiente já estava em boas condições.

Figura 49: Comparação entre Mapa de Calor de Capacidade do Canal e sua Otimização por AG



Fonte: Autora

Figura 50: Comparação entre Mapa de Calor de Intensidade do Campo Elétrico e sua Otimização por AG



Fonte: Autora

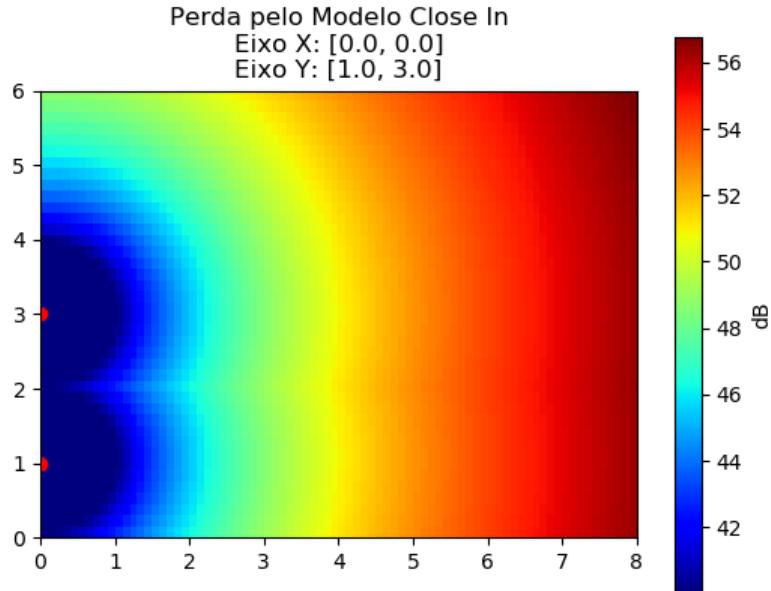
### 5.1.5 Otimização por Permutação

Outro modo da última seção do site *indoor* é a otimização por permutação. Esse modo é ideal para ambientes que já estão prontos e precisam otimizar o sinal, pois uma das entradas desse método é a localização das tomadas do ambiente e o número de roteadores que irão ser instalados. Assim, é feito a permutação entre as coordenadas das tomadas gerando os eixos X e Y de entrada para simular qual terá a menor perda de percurso.

Esse modo se chama "Com tomada" e pede os mesmos dados de uma simulação normal, mostrado na modelagem, além dos eixos X e Y das tomadas e o número de roteadores que terão no ambiente. É feito a simulação entre todos as coordenadas e o simulador exporta apenas a que teve melhor resultado, a qual pode ser vista na Figura 51, mostrando a posição dos roteadores no texto do título, os quais também são representados

pelos pontos vermelhos na imagem. As tomadas para essa simulação estavam localizadas nos eixos  $(0, 1)$ ,  $(0, 3)$ ,  $(0, 5)$ ,  $(2, 4)$ ,  $(4, 3)$  e  $(6, 2)$ .

Figura 51: Otimização Considerando Tomadas



Fonte: Autora

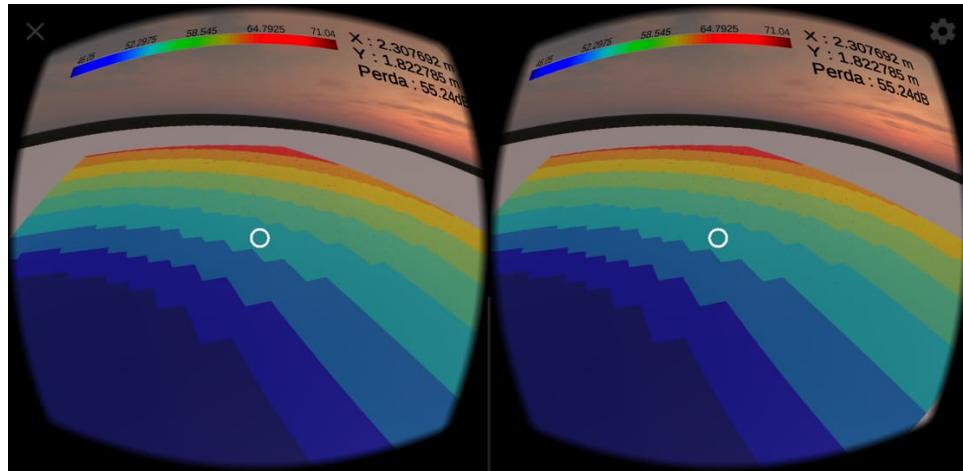
Analisando a Figura 38 com a Figura 51 é possível perceber pelo *range* da perda de percurso do ambiente que a perda diminuiu consideravelmente. A perda máxima melhorou de 60 dB para 56 dB e a perda mínima foi aperfeiçoada de 48 dB para 42 dB. Desse modo, essa função tem por objetivo otimizar a propagação do sinal em ambientes que já estão prontos e desejam melhorar a qualidade do sinal do ambiente ou adicionar um roteador novo.

### 5.1.6 Realidade Virtual

O mesmo ambiente utilizado para a simulação *indoor* foi utilizado para gerar o cenário no aplicativo de realidade virtual do Ziwi, utilizando as mesmas configurações. Na Figura 52 é mostrado como fica o cenário assim que o usuário entra no ambiente.

É possível ver que na parte superior esquerda há a barra que demonstra o mínimo e máximo da perda de percurso, assim como a perda equivalente. Na parte superior direita encontra-se a posição X e Y em metros, além da perda em dB para o ponto que o usuário está olhando. O ponto é definido para a área em que o círculo branco no centro da tela está apontando.

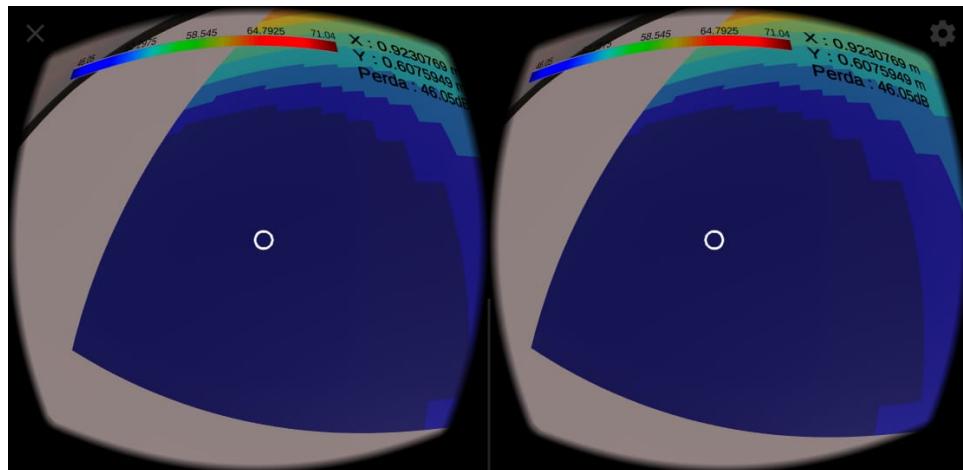
Figura 52: Visão em Realidade Virtual do Cenário



Fonte: Autora

Na Figura 53 o usuário virou um pouco a cabeça para a esquerda para olhar onde fica o roteador. Ao observar a área superior direita da imagem pode-se perceber que os valores foram alterados para a nova posição. Sendo possível também utilizar os valores em uma calculadora para confirmar os valores de perda.

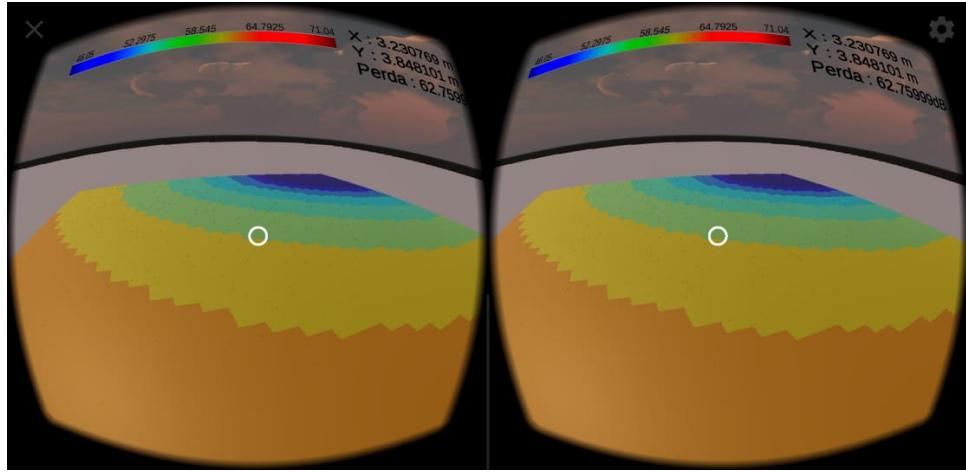
Figura 53: Análise de Dados em Realidade Virtual



Fonte: Autora

Na Figura 54 mostra o mesmo ambiente só que dessa vez o usuário caminhou até o fim da sala, com o auxílio do controle, e obteve uma nova visão do ambiente. Na área superior direita continua sendo possível reparar a mudança dos dados de acordo com a posição em que o círculo branco está sobreposto.

Figura 54: Movimentação no Ambiente Virtual



Fonte: Autora

A importância de um aplicativo de realidade virtual para a área é tanto para aumentar a interatividade com o ambiente, assim também, auxiliando a análise de ambientes mais complexos. Mas também é importante para a área educacional, quando poderá mostrar para os alunos de maneira mais interativa, e quase, praticamente como funciona a propagação do sinal.

A validação do aplicativo em realidade virtual é a mesma da do site pois o *software* em VR gera o mapa de calor em nuvem, utilizando as mesmas funções usadas para a modelagem de um ambiente *indoor* no site. O programa transforma as informações em objetos 3D interativos com o usuário, além de possibilitar a movimentação do mesmo no cenário possibilitando a melhor análise do cenário, possibilitando também aumentar o interesse de novas pessoas na área.

## 5.2 Simulações *Outdoor*

Para testar o simulador por completo também foram realizadas algumas medições *outdoor*, que serão mostradas a seguir, o local das medições e os resultados obtidos pelo *framework*.

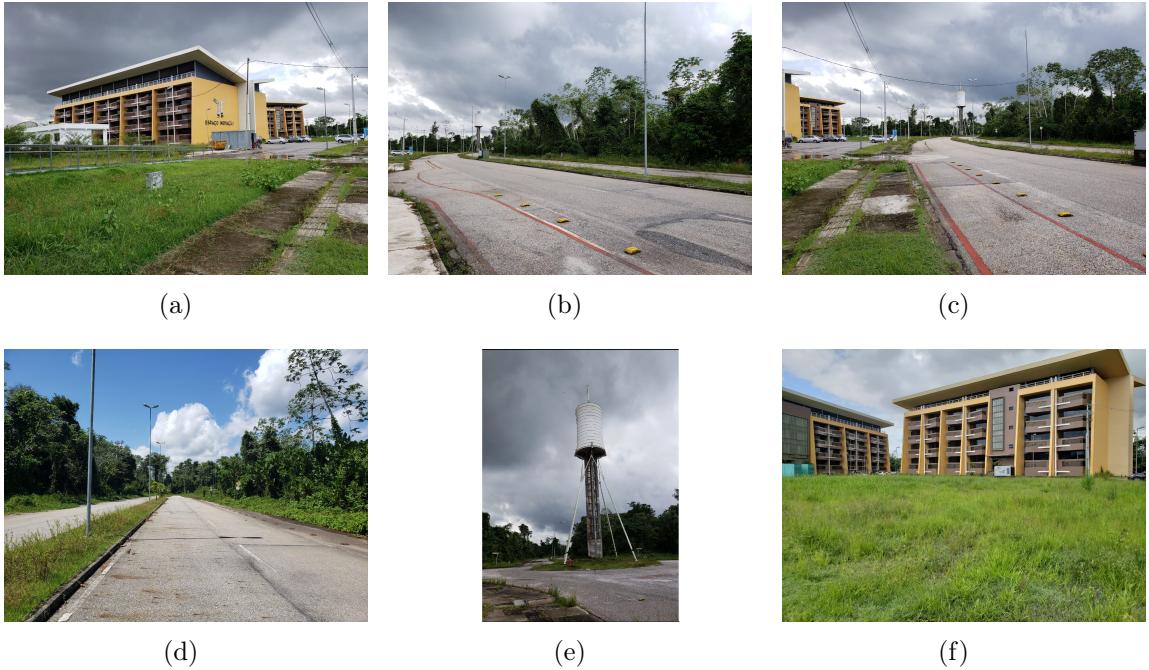
### 5.2.1 Descrição do Cenário

As medições *outdoor* foram realizadas no PCT na UFPA. Foi escolhido a rua que fica logo em frente ao prédio de inovação, tendo em aproximadamente 200 metros de extensão, totalizando 8676 pontos medidos, já que são gravados aproximadamente 20 pontos por segundo. Durante toda a medição o celular ficou na vertical, sendo uma polarização cruzada em relação a antena transmissora, a aproximadamente 1 metro do chão.

As medições foram realizadas utilizando um Samsung Galaxy S9 com um chip da Claro, a qual tem uma antena de transmissão há aproximadamente 450 metros do parque. A torre possui uma frequência de 1870 MHz, há 50 metros do chão. Tendo sua potência de transmissão de 60 W e o ganho da antena sendo de 16.71 dB.

O cenário pode ser visto na Figura 55. Sendo que na imagem 55(c) é possível observar o percurso que foi caminhado. Nas imagens 55(a) e 55(b) o ambiente ao olhar

Figura 55: Ambiente onde foi Realizado as Medições *Outdoor*



Fonte: Autora

para os lados, sendo com construções e uma floresta (ambiente arborizado). Nas imagens 55(d) e 55(e) observa-se essas imagens mais detalhadamente, mostrando que há bastante vegetação ao redor dos prédios. Na imagem 55(e) mostra-se o que tem um pouco há frente do caminho percorrido, ou seja, uma caixa da água alta, que fica na direção da antena transmissora, o que pode ter ocasionado difração ou reflexão no percurso do sinal até o celular.

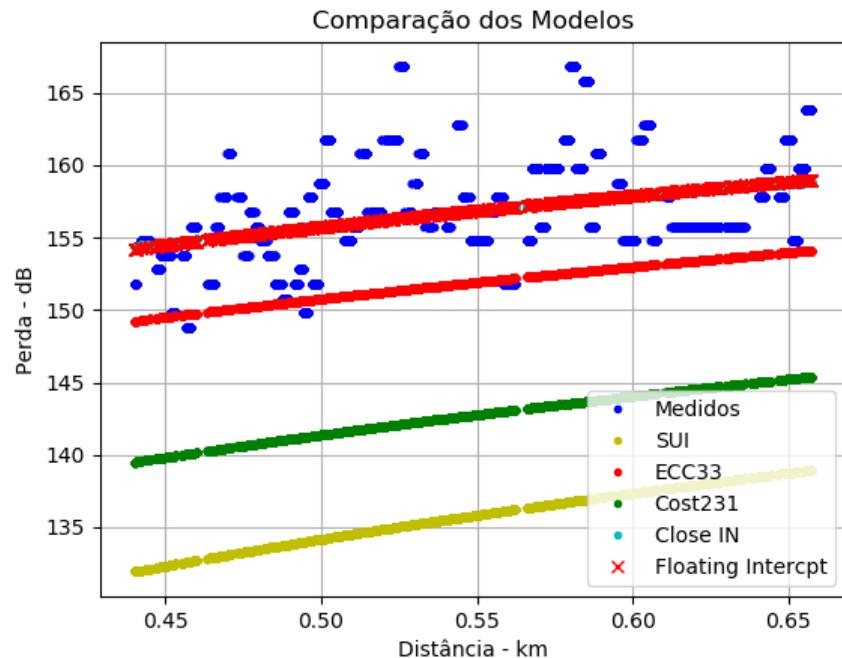
### 5.2.2 Comparação dos Modelos

No modo *outdoor* do site só é possível realizar a comparação entre os modelos e os dados medidos. Sendo os modelos disponíveis: SUI, Cost 231, ECC-33, *close in* e *floating intercept*. Para esta simulação foi utilizado uma antena da Claro que fica a aproximadamente 450 m do ambiente onde ocorreu a medição. A antena possui a frequência de 1870 MHz estando a 50 metros de altura e tendo a potência de transmissão de 47.78 dB, com ganho da antena de 16.71 dB.

Também é necessário inserir os dados medidos, os quais foram obtidos através da medição de um dispositivo móvel, sendo assim, o ganho da antena receptora é de 1 dB. Além de ter sido definido o ambiente de cidade grande, já que foi feito as medições em ambiente arborizado e os modelos não foram feitos especificamente para esse ambiente. Na Figura 56 é possível observar a comparação entre os modelos e os dados medidos.

Os modelos SUI, COST 231 e ECC 33 não foram desenvolvidos para serem aplicados em ambientes arborizados. Além disso, esses modelos não possuem nenhum parâmetro físico baseado nas medições do ambiente. Os parâmetros dos modelos são ajustáveis para os ambientes pré-definidos para cada um, por isso a perda de percurso para esses modelos tende a ser mais afastas dos dados medidos.

Já o modelo *Close In* e *floating intercept* são baseados em parâmetros físicos obtidos pelas medições no ambiente, sendo mais fácil de se adaptar a um ambiente arborizado.

Figura 56: Comparação entre Modelos *Outdoor*

Fonte: Autora

Segundo o modelo de friis, a perda de percurso para a distância de 450 m e 1870 MHz é de 150 dB. Na medição obteve-se a perda de 153 dB, em ambos modelos, para essa distância. Houve uma pequena variação devido ao fato de a perda calculada pelo modelo de friis ser referente a distância inicial de 100 m, em ambiente *outdoor*, então pode ocorrer uma pequena variação na perda de percurso em relação ao calculado pelo modelo de friis devido a inclinação da curva.

No gráfico é possível ver apenas a curva do modelo *floating intercept*, pois o modelo *Close In* está logo abaixo dessa curva, apresentando uma diferença de 0.0032 entre o RMSE de cada modelo.

A partir dessas informações também é gerado o valor de RMSE de cada modelo em relação aos dados medidos e valores auxiliares, como o valor do coeficiente de atenuação, utilizado no modelo *close in*, e os valores de alfa e beta, utilizados no modelo *floating intercept*. Os valores estão sendo mostrados na Tabela 10. Sendo que os modelos SUI, COST 231 e ECC 33 não possuem variáveis auxiliares já que seus modelos já são pré-definidos para cada ambiente, como visto no Capítulo 2.

Tabela 10: Métricas da Comparação e Modelos *Outdoor*

	SUI	COST 231	ECC 33	Close In	Floating Intercept
Auxiliar				n = 2.56	alfa = 163.97 beta = 2.74
RMSE	21.09	14.1	4.89	2.3994	2.3962

Fonte: Autora

O modelo *floating intercept* foi o que mais se aproximou aos dados medidos. Como o ambiente era arborizado e com diversas construções ao redor, parâmetros físicos, alfa e

beta, do modelo, o fizeram se ajustar melhor ao ambiente do que os demais modelos de propagação.

## 5.3 Validação

Nesta seção será apresentado a comparação entre os modelos simulados e o modelo de Friis, o qual representa, fisicamente, a perda do sinal para um ambiente LoS. A comparação será feita para os modelos *indoor* e *outdoor* com o objetivo de validar o simulador.

### 5.3.1 Indoor

Para validar os dados em ambientes internos utilizou-se o modelo de friis, Equação 2.1, o qual simula o modelo de propagação fisicamente. Foi calculado o valor da perda para a distância de 1 metro da antena transmissora. Obteve-se o valor de 40 dB para a distância selecionada em 2400 MHz, que foi a frequência utilizada nos ambientes *indoor*.

Foi utilizado o modelo *close in* para validar o simulador junto com o modelo de friis. Na Figura 43 observa-se que a perda do modelo *close in* no primeiro metro é de 40 dB, sendo o mesmo mostrado pela equação de friis. E a sua diferença para os valores medidos é equivalente ao valor dos ganhos das antenas.

### 5.3.2 Outdoor

Foi utilizado o mesmo método para a validação dos ambientes externos, ou seja, o modelo de Friss (Equação 2.1) simula o modelo de propagação fisicamente. Foi calculado o valor da perda para a distância de 450 metros da antena transmissora. Obteve-se o valor de 150 dB para a distância selecionada em 1870 MHz, que foi a frequência utilizada nos ambientes *indoor*.

Foi utilizado o modelo *close in* para validar o simulador junto com o modelo de friis. Na Figura 56 observa-se que a perda do modelo *close in* próximo a 450 metros é de 153 dB, sendo um valor próximo do mostrado pela equação de friis. E a sua diferença para os valores medidos é equivalente ao valor dos ganhos das antenas.

## 5.4 Evoluções em Relação aos Trabalhos Correlatos

Em (KAR et al., 2016) mostrou o planejamento de um ambiente baseado na capacidade do canal através do simulador PyLayers. No entanto, para definir a melhor posição dos roteadores, assim como o número deles, foi necessário realizar várias simulações. Por isso, foi implementado uma ferramenta de otimização no Ziwi, o algoritmo genético, para definir a melhor posição dos roteadores de maneira automática. Além disso, o simulador utilizado precisa ser instalado no sistema operacional Linux, costuma demorar demasia-damente para funcionar e funciona pela linha de comando, tornando-o nada intuitivo para novos usuários ou leigos na área.

No artigo escrito por Kelly (KELLY, 2016) é mostrado a otimização de roteadores em um ambiente *indoor* através da técnica PSO. Este foi um dos trabalhos que inspiraram o desenvolvimento desse *framework*. No entanto, invés de usar o PSO, que é uma técnica que tende a encontrar a solução de maneira mais rápida, optou-se pelo uso do algoritmo genético, o qual possui técnicas genéticas, que aumentam sua precisão, como o

cruzamento e mutação. Sendo responsáveis pelo aumento da intensificação do algoritmo e pelo aumento da diversidade dos genes, respectivamente.

Outra diferença, é que no trabalho citado foi desenvolvido um *software* para *desktop*, assim como (FURTADO et al., 2016) e (KAR et al., 2016). Para o Ziwi optou-se por desenvolver um site pois será possível acessá-lo de qualquer lugar, inclusive do celular. Mesmo sendo necessário a conexão com a internet para utilizá-lo, atualmente, é muito raro não estar conectado.

Até o momento, todos os *softwares* citados nessa seção são para ambiente *indoor*. O Ziwi possui suas principais funcionalidades para ambientes *indoor*, mas também é capaz de realizar a comparação entre modelos de propagação *outdoor* e os dados medidos. Tais modelos foram apresentados no artigo (CASTRO et al., 2010). Apesar de não possuir a função de otimização é possível obter o valor do coeficiente de atenuação, RMSE, alfa e beta do modelo *floating intercept*, e a comparação para cinco modelos de propagação *outdoor* em relação aos dados medidos.

A principal diferença desse *framework* para os demais citados aqui é a sua compatibilidade com o aplicativo *mobile* e para realidade virtual. O *framework* do Ziwi contém um aplicativo para dispositivos móveis capaz de gravar o RSRQ, intensidade do campo elétrico, potência recebida e localização que foi gravado o sinal a cada 50 milissegundos, tanto para ambiente *indoor*, como para *outdoor*. O artigo (BHATT et al., 2016) faz uma revisão na literatura de aplicativos capazes de medir a potência recebida, e nenhum deles é capaz de gravar todos esses dados, ainda mais considerando 20 dados por segundo.

Por fim, é possível realizar a visualização dos dados em realidade virtual através do Ziwi VR. Segundo a revisão bibliográfica feita neste trabalho, é a primeira vez que é implementado a realidade virtual para visualizar a perda de percurso do sinal. Sendo interessante, educacionalmente, a implementação, pois é possível caminhar pelo sinal para analisá-lo de perto.

---

# CAPÍTULO 6

---

## Conclusão

Este trabalho teve por objetivo desenvolver um *framework* para medição, modelagem e planejamento de ambientes, podendo ser *indoor* ou *outdoor*. Para isso foi desenvolvido três *softwares* com comunicação entre si para transferência de dados. Vizando a eficiência do trabalho de um engenheiro de telecomunicações, o qual poderá fazer seu trabalho mais rápido, sem perder a qualidade. Além de ter uma versão em realidade virtual visando deixar o modo de análise do sinal mais interativo, podendo deixar mais atrativo para pessoas novas na área.

Primeiramente, foi implementado um aplicativo para dispositivos android capaz de medir a potência recebida e a intensidade do campo elétrico, mostrando quando o mesmo começa a ser nocivo para a saúde, com adição do RSRQ para ambientes externos. Estando configurado para as principais frequências do 4G e do WiFi. Sendo possível visualizar esses dados em tempo real e em um histórico com os últimos 30 segundos, considerando que são capturados 20 pontos por segundo. Além disso, os dados são gravados no banco de dados do aplicativo e na memória interna do dispositivo móvel.

Também foi desenvolvido um *website* para desenhar os cenários necessários para o modelo Motley Keenan, simular um mapa de calor para os modelos *indoor*, *close in*, *floating intercept*, Motley Keenan e ITU-R P.1238-1, mostrando os valores da potência recebida, perda de percurso, SNR, SINR, intensidade do campo elétrico e capacidade do canal. Além disso, é possível otimizar os dados simulados visando um melhor planejamento *indoor*, através de um algoritmo genético ou permutando as tomadas do ambiente para testar qual a combinação irá oferecer uma melhor cobertura ao usuário. Também realiza a comparação entre os modelos de propagação e os dados medidos, mostrando os parâmetros dos modelos, coeficiente de atenuação, alfa e beta, e as métricas estatísticas referente a aproximação dos modelos aos dados medidos, como o RMSE. A comparação pode ser feita tanto para os modelos *indoor*, quanto para os modelos *outdoor*, sendo eles o ECC 33, SUI, COST 231, *close in* e *floating intercept*.

Por último, foi desenvolvido um aplicativo para dispositivos móveis capaz de gerar o mapa de calor em um ambiente *indoor* em realidade virtual, no qual a perda de percurso é vista no piso do ambiente utilizando os modelos *close in*, Motley Keenan e ITU-R P.123-1. Este ambiente de simulação permite interatividade, onde é possível andar no cenário com o campo de visão em 360, tanto em azimute quanto na elevação, informações sobre o ponto observado é encontrado no lado superior direito da tela, mostrando o eixo X e Y, e a perda de percurso. Esse *software* pode ser usado para melhorar a análise de ambientes *indoor* permitindo uma visualização detalhada e interativa, e também poderá auxiliar na área educacional para ensinar aos alunos sobre propagação do sinal e modelagem.

Para validação do *framework* utilizou-se o modelo *close-in*. Para o ambiente *indoor* calculou-se o FSPL para 1 metro de distância na frequência de 2400 MHz e obteve-se a perda de 40 dB, assim como o gráfico obtido pela comparação de modelos *indoor* e

os dados medidos. Além disso, o RMSE calculado entre o modelo *close in* e os dados medidos foi de 5.79 e para o modelo *floating intercept*, que alcançou o menor RMSE entre os modelos, foi de 3.57.

Para o ambiente *outdoor* foi feito o cálculo do FSPL para a frequência de 1870 MHz a uma distância de 450 metros e obteve-se a perda de 150 dB. Na simulação do modelo *close in* a perda encontrada para essa distância e frequência foi de 153 dB, tendo uma diferença de 3 dB entre o modelo de friis. A diferença deve-se ao fato que o modelo deve ser comparado e simulado com dados a 100 metros de distância da antena transmissora, mas como não tinha medições nessa distância foi simulado a 450 metros, onde a diferença deve-se ao fato da inclinação da curva da simulação, o expoente de atenuação, que se adapta ao ambiente. Além disso, o RMSE alcançado pela comparação do modelo *close in* foi de 2.3994 e para o modelo *floating intercept*, que alcançou o menor RMSE entre os modelos, foi de 2.3962.

Foi inserido a técnica de otimização por algoritmo genético no *framework*. A mesma é utilizada para otimizar o ambiente *indoor*, onde obteve uma melhora média de 4dB e 0.6 mbps em um ambiente de  $48\ m^2$ . Além disso, a cobertura no ambiente otimizado foi de 89.81% da área total, considerando um cenário com a necessidade mínima de -40 dBm no mesmo.

Sendo assim, o *framework* pode ser utilizado para auxiliar no planejamento de redes, tornando mais rápido a modelagem do sinal, medição do sinal no ambiente e otimização do sinal. E auxiliar na área acadêmica por ter uma interface mais simples e intuitiva e possuir a opção de analisar a propagação do ambiente em realidade virtual, aumentando a interatividade e compreensão dos alunos com o conteúdo.

Para trabalhos futuros, pretende-se aprimorar este *framework* para realizar planejamento de redes 5G. Incluir uma seção para simulação de ambientes *indoor* e *outdoor*, simultaneamente, podendo considerar ambientes multi-andares. Além de implementar a técnica de ray-tracing otimizada, visando aumentar a precisão da simulação de ambientes sem ter alto consumo computacional.

---

## Referências

- ABBAS, Z. et al. Long-term indoor propagation models for radio resource management. In: IEEE. *2012 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*. [S.l.], 2012. p. 1–9. 34
- ABHAYAWARDHANA, V. et al. Comparison of empirical propagation path loss models for fixed wireless access systems. In: IEEE. *2005 IEEE 61st Vehicular Technology Conference*. [S.l.], 2005. v. 1, p. 73–77. 35, 37
- AFROZ, F. et al. Sinr, rsrp, rssi and rsrq measurements in long term evolution networks. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, Academy and Industry Research Collaboration Center (AIRCC), 2015. 41, 44
- AHMAVAARA, K.; HAVERINEN, H.; PICHNA, R. Interworking architecture between 3gpp and wlan systems. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 41, n. 11, p. 74–81, 2003. 23
- ALSALEMI, A. et al. Real-time communication network using firebase cloud iot platform for ecmo simulation. In: IEEE. *2017 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*. [S.l.], 2017. p. 178–182. 61, 62
- ANASTASI, G. et al. Ieee 802.11 ad hoc networks: performance measurements. In: IEEE. *23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2003. Proceedings*. [S.l.], 2003. p. 758–763. 25
- ANATEL. Ato nº 458, de 24 de janeiro de 2019. 2019. <http://anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2019/1237-ato-458>. [Online; accessed 30-april-2019]. 43, 66, 67
- ANDERSON, H. R. *Fixed broadband wireless system design*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2003. 35
- ARCANJO, D. N. et al. Metodologia multi-estágio para restabelecimento de sistemas elétricos de distribuição utilizando algoritmos bio-inspirados. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2014. 45

- AYYAPPAN, K.; DANANJAYAN, P. Propagation model for highway in mobile communication system. *Ubiquitous Computing and Communication Journal*, v. 3, n. 4, p. 61–66, 2008. 37
- BARIZON, B. *Medidas de Propagação em 2.4 Ghz para o Planejamento de Redes Locais de Acesso sem fio*. Tese (Doutorado) — Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio De Janeiro . . ., 2004. 34
- BARNSTON, A. G. *Correspondence among the Correlation [root mean square error] and Heidke Verification Measures; Refinement of the Heidke Score*. [S.l.]: Space Wather Prediction Center, 1992. 44
- BERG, J. *The IEEE 802.11 standardization its history, specifications, implementations, and future*. [S.l.], 2011. 24
- BEYRANVAND, H. et al. Toward 5g: Fiwi enhanced lte-a hetnets with reliable low-latency fiber backhaul sharing and wifi offloading. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, IEEE, v. 25, n. 2, p. 690–707, 2017. 29
- BHATT, C. R. et al. Instruments to assess and measure personal and environmental radiofrequency-electromagnetic field exposures. *Australasian physical & engineering sciences in medicine*, Springer, v. 39, n. 1, p. 29–42, 2016. 21, 100
- BLACKMAN, S. *Beginning 3D Game Development with Unity 4: All-in-one, multi-platform game development*. [S.l.]: Apress, 2013. 63
- BOSCAROLI, C. et al. Uma reflexão sobre banco de dados orientados a objetos. In: *Congresso de Tecnologias para Gestão de Dados e Metadados do Cone Sul, Paraná, Brasil*. [S.l.: s.n.], 2006. 52
- BUENO, F. Métodos heurísticos. *Teoria e implementações*. Araranguá: IFSC, 2009. 47, 49
- BURDEA, G. C.; COIFFET, P. *Virtual reality technology*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2003. 63
- CAMPOLO, C. et al. 5g network slicing for vehicle-to-everything services. *IEEE Wireless Communications*, IEEE, v. 24, n. 6, p. 38–45, 2017. 19
- CAMPOS, E. de S. Algoritmo genético aplicado ao planejamento de redes de telecomunicações. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2017. Disponível em: <<http://tede2.pucgoias.edu.br:8080/handle/tede/3720>>. 50
- CARVALHO, V. *PostgreSQL: Banco de dados para aplicações web modernas*. [S.l.]: Editora Casa do Código, 2017. 51, 52
- CASTRO, B. et al. Modelo de propagação para redes sem fio fixas na banda de 5, 8 ghz em cidades típicas da região amazônica. *Universidade Federal do Pará*, 2010. 21, 35, 100
- CATTELL, R. Scalable sql and nosql data stores. *Acm Sigmod Record*, ACM, v. 39, n. 4, p. 12–27, 2011. 61

- CHANG, F. et al. Bigtable: A distributed storage system for structured data. *ACM Transactions on Computer Systems (TOCS)*, ACM, v. 26, n. 2, p. 4, 2008. 51
- CHARBONNEAU, H. *System and method for designing a communications network*. [S.l.]: Google Patents, 2005. US Patent App. 10/744,018. 20
- CHEN, M. et al. A 5g cognitive system for healthcare. *Big Data and Cognitive Computing*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 1, n. 1, p. 2, 2017. 19
- CLIFTON, J. C.; WILSON, J. N. *LTE frequency channel avoidance*. [S.l.]: Google Patents, 2015. US Patent 9,215,720. 27, 28
- COLIN, E. C. *Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas*. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 2007. 45
- CONRAD, T. *Postgresql vs. mysql vs. commercial databases: It's all about what you need*. [S.l.]: Technical report, Devx, 2004. cosmoglobecorp. com/pdf/PostgreSQL\_vs..., 2006. 51
- CRAIGHEAD, J.; BURKE, J.; MURPHY, R. Using the unity game engine to develop large: a case study. In: *Proceedings of the 2008 Simulation Workshop at the International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2008)*. [S.l.: s.n.], 2008. 63
- CROCETTI, S. et al. Low intensity and frequency pulsed electromagnetic fields selectively impair breast cancer cell viability. *PLoS one*, Public Library of Science, v. 8, n. 9, p. e72944, 2013. 43
- DAHLMAN, E.; PARKVALL, S.; SKOLD, J. *4G, LTE-advanced Pro and the Road to 5G*. [S.l.]: Academic Press, 2016. 28
- DATE, C. J. *Introdução a sistemas de bancos de dados*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2004. 50
- DAVIS, L. Handbook of genetic algorithms. CUMINCAD, 1991. 46
- DEMERS, P. A. et al. Occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer in men. *American Journal of Epidemiology*, Oxford University Press, v. 134, n. 4, p. 340–347, 1991. 20
- DÖHLER, M.; AGHVAMI, A. An outdoor-indoor interface model for radio wave propagation for 2.4, 5.2 and 60 ghz. *MSc Project, King's College London*, Citeseer, 1999. 38
- DOPPLER, K. et al. Device-to-device communication as an underlay to lte-advanced networks. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 47, n. 12, p. 42–49, 2009. 27
- ELMASRI, R. et al. Sistemas de banco de dados. Pearson Addison Wesley São Paulo, 2005. 50
- ERCEG, V. et al. An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments. *IEEE Journal on selected areas in communications*, IEEE, v. 17, n. 7, p. 1205–1211, 1999. 35

- FERREIRA ROCHA, C. B. C. A. Caracterização da perda de percurso e otimização bioinspirada do modelo de rádio-propagação spm para redes lte em Áreas arborizadas. *MOMAG*, 2018. 50
- FURTADO, P. P. F. et al. Ferramenta em java para simulação de cobertura de redes wlan em ambientes *Indoor*. Universidade Federal do Pará, 2016. 20, 24, 31, 100
- FUTUYMA, D. J. *Biologia evolutiva*. [S.l.]: SBG 2. ed. Ribeirão Preto, 1992. v. 2. 49
- GAST, M. *802.11 wireless networks: the definitive guide*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2005. 24
- GHASEMPOUR, Y. et al. Ieee 802.11 ay: Next-generation 60 ghz communication for 100 gb/s wi-fi. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 55, n. 12, p. 186–192, 2017. 26
- GHOSH, A. et al. Lte-advanced: next-generation wireless broadband technology. *IEEE wireless communications*, IEEE, v. 17, n. 3, p. 10–22, 2010. 27, 28
- GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. *Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos*. [S.l.]: Elsevier, 2005. 48
- GUERRA, M. V. Caracterização do canal de propagação para redes de tv digital de freqüência única. *Maurício Vilela Guerra*, 2012. 33
- HALONEN, T.; ROMERO, J.; MELERO, J. *GSM, GPRS and EDGE performance: evolution towards 3G/UMTS*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2004. 27
- HARDELL, L.; SAGE, C. Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards. *Biomedicine & pharmacotherapy*, Elsevier, v. 62, n. 2, p. 104–109, 2008. 43
- HEUSER, C. A. *Projeto de banco de dados: Volume 4 da Série Livros didáticos informática UFRGS*. [S.l.]: Bookman Editora, 2009. 50
- IBM. *Infográfico BigData IBM*. 2019. <[http://www.ibm.com/midmarket/br/pt/infografico\\_bigdata.html](http://www.ibm.com/midmarket/br/pt/infografico_bigdata.html)>. [Online; accessed 06-april-2019]. 51
- IJAZ, A. et al. Enabling massive iot in 5g and beyond systems: Phy radio frame design considerations. *IEEE Access*, IEEE, v. 4, p. 3322–3339, 2016. 20
- INTELLIGENCE, G. 5g spectrum - 26 ghz and 28 ghz. *White paper*, p. 1–26, 2018. 29
- IYER, A.; ROSENBERG, C.; KARNIK, A. What is the right model for wireless channel interference? *IEEE Transactions on Wireless Communications*, IEEE, v. 8, n. 5, p. 2662–2671, 2009. 42
- JERALD, J. et al. Developing virtual reality applications with unity. In: *IEEE. 2014 IEEE Virtual Reality (VR)*. [S.l.], 2014. p. 1–3. 63
- JI, H. et al. Ultra-reliable and low-latency communications in 5g downlink: Physical layer aspects. *IEEE Wireless Communications*, IEEE, v. 25, n. 3, p. 124–130, 2018. 29

- JO, H.-S. et al. Heterogeneous cellular networks with flexible cell association: A comprehensive downlink sinr analysis. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, IEEE, v. 11, n. 10, p. 3484–3495, 2012. 42
- KAR, K. et al. Motley keenan model of in-building coverage analysis of ieee 802.11 n wlan signal in electronics and communication engineering department of national institute of technology durgapur. In: IEEE. *2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom)*. [S.l.], 2016. p. 1–6. 20, 41, 42, 43, 99, 100
- KELLY, M. G. *The automatic placement of multiple indoor antennas using Particle Swarm Optimisation*. Tese (Doutorado) — © Marvin G. Kelly, 2016. 21, 99
- KEMP, C.; GYGER, B. *Professional Heroku Programming*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2013. 59
- KONAK, A.; COIT, D. W.; SMITH, A. E. Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial. *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, v. 91, n. 9, p. 992–1007, 2006. 49
- KWOK, W. Understanding the fifth generation mobile (5g) services. *Global Mobile Suppliers Association*, 2017. 31
- LEITE, G. S. Análise comparativa do teorema cap entre os bancos de dados nosql e bancos de dados relacionais. *Fortaleza, Faculdade Farias Brito Ciencia da Computação*, 2010. 52
- LI, W.-J. et al. Justiot internet of things based on the firebase real-time database. In: IEEE. *2018 IEEE International Conference on Smart Manufacturing, Industrial & Logistics Engineering (SMILE)*. [S.l.], 2018. p. 43–47. 61
- LIMA, G. d. Desenvolvimento de um aplicativo baseado em fdtd para o estudo da propagação de ondas eletromagnéticas. 2017. 35
- LINDEN, R. *Algoritmos genéticos (2a edição)*. [S.l.]: Brasport, 2008. 48
- LINOWES, J. *Unity Virtual Reality Projects: Learn Virtual Reality by Developing More Than 10 Engaging Projects with Unity 2018*. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2018. 63
- LOHMAR, T. et al. Delivering content with lte broadcast. *Ericsson Review*, v. 1, n. 11, p. 2–8, 2013. 27
- LOKHANDE, P. et al. Efficient way of web development using python and flask. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 2015. 59, 60
- LUCIANA, B. et al. Uma nova abordagem para a solução do problema de fluxo de carga pelo método de newton com otimização de passo. *Controle and Automacao*, Sociedade Brasileira de Automatica, Vitoria, Brazil, 1997. 45
- MACCARTNEY, G. R. et al. Indoor office wideband millimeter-wave propagation measurements and channel models at 28 and 73 ghz for ultra-dense 5g wireless networks. *IEEE Access*, IEEE, v. 3, p. 2388–2424, 2015. 21, 39, 41, 44

- MACCARTNEY, G. R. et al. Path loss models for 5g millimeter wave propagation channels in urban microcells. In: *Globecom*. [S.l.: s.n.], 2013. p. 3948–3953. 40
- MACISAAC, D. Google cardboard: A virtual reality headset for \$10? *The Physics Teacher*, AAPT, v. 53, n. 2, p. 125–125, 2015. 63
- MCKINNEY, W. pandas: a foundational python library for data analysis and statistics. *Python for High Performance and Scientific Computing*, v. 14, 2011. 57
- MEDEIROS, G. F. de; KRIPKA, M. Algumas aplicações de métodos heurísticos na otimização de estruturas. *Revista CIATEC-UPF*, v. 4, n. 1, p. 19–32, 2012. 45
- MEDEISIS, A.; KAJACKAS, A. On the use of the universal okumura-hata propagation prediction model in rural areas. In: IEEE. *VTC2000-Spring. 2000 IEEE 51st Vehicular Technology Conference Proceedings (Cat. No. 00CH37026)*. [S.l.], 2000. v. 3, p. 1815–1818. 36
- MEINILÄ, J. et al. Winner ii channel models. *Radio Technologies and Concepts for IMT-Advanced*, Wiley Online Library, p. 39–92, 2009. 40
- MELLO, L. A. R. da S. *Redes de Acesso em Banda Larga Utilizando Sistemas VSAT e WiFi*. Tese (Doutorado) — PUC-Rio, 2006. 32, 34
- MIDDLETON, N.; SCHNEEMAN, R. *Heroku: Up and Running: Effortless Application Deployment and Scaling*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2013. 58, 59
- MOTLEY, A.; KEENAN, J. Personal communication radio coverage in buildings at 900 mhz and 1700 mhz. *Electronics Letters*, IET, v. 24, n. 12, p. 763–764, 1988. 38
- MOULY, M.; PAUTET, M.-B.; BY-HAUG, T. F. *The GSM system for mobile communications*. [S.l.]: Telecom publishing, 1992. 26
- MURARI, M. A. Desenvolvimento de um software para migração de um banco de dados relacional firebird para o não relacional mongodb. Universidade Federal de Santa Maria, 2014. 51
- NAJNUDEL, M. Estudo de propagação em ambientes fechados para o planejamento de wlans. *Rio de Janeiro*, v. 136, 2004. 21, 32, 34, 38, 39, 44
- NOKIA. 5g deployment below 6 ghz. *White Paper*, 2017. 31
- NÚÑEZ, A. R. Programación celular resolución eficiente de problemas numéricos np-completos. 2004. 50
- O'HARA, B.; PETRICK, A. *IEEE 802.11 handbook: a designer's companion*. [S.l.]: IEEE Standards Association, 2005. 24
- OLIPHANT, T. E. Python for scientific computing. *Computing in Science & Engineering*, IEEE, v. 9, n. 3, p. 10–20, 2007. 57
- ONG, E. H. et al. Ieee 802.11 ac: Enhancements for very high throughput wlans. In: IEEE. *2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*. [S.l.], 2011. p. 849–853. 25

- OUGHTON, E. J.; FRIAS, Z. Exploring the cost, coverage and rollout implications of 5g in britain. *Cambridge: Centre for Risk Studies, Cambridge Judge Business School*, 2016. 19
- PACHECO, M. A. C. et al. Algoritmos genéticos: princípios e aplicações. *ICA: Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada. Departamento de Engenharia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Fonte desconhecida*, p. 28, 1999. 49
- PARTNERSHIP PROJECT, TECH. REP. TR 25.996. *Spatial channel model for multiple input multiple output (MIMO) simulations*. 2003. <<http://www.3gpp.org>>. [Online; accessed 07-april-2019]. 40
- PATZOLD, M. 5g is coming around the corner [mobile radio]. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, IEEE, v. 14, n. 1, p. 4–10, 2019. 19
- PILLEKEIT, A. et al. Force-based load balancing in co-located umts/gsm networks. In: IEEE. *IEEE 60th Vehicular Technology Conference, 2004. VTC2004-Fall. 2004*. [S.l.], 2004. v. 6, p. 4402–4406. 26
- PINTO, O. F. d. A. Gleison de B. Estudo da interoperabilidade entre redes locais sem fio (wlan) e o sistema móvel celular. Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, 2003. 25, 26
- QIN, C. et al. Analys and solution for wlan wireless interference based on ranplan ibuildnet. *Telecommunications Technology*, n. 9, p. 127–131, 2011. 20
- RAMIREZ, L. A. R. *Aplicação do Método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo na Análise de Cobertura em Ambientes Interiores*. Tese (Doutorado) — PhD dissertation, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, 2008 (in . . ., 2008. 40, 43
- RAPPAPORT, T. S. et al. *Wireless communications: principles and practice*. [S.l.]: prentice hall PTR New Jersey, 1996. v. 2. 40
- RAPPAPORT, T. S. et al. Millimeter wave mobile communications for 5g cellular: It will work! *IEEE access*, IEEE, v. 1, p. 335–349, 2013. 31
- RECOMENDATIONS, I.-R. Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 mhz to 100 ghz. *Rec. ITU-R P. 1238-1*, 1999. 39
- RÊGO, B. L. *Gestão e Governança de Dados: Promovendo dados como ativo de valor nas empresas*. [S.l.]: Brasport, 2013. 52
- REZENDE, M. H. B. de. *Estudo e Análise de Propagação de Sinais de RF na Faixa de Ondas Centimétricas*. Tese (Doutorado) — Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São João Del-Rei, 2017. 36
- ROCHA, J. W. D. J. F. *Importância do banco de dados nas aplicações*. [S.l.]: Unipar, 2015. 50

- RODRIGUES, J. d. C. et al. Planejamento de redes de comunicação sem fio para ambiente indoor considerando os efeitos da polarização das antenas: abordagem baseada em medições. Universidade Federal do Pará, 2011. 20
- RUDD, R. Indoor coverage considerations for high-elevation angle systems. IET, 2001. 38
- SADALAGE, P. J.; FOWLER, M. *NoSQL essencial: um guia conciso para o mundo emergente da persistência poliglota.* [S.l.]: Novatec Editora, 2013. 51
- SAMIMI, M. K.; RAPPAPORT, T. S.; MACCARTNEY, G. R. Probabilistic omnidirectional path loss models for millimeter-wave outdoor communications. *IEEE Wireless Communications Letters*, IEEE, v. 4, n. 4, p. 357–360, 2015. 40
- SANCHEZ-RUBIO, A. et al. Wavelength beam combining for power and brightness scaling of laser systems. *Lincoln Laboratory Journal*, Citeseer, v. 20, n. 2, p. 55–66, 2014. 35
- SANTOS, D. dos. Planejamento de cobertura e capacidade de redes de acesso em banda larga com tecnologia lte. *Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro.[documento em línea] http://www. lambda. maxwell. ele. puc-rio. br/17607/17607\_1. PDF.[Consultado: 17 junho. 2018]*, 2010. 36
- SANTOS, F. B. B. Implementação eficiente de busca em plataforma paralela. *Goiânia: UCG*, 2001. 46, 48
- SARKAR, T. K. et al. A survey of various propagation models for mobile communication. *IEEE Antennas and propagation Magazine*, IEEE, v. 45, n. 3, p. 51–82, 2003. 37
- SAUNDERS, S.; ARAGÓN-ZAVALA, A. *Antennas and propagation for wireless communication systems.* [S.l.]: John Wiley & Sons, 2007. 34
- SCHAUBACH, K. R. et al. A ray tracing method for predicting path loss and delay spread in microcellular environments. In: *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference.* [S.l.: s.n.], 1992. v. 2, p. 932–935. 33
- SESIAS, S.; BAKER, M.; TOUFIK, I. *LTE-the UMTS long term evolution: from theory to practice.* [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011. 27
- SILBERSCHATZ, A.; SUNDARSHAN, S.; KORTH, H. F. *Sistema de banco de dados.* [S.l.]: Elsevier Brasil, 2016. 50
- SILVEIRA, R.; BARONE, D. A. C. Jogos educativos computadorizados utilizando a abordagem de algoritmos genéticos. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Informática. Curso de Pós-Graduação em Ciências da Computação*, 1998. 49
- SINGH, Y. Comparison of okumura, hata and cost-231 models on the basis of path loss and signal strength. *International journal of computer applications*, Citeseer, v. 59, n. 11, 2012. 36
- SKOUBY, K. E.; LYNGGAARD, P. Smart home and smart city solutions enabled by 5g, iot, aai and cot services. In: *IEEE. 2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I).* [S.l.], 2014. p. 874–878. 19

- SOLAHUDDIN, Y.; MARDENI, R. Indoor empirical path loss prediction model for 2.4 ghz 802.11 n network. In: IEEE. *2011 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*. [S.l.], 2011. p. 12–17. 38
- SOUZA, F. R. et al. Gerenciamento de dados em nuvem: Conceitos, sistemas e desafios. *Topicos em sistemas colaborativos, interativos, multimidia, web e bancos de dados, Sociedade Brasileira de Computacao*, p. 101–130, 2010. 61
- STEUER, J. Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of communication*, Wiley Online Library, v. 42, n. 4, p. 73–93, 1992. 63
- STUDIO, A. Android studio. *The Official IDE for Android*, 2017. 55
- SUCUPIRA, I. R. Métodos heurísticos genéricos: metaheurísticas e hiper-heurísticas. *USP: São Paulo*, p. 32, 2004. 45
- SUN, S. et al. Propagation path loss models for 5g urban micro-and macro-cellular scenarios. In: IEEE. *2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. [S.l.], 2016. p. 1–6. 39
- SUN, S. et al. Path loss, shadow fading, and line-of-sight probability models for 5g urban macro-cellular scenarios. In: IEEE. *2015 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*. [S.l.], 2015. p. 1–7. 39
- TANAKA, E. H. et al. Método baseado em heurísticas para avaliação de acessibilidade em sistemas de informação. [sn], 2009. 45
- TEIXEIRA, R. B. M. et al. Predição do sinal em uma rede local sem fio através de redes neurais artificiais. 21
- TESSAROLO<sup>1</sup>, P. H.; MAGALHÃES<sup>1</sup>, W. B. A era do big data no conteúdo digital: os dados estruturados e não estruturados. 2015. 52
- TSAY, J.; DABBISH, L.; HERBSLEB, J. Influence of social and technical factors for evaluating contribution in github. In: ACM. *Proceedings of the 36th international conference on Software engineering*. [S.l.], 2014. p. 356–366. 60
- VASILESCU, B.; FILKOV, V.; SEREBRENIK, A. Stackoverflow and github: Associations between software development and crowdsourced knowledge. In: IEEE. *2013 International Conference on Social Computing*. [S.l.], 2013. p. 188–195. 60
- VOGEL, P. et al. A low-effort analytics platform for visualizing evolving flask-based python web services. In: IEEE. *2017 IEEE Working Conference on Software Visualization (VISSOFT)*. [S.l.], 2017. p. 109–113. 59
- WALT, S. V. D.; COLBERT, S. C.; VAROQUAUX, G. The numpy array: a structure for efficient numerical computation. *Computing in Science & Engineering*, IEEE Computer Society, v. 13, n. 2, p. 22, 2011. 57
- WICKENS, C. D. Virtual reality and education. In: IEEE. *[Proceedings] 1992 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. [S.l.], 1992. p. 842–847. 21

- WIRELESS, S. The last 4g technology jump before 5g: What lte-advanced pro means for the iot. *White paper*, 2019. 28
- XIAO, Y. Ieee 802.11 n: enhancements for higher throughput in wireless lans. *IEEE Wireless Communications*, IEEE, v. 12, n. 6, p. 82–91, 2005. 24
- XU, X. From cloud computing to cloud manufacturing. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, Elsevier, v. 28, n. 1, p. 75–86, 2012. 59
- YANG, H.; DENG, D.-J.; CHEN, K.-C. On energy saving in ieee 802.11 ax. *IEEE Access*, IEEE, v. 6, p. 47546–47556, 2018. 25
- ZUBEN, F. J. V. Computação evolutiva: uma abordagem pragmática. *Anais da I Jornada de Estudos em Computação de Piracicaba e Região (1a JECOMP)*, v. 1, p. 25–45, 2000. 46

## APÊNDICE A – Manuais de Instrução

No presente apêndice serão anexados os manuais de instrução para o aplicativo de medição, o aplicativo em realidade virtual e o *website*, respectivamente.

Figura 57: QRCode para Acessar o Site do Ziwi



Fonte: Autora

Figura 58: QRCode para Baixar o Aplicativo de Medições Ziwi



Fonte: Autora

# ZIWI APP



O início da modelagem de canal de rádio depende da medição do ambiente em questão. Ziwi é uma ferramenta que irá disponibilizar ao usuário comunicação absoluta entre seus *softwares*, tornando o trabalho de modelagem mais fácil. O aplicativo mobile tem a função de realizar as medições do ambiente e é completamente compatível com seus outros programas. Além de conseguir capturar até 20 pontos por segundo.

O aplicativo do Ziwi é capaz de realizar medições do sinal *indoor* e *outdoor*. Sendo exibido ao usuário, no modo *indoor*, o gráfico de potência recebida e campo elétrico dos últimos 30 segundos, além de mostrar ambos valores em tempo real. Já no modo *outdoor*, é possível acompanhar o sinal em tempo real, tendo como histórico os últimos 30 segundos no gráfico, da potência recebida, da intensidade do campo elétrico e do RSRQ.

# **Conteúdo**

1. Introdução .....	3
2. Modo <i>indoor</i> .....	4
3. Modo <i>outdoor</i> .....	8
4. Local de Armazenamento .....	12
5. Como Medir .....	13

## 1. Introdução



Ao abrir o aplicativo o usuário irá uma tela de *splash screen*, a qual irá fazer uma curta animação até passar para a próxima tela, automaticamente.

Figura 1. Tela de *Splash Screen*

Na segunda tela do aplicativo poderá ser visto dois cards: *indoor* e *outdoor*. Cada card irá direcionar o usuário para o modo em questão para que se possa realizar a medição no ambiente.

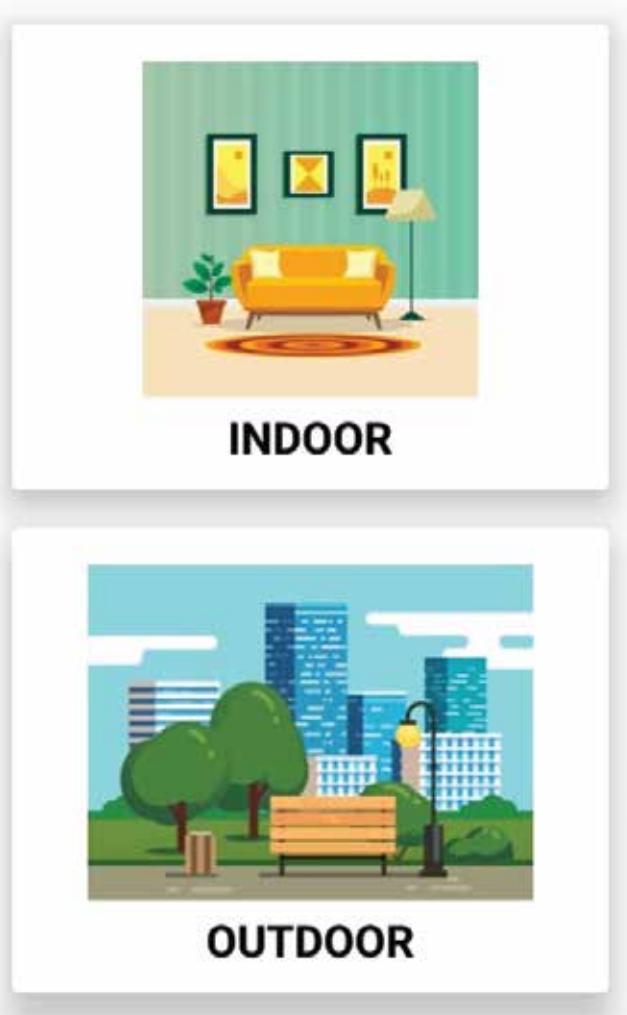


Figura 2. Tela de Seleção

## 2. Modo Indoor

Ao entrar no modo *indoor* será visto essa interface:

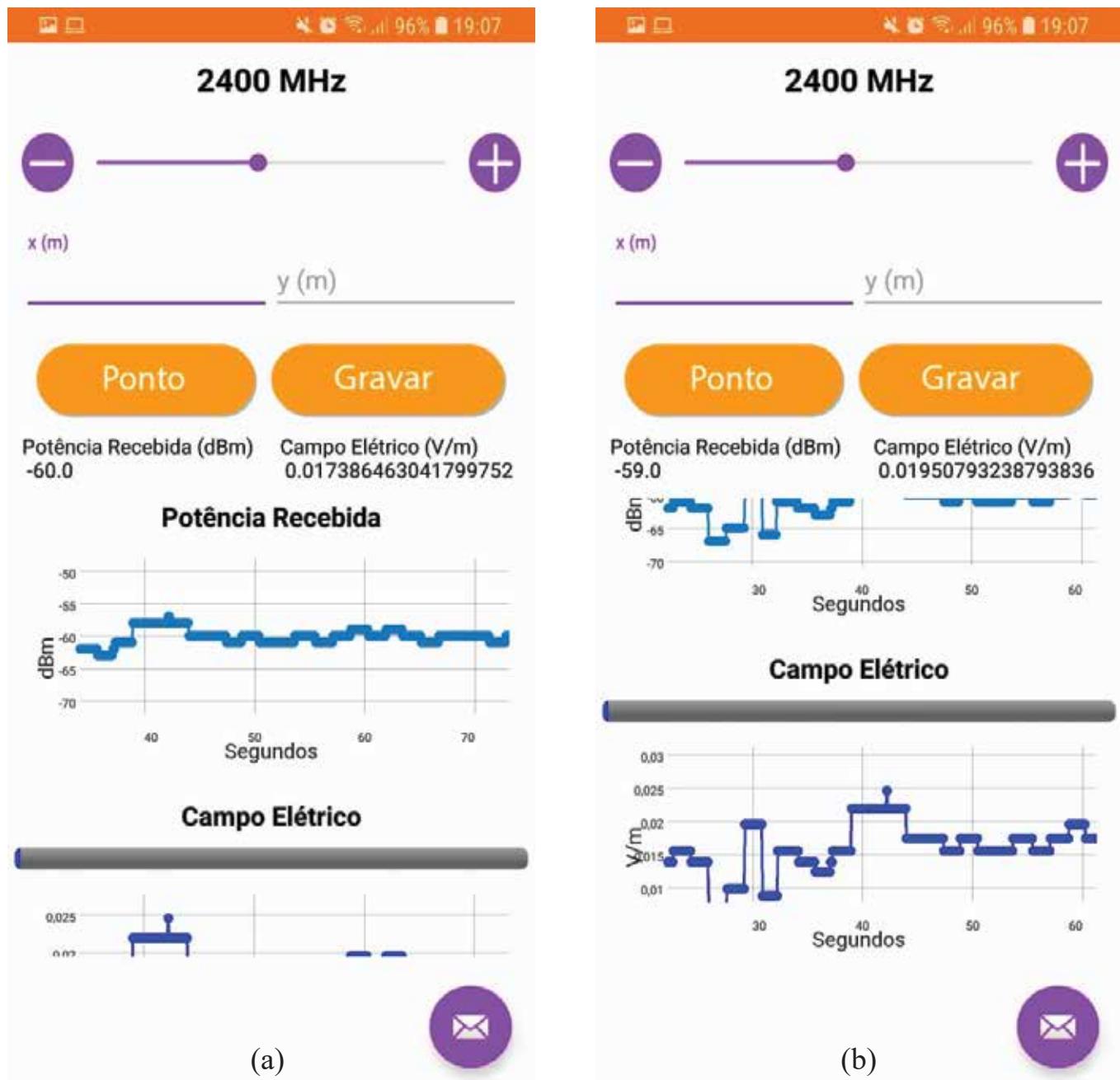


Figura 3. Tela do modo *Indoor* (a) sem scroll (b) com scroll

No topo da tela (Figura 4) há um barra para configurar a frequência. A frequência definida não será obrigatoriamente a da medição, pois quem a define é o aparelho transmissor. Na barra deverá ser configurada a mesma frequência do seu roteador. A mesma será utilizada para o cálculo do campo elétrico. As frequências disponíveis são as definidas para a rede wifi, ou seja, 2400 e 5200 MHz. Poderá alterar o valor da mesma tanto arrastando a bolinha da barra ou clicando nos botões de mais e menos nas laterais.

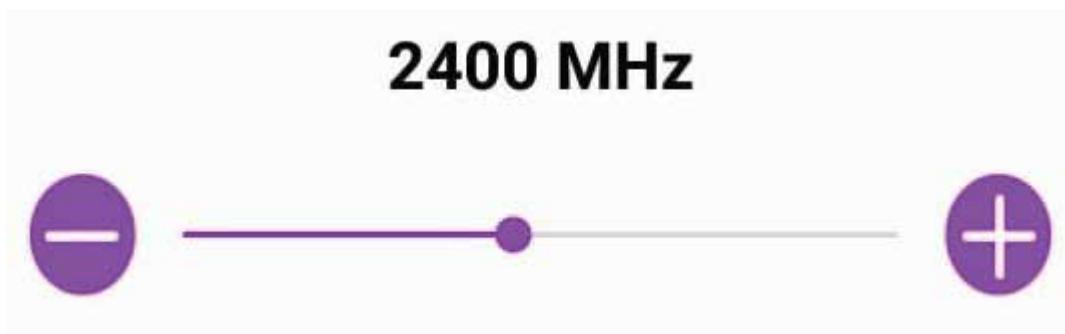


Figura 4. Barra para definir frequência

A Figura 5 mostra os *inputs* de localização do usuário. Uma medição indoor é feita ponto a ponto. Onde, o roteador fica parado em um ponto e o aparelho de medição se movimenta pela sala. Definido um ponto X0 e Y0 pelo usuário, os valores a serem colocados nesses inputs será a distância do ponto de medição até o ponto X0 e Y0 da sala.



Figura 5. Input de localização do usuário

Na Figura 6 (a) é possível ver um botão de gravar o qual está na interface mostrada na Figura 3, no entanto a Figura 6 (b) não está presente na mesma. Isso acontece pois ao selecionar o botão de gravar a ação irá se iniciar e a próxima ação aceitável pelo aplicativo será a de para a medição dos dados. Ao clicar no botão “Gravar” será gerado um arquivo .txt no seu celular, ou tablet, que irá conter a potência recebida, intensidade do campo elétrico e a distância x e y para os pontos X0 e Y0. Ao clicar no botão “Parar” o arquivo será fechado e aparecerá na pasta “Documentos” do dispositivo.

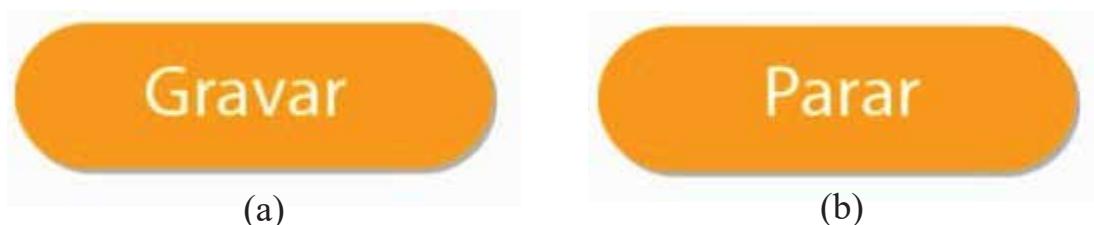


Figura 6. (a) Botão para gravar (b) Botão para parar de gravar

Acontece o mesmo procedimento com os botões na Figura 7, o qual a Figura 7 (a) aparece na Fiura 3, mas a Figura 7 (b) não aparece. Ao clicar no botão “Gravar”, o arquivo será gerado, no entanto, nenhuma informação estará sendo gravado nele. Ao clicar no botão “Ponto”, a potência recebida e a intensidade do campo elétrico começarão a ser gravados nos pontos x e y definidos no *input* (Figura 5). Ao mesmo tempo o botão ficará roxo, indicando que está gravando. Para parar de gravar o ponto basta clicar no botão roxo, então ele voltará a cor laranja e parará de gravrar. Nesse momento, o usuário deverá se locomover para o próximo ponto e trocar os *inputs*, antes de começar a gravar o novo ponto. Sendo que só é possível gravar pontos caso tenha algum arquivo aberto, ou seja, tenha clicado no botão “Gravar” antes e ainda não tenha parado a gravação.

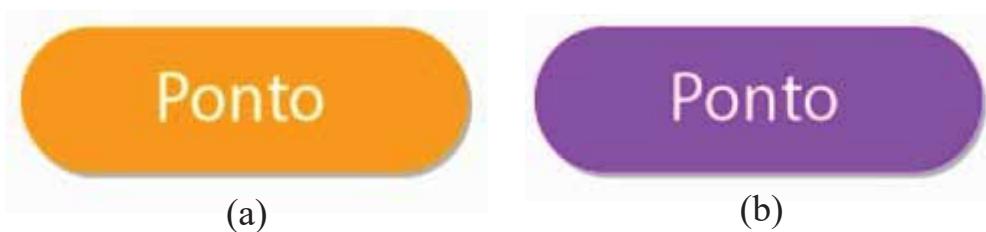


Figura 7. (a) Botão de gravar ponto (b) Botão para parar de gravar ponto

O botão presente na Figura 8 é um botão flotoante com a finalidade de compartilhar medições, rapidamente. Ao clicar nele, o usuário será redirecionado ao aplicativo de e-mail, e o mesmo estará com o arquivo da última medição em anexo. Caso não haja uma última medição só irá abrir o e-mail sem nenhum anexo.



Figura 8. Botão para enviar o último arquivo

Na Figura 9 é possível ver onde é mostrado ao usuário a potência recebida e a intensidade do campo elétrico, em tempo real, para o usuário.

Potência Recebida (dBm)	Campo Elétrico (V/m)
-60.0	0.017386463041799752

Figura 9. Valores em tempo real

Na Figura 10 é possível ver o gráfico com o histórico dos últimos 30 segundos da potência recebida. O mesmo pode ser visto na interface inicial, do modo *indoor*, sem scroll, como visto na Figura 3 (a).

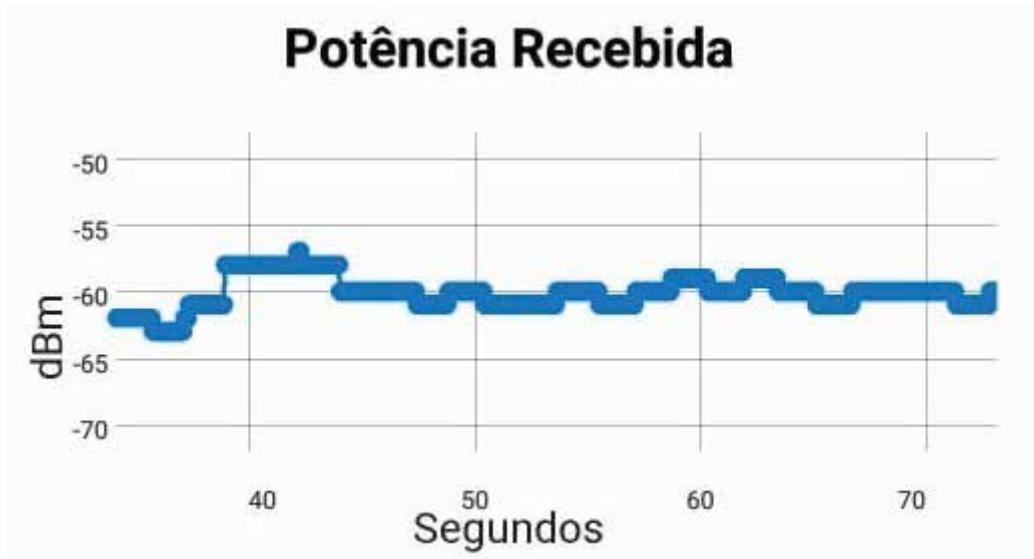


Figura 10. Gráfico com histórico da potência recebida

Na Figura 10 é possível ver o gráfico com o histórico dos últimos 30 segundos da intensidade do campo elétrico. O mesmo pode ser visto na interface inicial, do modo *indoor*, com scroll, como visto na Figura 3 (b).

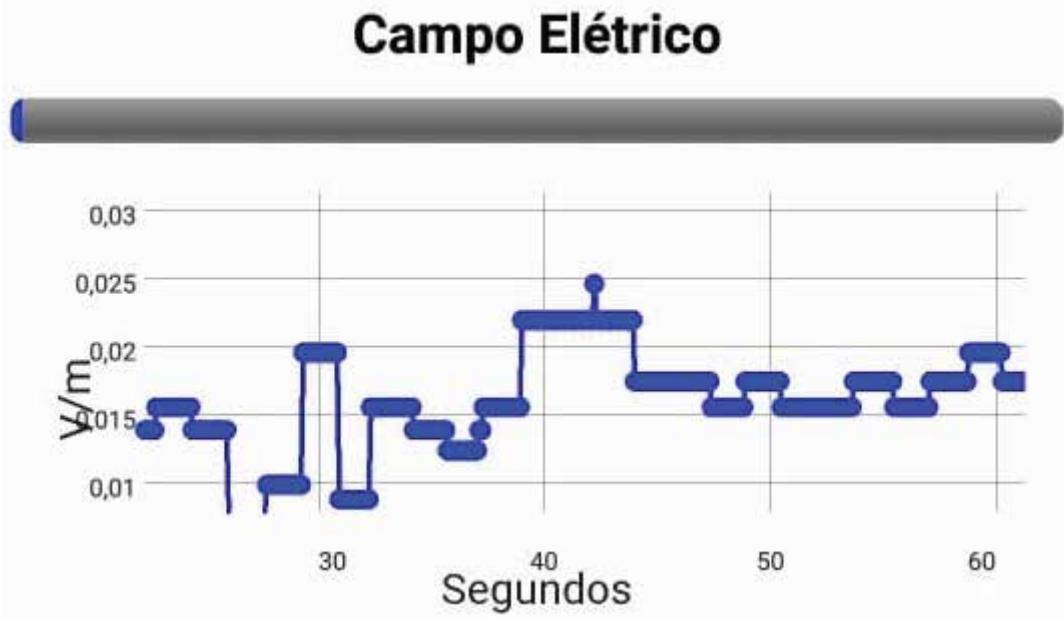


Figura 11. Gráfico com histórico do campo elétrico

### 3. Modo *Outdoor*

Ao entrar no modo *indoor* será visto essa interface, além de ser solicitado que o GPS seja ligado:

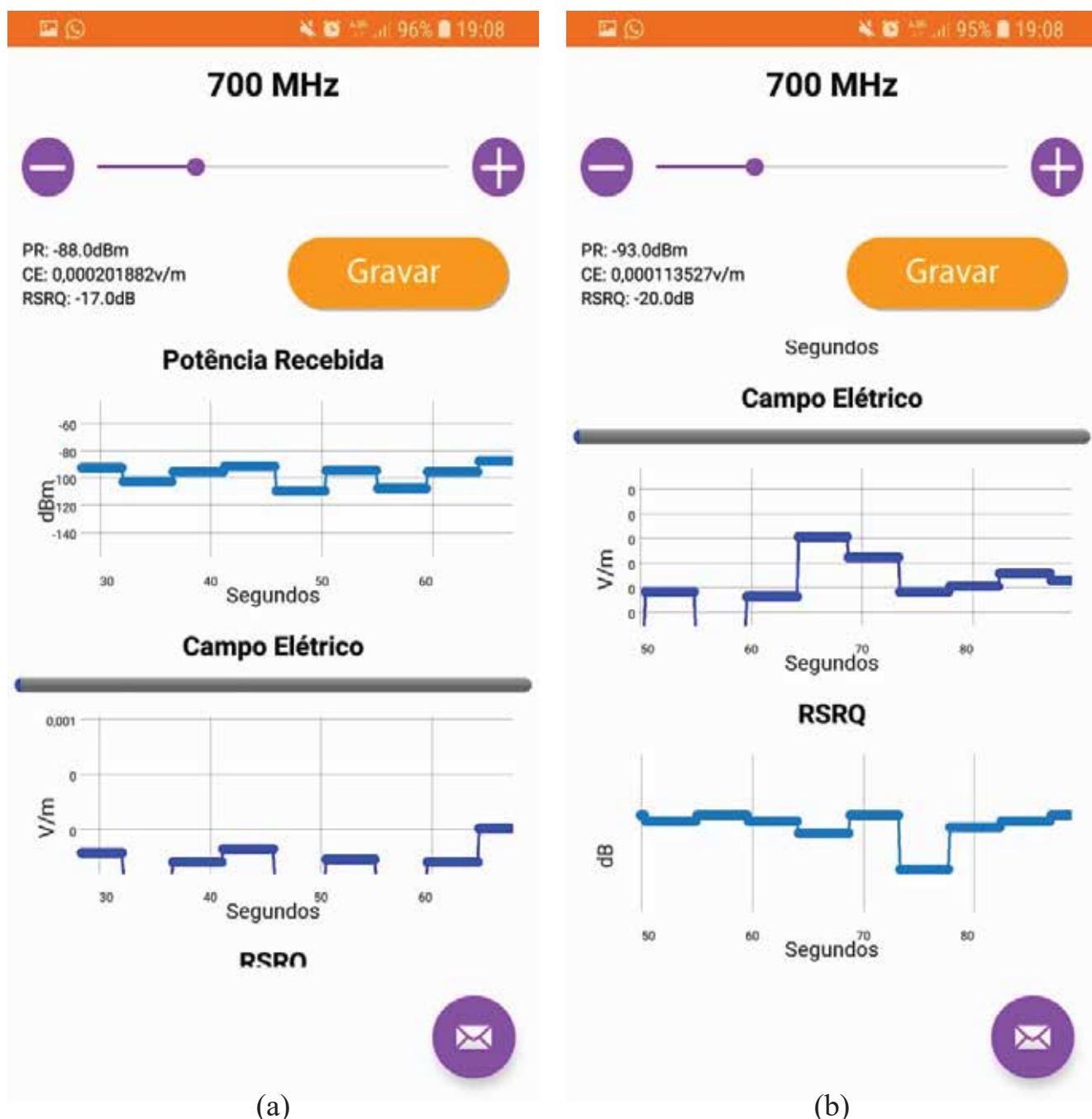


Figura 12. Tela do modo *outdoor* (a) sem scroll (b) com scroll

No topo da tela (Figura 13) há um barra para configurar a frequência. A frequência definida não será obrigatoriamente a da medição, pois quem a define é a antena transmissora. Na barra deverá ser configurada a mesma frequência da antena. A mesma será utilizada para o cálculo do campo elétrico. As frequências disponíveis são as definidas para a rede 4G (LTE), ou seja, 700, 1800 e 250 MHz. Poderá alterar o valor da mesma tanto arrastando a bolinha da barra ou clicando nos botões de mais e menos nas laterais.

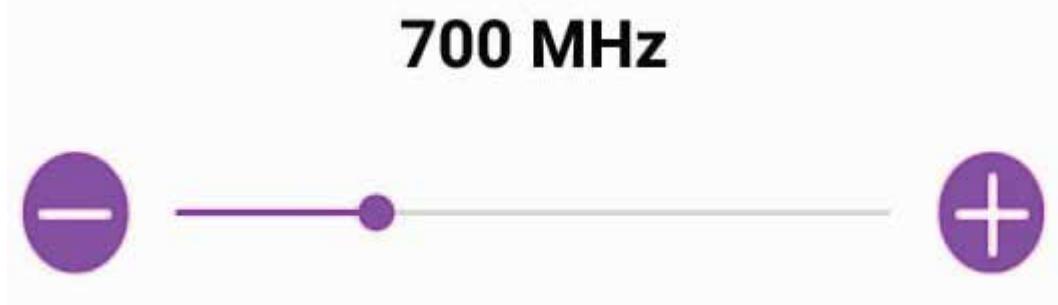


Figura 13. Barra para definir a frequência

Na Figura 14 (a) é possível ver um botão de gravar o qual está na interface mostrada na Figura 12, no entanto a Figura 14 (b) não está presente na mesma. Isso acontece pois ao selecionar o botão de gravar a ação irá se iniciar e a próxima ação aceitável pelo aplicativo será a de para a medição dos dados. Ao clicar no botão “Gravar” será gravado a potência recebida, a intensidade do campo elétrico, a latitude e a longitude (caso o GPS esteja ligado) do local. Ao clicar no botão “Parar” a medição terminará e será gerado um arquivo .txt na pasta “Documentos” do dispositivo, com todas as informações geradas nesse tempo.

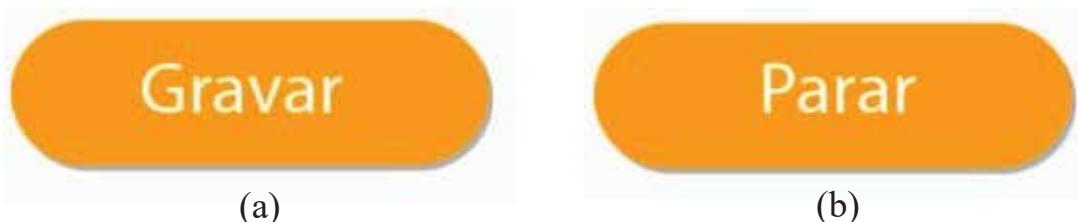


Figura 14. (a) Botão para gravar (b) Botão para parar de gravar

O botão presente na Figura 15 é um botão flotoante com a finalidade de compartilhar medições, rapidamente. Ao clicar nele, o usuário será redirecionado ao aplicativo de e-mail, e o mesmo estará com o arquivo da última medição em anexo. Caso não haja uma última medição só irá abrir o e-mail sem nenhum anexo.



Figura 15. Botão para enviar o último arquivo

Na Figura 16 é possível ver onde é mostrado ao usuário a potência recebida, a intensidade do campo elétrico e o valor de RSRQ, em tempo real, para o usuário.

PR: -93.0dBm  
CE: 0,000113527v/m  
RSRQ: -20.0dB

Figura 16. Valores em tempo real

Na Figura 17 é possível ver o gráfico com o histórico dos últimos 30 segundos da potência recebida. O mesmo pode ser visto na interface inicial, do modo *outdoor*, sem scroll, como visto na Figura 12 (a).



Figura 17. Gráfico com histórico da potência recebida

Na Figura 18 é possível ver o gráfico com o histórico dos últimos 30 segundos da intensidade do campo elétrico. O mesmo pode ser visto na interface inicial, do modo *outdoor*, sem scroll, como visto na Figura 12 (a).

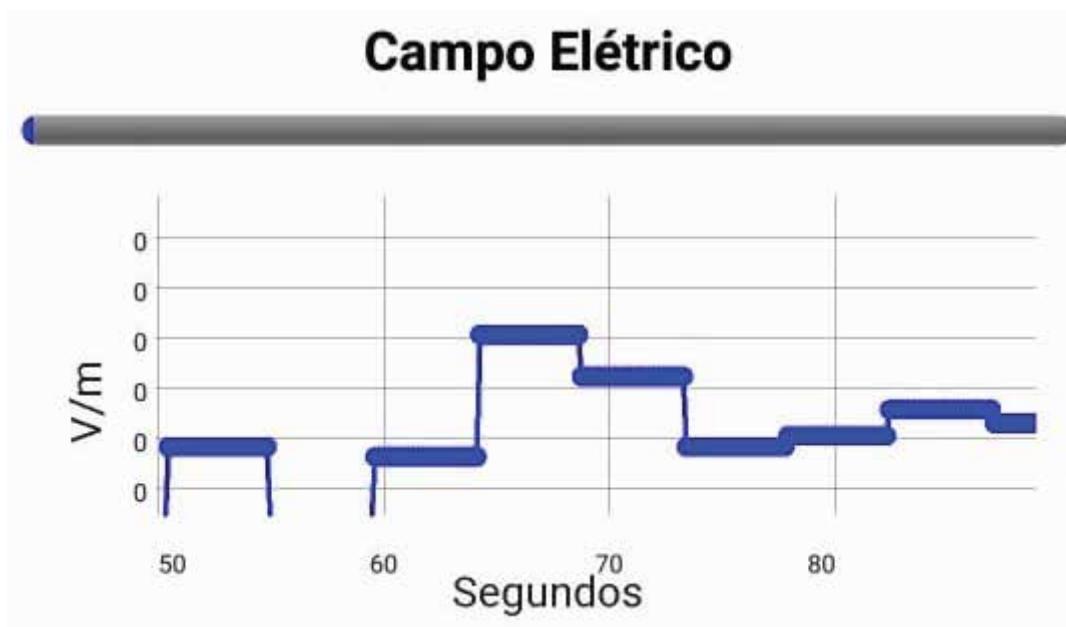


Figura 18. Gráfico com histórico do campo elétrico

Na Figura 19 é possível ver o gráfico com o histórico dos últimos 30 segundos do RSRQ. O mesmo pode ser visto na interface inicial, do modo *outdoor*, com scroll, como visto na Figura 12 (b).

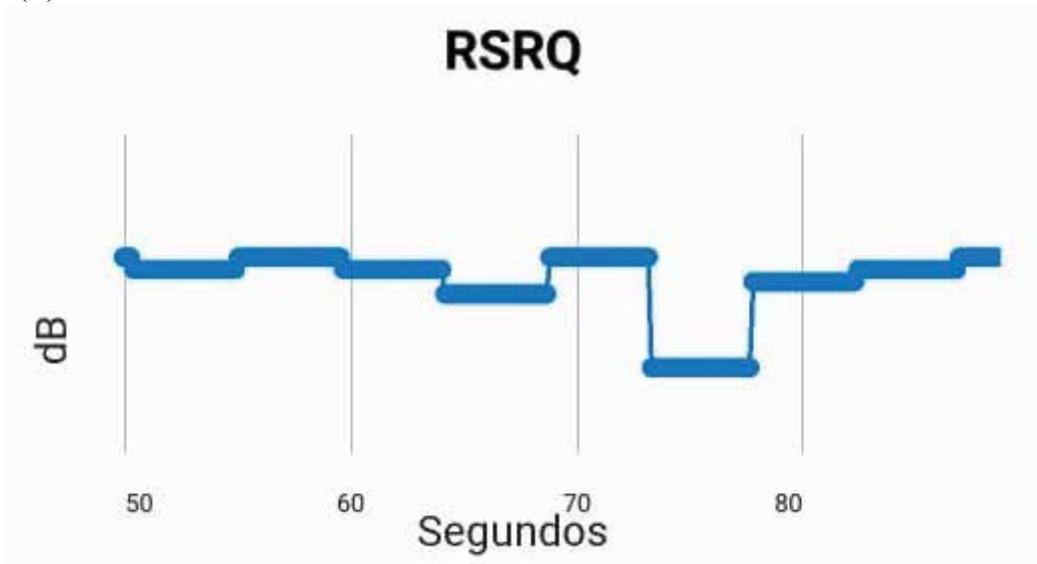


Figura 19. Gráfico com histórico do RSRQ

---

## 4. Local de Armazenamento

Como visto na seção 2 e 3, ao clicar no botão “Parar” é gerado um .txt na pasta “Documentos” do dispositivo.

Essa pasta se encontra no seguinte diretório:

Meus Arquivos -> Armazenamento Interno -> Documentos

Ao realizar medições a pasta “Ziwi” será criada dentro dela. E dentro da pasta “Ziwi” será criada a pasta “Indoor” ou “Outdoor”, de acordo com a medição que tenha sido feita.

Tendo como diretório final:

Meus Arquivos -> Armazenamento Interno -> Documentos -> Ziwi -> Indoor

Ou

Meus Arquivos -> Armazenamento Interno -> Documentos -> Ziwi -> Outdoor

Os arquivos .txt gerados serão salvos nessas pastas. O nome dado a cada arquivo será de acordo com a tecnologia usada, a frequência, ano, mês, dia, hora, minuto e segundo em que a medição foi realizada.

Um exemplo de nome de nome de arquivo *indoor*:

Wifi2400-2019Y1M21D14H26M42S.txt

Um exemplo de nome de nome de arquivo *outdoor*:

LTE700-2019Y1M21D14H26M42S.txt

## 5. Como Medir

### *Indoor*

Para realizar a medição indoor é necessário considerar o ambiente que irá medir como se fosse um plano cartesiano e definir qual será o ponto  $(0, 0)$  para se guiar por ele. Para realizar a medição é importante manter o celular/tablet na mesma altura do roteador, ou próximo. Além de deixar o celular na mesma posição para todos os pontos, ou sempre na vertical, ou sempre na horizontal, evitar deixá-lo na diagonal.

A dimensão do plano cartesiano deve estar em metros, assim como a do ambiente que será medido. No aplicativo Zowi é pedido os valores de X e Y, e esses valores serão representados pelo local equivalente ao local no plano cartesiano, como na Figura 20.

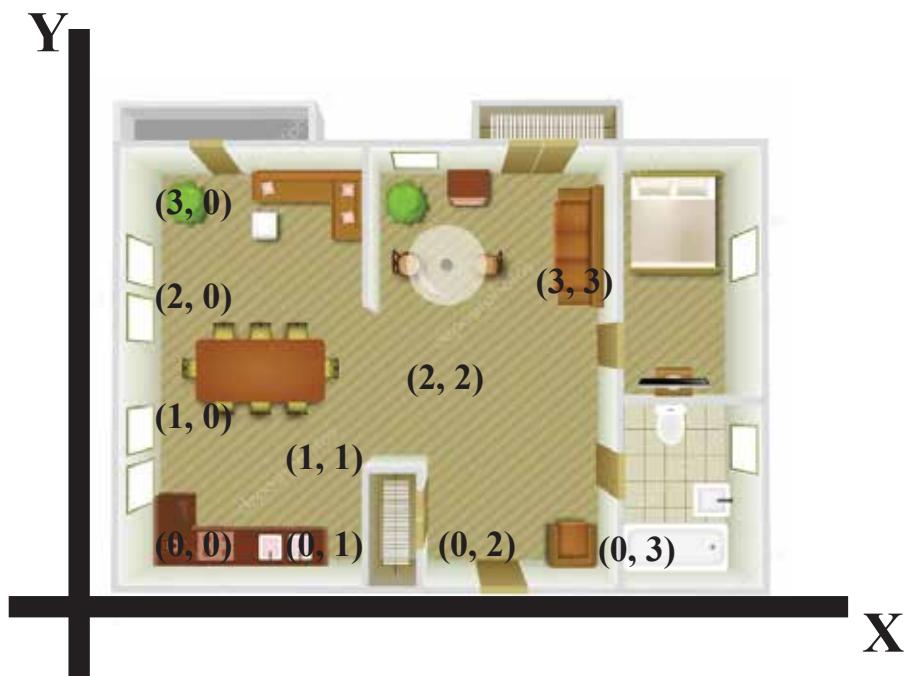


Figura 20. Cenário no plano cartesiano

As medições devem ser feitas nas radiais da sala, ou seja, em linhas retas, podendo ser a linha horizontal, vertical e a diagonal principal em relação ao roteador, como visto na Figura 21. Sendo que a cada ponto que for gravar deve-se lembrar de atualizar o valor de X e Y no aplicativo.



Figura 21. Radiais de um ambiente

## ***Outdoor***

Para realizar medições outdoor basta clicar no botão gravar no aplicativo e ir andando por onde deseja medir. O aplicativo irá gravar a latitude e longitude, contando que o GPS esteja ligado, enquanto o usuário estiver andando. Ao mesmo tempo irá gravar a potência recebida, sendo assim a medição será feita automaticamente, apenas andando pelo local.

# ZIWI VR



A modelagem de canal de rádio é feita com o intuito de analisar o cenário e definir como o sinal está se comportando no ambiente. Ziwi é uma ferramenta que disponibiliza ao usuário comunicação absoluta entre seus softwares, tornando o trabalho de modelagem e análise mais fácil. O aplicativo em realidade virtual tem a finalidade de visualizar os dados em 3D com o objetivo de deixar a observação mais interativa.

O aplicativo VR do Ziwi é capaz de simular ambientes e mostrar a visualização do mapa de calor dos mesmos para o usuário, informando o eixo X, Y e a perda do ponto em que o usuário está examinando. No software também é possível andar pelo cenário para fazer as observações mais de perto.

# **Conteúdo**

1. Materiais Necessários .....	3
2. Informações Necessárias .....	5
3. Visualização .....	9

# 1. Materiais Necessários

Para utilizar o Ziwi VR é necessário um dispositivo móvel que rode o android Kit Kat (4.4), ou superior. Um óculos de realidade virtual, dos que não são ligados ao computador e nem ao celular, funcionam apenas pelo software do telefone e pelas lentes especiais. Caso o usuário deseje andar pelo cenário também será necessário um joystick *bluetooth*, ou com cabo (se o dispositivo móvel tiver suporte). O ambiente gerado não inclui música, então *headphones* são dispensáveis.

## Óculos de Realidade Virtual

Os principais óculos de realidade virtual compatíveis com o aplicativo disponíveis no mercado são o Card Board (Figura 1 (a)) e o VR Box (Figura 1 (b)). Na opção do Card Board é possível encontrá-la costumizados de várias maneiras, até mesmo sendo feito de Miriti.



Figura 1. (a) Card Board (b) VR box

## Joystick

Caso queira se movimentar pelo ambiente 3D, qualquer controle *bluetooth* é compatível, podendo ser o comum (Figura 2 (a)) ou o específico para realidade virtual, de baixo custo (Figura 2 (b)). Controles com fio também são compatíveis desde que o dispositivo móvel o reconheça e esteja configurado como controle no mesmo. O único botão necessário do joystick será o analógico esquerdo(Figura 2 (a)) ou o analógico (Figura 2 (b)).



(a)



(b)

Figura 2. Joystick Bluethoot (a) Comum (b) VR

## 2. Informações Necessárias

Ao entrar no aplicativo o usuário se depara com o menu (Figura 3), contendo a logo e o nome do software. Além de um botão de “Simulação”, o qual o leva para a tela que pede as informações necessárias para simular. (Figura 4).



Figura 3. Menu principal

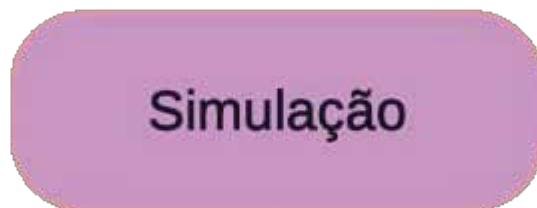


Figura 4. Botão “Simulação”

Ao seguir para a próxima tela o usuário irá encontrar a interface para colocar as informações necessárias para a simulação dos dados (Figura 5).

Largura máxima da sala (m)	Potência de Transmissão (dBm)	Frequência (MHz)
<input type="text" value="Insira o valor"/>	<input type="text" value="-15.5"/>	<input type="text" value="2400"/>
Comprimento máxima da sala (m)	Ganho da Antena Transmissora (dB)	Ganho da Antena Receptora (dB)
<input type="text" value="Insira o valor"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="1"/>
Eixo X dos Roteadores (m)	Temperatura (K)	Expoente de Perda (n) **
<input type="text" value="Insira o valor"/>	<input type="text" value="300"/>	<input type="text" value="Insira o valor"/>
Eixo Y dos Roteadores (m)	Largura de Banda (MHz)	Ambiente**
<input type="text" value="Insira o valor"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="-----"/>
Potência Recebida no Ponto c0 (dBm)	Fator de Ruído (dB)	Modelo
<input type="text" value="Insira o valor"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="Close In"/>
Distância Mínima (m)	Paredes	
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="Insira as Paredes"/>	<input type="button" value="Simular"/>

\*\* Opcional, caso insira o ambiente não é necessário colocar o expoente de perda, e vice-versa.

Figura 5. Menu para inserir as informações

No menu (Figura 5) é requisitado do usuário os valores de largura e comprimento do ambiente a ser simulado (em metro), o eixo X e Y dos roteadores (em metro) (leia na seção “Roteadores” o jeito certo de inseri-los), a potência recebida na menor distância até o roteador (em dBm) (sendo, obrigatoriamente, um valor negativo), a menor distância até o roteador (em metro), a potência de transmissão do roteador (em dBm), o ganho da antena transmissora e receptora (em dB), a frequência do roteador (em MHz), a temperatura do ambiente (em Kelvin), a largura de banda da tecnologia (em MHz), as paredes (se houver, só são obrigatórias caso use o modelo *Motley Keenan*). Veja como inserir paredes na seção “Parede”), o expoente de perda (pode ser calculado no site, veja mais na seção “Expoente de Perda”) e o modelo.

Os valores de distância são calculados a partir da distância euclidiana entre o ponto X e Y até o ponto X0 e Y0.

Alguns valores já vem pré definidos já que são muito usados na literatura. Sendo assim, o usuário só tem que preencher a largura e comprimento do ambiente, eixo X e Y do roteador, a potência recebida na menor distância até o roteador e o expoente de perda. Apesar, de alguns valores já estarem preenchidos é possível trocá-los apenas clicando em cima e substituindo o valor para o que seja compatível com a modelagem.

## Roteadores

Os eixos dos roteadores são inseridos em metros. Esses valores são a distância, em metros, do roteador até o ponto 0 da sala. Se for utilizado apenas um AP é só colocar a distância nas caixas de texto e prosseguir. Caso seja utilizado mais de um roteador eles devem ser separados por vírgula, sem nenhum espaço, e serem colocados em ordem.

Por exemplo:

Há um roteador no ponto (2, 3) e outro no ponto (7, 2). O valor a ser colocado na caixa do eixo X é : “2,7” e na caixa do eixo Y: “3,2”.



Figura 6. Caixa de texto para inserir os eixos dos roteadores

## Paredes

As paredes são inseridos em formato de texto. O melhor jeito de gerar as paredes é indo no site e seguir o caminho:

Site -> Vá para o site -> Indoor -> Cenário

E então cria o cenário e realiza o download (e envia para o celular, caso ainda não esteja). Com isso, será baixado um arquivo .txt no seu dispositivo. Deve-se selecionar todo o texto e copiar para o campo de paredes do aplicativo.

Caso sejam poucas paredes ou não queira realizar esse processo, o formato das paredes é o seguinte:

horizontal - h 0 6 4 4 1

vertical - v 1.5 1.5 0 4 3

As letras iniciais simbolizam se será uma parede vertical ou horizontal. Os dois próximos valores são o ponto X inicial e final, respectivamente. Logo em seguida vem os pontos Y inicial e final, respectivamente. E por último o tipo de parede, sendo: 1 para vidro, 2 para parede com vidro e 3 para parede. Sendo que cada dado desses é separado por um único espaço e para inserir mais de uma parede a separação é uma quebra de linha (\n).



Figura 7. Local para inserir as paredes

## Expoente de Perda

O expoente de perda pode ser calculado pelo site pelo caminho:

Site -> Vá para o site -> Indoor -> Cálculos

Figura 11. Visualização sem parede

O valor informado no site deverá ser inserido no campo “Expoente de Perda (n) \*\*”. Caso não deseje fazer esse procedimento é possível deixar esse campo em branco e apenas informar o ambiente no campo “Ambiente \*\*”. O mesmo possui as opções: Corredor, Ambientes Grandes e Vazios, Ambientes Mobiliados e Ambientes Demasiadamente Mobiliados. Com isso, o valor do expoente de perda será configurado de acordo com o ambiente. Perceba que ambos espaços possuem o símbolo “\*\*”, o que significa que só é necessário preencher um dos dois. Caso os dois sejam preenchidos, será utilizado o valor em “Expoente de Perda (n) \*\*”.

Expoente de Perda (n) \*\*  
Insira o valor  
Ambiente\*\*  
-----

Figura 8. Expoente de perda

## Modelos de Propagação

Na área de “Modelo” o usuário deverá escolher o modelo de propagação que deseja simular. Tendo como opções: Close-in, ITU-R 1238.8 e Motley Keenan. Sendo que só será necessário preencher o campo “Paredes”, caso seja selecionado o modelo Motley Kennan, senão poderá deixar o campo em branco.

Modelo  
Close In

Figura 9. Modelo de propagação

Após preencher todos os campos deverá clicar no botão “Simular” para ir para o ambiente virtual em 3D com os dados da simulação plotados no chão. Caso algum dado seja inserido errado, os dados serão apagados e voltarão para a tela de informações (Figura 5).

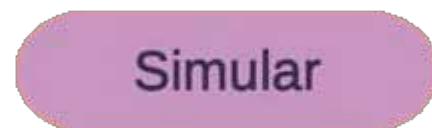


Figura 10. Botão para simular

### 3. Visualização

Após configurar todos os dados para realizar a simulação, o usuário será levado para um ambiente 3D contendo a perda do sinal plotada no chão. De acordo com o tamanho do ambiente requisitado, pode demorar um certo tempo até carregar o cenário. Na Figura 11 é possível ver o exemplo de um cenário sem paredes. Na Figura 12 é possível ver o exemplo de um cenário com paredes, sendo ela a parede de concreto com vidro.

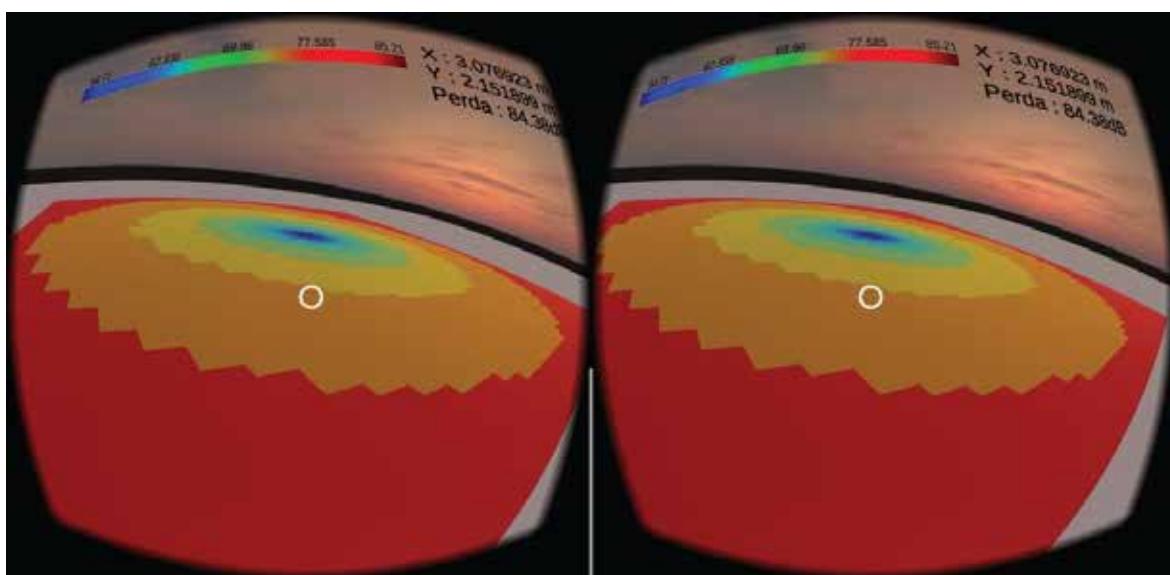


Figura 11. Visualização sem parede

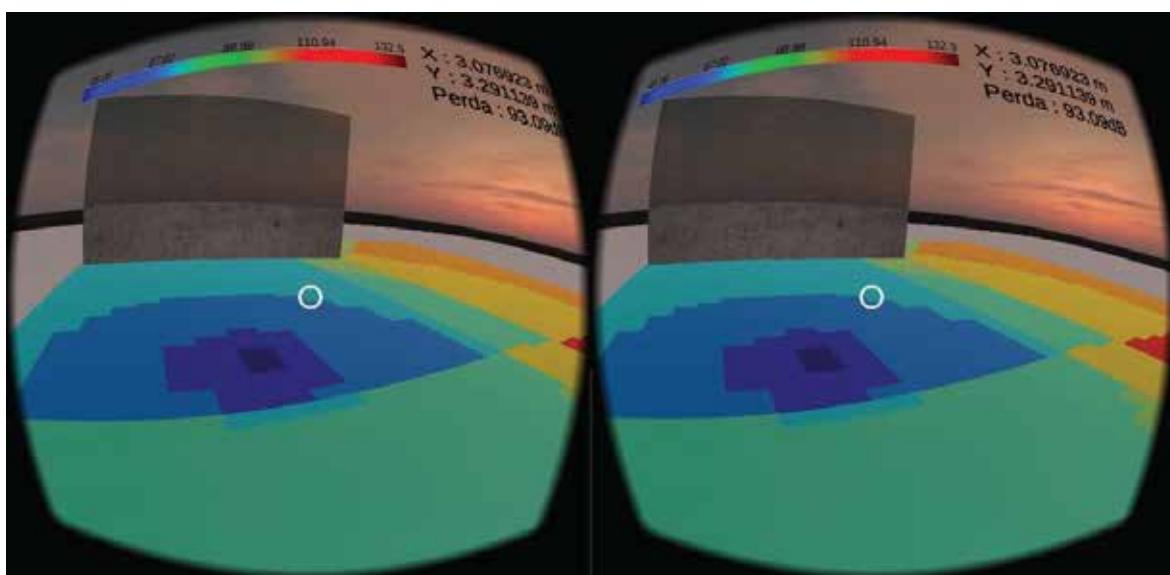


Figura 12. Visualização com parede

Para se movimentar no cenário é necessário apenas mover o analógico a esquerda do controle (Figura 2 (a)). Sendo que os movimentos para frente e para trás locomovem o usuário no mundo virtual para as mesmas direções. No entanto, os movimentos para esquerda e direita servem apenas para rotacionar o usuário do ambiente 3D.

Independente, de para onde o usuário se mexa será possível visualizar uma barra de cores (Figura 13) no canto superior esquerdo e três linhas com informações no canto superior direito (Figura 14).

A barra avistada no canto superior esquerdo (Figura 13) simboliza uma cor e a perda do sinal o qual o representa. Ao se olhar para o chão, o mesmo estará colorido nessas cores, então é possível ter uma ideia do valor de cada ponto apenas olhando.



Figura 13. Mapa de cores Jet

Como o aplicativo é em realidade virtual, ao virar a cabeça (no mundo real) a rotação do jogo irá girar junto. Sendo possível olhar ao redor de todo o ambiente no cenário virtual. Em todo o momento haverá um ponto branco no centro da tela, quando ele virar um círculo é devido o fato de estar sendo direcionado para uma parte do ambiente simulado.

Ao apontar para um desses pontos os valores no canto superior direito (Figura 14) serão atualizados de acordo com o ponto em questão, atualizando a perda de percurso e a distância X e Y até o ponto 0 do cenário.

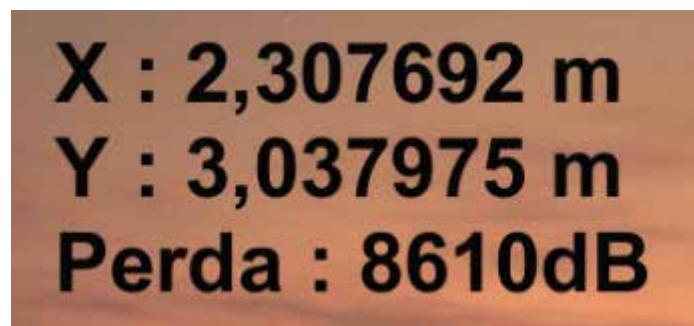


Figura 14. Informações a serem visualizadas

# ZIWI WEB



A modelagem de canal de rádio pode ser feita através de algumas medições, simulando os dados com modelos de propagação presentes na literatura, com o objetivo de analisar melhor o ambiente e o comportamento do sinal. Ziwi é uma ferramenta que disponibiliza ao usuário comunicação absoluta entre seus softwares, tornando o trabalho de modelagem e análise mais fácil. O site é o ponto central de comunicação entre todos os *softwares*, capaz de realizar todos os cálculos necessários para a visualização dos modelos.

O site do Ziwi é capaz de realizar comparação entre os principais modelos *indoor* e *outdoor*. Calcular expoente de perda e desvio de padrão. Gerar mapa de calor de todos os modelos *indoor* disponíveis, os quais mostram os valores de potência recebida, perda de percurso, SNR, SINR, intensidade do campo elétrico e capacidade do sinal. No próprio *software* é possível desenhar o cenário que deseja simular. Além de poder otimizar o cenário através do algoritmo genético, considerando ou não a posição das tomadas do ambiente.

# Conteúdo

1. Padrões .....	3
2. Tela de Escolha .....	4
3. Modo <i>Outdoor</i> .....	5
4. Modo <i>Indoor</i> .....	9
4.1. Modelos .....	9
4.2. Comparação e Cálculos .....	10
4.3. Otimização .....	12
4.4. Cenário .....	14
5. Erro .....	16

# 1. Padrões

O site possui alguns padrões que pode otimizar o tempo de uso do usuário no mesmo, caso os conheça. O primeiro padrão é o *footer*, o rodapé que fica no final de todas as páginas. Nele está contido o objetivo do site e um botão “clique aqui” que redirecionará o usuário para o email, com a desenvolvedora como destinatário, caso queira fazer algum comentário sobre o software. O *footer* tem o objetivo de organizar as informações de contato, então, futuramente, pode estar disponível redes sociais, entre outros.



Figura 1. Footer

Outro padrão são os *navigations*, para auxiliar na navegação da página. Há quatro padrões de cabeçalho no site. Os modelos presentes nas páginas “*Outdoor*” (Figura 2 (b)) e “*Cenário*” (Figura 2 (d)) são apenas informativos, para comunicar o usuário a função da página em questão. O *navigation* da tela de escolha (Figura 2 (a)) tem por finalidade otimizar o movimento do usuário, transferindo-o para o modo *indoor* ou *outdoor* apenas pela barra. O *navigation* da página *indoor* (Figura 2 (c)) serve para dar scroll na interface até a parte em que é possível realizar a ação solicitada.

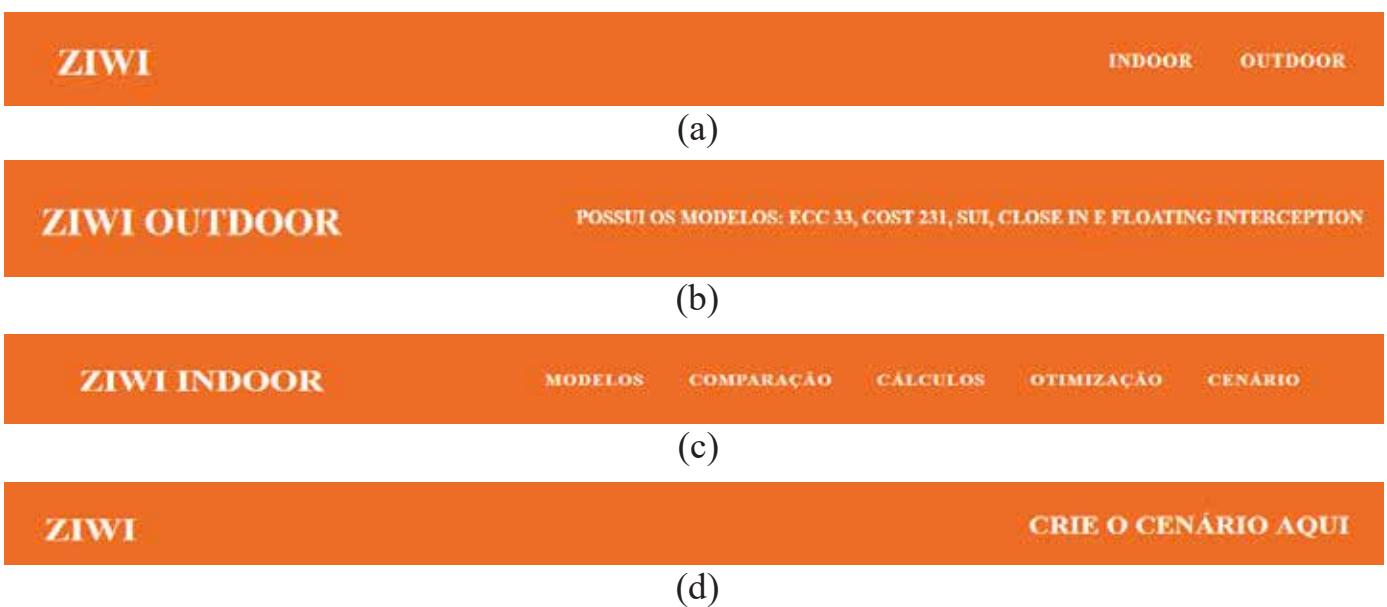


Figura 2. Navigation (a) escolha (b) *outdoor* (c) *indoor* (d) cenário

## 2. Tela de Escolha

Ao entrar no site, a primeira tela em que o usuário se encontra é a de escolha. A qual poderá direcionar o mesmo para o modo *indoor* ou *outdoor*. É possível selecionar um modo pelo *navigation*, como visto na seção “Padrões”. Também é possível alterar de modo clicando nos botões roxos, com os respectivos nomes dos modos desejados, os quais ficam localizados no centro da tela, logo a baixo de uma imagem representativa dos mesmos. Na tela também é possível observar os padrões explicados na seção anterior.

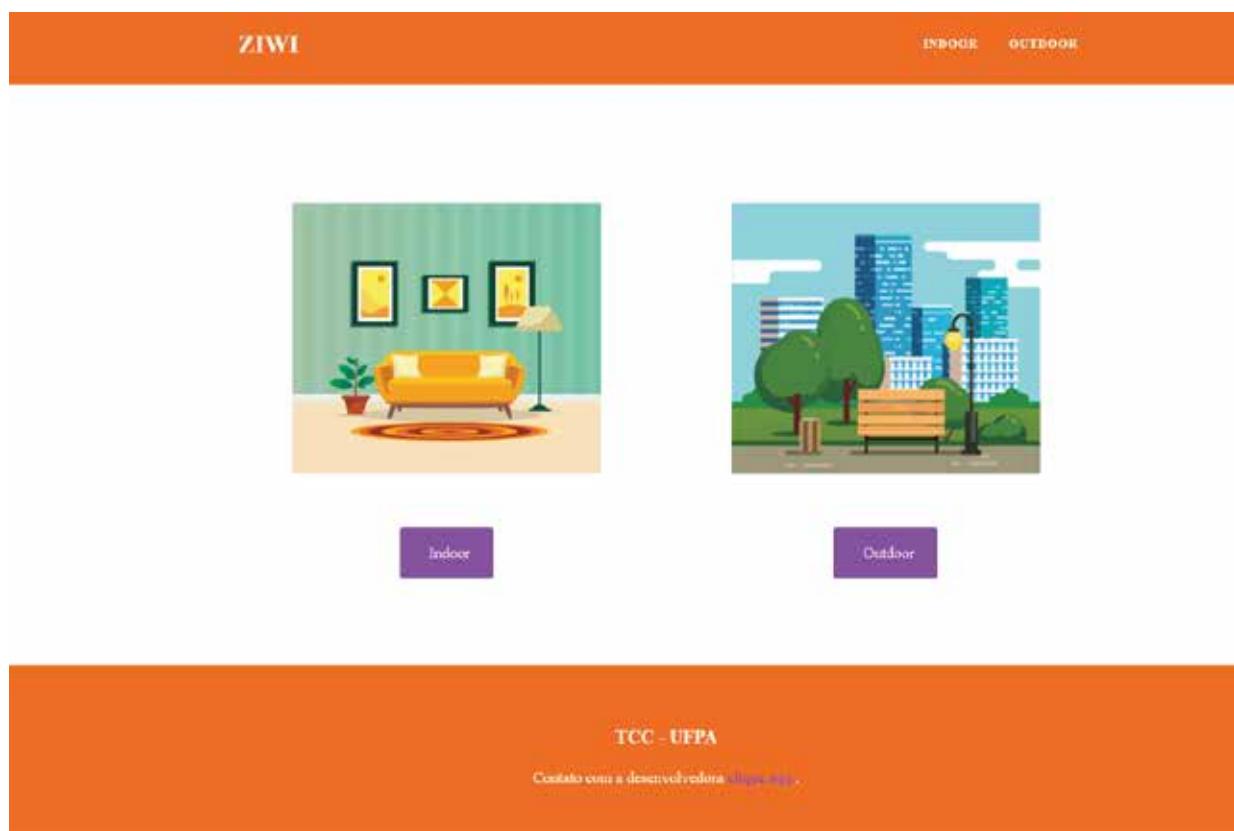


Figura 3. Tela de escolha

### 3. Modo *Outdoor*

A tela inicial do modo *outdoor* é mostrada na Figura 4. Onde pode-se observar o *navigation* e o *footer* no início e fim da tela, respectivamente. Na parte superior da interface está presente uma tabela onde serão calculados os valores do expoente de perda (n) e desvio padrão (RMSE) dos dados medidos. No lado esquerdo observa-se um formulário para preencher as informações necessárias, com o objetivo de gerar o gráfico de comparação dos modelos. Já no lado direito é possível ver o espaço em que o gráfico será plotado após a simulação dos dados.

**ZIWI OUTDOOR** POSSUI OS MODELOS: ECC 33, COST 231, SUL CLOSE IN E FLOATING INTERCEPTION

SUI	Cost 231	ECC 33	Close In	Floating Interception
0	0	0	0	0
<b>RMSE</b>	<b>undefined</b>	<b>undefined</b>	<b>undefined</b>	<b>undefined</b>

Frequência (GHz) 
Ambiente

Altura da Antena Transmissora (m)

Latitude 
Longitude

Potência Transmitida (dBm)

Distância Mínima (m)

Ganho da Antena Transmissora (dB)

Ganho da Antena Receptora (dB)

Inserir o Arquivo com as Medidas Outdoor (.txt)

Nenhum arquivo selecionado

**Comparação entre os modelos e os dados medidos**

- Dados Medidos
- ECC 33
- Cost 231
- SUL
- Close In

TCC - UFPA  
 Contato com a desenvolvedora [clique aqui](#).

Figura 4. Modo *outdoor* antes de calcular

Na tabela estará presente o valor do expoente de perda (n) e do desvio padrão (RMSE). As linhas guardam todos os nomes de modelo, os valores de “n” e os “RMSE”. Já as colunas guardam os valores específicos de “n” e “RMSE” para cada modelo.

	SUI	Cost 231	ECC 33	Close In	Floating Interception
n					0
RMSE	undefined	undefined	undefined	undefined	0

Figura 5. RMSE e n antes de calcular

No formulário (Figura 6) é requisitado ao usuário que insira alguns dados, sendo eles: frequência (em MHz), o ambiente em que a medição foi realizada, a altura da antena transmissora (em metros), latitude e longitude da antena transmissora, potência transmitida da antena (em dBm), distância mínima que foi medida (em metros), ganho da antena transmissora e receptora (em dBm) e um arquivo de medição outdoor gerado pelo aplicativo do Ziwi, o qual dever ter mais de um ponto, diferente, medido.

Os valores de distância são calculados a partir da distância euclidiana entre o ponto X e Y até o ponto X0 e Y0.

Frequência (MHz)	Ambiente
1800	Cidade Grande
Altura da Antena Transmissora (m)	
40	
Latitude	Longitude
Latitude da antena	Longitude da antena
Potência Transmitida (dBm)	
Insira a potência transmitida em dBm	
Distância Mínima (m)	
100	
Ganho da Antena Transmissora (dB)	
Insira o ganho da antena transmissora em dB	
Ganho da Antena Receptora (dB)	
1	
Inserir o Arquivo com as Medições Outdoor (.txt)	
Escolher arquivo	Nenhum arquivo selecionado

Calcular

Download

Figura 6. Formulário antes de calcular

Figura 7. Local para o gráfico do resultado

## Comparação entre os modelos e os dados medidos

- Dados Medidos
- ECC 33
- Cost 231
- SUI
- Close In

Alguns valores já vem pré definidos já que são muito usados na literatura. Sendo assim, o usuário só tem que preencher a latitude e longitude da antena, assim como a potência transmitida e o ganho da mesma, além do arquivo com as medições *outdoor*. Apesar de alguns valores já estarem preenchidos é possível trocá-los apenas clicando em cima e substituindo o valor para o que seja compatível com a modelagem. Logo abaixo das caixas para inserir informação está o botão para realizar os cálculos e simular os dados.

Ao clicar no mesmo os dados começarão a ser processados e, rapidamente, será gerado o gráfico, correspondente às informações, ao lado do formulário.

O gráfico será plotado do lado direito da tela (Figura 7). O gráfico será completamente interativo, facilitando a leitura de dados para o usuário. Há um botão “Download” nessa área, no entanto, o mesmo só funcionará corretamente caso o botão “Calcular” tenha sido clicado antes, sem nenhum erro.

Após a realização dos cálculos, a interface mantém o mesmo padrão (Figura 8). Só que a tabela e o gráfico ficam com os dados preenchidos e o formulário volta a ficar em branco, com algumas informações pré-definidas.

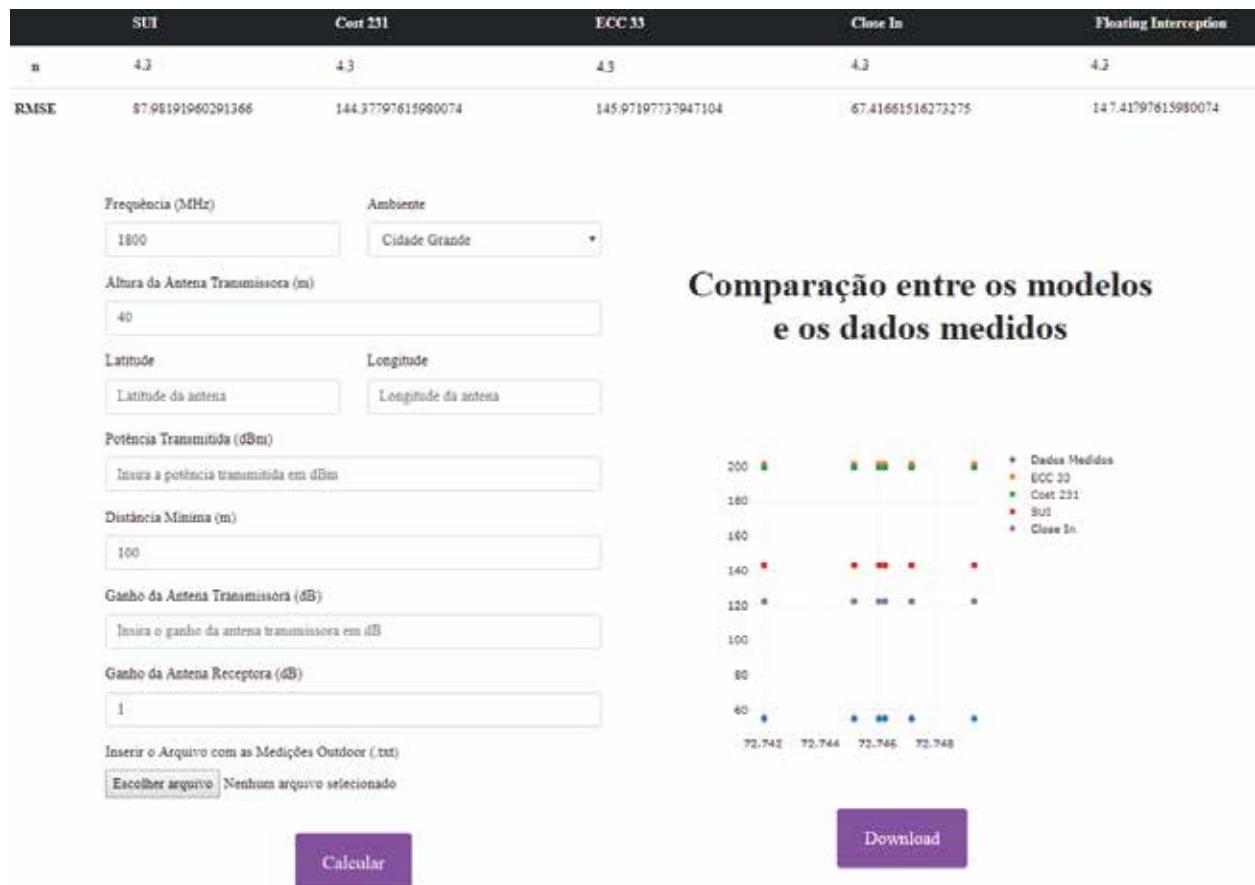


Figura 8. Modo *outdoor* depois de calcular

Na Figura 9 é possível ver como a tabela fica preenchida. O valor do expoente de perda ( $n$ ) para todos os modelos é o mesmo pois o ambiente não varia. E o desvio padrão (RMSE) é diferente para cada um, variando de acordo com o seu modelo.

	SUI	Cost 231	ECC 33	Close In	Floating Interception
n	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
RMSE	87.98191960291366	144.37797615980074	145.97197737947104	67.41661516273275	147.41797615980074

Figura 9. Modo *outdoor* depois de calcular

Após a realização dos cálculos o lado esquerdo, onde se encontra o formulário (Figura 10), volta a ficar em branco, apenas com as informações que já são pré-definidas. Já do lado esquerdo o gráfico aparece. O qual é possível ver uma legenda no lado superior direito. O eixo X do gráfico está a distância em metros e no eixo Y tem a perda em dB. O gráfico é interativo, então ao passar o mouse por cima de uma bolinha será possível enxergar o ponto X (perda) para cada um dos modelos que estejam no mesmo ponto Y (mesma distância), ao lado de cada ponto, em que o mouse está por cima. Ao clicar no botão “Download”, após a simulação, será baixado o gráfico no dispositivo do usuário.

Frequência (MHz)	Ambiente
1800	Cidade Grande
Altura da Antena Transmissora (m)	
40	
Latitude	Longitude
Latitude da antena	Longitude da antena
Potência Transmitida (dBm)	
Insira a potência transmitida em dBm	
Distância Mínima (m)	
100	
Ganho da Antena Transmissora (dB)	
Insira o ganho da antena transmissora em dB	
Ganho da Antena Receptora (dB)	
1	
Inserir o Arquivo com as Medições Outdoor (.txt)	
Escolher arquivo	Nenhum arquivo selecionado

Calcular

Download

Figura 10. Formulário depois de calcular

## Comparação entre os modelos e os dados medidos

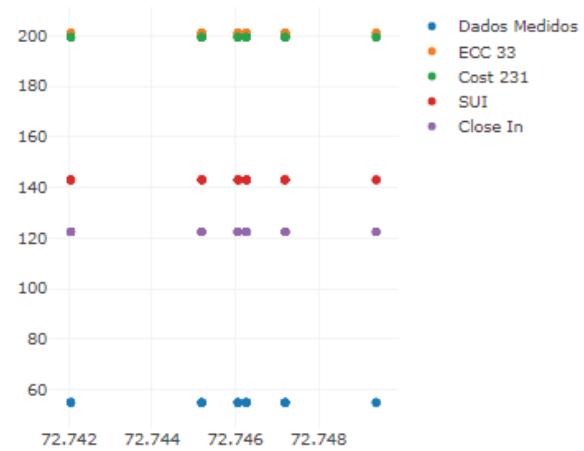


Figura 11. Gráfico com o resultado

## 4. Modo Indoor

As aplicações *indoor* são o foco desse *software*, por isso esse modo é mais detalhado e supre as principais necessidades visando planejamento de redes da nova geração.

### 4.1. Modelos

A primeira parte da modo *indoor* tem por objetivo simular ambientes internos de acordo com o modelo de propagação escolhido. As informações necessárias, como visto na Figura 12, são: largura e comprimento máximo da sala, em metros, eixo X e Y dos roteadores, em metros e a potência recebida no ponto d0, em dBm. Sendo que cada eixo dos roteadores deve ser separado por vírgulas sem espaço. Há informações que também são necessárias, mas já vem pré-definidas, podendo ser mudadas, sendo elas: distância mínima da medição, em metros, potência de transmissão, em dBm, frequência, em MHz, ganho da antena transmissora e receptora, em dB, temperatura, em Kelvin, largura de banda, em MHz, fator ruído e o modelo que deseja simular.

Há dois espaços para fazer *upload* de arquivos. Nos “Arquivo com as Medições” deve-se colocar os arquivos oriundos do aplicativo Ziwi, sendo esse campo necessário apenas se o ambiente não for definido ou se o modelo *Floating Intercept* esteja sendo usado. Já em “Inserir o Arquivo com as Paredes” deve-se inserir o arquivo gerado pelo aba “Cenários” do site Ziwi, sendo esse campo necessário apenas se utilizar o modelo *Motley Keenan*.

Largura Máxima da Sala (m)	Comprimento Máximo da Sala (m)		
Eixo X dos Roteadores (m) Ex: 5,5,8,7,3	Eixo Y dos Roteadores (m) Ex: 5,5,8,7,3		
Adicione os roteadores depois de vírgulas e não coloque espaço			
Potência Recebida no Ponto d0 (dBm)	Distância Minima (m)		
-15	1		
Potência de Transmissão (dBm)	Frequência (MHz)		
2400			
Ganho da Antena Transmissora (dB)	Ganho da Antena Receptora (dB)		
1	1		
Temperatura (K)	Largura de Banda (MHz)	Fator de Ruído	
300	20	0	
A temperatura ambiente em Kelvin é 300			
Ambiente	Arquivo com as Medições (.txt)	Inserir o Arquivo com as Paredes (.txt)	Modelo
-----	Escolher arquivo Nenhum ...cionado (Opcional, caso defina o ambiente)	Escolher arquivo Nenhum ...cionado (Opcional, exceto para o Motley Keenan)	Motley Keenan
<b>Simular</b>			

Figura 12. Formulário para calcular modelos de propagação *indoor*

Ao clicar no botão “Simular”, que pode ser visto no final da Figura 12, será somulado um ambiente interno de acordo com as informações fornecidas no formulário. Com isso será gerado uma nova seção no site com o resultado, como visto na Figura 13, e o usuário será levado até ele automaticamente. No resultado será exibido um slide contendo maps de calor da perda de percurso, potência recebida, SNR, SINR, intensidade do campo elétrico e capacidade. Os mapas podem ser baixados em um *zip* através do botão “Download” no fim da seção.

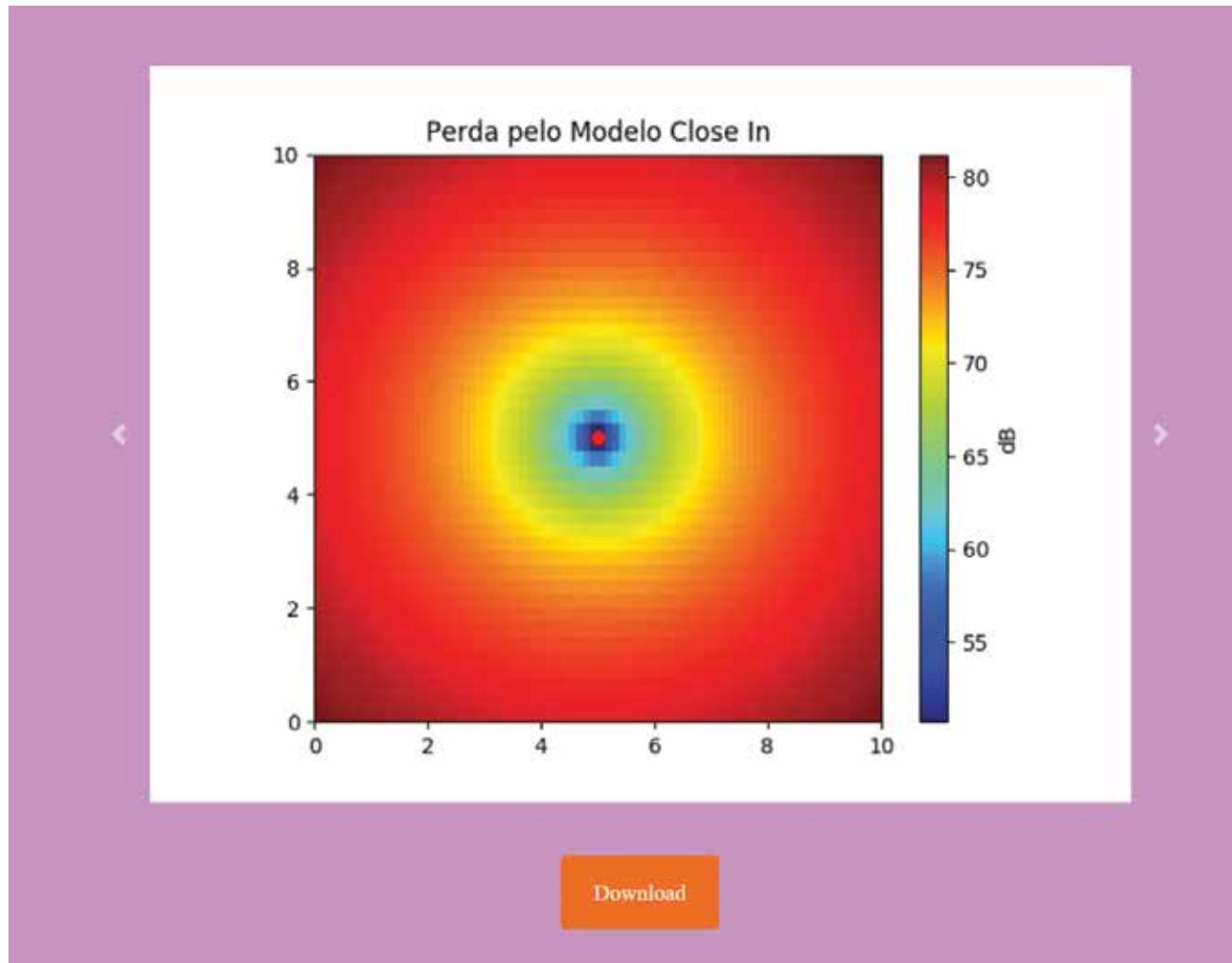


Figura 13. Resultado dos modelos de propagação *indoor*

## 4.2. Comparação e Cálculos

A segunda parte do modo *indoor* tem o objetivo de realizar a comparação entre os modelos de propagação do *software*, sendo eles: Close-in, Motley Keenan, Floating Intercept e ITU-R P. 1238-8. E com isso ainda será dado os valores de desvio padrão de cada modelo em relação aos dados medidos e o valor de expoente de perda (*n*).

Para realizar esses cálculos e simulações é necessário inserir alguns dados, como visto na Figura 14. Sendo eles o ponto X e Y do roteador, em metro, e o arquivo de medição *indoor*, do aplicativo do Ziwi. Algumas informações já vem pré-definidas, mas podem ser mudadas de acordo com a necessidade do usuário, sendo elas: frequência, em MHz,

distância em que foi medido o primeiro ponto, em metro, potência de transmissão, em dBm, e o ganho da antena receptora e transmissora, em dB.

Frequência (MHz)  
2400

Distância Mínima (m)  
1

Potência de Transmissão (dBm)  
-15

Ganho da Antena Transmissora (dB)      Ganho da Antena Receptora (dB)  
1      1

Posição X do Roteador (m)      Posição Y do Roteador (m)

Esse modo aceita apenas um roteador      Esse modo aceita apenas um roteador

Inserir o Arquivo com as Medições Indoor (.txt)

Escolher arquivo: Nenhum arquivo selecionado

Comparar e Calcular 'n'

Download

**Comparação entre os modelos e os dados medidos**

- Dados Medidos
- Close In
- Hotley Keenan
- ITU-R P.1239-8
- Floating Intercept

Figura 14. Formulário para comparar modelos



Figura 15. Resultado da compração de modelos

Ao clicar no botão “Comparar e Calcular ‘n’” no final do lado esquerdo da Figura 14, os dados serão processados e emitirá como resposta informações semelhantes as da Figura 15 e 16. Ao clicar no botão o usuário será levado a seção dos cálculos, Figura 16, mas poderá subir a tela para ver o gráfico de comparação.

O gráfico de comparação, Figura 15, é interativo, então ao passar o mouse em cima das bolinhas será possível ver o valor de perda de percurso e a qual modelo pertence. Além de ter um botão logo abaixo do gráfico para realizar download do

mesmo em *png*.

Na seção “cálculo” estarão os outros resultados, Figura 16. Sendo eles o gráfico de espalhamento do expoente de perda e uma tabela contendo os valores de desvio padrão

e expoente de perda para cada modelo de propagação presente no modo *indoor*.



Figura 16. Resultado dos cálculos gerados

### 4.3. Otimização

A seção de otimização tem por objetivo ajudar no planejamento de redes *indoor*. A partir do modelo de propagação escolhido pelo usuário e as informações será dado a melhor localização para instalar um, ou mais, roteadores. Podendo considerar a localização das tomadas.

Há duas maneiras de utilizar esta seção, considerando ou não a localização das tomadas. Caso considere irá calcular entre todos os pontos qual será a opção que terá um melhor sinal. Caso não considere irá simular por algoritmo genético qual será a melhor localização para colocar o roteador.

As informações necessárias, em comum, para as duas maneira são: largura e comprimento máximo da sala, em metros, eixo X e Y dos roteadores, em metros e a potência recebida no ponto d0, em dBm. Sendo que cada eixo dos roteadores deve ser separado por vírgulas sem espaço. Há informações que também são necessárias, mas já vem pré-definidas, podendo ser mudadas, sendo elas: distância mínima da medição, em metros, potência de transmissão, em dBm, frequência, em MHz, ganho da antena transmissora e receptora, em dB, temperatura, em Kelvin, largura de banda, em MHz, fator ruído e o modelo que deseja simular.

Há dois espaços para fazer *upload* de arquivos. Nos “Arquivo com as Medições” deve-se colocar os arquivos oriundos do aplicativo Ziwi, sendo esse campo necessário apenas se o ambiente não for definido ou se o modelo *Floating Intercept* esteja sendo usado. Já em “Inserir o Arquivo com as Paredes” deve-se inserir o arquivo gerado pelo aba “Cenários” do site Ziwi, sendo esse campo necessário apenas se utilizar o modelo *Motley Keenan*.

<input checked="" type="checkbox"/> Sem Tomadas	<input type="checkbox"/> Com Tomadas	Eixo X das Tomadas (m)	Eixo Y das Tomadas (m)	Número de Roteadores
		Ex: 5.5.8.13 Adicione as tomadas depois de vírgula e não coloque espaço	Ex: 5.5.8.7.3 Adicione as tomadas depois de vírgula e não coloque espaço	
Largura Máxima da Sala (m)		Comprimento Máximo da Sala (m)		
Eixo X dos Roteadores (m)		Eixo Y dos Roteadores (m)		
Ex: 1.5.8.7.3		Ex: 5.5.8.7.3		
Potência Recebida no Ponto d0 (dBm)		Distância Mínima (m)		
		1		
Potência de Transmissão (dBm)		Frequência (MHz)		
-15		2400		
Ganho da Antena Transmissora (dB)		Ganho da Antena Receptora (dB)		
1		1		
Temperatura (K)		Largura de Banda (MHz)	Patos de Raio(s)	
300		20	0	
A menor distância em Kelvin é 300				
Ambiente		Argamassa com as Móveis (x.m)	Isolar o Argamassa com as Paredes (x.m)	Modelo
		Escolher arquive Nenhum... cionado (Opional, isso diminui o ambiente)	Escolher arquive Nenhum... cionado (Opional, insira para o Motley/Kasman)	Motley/Kasman
Número de Interações do AG		Limiar de Qualidade (dB)		
10		-43		
Quanto mais interações mais decorrido será		Potência recebida considerada boa para o seu caso		
<b>Simular</b>				

Figura 17. Formulário para otimização dos locais dos roteadores

Caso o usuário deseje considerar as tomadas, deve selecionar a opção “com tomadas” no início do formulário, Figura 17. Informar os eixos X e Y das tomadas, separadas por vírgula sem espaço, e o número de roteadores que deseja inserir no ambiente.

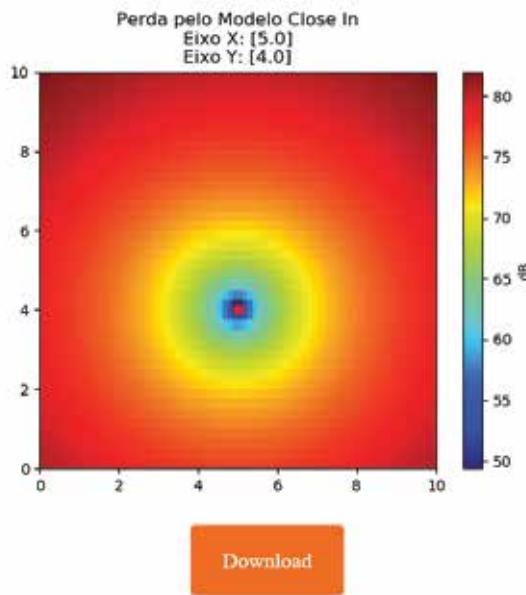


Figura 18. Resultado da otimização com tomadas

Ao clicar no botão “Simular” será gerado um mapa de calor com o melhor resultado, Figura 18. Será mostrado o mapa de calor da perda de percurso. Abaixo do título será mostrado as melhores posições para o eixo X e Y. Ao clicar no botão “Download” será baixado o mapa de calor.

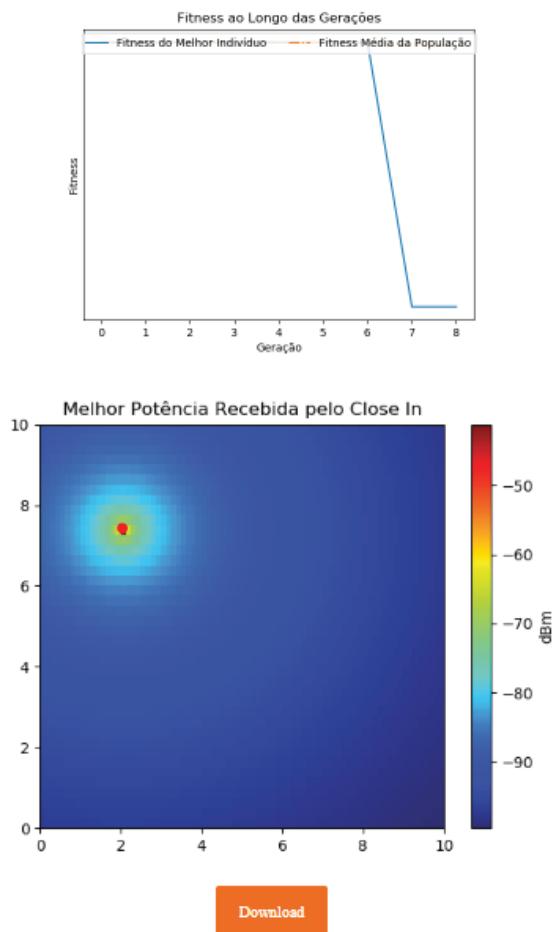


Figura 19. Resultado da otimização sem tomadas, por algoritmo genético

Caso o usuário deseje não considerar as tomadas, deve selecionar a opção “sem tomadas” no início do formulário, Figura 17. Informar o número de interações com o algoritmo genético e o limiar de qualidade, em dB. Ambos valores já vem pré-definidos, ams podem ser configurados de acordo com a necessidade do usuário. Lembrando que quanto mais interações, mais preciso será, só que demorará mais para obter uma resposta. Como essa é uma ação demorada, irá aparecer o símbolo Zwi de carregamento.

Na Figura 19 é possível o resultado, sendo ele: um gráfico de fitness do algoritmo genético e mapas de calor para a melhor localização do roteador. Serão gerados mapas de calor informando a potência recebida, perda de percurso, SNR, SINR, intensidade do campo elétrico e capacidade. Ao clicar no botão “Download” será baixado todas essas imagens em um arquivo *zip*.

#### 4.4. Cenário

Esse modo, Figura 20, é feito para criar os ambientes necessários ao se usar o modelo Motley Keenan. Ao entrar nele será perguntado a largura e comprimento total do ambiente, em metros, ambos valores devem ser informados e separados por um ‘X’, sem espaço.

Na primeira parte da página deve-se escolher se está colocando 'parede', 'parede com janela' ou 'janela'. Essas informações podem ser trocadas enquanto se constroi o ambiente. O tipo de parede escolhido será informado logo acima dos botões.

Na parte central da página haverá um quadrado, caso seja inserido as dimensões do ambiente, corretamente. Nesse quadrado será onde o usuário irá desenhar seu ambiente. Ao dar dois cliques na tela o *software* irá perceber se foi uma linha horizontal ou vertical, e irá perguntar qual o início e fim da linha, além da distância até a parede superior, caso seja horizontal, ou parede esquerda, caso seja vertical. Os três valores devem ser inseridos em metro, sendo separados por um espaço. ex: 0 5 1.

Visualmente, a linha preta mais grossa é a parede de concreto, a linha preta fina é a parede com janela, a linha vermelha é a janela e a linha verde é uma linha que foi selecionada pelo usuário (feita pelo botão "Visualizar").

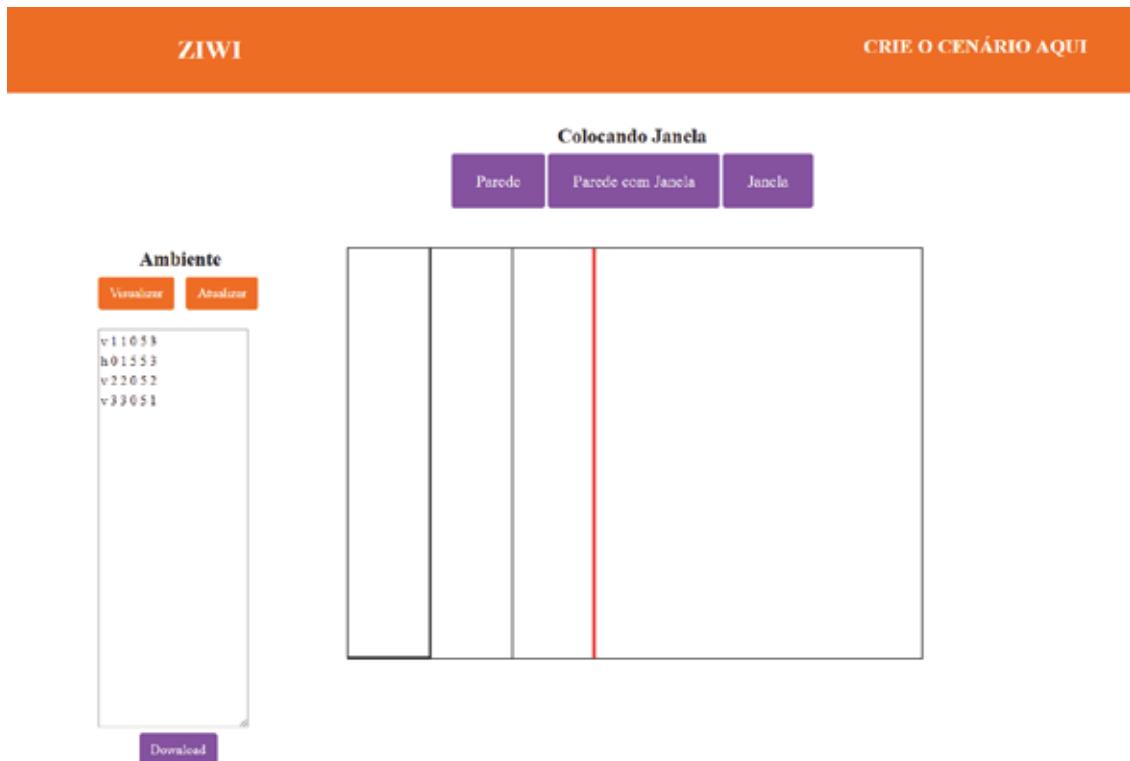


Figura 20. *Interface* para criação de cenários

No lado esquerdo da página temos três botões e uma caixa de texto. A caixa de texto será o histórico interativo do ambiente que o usuário está construindo. O primeiro botão é o "Visualizar". Ao selecionar uma linha no histórico e clicar nesse botão, a mesma ficará verde no cenário, permitindo assim que o usuário saiba sua localização. O botão "Atualizar" serve para caso o usuário altere o histórico manualmente, acrescentando ou removendo paredes, possa ter a visualização do resultado. Por fim, o botão "Download" serve para fazer o download em *txt* das informações, o qual será usado para modelagem do modelo Motley Keenan.

## 5. Erro

Caso o usuário realize alguma ação inesperada irá aparecer uma página de erro, Figura 21. Ela serve para lembrar o usuário de fazer certas ações ou de procurar no manual de instrução (esse) caso seja algo mais complexo. Caso o problema persistir entre em contato com o email de suporte no início desse manual, na página 2, a qual tem o conteúdo do manual. Estamos a disposição.



Figura 21. Página de erros



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E TELECOMUNICAÇÕES

ATA da sessão de defesa de trabalho de conclusão de curso  
da Faculdade de Engenharia da Computação e  
Telecomunicações do Instituto de Tecnologia da  
Universidade Federal do Pará.

1 Ao vigésimo sexto dia do mês de junho do ano de dois mil e dezenove, às quinze horas, reuniram-  
2 se no sala de reuniões da Faculdade de Computação e Telecomunicações, do Instituto de  
3 Tecnologia da Universidade Federal do Pará, em sessão pública, o aluno de pós graduação do  
4 PPGEE Iury da Silva Batalha, os alunos de pós graduação Rafael Fogarolli Vieira, do PPGEE e  
5 os professores Jasmine Priscyla Leite de Araújo e Bruno Souza Lyra Castro, para formarem a  
6 banca examinadora da defesa de trabalho de conclusão de curso da graduanda **Lidia Gianne Souza**  
7 **da Rocha**, cujo trabalho **Framework para Aquisição, Modelagem e Planejamento de Redes**  
8 **sem Fio** foi orientado pelo aluno de pós graduação do PPGEE Iury da Silva Batalha, que iniciou  
9 a reunião, descrevendo sumariamente o ritual desta; apresentou os avaliadores e o autor do  
10 trabalho, a quem foi dado um intervalo de tempo de até trinta minutos para desenvolver a  
11 apresentação de seu trabalho de conclusão de curso. Encerrada a defesa, o discente foi arguido  
12 oralmente pelos examinadores. Foi concedida a oportunidade aos presentes para se pronunciarem.  
13 Em seguida, a banca reuniu-se em caráter sigiloso para decidir o resultado do exame, ato que  
14 deliberou a aprovação do trabalho. Foi recomendada a aprovação de **Lidia Gianne Souza da**  
15 **Rocha** no trabalho de conclusão de curso, por ter atendido aos requisitos solicitados, que foram  
16 lavrados em folhas próprias para guardar na Secretaria do Curso. Observadas as alterações  
17 sugeridas, o discente foi orientado a apresentar a versão final de seu trabalho de conclusão de curso  
18 no prazo de até trinta dias. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada, lavrando-se dela a  
19 presente ata, que uma vez aprovada, foi assinada pelos membros da banca examinadora e pelo  
20 discente. Belém do Pará, vinte e seis de junho de dois mil e dezenove.

Iury da Silva Batalha  
Orientador

Jasmine Priscyla Leite de Araújo  
Coorientadora

Bruno Souza Lyra Castro  
Membro

Rafael Fogarolli Vieira  
Membro

Lidia Gianne Souza da Rocha  
Autora do Trabalho