

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

JHONATAN CONSTANTINO

**Redes 5G: predição e avaliação de área de
cobertura outdoor**

São José - SC

maio/2023

REDES 5G: PREDIÇÃO E AVALIAÇÃO DE ÁREA DE COBERTURA OUTDOOR

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Telecomunicações do campus São José do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Engenheiro de Telecomunicações.

Orientador: Prof. Mario Noronha de Neto,
Dr.

Coorientadora: Glauco de Castro Ligeiro,
Eng.

São José - SC

maio/2023

RESUMO

No cotidiano seja no trabalho, estudo ou lazer surge a demanda de troca de informações e conectividade. Nos dispositivos móveis que utilizam a tecnologia 4G é enfrentado a necessidade de maiores taxas de transferência de dados e de capacidade na quantidade de usuários, decorrente da diminuição da qualidade de sinal por fatores do caminho até a estação rádio base, que afetam de maneira significativa como a distância e obstáculos no percurso. No planejamento de redes móveis são realizados cálculos para que as condições de cobertura e propagação de sinal como a modulação sejam mantidos favoráveis para uma ótima experiência ao usuário. Na quinta geração de redes móveis ou 5G são atingidos os objetivos que compõem as necessidades do 4G, através de melhorias da tecnologia e de um estudo de predição de cobertura de sinal. Estas predições são calculadas por softwares de simulação que utilizam dados geográficos, dados físicos dos equipamentos utilizados e modelos de propagação de sinal existentes como parâmetros, permitindo a visualização dos níveis de qualidade de sinal por meio de mapas. É elaborado neste trabalho um projeto de planejamento de redes celulares outdoor na cidade Florianópolis utilizando o software Atoll (FORSK, 2023a) de simulação de redes móveis 5G.

Palavras-chave: 5G. LTE. Cobertura. Predição. Propagação.

ABSTRACT

In everyday life, whether at work, study or leisure, there is a demand for information exchange and connectivity. In mobile devices that use 4G technology, the need for higher data download rates and capacity in the number of users is faced, due to the decrease in signal quality due to factors on the way to the base station, which produced significantly as the distance and obstacles on the route. In network planning, they are carried out by observing that the mobile coverage and expressive signal conditions such as modulation are met for an optimal user experience. In the fifth generation of mobile networks or 5G, the objectives that make up the needs of 4G are achieved, through technology improvements and a signal coverage prediction study. These predictions are infinite by simulation software that uses geographic data, physical data of the equipment used and existing signal control models as parameters, allowing the visualization of signal quality levels through maps. In this work, an outdoor cellular network planning project in the city of Florianópolis is elaborated using the Atoll ([FORSK, 2023a](#)) software for simulating 5G mobile networks.

Keywords: 5G. LTE. Coverage. Prediction. Propagation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cenários de uso do 5G	12
Figura 2 – Cobertura outdoor com o Atoll	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Frequências do 5G entre 410 MHz e 7125 MHz	17
Tabela 2 – Frequências do 5G entre 24250 MHz e 71000 MHz	18
Tabela 3 – Cronograma de atividades	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL Agência Nacional de Telecomunicações.

AWGN Additive White Gaussian Noise.

CPE Customer Premise Equipment.

CSI Channel State Information.

EMBB Enhanced Mobile Broadband.

ENB Evolved Node B.

GNB Next Generation Node B.

IoT Internet of Things.

ITU International Telecommunication Union.

LTE Long Term Evolution.

MIMO Multiple Input Multiple Output.

MMTC Massive Machine Type Communications.

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

PL Path Loss.

RSRP Reference Signal Received Power.

RSRQ Reference Signal Received Quality.

RSSI Received Signal Strength Indicator.

UE User Equipment.

UHF Ultra High Frequency.

URLL Ultra Reliable Low Latency Communications.

VHF Very High Frequency.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivo geral	10
1.2	Objetivos específicos	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1	Sobre o 5G	11
2.1.1	Cenários de uso do 5G	11
2.2	Espectro de frequências	12
2.3	Técnicas de diversidade	13
2.3.1	MIMO	13
2.3.2	Beamforming	14
2.4	Modelos de propagação	14
2.4.1	Modelo Okumura-Hata	15
2.4.2	Modelo COST-231 Hata	16
3	PROPOSTA	19
3.1	Software	19
3.1.1	Banco de mapas	19
3.2	Resultados	19
3.3	Análise dos resultados	20
3.4	Cronograma	20
4	CONSIDERAÇÕES PARCIAIS	22
	REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia 4G [Long Term Evolution \(LTE\)](#) permite a comunicação entre pessoas e a comunicação entre coisas, porém os valores de taxa de transmissão de dados estão limitados com a taxa de pico de transferência experimentada em 1 Gbps, a capacidade de tráfego por área de 100 kbps/m² e a latência fim a fim de aproximadamente 20 ms ([ALBERTI et al., 2021](#)). Esses valores são favoráveis a uma boa experiência ao usuário, porém com o aumento da demanda de tráfego para diferentes cenários, que exigem uma comunicação de alta confiança nos dados em tempo mínimo de requisição e resposta, teve a necessidade de uma nova tecnologia que atende aos requisitos exigidos.

O 5G tem a premissa de atuar nos seguintes cenários: [Enhanced Mobile Broadband \(eMBB\)](#), [Massive Machine Type Communications \(mMTC\)](#) e [Ultra Reliable Low Latency Communications \(uRLL\)](#) ([OSSEIRAN, 2020](#)). Estes cenários oferecem valores altos de taxa de transferência de dados, alta capacidade de tráfego por área e quantidade de dispositivos e baixos valores de latência com uma alta confiabilidade nos dados. Estas características tornam o 5G, a tecnologia ideal para aplicações típicas de uso em dispositivos móveis de uso pessoal e telemetria através de sensores.

As redes móveis celulares são estruturadas através de torres com estações de rádio, para cobrir uma determinada área com o sinal de rádio frequência por onde são transmitidos os dados. Estes sinais enfrentam adversidades por condições do meio de transmissão entre a estação e o dispositivo móvel. São encontrados obstáculos pelo percurso como edifícios, vegetação ou objetos refletores que atenuam a intensidade do sinal piorando ou contribuindo com a recepção dos dados.

A qualidade do sinal na recepção dos dispositivos é o principal objetivo de um planejamento de redes móveis. No estudo de predição de cobertura são calculados os diferentes caminhos do sinal transmitido da estação rádio base, também chamada de [Evolved Node B \(eNB\)](#) no 4G ou de [Next Generation Node B \(gNB\)](#) no 5G. Os importantes resultados destes cálculos são os índices de modulação, nível de intensidade de sinal recebido, potência recebida do sinal de referência e a relação entre sinal e ruído.

Existem equações para alcançar os resultados em pontos estratégicos, no qual os obstáculos estão em diferentes cenários naturais ou criados pelo homem. Também chamadas de modelos de propagação de sinal, são específicos para regiões rurais, semi urbanas, urbanas ou em ambientes internos. O mercado utiliza *software* de simulação com parâmetros como dados geográficos e dados de antenas de transmissão e recepção, obtendo um mapa de cobertura ponto área com informações importantes para o planejamento de rádio frequência de uma rede celular.

1.1 Objetivo geral

Desenvolver e analisar um planejamento de predição de cobertura de sinal 5G em uma área outdoor da cidade de Florianópolis utilizando o *software* de simulação Atoll.

1.2 Objetivos específicos

- Apresentar modelos teóricos de propagação de sinal.
- Comparar modelos teóricos de redes 4G com os modelos teóricos de redes 5G.
- Apresentar indicadores de nível de sinal e de performance calculados na predição
- Apresentar aspectos da ferramenta Atoll.
- Analisar os resultados e parâmetros utilizados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Será realizado um planejamento de redes celulares outdoor utilizando o 5G como tecnologia de transmissão de redes móveis e o software Atoll como ferramenta para simular e calcular os valores que determinam a qualidade de um projeto de redes móveis como Reference Signal Received Power (RSRP), Reference Signal Received Quality (RSRQ), Received Signal Strength Indicator (RSSI) e modulação. A fase inicial do projeto é composta por compor o embasamento teórico da tecnologia 5G em um planejamento outdoor e por fim simular um cenário no software, afim de obter os resultados de qualidade da cobertura e analisá-los.

2.1 Sobre o 5G

Com o crescimento da quantidade de dispositivos comunicando simultaneamente, surgiu a necessidade de uma tecnologia que consiga manter uma conexão com qualidade para o usuário final. Ou seja, com uma alta taxa de transferência de dados, com baixa latência suportando muitos dispositivos por m².

As limitações de desempenho do 4G foram as motivações da indústria para aplicar esforço e investimento no desenvolvimento de uma nova geração da tecnologia de redes móveis. O 5G tem como principais requisitos e cenários de uso a banda larga móvel aprimorada eMBB, comunicações ultra confiáveis de baixa latência uRLL e comunicações de tipo de máquina massiva mMTC.

2.1.1 Cenários de uso do 5G

eMBB tem os seres humanos como principal alvo, com o intuito de entregar altos volumes de dados com uma taxa de transferência extremamente alta. Como por exemplo, realidade aumentada, presença remota, streaming de vídeo de altíssima resolução, imagens 3D e robôs colaborativos (AHMADI, 2019). Estarão presentes em ambientes urbanos densamente povoados, ambientes internos como prédios ou shoppings e eventos com grandes multidões, como shows ou eventos esportivos. Tem como requisitos de desempenho pelo International Telecommunication Union (ITU) para este cenário taxas de dados pelo usuário de 100 Mbps em áreas urbanas e suburbanas e de 1 Gbps em hotspots com uma taxa de pico de 20 Gbps (ALBERTI et al., 2021).

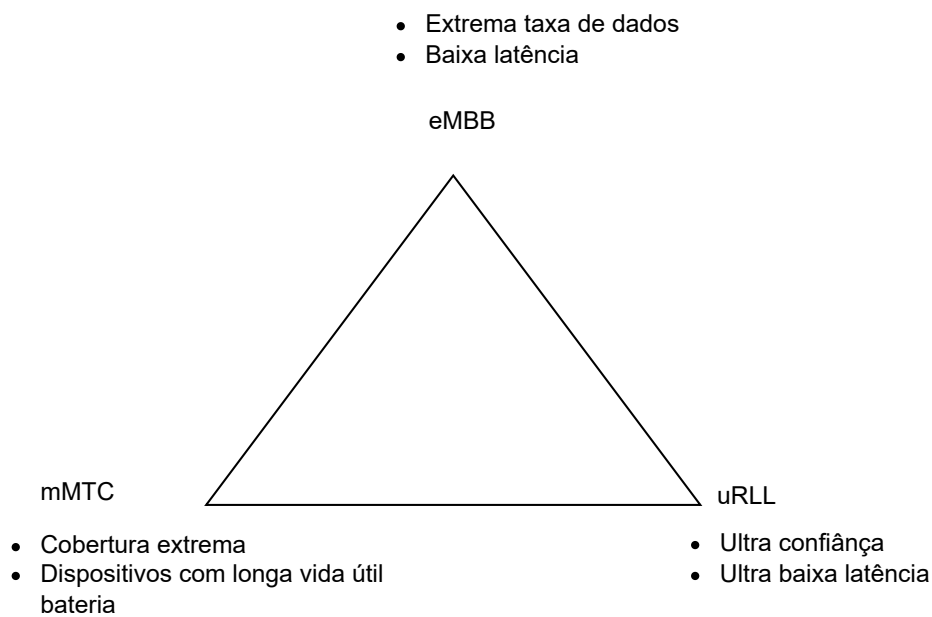
mMTC foca em prover conexão para uma quantidade massiva de dispositivos que estão constantemente enviando e recebendo dados. Está presente principalmente nos cenários que envolvem a Internet das Coisas (Internet of Things (IoT)), viabilizando o

aumento da densidade de dispositivos por área e aumento na eficiência energética. É previsto que o número de terminais IoT conectados à rede 5G chegue a 1 trilhão de terminais alcançando até 10^6 dispositivos/km² (ALBERTI et al., 2021).

uRLL enfatiza na necessidade de uma comunicação ultra confiável nos dados com alta confiabilidade, permitindo a atuação em cenários críticos, entregando os pacotes de dados dentro de um limite de tempo com a maior probabilidade de sucesso. Exemplos são veículo com veículo, aplicações de infraestrutura e de controle de indústria. Os requisitos de desempenho para este caso de uso são de que a latência fim a fim máxima seja de 1 ms e a probabilidade de indisponibilidade menor ou igual a 10^{-7} ou também chamado de sistema de confiabilidade de sete 9s (ALBERTI et al., 2021).

Na Figura 1 conseguimos visualizar os cenários de uso do 5G de forma resumida.

Figura 1 – Cenários de uso do 5G



Fonte: Elaborada pelo autor.

2.2 Espectro de frequências

O espectro do 5G é composto por 3 faixas de frequência, que tem papel fundamental para cada cenário de uso proposto pela nova geração da tecnologia de redes móveis. É dividido em frequências abaixo de 1 GHz, as frequência de 1 a 6 GHz e as acima de 6 GHz, onde estão as ondas milimétricas.

A região das frequências abaixo de 1 GHz estarão destinadas a atender soluções que busquem alta cobertura e dispositivos IoT. Essas frequências não estarão aptas para

um consumo massivo, por conta de suas condições físicas em questão de quantidade de antenas e a distância entre antenas para a implementação do sistema. Quanto menor a frequência, maior o comprimento de onda e portanto, maior a antena.

A faixa de frequência entre 1 GHz e 6 GHz, também chamada de sub 6 GHz, é a principal faixa de frequência utilizada pelo 5G. Essa faixa de frequência oferece boas opções em questão de cobertura, de desempenho e capacidade, como é obtido no 4G.

Temos também a faixa de frequência acima de 6 GHz, que será necessária para soluções com 5G que terão uma extrema transferência de dados. Essa é uma região bem interessante para ser explorada, pois há um grande potencial e irá atingir objetivos do 5G em questão de transferência massiva de informações. (AHMADI, 2019)

Segue a [Tabela 1](#) com as informações presentes em [3GPP \(2023\)](#) sobre algumas das bandas e frequências que serão utilizadas no 5G entre 410 MHz e 7125 MHz.

E a [Tabela 2](#) que contém as bandas com frequências entre 24250 MHz e 71000 MHz.

As frequências liberadas para uso pela [Agência Nacional de Telecomunicações \(ANATEL\)](#) no Brasil foram as sub faixas de 708 MHz a 718 MHz, de 763 MHz a 773 MHz, de 2.300 MHz a 2.390 MHz, de 3.300 MHz a 3.700 MHz e de 24,30 GHz a 27,5 GHz. (ANATEL, 2021)

2.3 Técnicas de diversidade

Com o aumento do uso dos espectros de frequência, muitos dispositivos estão simultaneamente com acesso ao meio trocando informações. Por ser um espaço físico limitado, foram desenvolvidas técnicas que aumentem a diversidade espacial para o uso de um mesmo canal de frequência. A técnica que ampliou as opções de diversidade ficou conhecida como [Orthogonal Frequency Division Multiplexing \(OFDM\)](#), que possibilitou a diversidade de tempo e de frequência aumentando a vazão de transmissão do canal.

2.3.1 MIMO

Outra estratégia para aumentar a vazão por célula, capacidade de usuários e também a qualidade do sistema sem fio foi o aumento de antenas de recepção e de transmissão, chamado de [Multiple Input Multiple Output \(MIMO\)](#). O processamento de sinais chegando por diferentes antenas de recepção aumenta também a qualidade do enlace de rádio frequência e robustez pela otimização do sistema irradiante. Essa técnica também introduz o conceito de diversidade espacial, ou seja, o aumento de dimensões físicas para a diminuição de perturbações na codificação ou redundância de informações, como o a diversidade por tempo, frequência e espaço.

2.3.2 Beamforming

Uma tecnologia considerada como uma das chaves fundamentais para o potencial do 5G é o beamforming, que consiste em formar um feixe direcional do sinal entre o transmissor e o receptor, para que exista um ajuste no ganho e na fase de cada antena proporcionando maior alcance, maior vazão e uma redução na interferência do sistema. Para que isso ocorra é necessário o conhecimento do canal por meio do [Channel State Information \(CSI\)](#), que descreve informações de como o sinal é propagado do transmissor até o receptor. (ROCHOL, 2018)

2.4 Modelos de propagação

Os sinais elétricos sem fio conseguem alcançar distâncias enormes devido as suas propriedades físicas eletromagnéticas. Porém, sempre que colidem em alguma superfície, sejam ela sólida, líquida ou gasosa, ocorrem modificações em seu caminho. Dentre as alterações que podem ocorrer no sinal sem fio estão:

- Reflexão, na qual o sinal reflete ao encontrar áreas muito maiores que o comprimento de onda do sinal.
- Refração, na qual o sinal muda de direção ao passar através de um meio com densidade diferente do atual.
- Difração, na qual o sinal altera de direção ao atravessar fendas com dimensões de ordem do comprimento de onda do sinal.
- Absorção, na qual o sinal é absorvido totalmente ou parcialmente ao passar por um obstáculo.
- Difusão ou espalhamento do sinal.
- Ruído eletromagnético, principalmente o ruído branco ou [Additive White Gaussian Noise \(AWGN\)](#), ocorrido pelo aumento da temperatura dos componentes incluídos na transmissão e geração do sinal.
- Interferências, geradas por um ou mais sinais atuando na mesma frequência ou próxima do sinal.
- Desvanecimento, é a soma destrutiva dos sinais que chegam por múltiplos percursos ao encontro do receptor.

Durante o planejamento de redes celulares é preciso obter valores de recepção de sinal que coincidam com a realidade. Esses valores são difíceis de calcular, portanto é

preciso realizar trabalhos de medição em campo para que possa ter uma quantidade de amostras e ao final uma equação para o cálculo da previsão do valor de intensidade do sinal de recepção, a partir de parâmetros ou variáveis como a distância do ponto de transmissão ao ponto de recepção, movimentação do receptor e obstruções no cenário. Essas equações recebem o nome de modelos de propagação.(RAPPAPORT, 2001)

Os modelos de propagação descritos a seguir são muito utilizados nas redes móveis e possuem adaptações para as redes LTE servindo como base para as redes 5G.

2.4.1 Modelo Okumura-Hata

Entre os modelos desenvolvidos que são mais comuns por serem eficientes estão o Okumura-Hata e o COST-231. Em Tóquio, no ano de 1968, Okumura foi responsável por realizar várias medições para criar um gráfico com as curvas de atenuação entre a estação rádio base e a estação móvel dentro da faixa de [Ultra High Frequency \(UHF\)](#) e [Very High Frequency \(VHF\)](#), em aplicações móvel terrestre.

Em 1980, Hata desenvolveu uma expressão matemática que se aproximava dos dados gráficos do experimento de Okumura. Porém, neste novo modelo foi definido a perda ao longo do caminho ou [Path Loss \(PL\)](#) em um ambiente suburbano em função da distância $d[km]$, frequência $f_c[Hz]$, altura $h_b[m]$ da estação rádio base e altura $h_m[m]$ da estação móvel, descrita pela [Equação 2.1](#):

$$PL_{urbano}(dB) = 69,55 + 26,16\log(f_c) - 13,82\log(h_b) - a(hm) + (44,9 - 6,55\log(h_b))\log(d) \quad (2.1)$$

Para ambientes suburbanos, foi desenvolvida a expressão descrita na [Equação 2.2](#):

$$PL_{suburbano} = PL_{urbano} - 2[\log(f_c/28)]^2 - 5,4 \quad (2.2)$$

Após um refinamento, o modelo também pôde ser aplicado em ambientes rurais através da [Equação 2.3](#):

$$PL_{rural} = PL_{urbano} - 4,78(\log(f_c))^2 - 18,33\log(f_c) - 40,98 \quad (2.3)$$

Este modelo foi elaborado para as seguinte faixa de valores:

- Frequência da portadora f_c : 0,5 a 1,5 GHz
- Altura h_b da antena da estação rádio base: >30 m
- Altura h_m da antena da estação móvel: 1 a 10 m

- Distância d : 1 a 10 km

2.4.2 Modelo COST-231 Hata

O projeto europeu COST-231 ampliou o modelo Okumura-Hata, criando o modelo COST-231 Hata que também é um dos mais utilizados em sistemas de redes sem fio e sistemas celulares. Houve o incremento do fator c_m e o parâmetro $a(h_m)$ em relação ao Okumura-Hata, esses parâmetros são definidos para os ambientes urbanos e suburbanos. A expressão do PL se dá pela [Equação 2.4](#):

$$PL_{urbano}(dB) = 46,3 + 33,9 \log(f_c) - 13,82 \log(h_b) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log(h_b)) \log(d) + c_m \quad (2.4)$$

Como dito anteriormente, nesse modelo os parâmetros c_m e $a(h_m)$ podem assumir dois diferentes valores dependendo do ambiente que serão aplicados, para urbano definido pela [Equação 2.5](#) com $c_m = 3dB$:

$$a(h_m) = 3,2(\log(11,75h_m))^2 - 4,97 \quad (2.5)$$

E em ambientes suburbanos pela [Equação 2.6](#) com $c_m = 0$:

$$a(h_m) = (1,11 \log(f_c) - 0,7)h_m - (1,56 \log f_c - 0,8) \quad (2.6)$$

Este modelo foi elaborado para as seguinte faixa de valores:

- Frequência da portadora f_c : 1,5 a 2 GHz
- Altura h_b da antena da estação rádio base: 30 a 200 m
- Altura h_m da antena da estação móvel: 1 a 10 m
- Distância d : 1 a 20 km

Tabela 1 – Frequências do 5G entre 410 MHz e 7125 MHz

Banda	Frequência Uplink	Frequência Downlink	Duplexação
n1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
n3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
n7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
n8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
n13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
n14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
n18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n24	1626.5 MHz – 1660.5 MHz	1525 MHz – 1559 MHz	FDD
n25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
n26	814 MHz – 849 MHz	859 MHz – 894 MHz	FDD
n28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
n29	N/A	717 MHz – 728 MHz	SDL
n30	2305 MHz – 2315 MHz	2350 MHz – 2360 MHz	FDD
n34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
n38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
n40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
n48	3550 MHz – 3700 MHz	3550 MHz – 3700 MHz	TDD
n50	1432 MHz – 1517 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	TDD
n51	1427 MHz – 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD
n53	2483.5 MHz – 2495 MHz	2483.5 MHz – 2495 MHz	TDD
n65	1920 MHz – 2010 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n66	1710 MHz – 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n67	N/A	738 MHz – 758 MHz	SDL
n70	1695 MHz – 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD
n71	663 MHz – 698 MHz	617 MHz – 652 MHz	FDD
n74	1427 MHz – 1470 MHz	1475 MHz – 1518 MHz	FDD
n75	N/A	1432 MHz – 1517 MHz	SDL
n76	N/A	1427 MHz – 1432 MHz	SDL
n77	3300 MHz – 4200 MHz	3300 MHz – 4200 MHz	TDD
n78	3300 MHz – 3800 MHz	3300 MHz – 3800 MHz	TDD
n79	4400 MHz – 5000 MHz	4400 MHz – 5000 MHz	TDD
n80	1710 MHz – 1785 MHz	N/A	SUL
n81	880 MHz – 915 MHz	N/A	SUL
n82	832 MHz – 862 MHz	N/A	SUL
n83	703 MHz – 748 MHz	N/A	SUL
n84	1920 MHz – 1980 MHz	N/A	SUL
n85	698 MHz – 716 MHz	728 MHz – 746 MHz	FDD
n86	1710 MHz – 1780 MHz	N/A	SUL
n89	824 MHz – 849 MHz	N/A	SUL
n90	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
n100	874.4 MHz – 880 MHz	919.4 MHz – 925 MHz	FDD
n101	1900 MHz – 1910 MHz	1900 MHz – 1910 MHz	TDD

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 2 – Frequências do 5G entre 24250 MHz e 71000 MHz

Banda	Faixa de frequência	Duplexação
n257	26500 MHz – 29500 MHz	TDD
n258	24250 MHz – 27500 MHz	TDD
n259	39500 MHz – 43500 MHz	TDD
n260	37000 MHz – 40000 MHz	TDD
n261	27500 MHz – 28350 MHz	TDD
n262	47200 MHz – 48200 MHz	TDD
n263	57000 MHz – 71000 MHz	TDD

Fonte: Elaborada pelo autor.

3 PROPOSTA

A proposta do projeto consiste basicamente na utilização do software Atoll para simular uma rede outdoor 5G. Os passos estão descritos nos tópicos abaixo.

3.1 Software

A simulação da cobertura de redes outdoor 5G será realizada através do software Atoll da empresa Forsk, que o disponibilizou como ferramenta para o corpo do trabalho. No desenvolvimento do projeto será necessário ajustar parâmetros presentes no software para que os dados de simulação de equipamentos como especificações de estações rádio bases, **Customer Premise Equipment (CPE)** e **User Equipment (UE)** estejam de acordo com especificações de produtos reais existentes no mercado. Para isso será necessária uma pesquisa avaliando os produtos disponíveis no mercado de produtos compatíveis com a rede 5G, ou também a análise com os modelos de antenas presentes no banco de antenas do próprio software.

3.1.1 Banco de mapas

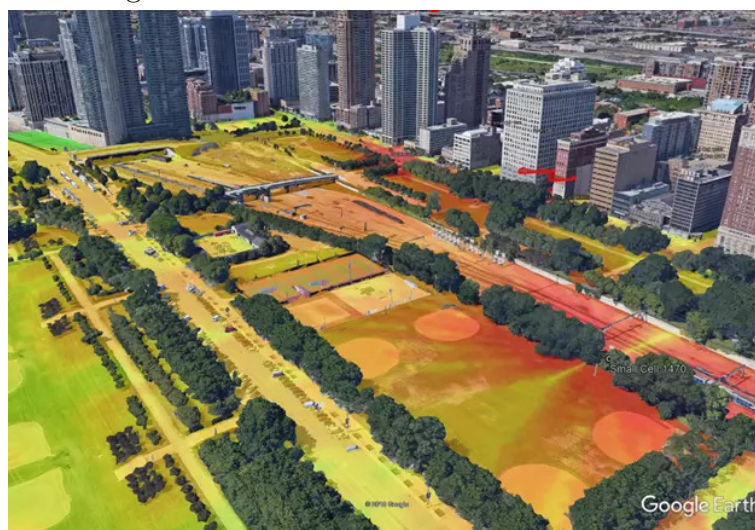
Para a realização da simulação é importado um banco de mapas com detalhes de superfície, relevo e edifícios presentes na região escolhida. Essas informações são muito importantes pois, aumenta em detalhes a precisão do resultado para análise. Ao executar a simulação são apresentados resultados como mapas de calor de cobertura do sinal, com os níveis de modulação e níveis de intensidade do sinal de acordo com a precisão do mapa importado.

Na [Figura 2](#) é possível visualizar um exemplo de como fica o mapa de cobertura com os indicadores após a simulação.

3.2 Resultados

A partir dos resultados obtidos da simulação avançada do software, pode ser feita a análise de indicadores de desempenho e a otimização do projeto de acordo com o objetivo da solução. Neste projeto será realizada a simulação da cobertura de uma rede 5G outdoor no Parque de Coqueiros em Florianópolis. Essa região se trata de uma área externa com água, onde ocorre a reflexão do sinal, árvores, que proporcionam a refração do sinal e edifícios em torno proporcionando também a reflexão do sinal. Esses são fatores determinantes na qualidade de propagação do sinal, que aumentam ou diminuem o alcance de um bom sinal.

Figura 2 – Cobertura outdoor com o Atoll



Fonte: (FORSK, 2023b)

3.3 Análise dos resultados

Com a simulação executada e os resultados analisados, poderá ser feito o estudo dos novos modelos de propagação do 5G e entender como é propagado o sinal da nova geração da tecnologia de redes móveis. Com a análise será possível concluir como aumentar a cobertura, melhorar o nível de modulação, de modo que aumente a taxa máxima de transferência de dados de downlink ou uplink ou diminua a latência de acordo com o objetivo do projeto.

O software proporciona a análise dos modelos de antenas disponibilizados e como o sinal é propagado por elas, analisar interferências que podem surgir entre células de frequências diferentes, também chamadas de interferência inter frequência ou entre células de mesma frequência, também chamadas de interferência intra frequência.

3.4 Cronograma

Por depender do prazo de utilização do software de simulação de apenas 15 dias, o cronograma do desenvolvimento do projeto será curto. Grande parte do projeto será desenvolvida ainda no mês de Julho, assim que for liberado o uso através de uma licença disponibilizada. Após a execução das simulações e capturados os dados e resultados, será então realizada a análise dos dados. O entendimento dos resultados é fundamental para que seja possível traçar possíveis otimizações na cobertura de sinal de acordo com o objetivo do projeto. Dessa forma, será obtido diferentes possibilidades de cenários de uso ao mesmo local escolhido para execução da simulação. Na [Tabela 3](#) podemos ver o planejamento cronológico de atividades.

Tabela 3 – Cronograma de atividades

Etapa	Meses															
	Jun				Jul				Ago				Set			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Estudo do software	X	X	X	X												
Desenvolvimento da simulação					X											
Ajustes de parâmetros						X										
Coleta de resultados						X										
Análise dos resultados							X	X	X	X	X					
Desenvolvimento da documentação													X	X	X	X

4 CONSIDERAÇÕES PARCIAIS

O planejamento celular através do software irá permitir a visualização de um mapa de cobertura, com identificação de pontos e cores que indicam os níveis de recepção de sinal, nível de qualidade e modulação. Desta forma será possível saber onde os dispositivos receptores terão melhor qualidade de sinal, com um projeto outdoor 5G que poderá entregar os seus melhores resultados e ver em simulação o funcionamento das redes 5G.

REFERÊNCIAS

3GPP. *NR; Base Station (BS) radio transmission and reception*. 2023. TS 38.104 Version 17.9.0. 13

AHMADI, S. *5g Nr: Architecture, Technology, Implementation, and Operation of 3GPP New Radio Standards*. [S.l.]: Elsevier Science and Technology, 2019. ISBN 9780081022672. 11, 13

ALBERTI, A. M. et al. *OpenRAN: A conexão do futuro*. [S.l.]: Instituto Nacional de Telecomunicações, 2021. 9, 11, 12

ANATEL. *Leilão de espectro 5G*. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5G/leilao-de-espectro-5g>>. 13

FORSK. *5G Network Planning*. 2023. Disponível em: <<https://www.forsk.com/5g-network-planning>>. 2, 3

FORSK. *Propagation Modelling for RAN Planning and Optimization*. 2023. Disponível em: <<https://www.forsk.com/propagation-modelling>>. 20

OSSEIRAN, A. 5g wireless access: an overview. *Ericsson White Paper*, 4 2020. 9

RAPPAPORT, T. S. *Wireless communications*. 2. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2001. 15

ROCHOL, J. *Sistemas de Comunicação sem Fio: Conceitos e Aplicações*. [S.l.]: Bookman Editora, 2018. 14