

# MODELAGEM COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DA POTÊNCIA DO SINAL 5G NA ÁREA URBANA DE MOSSORÓ

Pedro Arthur Freitas da Silva  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
pedro.silva67350@alunos.ufersa.edu.br

Dr. Humberto Dionísio de Andrade  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
humbertodionisio@ufersa.edu.br

Dr. Idalmir de Souza Queiroz Júnior  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
idalmir@ufersa.edu.br

Thiago de Carvalho Rego  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
thiago.rego@alunos.ufersa.edu.br

Caiky Breno Santiago Chaves  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
caiky.chaves@alunos.ufersa.edu.br

Elison Wediley dos Reis Silva  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
elison.silva@alunos.ufersa.edu.br

Nickson Saymon de Oliveira Lopes  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
nicksonsaymon@gmail.com

Andre Pedro Fernandes Neto  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Departamento de Engenharia e Tecnologia  
Mossoró, Brasil  
andrepedro@ufersa.edu.br

**Resumo**— O avanço das telecomunicações tem impulsionado o desenvolvimento de novas tecnologias, com destaque para a implementação do 5G, que promete maior velocidade e menor latência na transmissão de dados. Diante desse cenário, torna-se essencial avaliar a qualidade da recepção do sinal em diferentes ambientes. Este estudo tem como objetivo medir e analisar os campos elétricos na faixa de 5G em uma região metropolitana de Mossoró, determinando a faixa de potência do sinal e sua adequação aos padrões de qualidade estabelecidos por órgãos reguladores como Anatel e obedecendo também aos padrões do IEEE. Os resultados contribuíram para compreender a eficiência da cobertura e possíveis desafios na implementação dessa tecnologia.

**Keywords**—5G, medição, telecomunicações, faixa de potência

**Abstract**— Advances in telecommunications have driven the development of new technologies, with emphasis on the implementation of 5G, which promises greater speed and lower latency in data transmission. Given this scenario, it is essential to evaluate the quality of signal reception in different environments. This study aims to measure and analyze electric fields in the 5G band in the metropolitan region in Mossoró, determining the signal power range and its adequacy to the quality standards established by regulatory bodies such as Anatel and complying with IEEE standards. The results contributed to understanding the efficiency of coverage and possible challenges in implementing this technology.

**Keywords**—5G, measure, telecommunications, power range

## I. INTRODUÇÃO

O advento das telecomunicações tem permitido a implementação de novas tecnologias, sendo o 5G um dos avanços mais significativos [1]. No entanto, sua cobertura ainda apresenta desafios, com relatos de variações na qualidade do sinal em diferentes ambientes. Fatores como a densidade de usuários e a infraestrutura disponível influenciam diretamente na recepção, tornando essencial a análise do desempenho do 5G em cenários urbanos e periféricos.

Em alguns desses locais, o sinal apresenta instabilidade, interferências ou baixa intensidade, prejudicando a conexão dos usuários que dependem dessa tecnologia em dispositivos móveis, sistemas IoT e equipamentos de automação. Os motivos principais para estas falhas estão associados a fatores como barreiras físicas, falta de infraestrutura adequada e a necessidade de ajustes técnicos na distribuição das faixas de frequência utilizadas pelo 5G.

Nos últimos anos de desenvolvimento tecnológico na área de telecomunicações, a evolução de novas técnicas para melhorar a qualidade de sinal vem sendo amplamente discutida no mundo, o 5G é a tecnologia de 5ª geração sucessora do 4G, que promete avanços significativos em velocidade, latência reduzida e maior capacidade de conexão simultânea.

A padronização do 5G é definida pelo *3rd Generation Partnership Project (3GPP)*, que estabelece as especificações técnicas da tecnologia, incluindo arquitetura de rede, protocolos de comunicação e alocação espectral [2]. No Brasil, a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) regulamentou a operação do 5G na faixa de 3,5 GHz, principal

banda de frequência utilizada globalmente. Os principais provedores de serviços móveis já implementam essa faixa para oferecer conectividade aprimorada, viabilizando aplicações de baixa latência e alta capacidade de transmissão de dados.

Além da faixa de 3,5 GHz, utilizada para a implementação do 5G no Brasil, as principais provedoras de serviços móveis – TIM, Claro e Vivo – operam em diferentes porções do espectro. A TIM, em particular, detém a faixa entre 3.500 e 3.600 MHz [3], que será o foco deste estudo para a realização das medições de nível de potência do sinal. A análise dessa frequência específica permitirá avaliar o desempenho da rede em termos de cobertura, intensidade do sinal e possíveis interferências, contribuindo para um melhor entendimento da qualidade da recepção em ambientes urbanos.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo realizar a análise da situação dos campos para atestar a qualidade da distribuição do sinal 5G na faixa de 3,56GHz. Serão realizados estudos detalhados, utilizando equipamentos especializados como o analisador de espectro e antena do tipo dipolo, para medir a qualidade e intensidade do sinal 5G em diferentes condições geográficas e urbanas. Foram utilizadas antenas específicas para captação do nível de potência do sinal do sinal em questão e *software* para modelagem geográfica tal como o Surfer v.13 que será empregado para identificar as áreas mais críticas, permitindo uma revisão precisa da distribuição e eficiência do sinal. Essas ações visam garantir que a tecnologia 5G atenda plenamente às exigências normativas, assegurando uma conectividade estável e de qualidade.

## II. REFERENCIAL TEORICO

Em [4], aborda o planejamento e a predição de cobertura de redes 5G *outdoor*, focando na otimização da qualidade do sinal. O estudo visa suprir as limitações das redes 4G, simulando cenários na cidade de Florianópolis utilizando o *software* Atoll. A pesquisa explora os cenários de uso do 5G, o espectro de frequências e as técnicas de diversidade, como MIMO e *beamforming*. Modelos de propagação, como Okumura-Hata e COST-231 Hata, são analisados para prever a cobertura e o desempenho da rede. O objetivo é analisar os resultados obtidos para melhorar a cobertura, a modulação e a taxa de transferência de dados, considerando fatores como reflexão e refração do sinal.

Para [5], trabalho investiga a propagação de sinais 5G na frequência de 3,5 GHz em um cenário urbano denso, simulando a tecnologia na cidade de Patos de Minas, Minas Gerais. A pesquisa foca em analisar o desempenho da rede 5G sob diferentes condições, incluindo o uso de modulações de alta ordem (até 256-QAM) e técnicas como MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*), avaliando o impacto de correções de "downtilt" (ângulo de inclinação da antena) e modelos de propagação (*Freespace* e *Close-in*) nas taxas de dados alcançáveis. O autor busca compreender os desafios de implementação do 5G no contexto regional brasileiro.

Para [6], o foco principal do artigo é a predição da cobertura para redes 5G na Zona Econômica Especial de Luanda-Bengo (ZEE), explorando modelos matemáticos e um *software* de simulação (Atoll) para analisar a viabilidade da implementação da tecnologia 5G na região. O estudo utilizou dados preliminares coletados por questionários e simulou a cobertura da rede 5G com base na infraestrutura existente, além de avaliar modelos de propagação como *Longley-Rice*, SPM e SUI. O objetivo é fornecer informações para

operadoras de redes móveis, visando a melhoria e expansão dos serviços de telecomunicações na área.

### A. Interpolação Espacial

No estudo de potência de sinal fornecido por uma operadora de telefonia móvel em uma determinada área de cobertura, os dados obtidos são naturalmente pontuais. Por este motivo, para fins de predição dos campos espectrais é necessário um método de suavização destes dados. Dessa forma as regiões localizadas nos intermédios dos pontos medidos precisam ser consideradas, resultando em um mapeamento mais preciso [7].

Para o escopo do trabalho, foram utilizados 3 métodos de interpolação espacial: Curvatura Mínima, Inverso do Quadrado da Potência e *Kriging*, nos quais serão comparados e discutidos, afim de se obter um melhor processamento de dados que se adequa à realidade da situação dentro da região a ser estudada.

### B. Estações de Rádio Base (ERB)

No Brasil, a propagação do sinal de rádio é primeiramente licenciada e homologada com a Anatel antes que o sinal possa ser liberado e utilizado dentro da rede. A prestadora então terá a autorização de transmitir o sinal na frequência estabelecida que será transmitida por uma ERB como ilustrado na Figura 3, assim, sendo possível a recepção do sinal via telefones celulares e outros aparelhos.

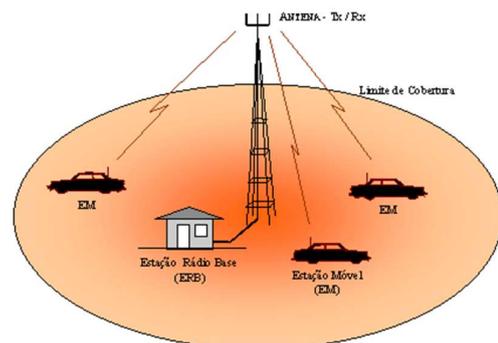


Fig. 1 – Ilustração para uma ERB [8] .

ERB (Estação Rádio Base) é a infraestrutura de telecomunicações responsável pela comunicação entre dispositivos móveis e a rede de uma operadora. Consiste em um conjunto de equipamentos, incluindo antenas, transmissores, receptores e controladores, que permitem a transmissão e recepção de sinais de radiofrequência dentro de uma determinada área de cobertura.

### C. RSSI (Received Signal Strength Indicator)

O indicador de potência de sinal recebido, RSSI [9], é o parâmetro de radiofrequência utilizado para melhor visualização da potência dos campos medidos em dBm. Os campos elétricos medido possuem uma faixa de potência que varia entre escalas fento ( $10^{-15}$ ) a micro ( $10^{-6}$ ) de forma que para visualização se torna inviável, e a com uma conversão para base logarítma, é possível uma melhor análise do espectro dos campos elétricos presentes como mostrado na Figura 2.



Fig. 2 – Exemplo de medição do Analisador de Espectro.

Os valores almeçados na medição a partir do analisador de espectro captado com a antena tratam-se de um faixa que varia de -90 a -30dBm, onde valores muito próximos de -90dBm são facilmente ocultados e indistinguíveis de ruído do próprio ambiente.

### III. METODOLOGIA

#### A. Campanha de Medição

A Campanha de medição consistiu no mapeamento realizado dentro do alcance de 4 ERBs, em um segmento da região metropolitana com objetivo de estudar o campo espectral na faixa 3,5GHz do 5G fornecida pela operadora estudada. Após realizado o mapeamento, deu início ao processo de medição utilizando o analisador de espectro configurado na faixa de 3,5 a 3,6 GHz, frequência esta, definida pelo órgão regulamentador nacional Anatel.

As localizações das 4 ERBs foram obtidas no site da Anatel, conforme mostrado na Figura 3. Com base nessas informações, foram realizadas capturas da potência do sinal em pontos distribuídos entre essas estações, conforme ilustrado na Figura 4.



Fig. 3 – Localização das 4 ERBs da operadora na área de estudo [3].



Fig. 4 – Coleta de dados com analisador de espectro e antena

#### B. Softwares Utilizados

Para o escopo do trabalho, foram utilizadas ferramentas computacionais como o Google Earth Pro ® versão 7.3.6.10201, empregado como ferramenta de mapeamento e planejamento para a definição dos locais de medição do nível de potência do sinal 5G. Diante disso, foi delimitado 70 pontos estratégicos dentro da região situada entre as três antenas previamente identificadas e citadas. Essa abordagem permitiu selecionar pontos que representassem diferentes condições de propagação do sinal, considerando a influência de obstáculos urbanos e a cobertura oferecida na faixa de 3.500 a 3.600 MHz, operada pela TIM.

Os pontos foram dispostos de uma forma a maximizar a área de medição além de facilitar a rota a ser percorrida durante essa etapa. As medições foram realizadas ao nível do solo, com cada ponto distanciando uns 160 metros aproximadamente, conforme ilustrado pela Fig. 5 onde os pontos redondos representam as amostras colhidas e os pinos amarelos a localização das antenas. É possível visualizar melhor a área que foi estudada dentro da cidade de Mossoró a partir da Figura 6.



Fig. 5 – Mapa de posição dos pontos medidos.



Fig. 6 – Mapa da cidade de Mossoró com área de estudo delimitada em amarelo.

Para o processamento e georreferenciamento dos dados coletados, foi utilizado o *software* Surfer® versão 13, que permitiu a interpolação e visualização espacial das medições de nível de potência do sinal 5G obtidas a partir dos valores de RSSI. Com essa ferramenta foram gerados mapas de distribuição do sinal na área estudada, facilitando a análise da variação da intensidade do sinal em função da localização geográfica e da presença de obstáculos urbanos.

Os pontos referenciados foram organizados dentro de uma função de pasta que permitiu a importação de todos os pontos como um grupo para um arquivo no formato .kml (*Keyhole Markup Language*). Esse arquivo armazenava os dados dos pontos, incluindo nome, posição e configuração.

Em seguida, o arquivo .kml foi convertido para *plaintext* por meio da ferramenta GPSVisualizer, garantindo a extração das informações de forma acessível para análise.

Por fim, os dados foram plotados em um arquivo .xlsx, organizados em uma planilha, o que facilitou a medição dos pontos durante a campanha em campo.

C. Equipamentos Utilizados

Na Fig. 7 apresenta analisador de espectro em conjunto com uma antena do tipo dipolo que opera na faixa de 600MHz a 6GHz utilizados durante as medições. O analisador foi configurado com a frequência central de 3,550GHz como um SPAN de 300MHz, RBW (*Resolution Bandwidth*) de 500kHz. Foram empregados 3 marcadores, onde 2 deles seriam fixos para delimitar os limites da frequência de sinal transmitido (3,5 e 3,6GHz), e mais um que possibilitasse a visualização de cada ponto individualmente, como observado pela Figura 8. Desta forma foi possível visualizar outras faixas de frequências pertencentes ao domínio do 5G como de outras provedoras, permitindo comparar o efeito de sombreamento dos respectivos sinais.



Fig. 7 – Analisador de espectro e Antena.

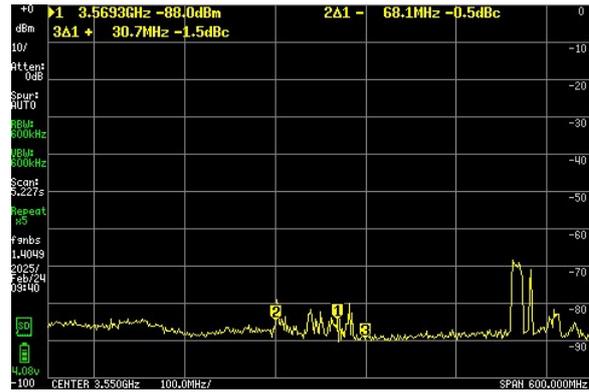


Fig. 8 – Leitura com o analisador de espectro no ponto 55.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Fig. 9 apresenta o histograma em verde com seus valores descritos pelo eixo à esquerda, representando a frequência das amostras obtidas. Em laranja, a função de densidade de massa com o seu respectivo eixo à direita. Por fim o eixo inferior representa os respectivos sinais de potência. Os valores apresentaram uma faixa compreendida entre -89,9 dBm a -72 dBm, onde os valores notáveis estavam acima de -84dBm, nas proximidades da antena (cerca de 1 km). Isso pode ser explicado devido ao sombreamento, larga escala de área de estudo, e baixa resposta da antena mais ao norte, nos quais os resultados mais frequentes foram de regiões de baixa intensidade.

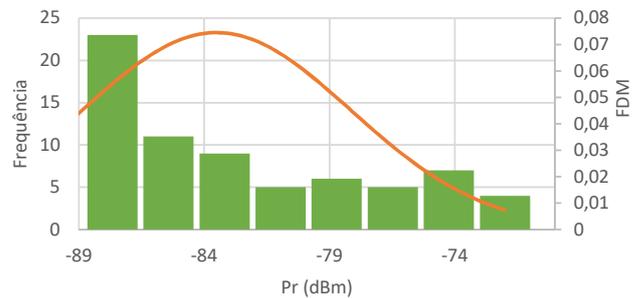


Fig. 9 – Histograma e FDM sobrepostos.

É observado na Fig. 9 a ocorrência de uma tendência maior à esquerda onde estão presentes sinais de baixo valor, que decrescem à medida que se distanciam das antenas e o número de obstáculos na região se somam intensificando a ocorrência de áreas de sombreamento.

A Figura 10, gerada pelo método de Curvatura Mínima, mostra que grande parte da região apresenta valores próximos à faixa de -80 dBm. No entanto, devido à grande distância entre os pontos de medição e à baixa resolução dos dados, os valores intermediários acabam divergindo, o que gera um mapa com perfil homogêneo. Essa uniformidade reduz a variação entre os dados e pode não representar com precisão a distribuição real do sinal.

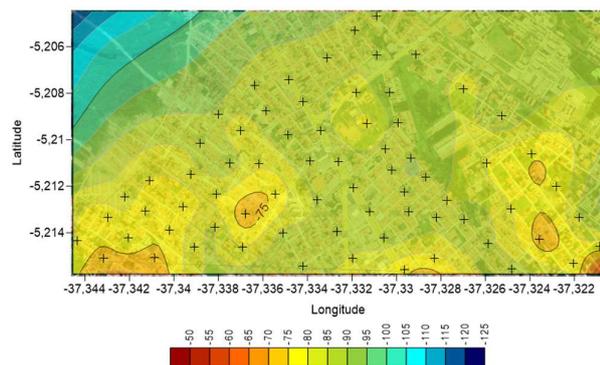


Fig. 10 – Interpolação por método de Curvatura Mínima

No tocante ao método do Inverso da Potência das Distâncias, há um comportamento no mapa em relação a distribuição do espectro do sinal. Contudo é possível notar quais os pontos foram realizados as amostras devido a distância entre eles e o comportamento de como o cálculo do método funciona. O método do inverso da potência das distâncias ao realizar a estimativa das regiões não medidas, toma por base a média ponderada dos valores vizinhos, de forma que para grandes variações, é perceptível a súbita mudança nos níveis como é mostrada na Figura 11.

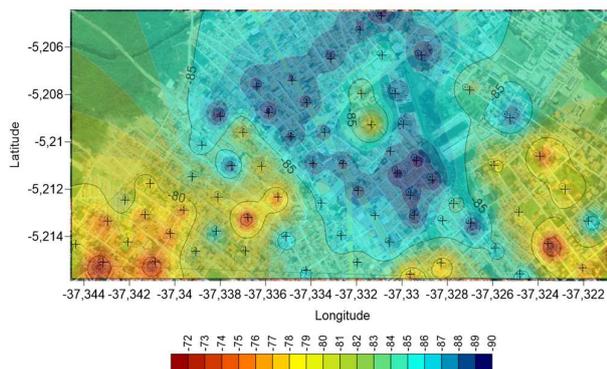
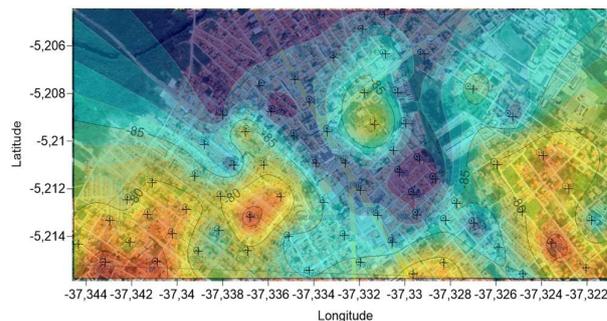


Fig. 11 – Interpolação por método de Inverso da potência das distâncias.

Para a Figura 12, têm-se a interpolação por método de *Kriging*, resultando numa interpolação mais suave apesar da distância entre os pontos medidos, cuja áreas intermediárias foram calculadas de forma a criar um mapeamento suave com um comportamento mais natural em relação à média dos valores obtidos no ato da medição. *Kriging* se destaca por considerar não apenas a distância entre os pontos, mas também a estrutura de correlação espacial dos dados, permitindo estimativas mais confiáveis. Em comparação, a Curvatura Mínima pode gerar superfícies excessivamente suavizadas, potencialmente distantes da realidade dos dados, enquanto a Interpolação Inversa das Distâncias, embora prática, pode apresentar transições abruptas em áreas com menor densidade de pontos. Assim, o *Kriging* demonstra um equilíbrio ideal entre suavidade e precisão, tornando-se uma escolha robusta para representar padrões espaciais complexos.

Fig. 12 – Interpolação por método de *Kriging*.

Com base nos resultados, em áreas mais abertas e dentro de uma distância de aproximadamente 600 metros, o sinal se manteve com intensidade notável em comparação com registros em pontos mais distantes, onde há maior presença de anteparos com prédios, árvores, características do meio, etc.

Além disso, foi observado uma baixa intensidade proveniente da antena mais ao norte. Durante a fase de medições, o primeiro ponto analisado situava-se a aproximadamente 100 metros de distância dessa antena. Devido à proximidade, esperava-se mesmo uma intensidade pouco significativa do sinal, pois em curtas distâncias, e a altura da antena, a intensidade do sinal na região diretamente abaixo da antena é muito baixa. No entanto, com o incremento gradual da distância, a mudança na intensidade do sinal não era perceptível, interpretado como se não houvesse antena próxima. Já nas demais 3 antenas, foi possível notar picos bem definidos dentro da faixa, anteriormente ilustrado na Figura 7, que representa uma das medições especificamente no ponto 55, localizado a quase 1 km e 500m das antenas situadas respectivamente a oeste e ao sul.

Faz-se necessário informar que existe uma antena mais ao norte onde a mesma está localizada em um bairro que apresenta uma demanda por sinal 5G menos significativa devido, à predominância de um público que ainda utiliza tecnologia 4G ou anterior. Além disso, o sinal puro 5G SA (*Standalone*) não está presente em nenhuma das 9 antenas listadas até o momento, ou seja, todas elas dividem o seu *core* com o LTE 4G de forma que afete tanto a qualidade do nível do sinal, quanto ao fato de ser capaz de transmitir o nível de sinal na frequência 3,55GHz.

## V. CONCLUSÃO

O presente trabalho se propôs a analisar a intensidade dos níveis de potência de sinal na faixa de 5G em uma região metropolitana de Mossoró, avaliando a qualidade do sinal e sua adequação aos padrões estabelecidos por órgãos reguladores como a Anatel e o IEEA. Como principais resultados, foram obtidas curvas representativas da distribuição espacial da potência do sinal, utilizando métodos de interpolação e análise estatística. Os dados coletados indicaram que a intensidade de sinal apresenta regiões ausentes com um grande número de sombreamento, com isso dificultando a conectividade. Além disso, fatores como a interferência de obstáculos urbanos e a heterogeneidade da infraestrutura de telecomunicações podem influenciar a propagação do sinal, exigindo análises complementares.

Com a utilização da ferramenta computacional foi possível realizar simulações em ambientes eletromagnéticos e realizar a aquisição de informações sobre o espalhamento espectral da tecnologia 5G. Diante dessas informações conclui-se que o conhecimento adquirido através da otimização computacional dos cenários é de extrema relevância, uma vez que esse estudo possibilita que os projetos de propagação de sinal de tecnologia 5G comunicação sem fio sejam mais eficazes. Portanto, o presente trabalho demonstra que os valores estão em concordância com a literatura e com os padrões normativos, e diante dessas informações o ambiente simulado apresenta como uma ferramenta importante para pré-diagnóstico do estudo de propagação de sinal do sinal que está sendo entregue para os usuários.

A realização de campanhas de medição mais extensas, com instrumentação de maior precisão e técnicas de modelagem mais avançadas, poderá fornecer subsídios valiosos para profissionais da área, auxiliando na otimização da infraestrutura e no planejamento de futuras expansões da rede.

#### AGRADECIMENTOS

Esse estudo foi financiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Os autores agradecem também, a CAPES, UFERSA, GEPEAT, ao capítulo Estudantil MTTS – UFERSA, ao ramo

Estudantil IEEE UFERSA e a equipe do Laboratório de Telecomunicações e Micro-ondas da UFERSA.

#### REFERÊNCIAS

- [1] B. Cai, H. Zhang, H. Guo, G. Zhang and W. Xie, 5G Network Evolution and Dual-mode 5G Base Station. 2020 IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, China, 2020, pp. 283-287.
- [2] M. Shafi et al., 5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2017, vol. 35, no. 6, pp. 1201-1221.
- [3] ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/> acesso: 28/01/2025
- [4] J. Constantino, “Redes 5G: predição e avaliação de área de cobertura outdoor”, 2023.
- [5] S. D. de Lima, “Análise e simulação dos aspectos de transmissão de sinais 5g em macro células em ambientes urbanos”, p. 97.
- [6] C. C. Pataca, “Predição de cobertura para rede 5g da zona econômica especial de Luanda-Bengo”, FICHA TÉCNICA DO IVº CONGRESSO., 2021.
- [7] L. J. HEAP, A. D. *A review of Spatial interpolation methods for environmental scientists*. Camberra: Geoscience Australia, 2008
- [8] WirelessBRASIL – Portal Independente de Telecomunicações e Tecnologia. Disponível em: [www.wirelessbrasil.org](http://www.wirelessbrasil.org). acesso em: 22/02/2025
- [9] CASTELLANOS, Pedro Vladimir Gonzalez. Caracterização do canal de propagação banda larga na faixa UHF para aplicações de TV digital. 2009. Tese DOUTORADO– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009