

AVALIAÇÃO DA COBERTURA DE SINAL 5G EM ÁREA URBANA DE MOSSORÓ ATRAVÉS DO USO DE INTERPOLAÇÃO NUMÉRICA ESPACIAL

Pedro Arthur F. da Silva¹, Humberto Dionísio de Andrade², Idalmir de Souza Queiroz Júnior³

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 urbana de Mossoró, determinando a faixa de potência do sinal e sua adequação aos padrões normativos estabelecidos por órgãos reguladores como Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e obedecendo também aos padrões do IEEE. Os resultados contribuíram para compreender a eficiência da cobertura e possíveis desafios na implementação dessa tecnologia.

Palavras-chave: 5G, analisador de espectro, campanha de medição, interpolação espacial, RSSI.

1. 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 algumas regiões, o sinal ainda 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, onde 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 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. Foi utilizado um conjunto de equipamentos específicos para captação do nível de potência 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.

2. REFERENCIAL

Nesta seção, serão apresentados os fundamentos teóricos que sustentam a pesquisa, fornecendo subsídios para a análise e modelagem dos dados coletados. Serão abordados conceitos essenciais para a caracterização e avaliação do desempenho de sistemas de comunicação sem fio. O embasamento teórico aqui descrito é fundamental para a definição da metodologia adotada e para a interpretação dos resultados obtidos na investigação.

2.1. 5G

De acordo com as definições de [2], o 5G é a próxima geração de sistemas de rádio e arquitetura de rede, sucedendo o 4G e a tecnologia LTE (*Long Term Evolution*). O 5G oferece banda larga extrema, conectividade ultra robusta e de baixa latência, além de redes massivas para a Internet das Coisas (IoT). A tecnologia LTE, parte integrante do 4G, já trouxe melhorias significativas na velocidade e eficiência das comunicações sem fio. No entanto, o 5G amplifica ainda mais essas capacidades, estabelecendo um novo padrão para atender à crescente demanda dos consumidores por velocidades de comunicação mais elevadas e experiências de rede mais responsivas.

O 5G utiliza da tecnologia *New Radio* (NR), interface aérea desenvolvida especificamente para redes 5G pela *3rd Generation Partnership Project* (3GPP). As redes 5G utilizam um espectro diversificado de frequências para oferecer uma cobertura ampla e de alto desempenho. Essas frequências são categorizadas em três principais grupos: baixa frequência (Sub-1 GHz), que oferece excelente cobertura de longo alcance e melhor penetração em ambientes internos, sendo ideal para áreas rurais e urbanas densas; média frequência (1-6 GHz), que equilibra cobertura e capacidade, oferecendo boas velocidades de transmissão de dados e sendo amplamente utilizada em áreas suburbanas e urbanas; e alta frequência (mmWave, acima de 24 GHz), que fornece velocidades extremamente altas e capacidade, mas com alcance menor e menor penetração em edificações, sendo ideal para áreas urbanas densamente povoadas e *hotspots* de alta demanda [4]. No Brasil, as operadoras utilizam a faixa 5G por volta de 3,5 GHz, num intervalo entre 3,3 e 3,6 GHz [3].

Nas estações de rádio base presentes na região, é comum a presença de múltiplas gerações de tecnologia, incluindo núcleos 5G, 4G e 3G. Em particular, muitas dessas estações utilizam a tecnologia 5G NSA-SA (*Non Standalone-Standalone*). A tecnologia 5G NSA permite que a nova rede 5G seja implementada sobre a infraestrutura 4G existente, aproveitando os investimentos anteriores e facilitando a transição para a nova geração. Em contrapartida, a tecnologia 5G SA opera de forma independente, sem depender do núcleo 4G, proporcionando todos os benefícios completos do 5G [1].

A coexistência dessas tecnologias nas estações de rádio base permite que as operadoras forneçam um desempenho otimizado e uma cobertura mais ampla aos usuários finais, enquanto gradualmente migram para uma arquitetura totalmente 5G. Essa abordagem híbrida, utilizando 5G NSA-SA, oferece uma solução prática e econômica para atender à crescente demanda por conectividade de alta velocidade e serviços de rede avançados.

2.2. Estações de Rádio Base

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 (Estações de Rádio Base) como ilustrado na Figura 1, assim, sendo possível a recepção do sinal via telefones celulares e outros aparelhos.

2.4. 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 adeque à realidade da situação dentro da região a ser estudada.

O método do Inverso da Potência utiliza de um cálculo de forma a assumir os valores de uma localização desconhecida podem ser aproximados com base na média ponderada dos valores dentro de uma certa distância denominada de distância de corte, ou de um determinado número de pontos mais próximos. Em sua maioria, os pesos são inversamente proporcionais a uma potência de distância, no qual é um ponto onde não possui uma amostra, leva ao cálculo para estimativa do possível valor [8].

Para o método de Curvatura mínima são funções por partes usando alguns pontos por vez. As previsões de interpolação podem ser calculadas rapidamente e as previsões são muito próximas dos valores que estão sendo interpolados, desde que os erros de medição associados aos dados sejam pequenos.

Já a Krigagem ou *Kriging* é um método de interpolação geoestatístico que leva em conta os dados amostrados e a estrutura espacial da variável analisada. A krigagem fornece a melhor estimativa linear não enviesada, além de oferecer uma medida do erro ou incerteza nos pontos não amostrados. Diferentemente de outros métodos, ela não gera efeitos de borda ao tentar ajustar um polinômio aos dados, proporcionando maior precisão na interpolação. No entanto, sua aplicação exige a suposição de estacionariedade dos dados, o que pode não ser verdadeiro em algumas situações, embora essa limitação possa ser atenuada por variações específicas do método [8].

3. METODOLOGIA

Esta seção será voltada a detalhar cada etapa do processo realizado no decorrer do trabalho. A Figura 3 mostra o fluxograma geral. O processo inicia-se com o estudo do tema proposto e sua relação com o referencial teórico. A partir disso, a localização das ERBs é mapeada para delimitar a área de estudo e definir os pontos de coleta de dados no software Google Earth. Os dados são então exportados para uma planilha, organizando as informações necessárias para a campanha de medição. Com a coleta realizada, os dados são inseridos no programa Surfer 13, onde os métodos de interpolação são aplicados. Os mapas geoestatísticos gerados permitem a análise comparativa para a escolha da abordagem mais adequada à situação estudada. Por fim, os resultados são discutidos, evidenciando a importância do processo, do estudo e de sua aplicação prática.

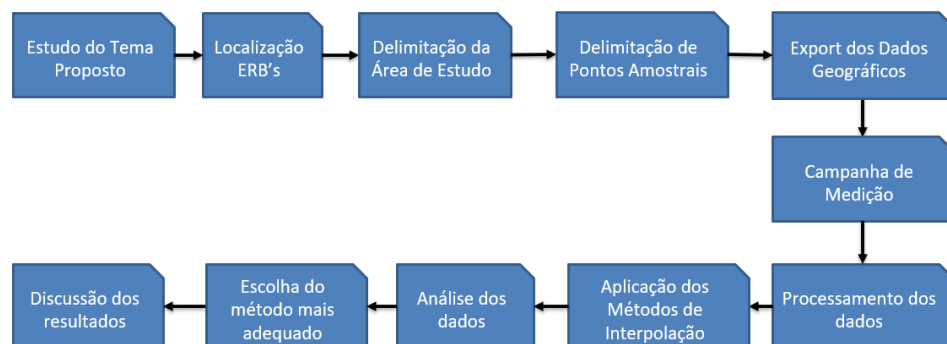


Figura 3 – Fluxograma do trabalho. (Autoria própria)

3.1. Campanha de Medição

A Campanha de medição consistiu no mapeamento realizado dentro do alcance de 4 ERBs, em um segmento da região urbana com objetivo de estudar o campo espectral na faixa 3,5 GHz 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 à 3,6 GHz, frequência esta, definida pelo órgão regulamentador nacional ANATEL.

Todas ERB's estudadas ao longo deste trabalho, de acordo com [3], possuem tecnologia 5G SA-NSA com subfaixas de frequência com 3,5 - 3,6 GHz. Conforme descrito na Tabela 1 é possível observar características que discriminam entre si as ERB's, com relação ao número utilizado nas figuras para facilitar o entendimento, o número da estação, e datas de primeiro e último licenciamento.

Tabela 1. Relação entre Antenas 5G 3.500 – 3.600 MHz.			
Nº Figura	Nº Estação	Data primeiro licenciamento	Data último licenciamento
1	684917599	09/12/2004	05/01/2024
2	1007339141	21/09/2018	01/02/2024
3	699194709	19/08/2013	18/09/2024
4	1015147698	08/08/2023	19/03/2024

Fonte: [3]

As localizações das 4 ERBs foram obtidas no site da ANATEL, e inseridas no software Google Earth®, conforme mostrado na Figura 4, assim como a região estudada destacada em branco 50% transparente.



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

Com base nessas informações, foram realizadas capturas da potência do sinal nos 70 pontos distribuídos na região entre as estações, conforme ilustrado na Figura 5, de forma que os pontos foram captados de forma que a antena utilizada estivesse a cerca de 1,30m do chão de forma a simular a posição dos aparelhos móveis sujeitos a receber o sinal, com um tempo de estabilização por volta de 1 – 2 minutos.

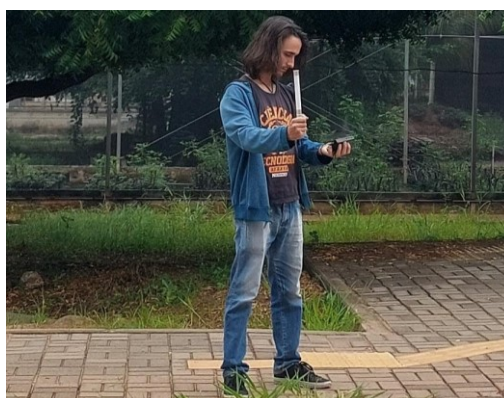


Figura 5 – Coleta de dados com analisador de espectro e antena. (Autoria própria)

3.2. Equipamentos Utilizados

Na Figura 6 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.



Figura 6 – Analisador de espectro e Antena. (Autoria própria)

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 7. Desta forma foi possível visualizar outras faixas de frequências pertencentes ao domínio do 5G como de outras provedoras, permitindo comparar o efeito de somreamento dos respectivos sinais.

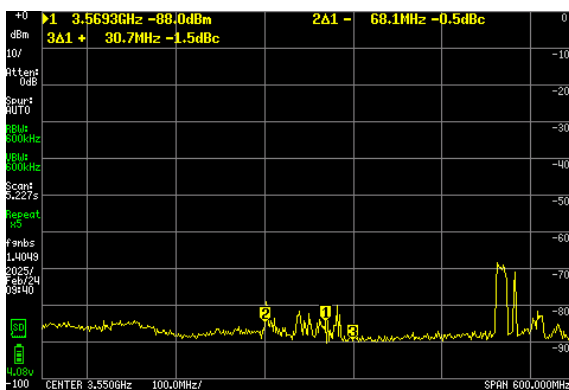


Figura 7 – Leitura com o analisador de espectro no ponto 55. (Autoria própria)

3.3. Softwares Utilizados

Para o escopo do trabalho, foram utilizadas ferramentas computacionais como o Google Earth ® 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 3.5 a 3.6 GHz, operada pela TIM.

3.3.1. Google Earth ®

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 distanciados uns 160 metros aproximadamente, conforme ilustrado pela Figura 8 onde os pontos brancos redondos representam as amostras medidas, onde a amostra 55 está em vermelho, e os pinos vermelhos, a localização das ERB's.

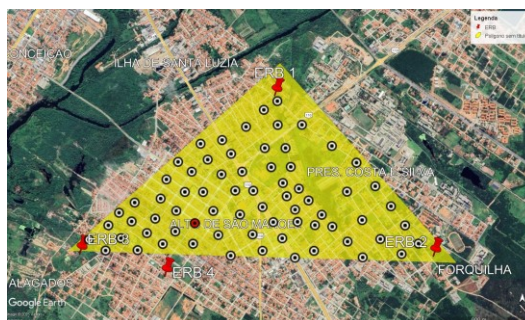


Figura 8 – Mapa de posição dos pontos medidos. (Autoria própria)

É disposto na Figura 9, a área que fora estudada dentro da cidade de Mossoró e o tamanho que compreende a região estudada durante a campanha de medição.

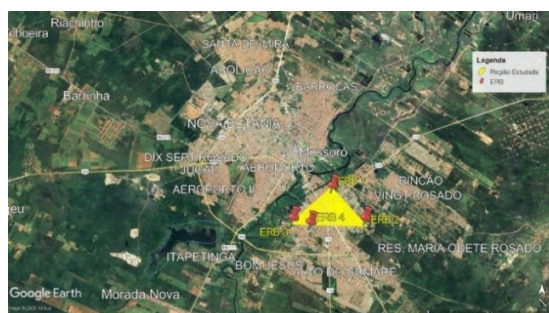


Figura 9 – Mapa da cidade de Mossoró com área de estudo delimitada em amarelo.

3.3.2. Surfer 13

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 .kmz (*Keyhole Markup Language*). Esse arquivo armazenava os dados dos pontos, incluindo nome, posição e configuração presentes no Google Earth Pro.

Em seguida, o arquivo .kmz 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.

A partir dos valores de longitude (1) e latitude (2) obtidos por meio do Google Earth dos pontos amostrais escolhidos e valores referentes a intensidade do sinal (3) para frequência desejada, foram inseridos no programa em um novo *worksheet* (4), mostrada na Figura 10, e salvos em formato .bln (*BLN Golden Software Blanking*), um arquivo capaz de armazenar informações geográficas.

	(1)	(2)	(3)					
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	-37.33086	-5.204492	-89.5					
2	-37.32908	-5.206207	-89					
3	-37.32891	-5.207737	-83.7					
4	-37.32513	-5.208940	-88.2					
5	-37.32378	-5.210635	-75.4					
6	-37.32264	-5.212074	-77.8					
7	-37.32162	-5.213451	-86.2					
8	-37.32066	-5.214756	-75.5					
9	-37.32187	-5.215506	-77					
10	-37.32341	-5.214436	-72					
11	-37.32472	-5.213074	-80					
12	-37.32581	-5.211024	-79.2					
13	-37.32468	-5.215761	-85.9					

Figura 10 – Aba New Worksheet Surfer 13 (Autoria Própria)

Em posse do arquivo .bln, em um novo plot (5), visto na Figura 11, menu superior em Grid > Data (6), ao selecionar o arquivo, será aberto a janela Grid Data (7) onde é possível selecionar o método (8) no qual será feita a interpolação e gerar um novo arquivo com os dados do método desejado. Ainda é possível em (9) a opção de validação cruzada para análise dos dados.

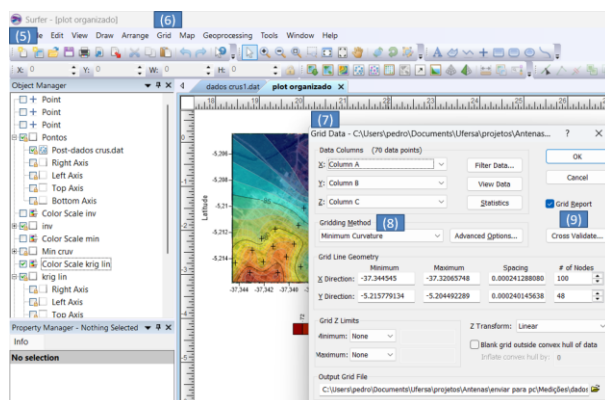


Figura 11 – Aba New Plot Surfer 13 (Autoria Própria)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Fig. 12 apresenta o histograma em vermelho com seus valores descritos pelo eixo à esquerda, representando a frequência das amostras obtidas. Em laranja, a função de densidade de massa (FDM) com o seu respectivo eixo à direita. Por fim o eixo inferior representa o nível de potência dos sinais obtidos. Os valores apresentaram uma faixa compreendida entre -89,9 dBm a -72 dBm, onde os valores notavelmente mais fortes 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.

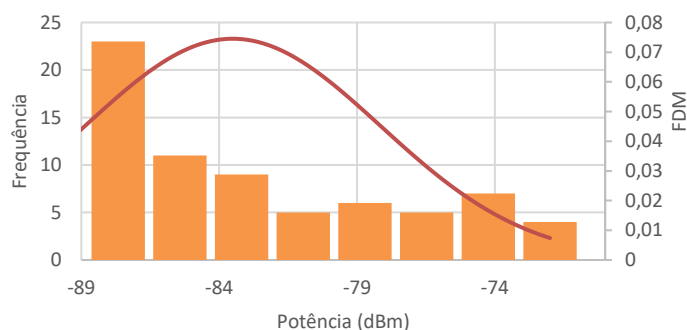


Figura 12 – Histograma e FDM sobrepostos. (Autoria própria)

É observado na Figura 12 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.

Os dados geográficos e amostras dos dados obtidos ao passar pelo software para realizar a interpolação geraram os mapas geoestatísticos representados pelas Figuras 13, 14 e 15, onde a Figura 13 contendo o Método de Curvatura Mínima apresenta um grau de magnitude com valores que seguem de -45 a -125 dBm em contraste com as demais que possuem uma escala cujo estaria contida entre -70 a -90 dBm. Desta forma, a comparação entre os métodos deve levar em conta a diferença de magnitude dos 3 métodos distintos.

A Figura 13, 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.

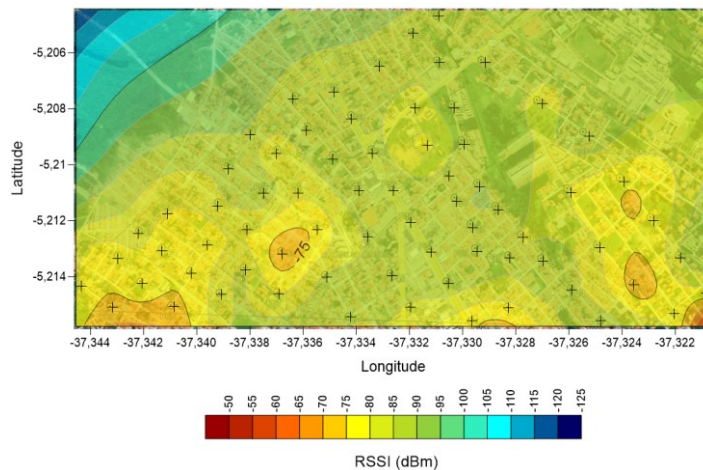


Figura 13 – Interpolação por método de Curvatura Mínima. (Autoria própria)

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 onde foram coletadas 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 14.

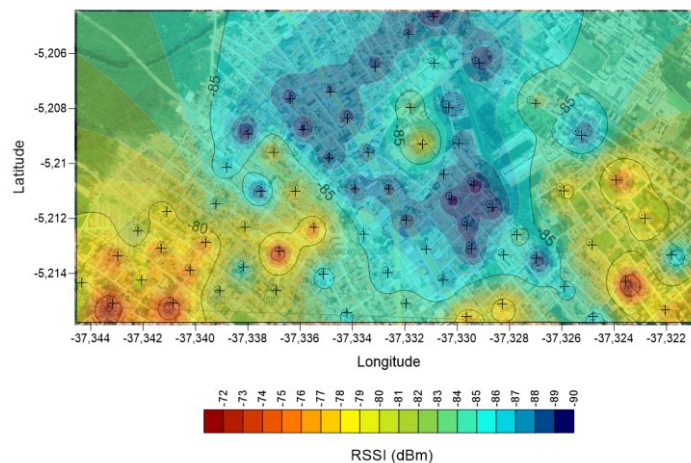


Figura 14 – Interpolação por método de Inverso da potência das distâncias. (Autoria própria)

Para a Figura 15, têm-se a interpolação por método de *Kriging*, o qual resultou 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 o método do Inverso da Potência 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.

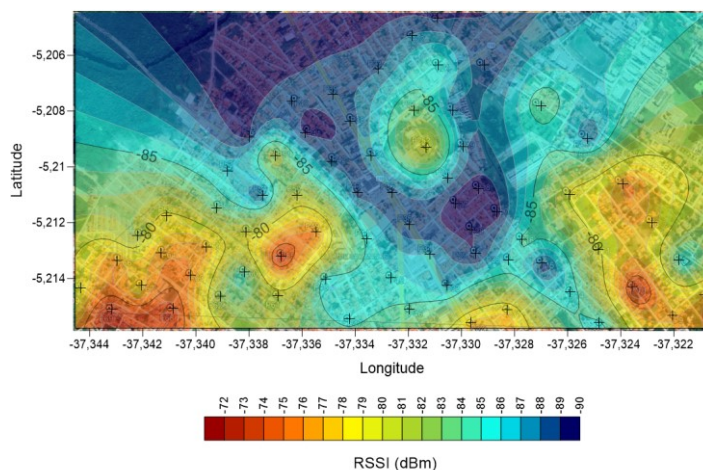


Figura 15 – Interpolação por método de Kriging. (Autoria própria)

Com base nos resultados, em áreas mais abertas e dentro de uma distância de aproximadamente 600 m do alcance das torres, o sinal se manteve com intensidade permeando -84dBm 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 (ERB 1). Durante a fase de medições, o primeiro ponto analisado situava-se a aproximadamente 100 m de distância dessa antena. Devido à proximidade, esperava-se uma intensidade pouco significativa, por volta de -90dbm, 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 especificada.

Além disso, o sinal puro 5G SA (*Standalone*) não está presente em nenhuma das 9 torres listadas dentro da cidade 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.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho se propôs a analisar a intensidade dos níveis de potência de sinal na faixa de 5G em uma região urbana de Mossoró, avaliando a qualidade do sinal e sua adequação aos padrões estabelecidos por órgãos reguladores como a ANATEL e o IEEE. 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 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 sejam mais eficazes. Portanto, o presente trabalho demonstra que a informação obtida está em concordância com a literatura e com os padrões normativos, e diante da mesma, 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.

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

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [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. **Estações do Serviço Móvel Pessoal**. Disponível em: <<https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/outorga-e-licenciamento/estacoes-do-smp/>>. Acesso em: 28 de jan. 2025.
- [4] G. Amitabha, M. Andreas, B. Mathew & C. Devaki. **5G Evolution: A View on 5G Cellular Technology Beyond 3GPP Release 15**. Nokia Bell Labs, Naperville, IL 60563, USA, Vol 7, 2019.
- [5] WirelessBRASIL – Portal Independente de Telecomunicações e Tecnologia. Disponível em: <http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/msantos/smc_02.html>. acesso em: 22 de fev. 2025.
- [6] CASTELLANOS, Pedro Vladimir Gonzalez. **Caracterização do canal de propagação banda larga na faixa UHF para aplicações de TV digital**. 2009. Tese DOUTORADO– Pontifica Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- [7] L, J. HEAP, A. D. **A review of Spatial interpolation methods for enviromental scientists**. Camberra: Geoscience Australia, 2008.
- [8] Ikechukwu, M.; Ebinne, E.; Idorenyin, U.; Raphael, N. **Accuracy Assessment and Comparative Analysis of IDW, Spline and Kriging in Spatial Interpolation of Landform (Topography): An Experimental Study**. J. Geogr. Inform. Syst. 2017, 9, 354–371.