

Simulações e avaliação da cobertura e desempenho da tecnologia 5G em Palmas - TO

Simulations and evaluation of coverage and performance of 5G technology in Palmas - TO

Bruno de Oliveira Lysike¹, Hernane Mendes de Souza¹ e Kathy Camila Cardozo Osinski Senhorini¹

¹ Universidade Federal do Tocantins, Departamento de Engenharia Elétrica, Tocantins, Brasil

Data de recebimento do manuscrito: 21/08/2023

Data de aceitação do manuscrito: 12/09/2023

Data de publicação: 16/10/2023

Resumo— Neste estudo, foram realizadas simulações da cobertura da tecnologia 5G em Palmas/TO por meio do software MATLAB®. O objetivo consiste em avaliar a cobertura e desempenho da conexão 5G na região, dado que a tecnologia encontra-se em fase de implantação para uso comercial e seus benefícios já são amplamente difundidos na sociedade. Vale ressaltar que apenas a cobertura não garante uma experiência tecnológica excepcional, tornando assim, fundamental a análise do desempenho do serviço. As simulações foram baseadas nas localizações das estações e no modelo de propagação close-in. Foram considerados dois parâmetros de qualidade do sinal: Razão Sinal-Ruído e a Potência de Referência do Sinal Recebido, ambos acima de 13 dB e -80 dBm, respectivamente, indicativos de conexão de qualidade. A antena utilizada para transmissão foi a microstrip retangular de meio comprimento de onda, com patch de cobre e substrato FR4, em um arranjo MIMO 64x64, e, na recepção, uma antena dipolo de meia onda. A área de melhor cobertura foi no Plano Diretor Sul de Palmas, com destaque para a Vivo, que ofereceu ampla cobertura e alta qualidade de sinal, conforme os padrões de referência. Esses resultados destacam a relevância das simulações precisas na avaliação do desempenho da tecnologia 5G em áreas urbanas.

Palavras-chave— Telecomunicações, Tecnologia, 5G, Propagação, Qualidade de cobertura.

Abstract— In this study, simulations of 5G technology coverage in Palmas/TO were carried out using MATLAB® software. The objective is to evaluate the coverage and performance of the 5G connection in the region, given that the technology is in the implementation phase for commercial use and its benefits are already widely disseminated in society. It is worth noting that coverage alone does not guarantee an exceptional technological experience, making it essential to analyze the service's performance. The simulations were based on station locations and the close-in propagation model. Two signal quality parameters were considered: Signal-to-Noise Ratio and Received Signal Reference Power, both above 13 dB and -80 dBm, respectively, indicative of quality connection. The antenna used for transmission was the half-wavelength rectangular microstrip, with copper patch and substrate FR4, in a 64x64 MIMO arrangement, and, for reception, a half-wave dipole antenna. The area with the best coverage was in the Southern Palmas Master Plan, with emphasis on Vivo, which offered broad coverage and high signal quality, in accordance with reference standards. These results highlight the relevance of accurate simulations in evaluating the performance of 5G technology in urban areas.

Keywords— Telecommunications, Technology, 5G, Propagation, Coverage quality.

I. INTRODUÇÃO

Nas últimas três décadas, a indústria móvel passou por cinco gerações de revolução tecnológica, trazendo impactos significativos à sociedade. A primeira geração (1G) foi totalmente analógica, transmitindo apenas voz. A segunda geração (2G) trouxe a interoperabilidade global, confiabilidade e mensagens SMS. Com a terceira geração

(3G), dados em alta velocidade, acesso à internet e segurança na comunicação se tornaram realidade. A quarta geração (4G) aumentou a capacidade e velocidade dos dados, viabilizando serviços online, internet móvel rápida e redução do consumo de energia dos terminais móveis. A quinta geração (5G) é a mais avançada até o momento, oferecendo dados excepcionais, conectividade aprimorada, velocidades gigabit e cobertura expandida, até mesmo em áreas remotas [1]. A sexta geração (6G), atualmente em pesquisa e desenvolvimento, promete aprimorar conquistas anteriores e expandir capacidades tecnológicas nas telecomunicações [2].

as ambições anteriores: buscar consolidar-se firmemente como um recurso vital na integração das tecnologias digitais em diversos âmbitos econômico e social, desempenhando um papel crucial no avanço de setores como a indústria 4.0, mobilidade automotiva, transporte, saúde, energia, mídia e entretenimento. A sua capacidade de gerar novas cadeias de valor e fomentar modelos de negócios inovadores está pronta para redefinir os padrões [3].

Com o advento da Internet das Coisas (IoT), espera-se que até 2030 cerca de 25,4 bilhões de dispositivos se interconectem [4]. Com as redes 5G em destaque, o compartilhamento de infraestrutura se torna crucial para economias de custo, podendo chegar a 20-30%, sendo especialmente relevante, dada a necessidade de investimentos significativos por parte das operadoras para implementar essas tecnologias avançadas [5]. Essa colaboração é destacada em uma análise mais minuciosa, como mostrado na Tabela 1, com dados sobre a cobertura percentual das cinco melhores Unidades da Federação (UFs) no Brasil [6].

TABELA 1: RANKING DO PERCENTUAL DE MORADORES ATENDIDOS PELO 5G POR UF [6].

Classificação	UF	Moradores cobertos (%)
1º	Distrito Federal	99,14
2º	Alagoas	79,64
3º	Rio de Janeiro	78,23
4º	São Paulo	72,07
5º	Amapá	63,45

O estado do Tocantins ocupa a 20ª posição em termos de percentual de residentes já beneficiados pela tecnologia 5G, com uma cobertura ampla de 37,88% [6]. A Tabela 2 resalta os principais municípios que se destacam no Tocantins, onde Palmas ocupa a segunda posição com uma abrangência de 96,70% da população[6], embora seja crucial reconhecer que alta cobertura percentual não garante automaticamente uma experiência tecnológica satisfatória [7].

TABELA 2: RANKING DO PERCENTUAL DE MORADORES ATENDIDOS PELO 5G POR MUNICÍPIO NO TOCANTINS [6].

Classificação	Município	Moradores cobertos (%)
1º	Gurupi	96,71
2º	Palmas	96,70
3º	Paraíso do Tocantins	94,70
4º	Araguaína	72,07
5º	Porto Nacional	63,45

Um dos principais indicadores de qualidade em redes móveis 5G é a Relação Sinal-Ruído mais Interferência (SINR). Ela expressa a relação entre o sinal desejado e os ruídos ou interferências presentes, frequentemente em decibéis (dB) para facilitar a compreensão [7]. A fórmula matemática para o cálculo do SINR é apresentada na Equação 1:

$$\text{SINR}(X) = \frac{P}{I+N} \quad (1)$$

Nesse contexto, os símbolos têm significados específicos: P para a potência do sinal de entrada, I para a potência das interferências de outros sinais e N para o componente

de ruído [7]. No ambiente MATLAB® [8], ferramentas automatizam o cálculo da SINR e geram visualizações gráficas para estimativas de cobertura em mapas de Estações Rádio Base (ERBs).

II. METODOLOGIA

Foram conduzidas simulações no *software* MATLAB® [8] para prever a propagação da cobertura 5G em Palmas. Essas simulações resultaram da combinação de códigos da literatura relevante [9, 10].

Os códigos foram ajustados para refletir as configurações das antenas MIMO 64x64 em frequências de 3,45 GHz e 3,55 GHz, usadas na tecnologia 5G. Para a simulação, os dados necessários, como frequência da Antena Transmissora (Tx), frequência da Antena Receptora (Rx), ganho da antena, altura da antena e potência do transmissor, são inseridos no script correspondente [11]. A simulação usa o modelo de propagação *close-in*, invocado por uma função no MATLAB® [8, 11].

As posições das ERBs são determinadas com base nos registros das operadoras no banco de dados Mosaico, mantido pela Anatel [12]. Após a realização de 16 simulações, o estudo foi dividido em duas partes, nas quais cada uma delas concentrou-se na análise das duas melhores ERBs de cada operadora, a Vivo e a Tim. Estas estações operam com potências de transmissão de 200W e 100W, respectivamente, como detalhado na Tabela 3:

TABELA 3: CONFIGURAÇÕES DAS ERBs 5G DAS OPERADORAS VIVO E TIM EM PALMAS - TO [11].

Nome ERB	Local (Lat.,Long.)	Freq. Tx (MHz)	Freq. Rx (MHz)	Ganho (dB)	Altura (m)
Vivo 1	-10.19028, -48.33861	3450	3450	25	71
Vivo 2	-10.193778, -48.362142	3450	3450	25	44
Tim 1	-10.254389, -48.317222	3550	3550	25	50
Tim 2	-10.179444, -48.335833	3550	3550	25	48,3

Destaca-se que essas ERBs pertencem à TELEFONICA BRASIL S.A. (Vivo) e à TIM S.A., utilizando antenas transmissoras da Huawei AAU5636 pela prestadora Vivo e da Ericsson AIR 6419 B42 pela prestadora Tim [11].

Dois fatores cruciais na avaliação da qualidade são o SINR e a Potência Recebida do Sinal de Referência (RSRP). O SINR é visualizado em um mapa, possibilitando a análise da cobertura da ERB com base em um modelo de propagação em áreas próximas. A escala do SINR varia de -5 a 20 dB, com categorias de alcance típicas: ≥ 20 dB (Excelente); 13 dB a 20 dB (Bom); 0 dB a 13 dB (Razoável a Ruim); ≤ 0 dB (Sem conexão). Assim, áreas com valores próximos a 20 dB oferecem uma conexão superior, otimizando a experiência de uso e aproveitando o potencial do 5G [13].

A simulação utiliza três Rx com sensibilidade de -70 dBm para verificar a RSRP, sendo que os níveis de qualidade do sinal são definidos assim: ≥ -80 dBm (Excelente); -80 dBm a -90 dBm (Bom); -90 dBm a -100 dBm (Razoável a Ruim); ≤ -100 dBm (Sem conexão) [13]. Isso implica que acima de -80 dBm a conexão é excelente, enquanto abaixo desse valor, a qualidade diminui. A próxima seção aborda os resultados das simulações de cobertura das ERBs, baseados nas premissas discutidas neste trecho.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As etapas de simulação no *software* MATLAB® [8] foram estrategicamente conduzidas de maneira individual para analisar diversas regiões na cidade de Palmas. A seleção das posições das Rx foi realizada de maneira a simular a experiência dos usuários nesses pontos, com suas respectivas localizações descritas na Tabela 3.

Os resultados das simulações são apresentados na Tabela 4, permitindo uma análise abrangente e comparações de cada cenário simulado. Essa abordagem fornece uma visão sistemática da potência recebida para cada antena, facilitando a avaliação das características individuais de cada ERB.

TABELA 4: COMPARATIVOS DOS RESULTADOS DAS ERBS [11].

Antena Receptora	Distância de Tx (m)	Superfície de elevação Tx (m)	Superfície de elevação Rx (m)	Potência recebida (dBm)
ERB Vivo 1				
Rx 1	270	243	237	-59,3
Rx 2	510	243	253	-66,9
Rx 3	700	243	253	-70,8
ERB Vivo 2				
Rx 1	230	229	224	-56,8
Rx 2	70	229	229	-43,9
Rx 3	490	229	231	-65,9
ERB Tim 1				
Rx 1	150	273	271	-55,5
Rx 2	620	273	277	-72,4
Rx 3	410	273	275	-67,2
ERB Tim 2				
Rx 1	330	258	262	-65,0
Rx 2	690	258	245	-74,2
Rx 3	1020	258	241	-79,1

Após simular ambas as ERBs da Vivo, os resultados são significativos. As Rx foram localizadas de forma precisa em relação à Tx, que asseguram um SINR estimado superior a 20 dB e uma potência RSRP que ultrapassa o limite de -70 dBm. Essa disposição garante não apenas alta qualidade de conexão 5G, mas também evidencia a capacidade dos dispositivos de maximizar o potencial dessa tecnologia. Além disso, a análise da segunda ERB da Vivo, próxima à UFT, indica um SINR na faixa entre 11 e 20 dB, sugerindo previsões promissoras de conexões 5G em pontos específicos da universidade.

Ao analisar as ERBs da Tim, os resultados revelam cenários distintos. Na ERB Tim 1, a Rx 2 supera o limite de potência recebida, embora dentro do SINR. As antenas Rx 1 e Rx 3 têm RSRP que promovem uma conectividade eficiente. Já na ERB Tim 2, Rx 2 e Rx 3 excedem a potência recebida, mantendo-se no SINR de 13 dB. A antena Rx 1 mantém uma conexão de melhor qualidade, estando na região do SINR e com potência recebida acima do limite de referência. Vale destacar que a antena Rx 3 é a mais distante entre todas as simulações realizadas. Esses resultados fornecem percepções sobre os diferentes desempenhos das ERBs das operadoras.

IV. CONCLUSÕES

Com base nas 16 simulações e na seleção das 2 melhores antenas, constatou-se que uma parte significativa da área urbana de Palmas atende aos requisitos mínimos de SINR e RSRP para o 5G. Essa conclusão é visível nas regiões próximas à Praça dos Girassóis, Avenida JK e no Plano Diretor Sul, que foram prioritárias na instalação das ERBs. Destaca-se que as ERBs da Vivo superaram as da Tim em desempenho, devido à potência de transmissão de 200 W das antenas da Vivo, enquanto as da Tim operaram com 40 W e 100 W. Como sugestão para futuros estudos, recomenda-se medidas de campo, simulações com várias antenas e testes em softwares comerciais para comparação e validação dos resultados simulados. Essas investigações visam aprimorar a infraestrutura 5G na região, assegurando qualidade na experiência tecnológica dos usuários dentro dos requisitos necessários para a mesma.

V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio à Universidade Federal do Tocantins e ao Programa de Educação Tutorial (PET) de Engenharia Elétrica pelo apoio fornecido durante o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] A. R. Mishra, *Fundamentals of Network Planning and Optimisation 2G/3G/4G: Evolution to 5G*. New York, USA: Wiley, 2018.
- [2] A. V. D. Araújo and A. C. d. O. Júnior, "Desafios no desenho do escopo arquitetônico 6G," *Workshop de Redes 6G (W6G)*, pp. 1–6, 2022.
- [3] J. Navarro-Ortiz, P. Romero-Diaz, S. Sendra, P. Ameigeiras, J. J. Ramos-Munoz, and J. M. Lopez-Soler, "A survey on 5g usage scenarios and traffic models," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 2, pp. 905–929, 2020.
- [4] L. S. Vailshery. (2022) Number of internet of things (iot) connected devices worldwide from 2019 to 2030. Tomado de <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/> (24/08/2023).
- [5] R. Spadinger, *Implementação da tecnologia 5G no contexto da transformação digital e indústria 4.0.*, Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura., Brasil, 2021.
- [6] A. N. de Telecomunicações. (2023) Panorama da cobertura da telefonia móvel no brasil. Tomado de <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/infraestrutura/panorama> (20/08/2023).
- [7] R. C. Bentes, "Cálculo de cobertura na faixa de 3.5 ghz e aplicação de modelos de propagação em ambientes urbanos aplicados a sistemas 5g-tdt." 2021.
- [8] Mathworks. (2022) Matlab. Tomado de <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (15/08/2023).
- [9] ——. (2022) Visualize antenna coverage map and communication links. Tomado de <https://www.mathworks.com/help/antenna/ug/visualize-antenna-coverage-map-and-communication-links.html> (15/08/2023).
- [10] ——. (2022) Sinr map for a 5g urban macro-cell test environment. Tomado de <https://www.mathworks.com/help/phased/ug/sinr-map-for-a-5g-urban-microcell-test-environment.html> (15/08/2023).
- [11] H. M. de Souza, "Simulação de cobertura da telefonia móvel 5g em palmas," 2022.
- [12] A. N. de Telecomunicações. (2022) Mosaico. Tomado de <https://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/licenciamento.php> (15/08/2023).

- [13] A. Bellary, K. Kandasamy, and P. H. Rao, "Analysis of Wave Propagation Models With Radio Network Planning Using Dual Polarized MIMO Antenna for 5G Base Station Applications," *IEEE Access*, vol. 10, no. 1, pp. 29 183–29 193, 2022.