

Metodologia para Medição e Avaliação de RNI em Prédios Próximos a Estações de Telecomunicações

Ricardo Silva, Marcio Rodrigues, Aldenir Costa, Marília Muniz, Leonardo Pinto, Vicente Sousa, Fred Pinheiro e Gutembergue Silva

Resumo—A necessidade de expandir a infraestrutura para dar suporte a quinta geração das redes móveis (5G) fez diversas operadoras adotarem métodos de economia em infraestrutura amplamente difundidos como a instalação de Estações Rádio Base (ERBs) em telhados de prédios e uso de sítios compartilhados, aumentando a probabilidade de existirem ERBs em prédios cujas antenas irradiam na direção de prédios vizinhos, configurando uma situação de linha de visada. O presente trabalho estabelece uma metodologia de medição específica para prédios que estão em situação de linha de visada com ERBs, baseada nas diretrizes e limites da legislação brasileira, e realiza um estudo de caso para validar a metodologia proposta. Os resultados mostram intensidades de campo elétrico abaixo dos limites estabelecidos na legislação brasileira em todos os cenários medidos. A diferença entre os valores obtidos na medição no nível de rua, em frente ao prédio-alvo, e os valores referentes à medição no andar-alvo, cerca de dez vezes maiores, denota a relevância da definição de uma metodologia como a proposta.

Palavras-Chave—Metodologia de Medição, Radiação Não Ionizante, Campos Eletromagnéticos, Prédios.

Abstract—The need to expand infrastructure to support the fifth generation of mobile networks (5G) has led several operators to adopt well-known cost-saving methods such as installing Base Transceiver Stations (BTSs) on the roofs of buildings and use of shared sites, increasing the probability of having BTSs in buildings whose azimuths radiate towards neighboring buildings, configuring a line of sight situation. The present work establishes a specific measurement methodology for buildings that are in a line of sight situation with BTSs, based on the guidelines and limits of Brazilian legislation, and performs a case study to validate the proposed methodology. The results showed electric field intensities below the thresholds established in Brazilian legislation in all measured scenarios. The difference between the indices obtained from measurements at street level, in front of the target building, and the indices referring to measurements on the target floor, around ten times higher, denotes the relevance of defining a methodology such as the one proposed.

Keywords—Measurement Methodology, Non-Ionizing Radiation, Electromagnetic Fields, Buildings.

I. INTRODUÇÃO

O relatório sobre tecnologias móveis da Ericsson [1], de novembro de 2023, pontua que o tráfego de dados das redes móveis continua subindo a cada ano, na mesma medida que na América Latina, as redes 5G e 4G crescem, enquanto

Todos os autores são da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, E-mails: {ricardo.queiroz.105, brendocosta, marilia.muniz.124, leonardo.saads.088}@ufrn.edu.br e {marcio.rodrigues, vicente.sousa, fred.rossiter, gutembergue.soares}@ufrn.br. Vicente Sousa, marília Muniz e Ricardo Silva são do Leading Advanced Technologies Center of Excellence (LANCE). Esse estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

a rede 3G diminui em número de usuários. Esse cenário indica que eventualmente as operadoras precisarão investir em infraestrutura para manter, e também expandir, seu mapa de cobertura para as tecnologias mais recentes, principalmente no que diz respeito ao 5G, visto que há previsão para que esta rede possua 51% das assinaturas de redes móveis no final de 2029 [1].

O impacto dessa expansão se dá na implantação de novos sítios, aumentando o número de fontes emissoras de radiação advinda de campos eletromagnéticos, também classificada como Radiação Não Ionizante (RNI). A quantidade limitada de torres dedicadas para a instalação de novas células levanta a possibilidade de um aumento de instalação de Estações Rádio Base (ERBs) em telhados de prédios, prática amplamente difundida para redução de custos de implantação de ERBs. Isso pode ocasionar na aproximação dessas antenas com andares mais altos de prédios vizinhos.

A *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) é protagonista no estabelecimento de diretrizes e limites de exposição a RNI no cenário internacional, tendo as estabelecido em 1998 [2] e as atualizado em 2020 [3].

O Brasil possui uma legislação acerca da exposição a campos eletromagnéticos advindos de estações de telefonia, que engloba a Lei N.º 11.934/2009 [4], a Resolução N.º 700/2018 [5] e o Ato N.º 458/2019 [6] da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). O último que a partir de 01 de março de 2024 foi revogado pelo Ato N.º 17865/2023 [7], que passou a adotar as diretrizes mais recentes do ICNIRP [3].

Esse trabalho se situa temporalmente sob vigência de [6], cujos limites de exposição para população em geral estão dispostos na Tabela I.

TABELA I: Limites para exposição da população em geral (valores eficazes não perturbados). Adaptado de [6].

Faixa de Frequência	Intensidade de Campo E (V/m)	Densidade de Potência da Onda Plana Equivalente S_{eq} (W/m ²)
10 MHz to 400 MHz	28	2
400 MHz to 2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$f/200$
2 GHz to 300 GHz	61	10

Além dos limites, em [6] também são estabelecidos diretrizes para o procedimento de medição de exposição a campos eletromagnéticos, que incluem:

- Realização de uma média temporal de 6 (seis) minutos em cada ponto de medição;

- Realização de medição sem perturbação (longe de indivíduos e superfícies refletoras ou absorvedoras de ondas eletromagnéticas no momento da medição);
- Distanciamento de no mínimo 2 (dois) metros de pessoas do local de medição;
- Não utilizar dispositivos portáteis de telecomunicações próximos do equipamento de medição.

A. Trabalhos Relacionados

A bibliografia sobre a radiação emitida por campos eletromagnéticos abrange uma série de áreas como medicina, biologia e engenharias. Alguns trabalhos da última área se dedicam a realizar avaliações de cenários de exposição a RNI em prédios por meio de medições.

Em [8] foram realizadas medições de RNI em salas, sacadas, pátios e coberturas de prédios situados em até 100 m de distância de ERBs e de prédios que possuíam ERBs em seu telhado. Os menores valores de pico de intensidade de campo elétrico foram encontrados nas salas (1,4 V/m) e maiores valores nas coberturas (9,7 V/m).

Os autores de [9] realizaram medições de RNI, durante um período de 24 horas, nos telhados de prédios que estavam em um raio de até 300 m de um conjunto de ERBs de serviços de rádio, de TV e de telefonia móvel. O ponto medido mais próximo das ERBs apresentou o maior valor de média e o maior valor de pico de intensidade de campo elétrico, sendo 12,88 e 15,03 V/m, respectivamente.

O trabalho [10] avaliou a situação de exposição a RNI proveniente de ERBs com as tecnologias *Global System for Mobile Communications* (GSM) e *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS), instaladas em 276 prédios residenciais, industriais, escritórios e hospitais. As medições ocorreram em cerca de 70–180 pontos de interesse no entorno de cada estação. Os resultados do estudo evidenciam que os níveis de exposição em cenários *outdoor* excederam os níveis estabelecidos pela ICNIRP [2] em 2,5% dos locais de medição.

Os trabalhos encontrados não se propõem a realizar uma avaliação específica do diagrama de radiação das antenas das ERBs e por isso não estabelecem em sua metodologia os pontos exatos de incidência das emissões das ERBs estudadas sobre o prédio onde está sendo conduzida a medição. Ressalta-se também que em [8] e [10] as redes 4G e 5G não foram avaliadas.

Este trabalho se destaca com o estabelecimento de uma metodologia específica para avaliação de RNI em prédios e complementa tal novidade com um estudo de caso, utilizado para validar a metodologia proposta.

O trabalho se encontra dividido da seguinte forma: a Seção II descreve a metodologia proposta para avaliação de RNI em prédios com linha de visada para ERBs; a Seção III descreve o estudo de caso realizado para validação da metodologia; a Seção IV apresenta e discute os resultados obtidos; e, por fim, a Seção V traz as principais conclusões dos autores sobre o estudo realizado.

II. METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida no trabalho possui os seguintes passos:

- 1) Escolha das estações emissoras;
- 2) Determinação dos prédios-alvo;
- 3) Estimação dos andares-alvo;
- 4) Definição do *setup* de medição;
- 5) Ajuste dos pacotes de medição;
- 6) Procedimento de medição no prédio-alvo.

O critério de escolha das estações buscou por ERBs localizadas na zona urbana da cidade do Natal que possuíam prédios residenciais em suas linhas de visada em um raio de até 300 m de distância. Uma inspeção visual pelos bairros da cidade do Natal levantou ERBs que poderiam se enquadrar no critério estabelecido.

A partir da localização da região, utilizou-se o Mapa de ERBs do site TELECO [11] para se obter o número que identifica a estação. O número da estação foi buscado na base de dados da plataforma Mosaico da ANATEL [12], da qual se extraiu as informações de azimute, altura, abertura de meia potência, elevação (*tilt*) e potência de radiação das antenas de cada estação.

Para validar a escolha de cada ERB previamente selecionada, utilizou-se o programa Autodesk AutoCAD. A latitude e a longitude da ERB foram inseridas na ferramenta de mapa do programa, que retornou uma visualização de satélite do ponto geográfico. Então, desenhou-se sobre o mapa a indicação do ângulo de cada azimute e o ângulo de abertura de meia potência referente a este azimute, conforme exemplifica a Fig. 1.



Fig. 1: Exemplo de demarcação dos azimutes e dos ângulos de abertura de meia potência das emissões.

Com base nessa visualização, foi levantada uma lista de prédios nos quais alguns andares estavam em situação de linha de visada com as ERBs estudadas.

Para a estimação dos andares-alvo de cada prédio selecionado, utilizou-se as informações de ângulo de abertura de meia potência, altura e elevação da antena, provenientes da plataforma da ANATEL [12]. Com a ferramenta régua do programa Google *Earth Pro* [13], se obteve a distância estimada entre a ERB e o prédio-alvo. Tendo essas informações em posse, aproximou-se a abertura vertical de

meia potência de um azimute sobre o prédio-alvo por meio de dois triângulos retângulos horizontalmente espelhados.

Nesses triângulos, o cateto adjacente é a distância entre a estação e o prédio; o ângulo interno (oposto ao de 90°) é metade do ângulo de abertura de meia-potência; e o cateto oposto é a face que se busca encontrar as medidas. Para obter o comprimento do cateto oposto, utilizou-se a relação trigonométrica da tangente. O *downtilt* foi utilizado para expressar a inclinação do arranjo dos dois triângulos em relação ao eixo horizontal. Após isso, o triângulo obtido foi sobreposto a uma visualização 3D dos prédios, obtida com o Google *Earth* [13]. A Fig. 2 exibe um exemplo do resultado desse procedimento.



Fig. 2: Exemplo de demarcação da abertura vertical de meia potência de um azimute.

A partir da imagem gerada, são escolhidos os andares-alvo, estabelecendo uma prioridade maior para os que estão mais próximos da visada do feixe e uma menor para os que estão próximos do limite superior (LS) e inferior (LI).

Duas campanhas de medição são conduzidas em cada prédio-alvo, uma em faixa estreita e outra em faixa larga. Devido a ausência de fontes de energia para alimentação do equipamento, a medição em faixa estreita é conduzida apenas no andar-alvo, enquanto a medição em faixa larga é realizada também no nível da rua, em frente a entrada do prédio, uma vez que o equipamento é alimentado por baterias. A segunda avaliação visa obter uma comparação entre os resultados obtidos com a aplicação da metodologia deste trabalho e o procedimento comumente empregado pelos órgãos reguladores para avaliação de RNI, que ocorrem no nível da rua com o uso de *drive tests*.

Adotou-se o analisador de espectro FSL6 [14], em associação à sonda R&S TSEMF-B1 [15], ambos da empresa Rohde & Schwarz (R&S), para a realização das medições em faixa estreita. Esse arranjo consegue medir campos elétricos com frequências na faixa de 30 MHz a 3 GHz. Por se tratar de um equipamento de faixa estreita, foi possível visualizar o valor de campo elétrico individual de cada faixa de frequência configurada (pacotes de medição). Por se tratar de um analisador de espectro, o FSL6 possui diversas aplicações distintas. No contexto de RNI, a R&S fornece ao equipamento uma solução para medição de campo elétrico chamada RFEX, que conta com pacotes de medição predefinidos para cada serviço de telecomunicações.

Para a medição em faixa larga é empregado o medidor de campo Narda NBM-520 [16], associado à sonda de campo elétrico EF 0691 [17]. Tal arranjo permite medir valores de campo elétrico na faixa de frequência de 100 kHz a 6 GHz. Um tripé composto de madeira e plástico foi empregado em ambas as medições para dar suporte a sonda dos equipamentos e posicioná-la a 1,7 m de altura, conforme determina [6]. Os equipamentos utilizados em ambas as medições foram disponibilizados pela ANATEL.

Para uma melhor adequação ao cenário da cidade do Natal, extraiu-se as informações das frequências utilizadas nas ERBs da cidade da plataforma da ANATEL [12] e modificou-se os pacotes predefinidos pela R&S, adaptando as faixas de frequências obtidas para o padrão dos pacotes originais, que seguem a largura de banda de cada tecnologia (GSM, WCDMA e LTE). Os pacotes foram classificados conforme a faixa de frequência, a tecnologia e a banda definida pelo 3GPP a que se refere e configurados de modo que passassem 6 minutos medindo [6]. Os pacotes utilizados estão descritos na Tabela II.

TABELA II: Caracterização dos pacotes de medição.

Nome do Pacote	Faixa de Frequência (MHz)	Quantidade de Frequências Medidas
banda_n28_LTE	763 - 803	5
banda_n5_WCDMA	869 - 894	6
banda_n3_GSM	1805 - 1880	376
banda_n25_WCDMA	1930 - 1995	8
banda_n1_WCDMA	2110 - 2170	13
banda_n40_LTE	2300 - 2400	11
banda_2.4GHz_Wi-Fi	2412 - 2472	13
banda_n7_LTE	2610 - 2690	9

III. ESTUDO DE CASO

Para validar a metodologia estabelecida, foi escolhida a ERB situada no telhado do Condomínio Residencial Nival Câmara, localizado no bairro de Lagoa Nova, na região sul da cidade do Natal. O prédio possui 10 andares e sua estação, cujo número de identificação nas plataformas da ANATEL é 691571643, possui emissões nos azimutes 60° , 160° e 280° . Os ângulos de abertura de meia potência para esses azimutes variam conforme a geração da rede da emissão, sendo 65° (GMS, WCDMA e LTE^o) ou 69° (LTE), mas adotou-se o menor deles para cada azimute.

A metodologia proposta foi seguida para essa ERB e chegou-se na lista de prédios-alvo mostrada na Tabela III.

TABELA III: Caracterização dos prédios-alvo da Estação N^o 691571643.

Prédio-alvo	Endereço	Azimute
Condomínio Amoras	R. Dep. Marcílio Furtado, 2050	60
Edifício Mirante Lagoa Nova	R. Jorn. Francisco Sinedino, 535	60
Residencial Califórnia	Rua Sérgio Severo, 1341	60
Condomínio Alameda Lagoa Nova	R. Francisco Borges de Oliveira, 1881	160
Edifício Pro Natal	Av. Miguel Castro, 1095	280

Dentre os prédios elencados, foi possível realizar medições no Residencial Califórnia, situado a aproximadamente 187 m [13] de distância da estação emissora presente no Condomínio Nival Câmara. O Residencial Califórnia possui 13 andares, mas apenas os andares entre o 8º e 13º se enquadram na metodologia, visto que o prédio-alvo possui um sombreamento nos andares inferiores devido à presença do Condomínio Amoras, entre ele e a estação emissora.

A Fig. 3 mostra a *setup* de medição do equipamento FSL6, posicionado no 10º andar do Residencial Califórnia, na qual o Condomínio Nival Câmara está grifado em vermelho. As Figs. 4a e 4b exibem o momento da medição em faixa larga com o NBM-520 no andar-alvo e no nível da rua, respectivamente.



Fig. 3: Foto do local de medição em faixa estreita.



(a) Andar-alvo.

(b) Nível da rua.

Fig. 4: Medição em faixa larga.

IV. RESULTADOS

A Tabela IV apresenta os resultados referentes aos valores de média, de pico e de taxa de exposição obtidos na medição em faixa larga realizada no Residencial Califórnia. A taxa de exposição é a relação entre o valor de pico medido e o limite de exposição definido pela legislação, expresso em porcentagem.

Por se tratar de uma medição em faixa larga, além das frequências mapeadas da telefonia móvel, também são medidas frequências de outros serviços, como Rádio FM e Wi-Fi. Visto isso, o limite de exposição adotado para esse conjunto de dados foi o mais rígido, para as frequências da Rádio FM (28 V/m), conforme a Tabela I.

Os resultados dessa medição evidenciam um aumento considerável da exposição à RNI no andar-alvo, em comparação ao índice medido no nível da rua. Isso ressalta a importância da condução de avaliações mais específicas nesse cenário de exposição, uma vez que as avaliações de RNI realizadas pelos órgãos reguladores adotam comumente o uso de *drive tests*, que ocorrem no nível da rua. Mesmo possuindo valores mais altos, a intensidade de campo elétrico máxima medida no estudo de caso só representa 16,75% do limite de exposição, não sendo necessária a tomada de nenhuma ação referente a essa situação de exposição.

A medição em faixa estreita teve seus limites de exposição determinados pela faixa de frequência de cada pacote exibidos junto aos resultados na Tabela V. O LTE situado na banda N7 e o WCDMA da banda N25 possuem, respectivamente, a maior e a menor média de campo elétrico. Apesar da emissão Wi-Fi atuante na frequência de 2,4 GHz estar muito mais próxima do local de medição que a ERB-alvo do estudo, suas métricas de campo elétrico expressam valores inferiores a de algumas tecnologias de telefonia celular como o LTE e o WCDMA. Os valores de campo elétrico obtido foram extremamente baixos em todos os pacotes de medição.

A Fig. 5 exhibe os valores de pico de campo elétrico obtidos em cada pacote de medição e as frequências associadas a esses valores de pico. Nesta, pode ser visto que a maior emissão medida no andar alvo foi na frequência de 2680 MHz.

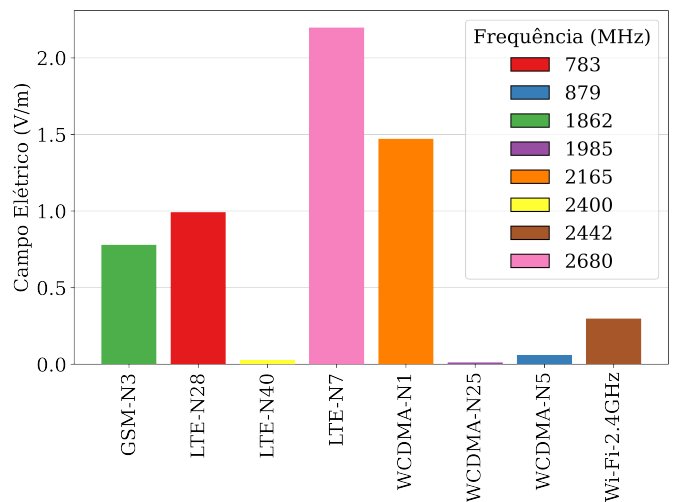


Fig. 5: Picos de campo elétrico de cada pacote de medição e suas respectivas frequências.

TABELA IV: Resultados da medição em faixa larga no Residencial Califórnia.

Situação de Medição	Média do Campo Elétrico (V/m)	Pico do Campo Elétrico (V/m)	Limite de Exposição (V/m)	Taxa de Exposição (%)
10º Andar	3,31	4,69	28	16,75
Nível da Rua	0,27	0,46	28	1,643

TABELA V: Resultados da medição em faixa estreita no Residencial Califórnia.

Nome do Pacote	Média do Campo Elétrico (V/m)	Pico do Campo Elétrico (V/m)	Limite de Exposição (V/m)	Taxa de Exposição (%)
banda_n1_WCDMA	0,265	1,473	61	2,415
banda_n3_GSM	0,028	0,78	58,417	1,335
banda_n5_WCDMA	0,033	0,061	41,533	0,029
banda_n7_LTE	0,414	2,198	61	3,603
banda_n25_WCDMA	0,011	0,012	60,406	0,02
banda_n28_LTE	0,246	0,993	38,981	2,545
banda_n40_LTE	0,026	0,028	61	0,046
banda_2.4GHz_Wi-Fi	0,151	0,299	61	0,49

V. CONCLUSÕES

O presente trabalho estabeleceu uma metodologia para medição de RNI em prédios nos quais determinados andares estão em situação de linha de visada com emissões de ERBs e a validou por meio de um estudo de caso.

Os resultados da medição em faixa larga levam a conclusão de que a metodologia, devido sua natureza específica, é apropriada para o cenário de investigação, validado pelo estudo de caso.

As medições realizadas para validar a metodologia indicam que, apesar dos valores maiores encontrados no andar-alvo, os índices medidos estão em conformidade com os limites estabelecidos na legislação brasileira.

Em trabalhos futuros, almeja-se adequar a metodologia estabelecida às novas diretrizes de medição e limites de exposição determinados pelo Ato N.º 17865 [7]. Também deseja-se realizar um número maior de medições na cidade do Natal, a fim de obter informações mais completas sobre a situação de exposição dos prédios-alvos obtidos a partir desta metodologia.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a ANATEL pela cooperação técnico-científica, em especial a unidade operacional de Natal, RN, Brasil.

REFERÊNCIAS

- [1] Ericsson, "Ericsson Mobility Report November 2023," Ericsson, Technical Report, 2023, acessado em: 2023-03-13. [Online]. Available: <https://www.ericsson.com/4ae12c/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2023/ericsson-mobility-report-november-2023.pdf>
- [2] A. Ahlbom, U. Bergqvist, J. Bernhardt, J. Cesarini, M. Grandolfo, M. Hietanen, A. Mckinlay, M. Repacholi, D. H. Sliney, J. A. Stolwijk *et al.*, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," *Health physics*, vol. 74, no. 4, pp. 494–521, 1998.
- [3] ICNIRP, "International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz)," *Health Physics*, vol. 118, p. 483–524, 2020, DOI: 10.1097/HP.0000000000001210.
- [4] Brasil, "Lei nº 11.934, de 05 de maio de 2009," *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, 2009. [Online]. Available: [http://www.planalto.gov.br/ccivil/\\$_03/\\$_ato2007-2010/2009/lei/11934.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil/$_03/$_ato2007-2010/2009/lei/11934.htm)
- [5] ANATEL, "Resolução 700, de 28 de setembro de 2018," 2018. [Online]. Available: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2018/1161-resolucao-700>
- [6] —, "Ato N.º 458, de 24 de janeiro de 2019," 2019. [Online]. Available: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2019/1237-ato-458>
- [7] —, "Ato N.º 17865, de 30 de dezembro de 2023," 2023. [Online]. Available: <https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/atos-de-requisitos-tecnicos-de-gestao-do-espectro/2023/1914-ato-17865>
- [8] C. Goiceanu, R. Danulescu, and E. Danulescu, "Investigation on residential exposure to electromagnetic radiation in the proximity of mobile phone base stations," in *The 40th European Microwave Conference*, 2010, pp. 1449–1452.
- [9] A. B. d. F. Diniz, V. A. d. Sousa Jr, M. E. Rodrigues, H. B. Mendonça, G. S. d. Silva, and F. S. R. Pinheiro, "Non-ionizing radiation analysis in close proximity to antenna tower: A case study in northeast brazil," *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications*, vol. 20, pp. 126–142, 2021.
- [10] M. Koprivica, V. Slavkovic, N. Neskovic, and A. Neskovic, "Statistical analysis of electromagnetic radiation measurements in the vicinity of GSM/UMTS base station installed on buildings in Serbia," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 168, no. 4, pp. 489–502, 07 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv372>
- [11] TELECO, "Mapa de Estações Rádio Base (ERBs) - Teleco," 2023, accessed: 2023-02-06. [Online]. Available: <https://www.telecocare.com.br/mapaerbs/>
- [12] ANATEL, "Lista de estações radio base de telefonia móvel licenciadas no brasil," <https://sistemas.anatel.gov.br/se/public/view/b/licenciamento.php>, accessed: 2023-02-06.
- [13] Google LLC, "Google Earth Pro," 2023, accessed: 2023-07-03. [Online]. Available: <https://earth.google.com/web/>
- [14] Rohde and Schwarz, "Manual do usuário do r&s fsl," accessed: 2023-03-01. [Online]. Available: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_manuals/gb_1/f/sfl_1/FSL_OperatingManual_en_12.pdf
- [15] —, "Especificações do r&s ts-emf," accessed: 2023-03-01. [Online]. Available: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/pdm/cl_brochures_and_datasheets/specifications/3608_9918_22/TS-EMF_dat-sw_en_3608-9918-22_v0300.pdf
- [16] Narda, "Manual nbm-520," accessed: 2023-03-01. [Online]. Available: <https://www.narda-sts.com/en/servicesupport/product-literature/nbmnim/>
- [17] —, "Datasheet ef 0691," accessed: 2023-03-01. [Online]. Available: <https://www.narda-sts.com/en/servicesupport/product-literature/nbmnim/>