

BRENO RODRIGUES DE SOUZA

3G

4G

5G

2G

1G

A EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE TELECOMUNICAÇÕES MÓVEL E UMA PROPOSTA DE COBERTURA INDOOR


Pascal
Editora

2022

BRENO RODRIGUES DE SOUZA

**A EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE
TELECOMUNICAÇÕES MÓVEL E UMA
PROPOSTA DE COBERTURA INDOOR**

EDITORA PASCAL

2022

2022 - Copyright© da Editora Pascal

Editor Chefe: Dr. Patrício Moreira de Araújo Filho

Edição e Diagramação: Eduardo Mendonça Pinheiro

Edição de Arte: Marcos Clyver dos Santos Oliveira

Bibliotecária: Rayssa Cristhália Viana da Silva – CRB-13/904

Revisão: Felipe Borges Pereira

Conselho Editorial

Dr. Glauber Túlio Fonseca Coelho

Dr^a. Ildenice Nogueira Monteiro

Dr. Elmo de Sena Ferreira Junior

Dr. Saulo José Figueredo Mendes

Dr^a. Mireilly Marques Resende

Dr. Fabio Antonio da Silva Arruda

Dr^a. Sinara de Fátima Freire dos Santos

Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S729

Souza, Breno Rodrigues de

A evolução das tecnologias de telecomunicações móvel e uma proposta de cobertura indoor / Breno Rodrigues de Souza. — São Luís: Editora Pascal, 2022.

62 f. ; il.:

Formato: PDF

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN: 978-65-86707-89-2

D.O.I.: 10.29327/559228

1. Evolução. 2. Telecomunicações. 3. Telefonia Móvel. 4. Projeto de Cobertura Indoor.
I. Souza, Breno Rodrigues de.

CDD: 213+621.395.72:654.1

Qualquer parte deste livro poderá ser reproduzida ou transmitida, sejam quais forem os meios empregados: eletrônicos, mecânicos, fotográficos, gravação ou quaisquer outros, desde que seja citado o autor.

2022

www.editorapascal.com.br

AUTOR

Breno Rodrigues de Souza

Graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade CEUMA, atualmente trabalha como Técnico em Radiofrequência onde atua (desde 2016) no setor de telecomunicações para a empresa Claro/SA. Tem experiência na área de Engenharia Telecomunicações, com ênfase em operação, manutenção e instalações de equipamentos que se mostram necessários para a prevenção e resolução de dificuldades pertinentes a falta de recepção de sinal RF nos sistemas de comunicações. Laborou em organizações de tecnologia da informação, e exerceu funções como: Operador, Analista de 2º Nível e Supervisor de Suporte Técnico, esta última chegando a desempenhar a liderança de equipes dos colaboradores das empresas.



APRESENTAÇÃO

A Obra “A EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE TELECOMUNICAÇÕES MÓVEL E UMA PROPOSTA DE COBERTURA INDOOR” foi especialmente preparada para conter a produção científica do graduando em Engenharia Elétrica BRENO RODRIGUES DE SOUZA.

Neste livro, concentram-se estudos na área temática de Engenharia Elétrica com ênfase em conhecimentos adquiridos ao longo da vida profissional do autor em suas atuações no campo da Engenharia de Telecomunicações.

Atualmente, estamos vivemos uma realidade cada vez mais conectada. A Globalização e toda a modernização contida nesse advento, acelerou diversos processos em nossa sociedade em detrimento a tecnologias criadas anteriormente. Nesse cenário de evolução, um dos setores que mais esteve em ascensão foi a área das telecomunicações.

O impacto do desenvolvimento das telecomunicações afeta positivamente de forma direta o mundo. No Brasil, se tratando do crescimento das tecnologias de telefonia móvel, em um intervalo de quatro décadas saímos da primeira geração (1G) que basicamente o telefone celular atendiam premissas básicas (realizar ligações analógicas), para a tecnologia de quinta geração (5G), onde a capacidade em realizar conexões e interações por hologramas 3D já é uma realidade.

Inicialmente esta obra introduz uma reflexão contextualizando esse cenário de desenvolvimento tecnológico até os dias e tecnologias atuais. A revisão na literatura, discorre justamente sobre esses avanços técnicos dessas tecnologias e fundamenta algumas definições necessárias para entendimento dos resultados que serão apresentados nas etapas finais. Utilizando de um estudo de caso, verifica-se a viabilidade de propor um projeto de radiofrequência voltado a solucionar uma problemática relacionada a dificuldade na recepção de sinal de redes celulares em ambientes internos de prédios históricos. Pois, devido a infraestrutura de construção das arquiteturas coloniais, estas edificações espessas agem nas ondas de radiofrequência como agentes dificultadores para a penetração e propagação destes sinais em ambiente indoor.

Na apresentação dos resultados, foram realizadas visitas técnicas (aos locais com as dificuldades no sinal), estudo dos dados e espectros das frequências (da operadora que cobrem o local), análise para possibilidade de melhoria e proposta de instalações de equipamentos.

Dessa forma, como modelo de resolução do problema, foi elaborada uma proposta de cobertura indoor para o edifício Palácio da Justiça do TJ-MA no centro de São Luís – MA, visando dirimir pontos de sombras internos deste ambiente.

Breno Rodrigues de Souza
Diplomando em Engenharia Elétrica - CEUMA

SUMÁRIO

AUTOR.....	4
APRESENTAÇÃO.....	5
RESUMO	7
ABSTRACT	8
CAPÍTULO 1..... INTRODUÇÃO	9
CAPÍTULO 2..... REFERENCIAL TEÓRICO	12
CAPÍTULO 3..... MATERIAIS E MÉTODOS	29
CAPÍTULO 4..... RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
CAPÍTULO 5..... CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS.....	58

RESUMO

Este trabalho é um estudo de conclusão de curso em engenharia elétrica que aborda um levantamento teórico em relação a evolução das principais tecnologias de telecomunicações para telefonia móvel celular e uma proposta de cobertura indoor como exemplo de aplicação dessas tecnologias. Na introdução é realizada uma reflexão contextualizando esse cenário de desenvolvimento tecnológico até os dias e tecnologias atuais. Já a revisão da literatura, discorre justamente sobre esses avanços técnicos dessas tecnologias e fundamenta algumas definições necessárias para entendimento dos resultados que serão apresentados. Utilizando um estudo de caso, foi realizado um estudo de viabilidade propondo um projeto de radiofrequência voltado a solucionar uma problemática relacionada a dificuldade na recepção de sinal de redes celulares em ambientes internos de prédios históricos. Devido a infraestrutura de construção das arquiteturas coloniais, estas edificações espessas agem nas ondas de radiofrequência como agentes dificultadores para a penetração e propagação destes sinais em ambiente indoor. Na apresentação dos resultados, foram realizadas visitas técnicas aos locais com a dificuldades supracitadas para aferições do sinal de força, estudo dos dados e espectros das frequências da operadora que cobrem o local, análise para possibilidade de melhoria e proposta de instalações de equipamentos. Dessa forma, como modelo de resolução do problema, será elaborada uma proposta de um projeto de cobertura indoor para o edifício Palácio da Justiça do TJ-MA no centro de São Luís – MA, visando dirimir pontos de sombras internos deste ambiente.

Palavras-chave: Evolução; Telecomunicações; Telefonia Móvel; Projeto de Cobertura Indoor.

ABSTRACT

This work is a final study in electrical engineering that addresses a theoretical survey regarding the evolution of the main telecommunications technologies for cellular mobile telephony and a proposal for indoor coverage as an example of application of these technologies. The introduction presents a reflection contextualizing this scenario of technological development up to the present day and technologies. The literature review, on the other hand, discusses precisely these technical advances in these technologies and substantiates some definitions necessary for understanding the results that will be presented. Using a case study, a feasibility study was carried out proposing a radiofrequency project aimed at solving a problem related to the difficulty in receiving the signal from cellular networks in the interior of historic buildings. Due to the construction infrastructure of colonial architectures, these thick buildings acted on radio frequency waves as hindering agents for the penetration and propagation of these signals in an indoor environment. In the presentation of the results, technical visits were carried out to the places with the aforementioned difficulties to measure the signal strength, study the data and spectra of the operator's frequencies that cover the site, analysis for the possibility of improvement and proposal of equipment installations. Thus, as a model for solving the problem, a proposal for an indoor coverage project will be elaborated for the Palace of Justice building at TJ-MA in the center of São Luís - MA, aiming to resolve internal shadow points in this environment.

Keywords: Evolution; Telecommunications; Mobile telephony; Indoor Coverage Project.



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO



1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A palavra sem nenhuma dúvida foi o maior meio de comunicação já inventado pelo homem. A interação por meio das informações contidas nas palavras na sua forma presencial ou digital conduz as ações do nosso cotidiano, realizando conseqüentemente a troca de conhecimento anteriormente restrito apenas a povos de distintas culturas, ocasionando assim desenvolvimento e o crescimento da humanidade (AGUIAR, 2012).

Vivemos atualmente uma realidade cada vez mais conectada, a globalização e toda a modernização que veio com ela acelerou diversos processos em nossa sociedade em detrimento as tecnologias já inventadas no passado.

Se tratando de ciência e tecnologia, os últimos cinquenta anos foram os anos áureos dos processos de criação e aperfeiçoamentos tecnológicos com o advento da internet em 1969. Porém, somente a partir de 1992 que começou a surgir nos Estados Unidos empresas provedoras de acesso à internet, e, neste mesmo ano, o laboratório europeu (CERN) modelou a World Wide Web disseminando assim a atual internet impulsionando ainda mais esse desenvolvimento tecnológico (PEDRAZ, 2021).

Nesse cenário de evolução, um dos setores que mais esteve em ascensão foi a área das telecomunicações. A cada ano, a telefonia móvel celular passa por uma série de mudanças e seu crescimento constante surpreende seus usuários todos os dias. Os sistemas de telecomunicações contribuem para uma parcela importante nas relações da sociedade contemporânea, sendo um agente capaz de encurtar os caminhos da informação com o poder de transformar culturas diferentes movimentando seus comércios e desenvolvendo novas forma de relacionamento entre os homens. As tecnologias de telecomunicações e seus sistemas tiveram um crescimento exponencial nas últimas décadas, principalmente os sistemas de telefonia móvel celular (ANATEL, 2021).

O impacto do desenvolvimento das telecomunicações afetou positivamente de forma direta o mundo. Permitiu as pessoas, empresas e órgãos governamentais a comunicação virtual a longa distância de forma instantânea, algo indispensável na atualidade. Em um intervalo de quarenta anos no Brasil, se tratando do crescimento das tecnologias de telefonia móvel, saímos da primeira geração (1G) onde basicamente o telefone celular atendiam premissas básicas de realizar ligações (analógicas), para a tecnologia de quinta geração (5G) onde a capacidade de realizar conexões e interações por hologramas 3D já é uma realidade (SILVA, 2019).

Assim como a internet e a rede de telecomunicações da telefonia móvel, os aparelhos portáteis foram evoluindo com o passar dos anos com crescimento acelerado a partir da década de 90. Essas evoluções serviram e servem até os dias atuais como referências para ideias inovadoras com aplicações da Internet das Coisas e dentre outras tecnologias nesses dispositivos, logo, esse será um cenário para os próximos anos da humanidade uma vez que a utilização de DADOS é uma crescente em relação ao uso de VOZ (ANATEL, 2021).

A Internet das coisas (IoT), o Armazenamento e computação em nuvem, as Realidades Virtual/Aumentada e a Inteligência Artificial, tornam nossos dispositivos atuais cada vez mais intuitivos/inteligentes resolvendo e aplicando soluções viáveis a nossos proble-

mas do dia a dia em praticamente todas as áreas de nossas vidas (BERGER, 2016).

Desse modo a questão fundamental está diretamente relacionada a como manter a conectividade desses dispositivos, pois, se tratando de casos com conexões Wireless da rede móvel é preciso entender por que meios o sinal de rádio (portador da internet) irá chegar a esses aparelhos, uma vez que, para a atuação correta dessas tecnologias todas elas precisam estar operando online para funcionarem de maneira eficiente.

Tendo em vista um cenário para os próximos anos de usabilidade de frequências cada vez maiores, com faixas mais largas para suportar grandes quantidades de usuários conectados e com pouco poder de penetração nos ambientes indoor, este será um panorama desafiador para o setor de telecomunicações.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Geral

Este trabalho tem como objetivo geral levantar uma breve abordagem sobre os assuntos relacionados a evolução das tecnologias de telecomunicações para a telefonia móvel celular além de apresentar uma proposta de um projeto de cobertura indoor, voltado para solucionar uma problemática relacionada a dificuldades na recepção de sinal de redes celulares em ambientes internos de prédios históricos. Como exemplo para a resolução do problema, será elaborada uma proposta modelo deste projeto para o edifício Palácio da Justiça do TJ-MA no centro de São Luís – MA, visando dirimir pontos de sombras indoor deste âmbito.

2.2 Objetivos Específicos

Levantar uma abordagem sobre os assuntos relacionados a evolução das tecnologias de telecomunicações para a telefonia móvel.

- Realizar visita técnica e o Site Survey para a coleta e posteriormente análise das métricas do sinal RF (da operadora Claro) que chega nos pontos internos do edifício Palácio da Justiça do TJ-MA.
- Estudar (de posse dos dados característicos dos espectros de frequências) a possibilidade de melhorias com as tecnologias atuais (da operadora Claro) que já cobrem a região afetada.
- Projetar modelos (RF e INFRA) de cobertura indoor para o edifício Palácio da Justiça do TJ-MA.
- Desenvolver posteriormente implantação (segundo o aval do cliente e licenças de autorização), conforme as necessidades de usabilidade do usuário final.



CAPÍTULO 2

REFERENCIAL TEÓRICO



1. UM BREVE HISTÓRICO DAS TELECOMUNICAÇÕES

1.1 No mundo

A Telecomunicação pode ser definida como a comunicação a distância. No século XIX as leis da eletricidade e do eletromagnetismo já existiam, possibilitando o surgimento de várias invenções. E foi em 1837 que Samuel Morse criou o telégrafo, surgindo então, o primeiro aparelho moderno conhecido de comunicação. O telégrafo de Morse era composto por um transmissor, cabo e um receptor (ANDRADE, 1999).

Em 2 de junho de 1875 surgiu o telefone. O escocês Alexander Graham Bell que residia nos Estados Unidos, realizava experiências com um telégrafo harmônico junto com Thomas Watson, quando Bell escutou um som estranho na linha após Thomas puxar a corda do transmissor (MAFFEI, 2006).

A patente foi feita em 7 de março de 1876, mas somente em 10 de março de 1876 foi possível emitir uma mensagem completa através do aparelho recém-criado. Graham Bell encontrava-se no último andar de uma estalagem em Boston e Watson estava no térreo quando atendeu o telefone e ouviu: "Senhor Watson, venha cá. Preciso de você." E assim, iniciava a história das telecomunicações que transformaria o mundo (MAFFEI, 2006).

Porém Alexander Graham Bell não foi o primeiro a inventar o telefone, Antônio Meucci criou em 1856, um telefone eletromagnético, que chamou de "teletrofono" e só conseguiu adquirir uma patente provisória. Posteriormente quando foi solicitar a definitiva em 1874, foi informado que já havia perdido os seus direitos. Meucci processou Bell, mas morreu antes de sair a sentença em 1880 e só em junho de 2002, que ele foi reconhecido como o autêntico criador do telefone através de uma resolução aprovada pelo Congresso dos Estados Unidos (PEDROSA, 2021).

1.2 No Brasil

O imperador D. Pedro II delegou a tarefa de implantação da primeira linha de telégrafo no Brasil a Guilherme Schuch de Capanema. A instalação ocorreu em 1852 na capital e interligava o Palácio Imperial da Quinta da Boa Vista ao Quartel General do Exército no Campo de Sant'Anna, no Rio de Janeiro (BIBLIOTECA NACIONAL, 2020).

Em 1876 D. Pedro II esteve presente na Exposição do Primeiro Centenário da Independência dos Estados Unidos, que ocorreu na Filadélfia e conheceu o telefone, a invenção criada por Alexander Graham Bell. Um ano depois, as primeiras linhas telefônicas foram instaladas a pedido de D. Pedro II e ligava as casas dos ministros ao Palácio Imperial de São Cristóvão, na Quinta da Boa Vista, a residência do imperador (FERREIRA, 2004).

A primeira permissão para a introdução dos serviços telefônicos no Brasil foi dada a Charles Paul Mackie, que representava a *Bell Telephone Company* em 1879. Já em 1881, foi criada a *Telephone Company of Brasil* associada a *Bell Telephone Company* (ALMEIDA, 2019).



A construção da primeira linha telefônica interurbana no país, ocorreu em 1890, entre os Estados do Rio de Janeiro e São Paulo e foi feita pela empresa alemã *Brasilianische Elektrizitäts Gesellschaft*. Os serviços telefônicos eram ofertados para pessoas com o maior poder aquisitivo, por isso o avanço foi demorado. A empresa *Canadense Brazilian Traction Light & Power* foi inserida em 1912, e teve sua razão social alterada em 1923, aderindo ao nome de Companhia Telephonica Brasileira (CTB) que foi responsável pela instalação de 100.000 linhas em 1929. Passando-se seis anos, o primeiro posto telefônico público foi inaugurado na antiga Galeria Cruzeiro, hoje conhecida como Avenida Central, no Rio de Janeiro (TEIXEIRA; TOYOSHIMA, 2003).

A Empresa Brasileira de Telecomunicações (EMBRATEL), uma empresa de economia mista, foi fundada em 1965 (EMBRATEL, 2021). E em 16 de julho de 1997, foi aprovada a Lei Geral das Telecomunicações, e foi criado o órgão regulador chamado de ANATEL-Agência Nacional de Telecomunicações (BRASIL, 1997).

2. EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE TELECOMUNICAÇÕES MÓVEL

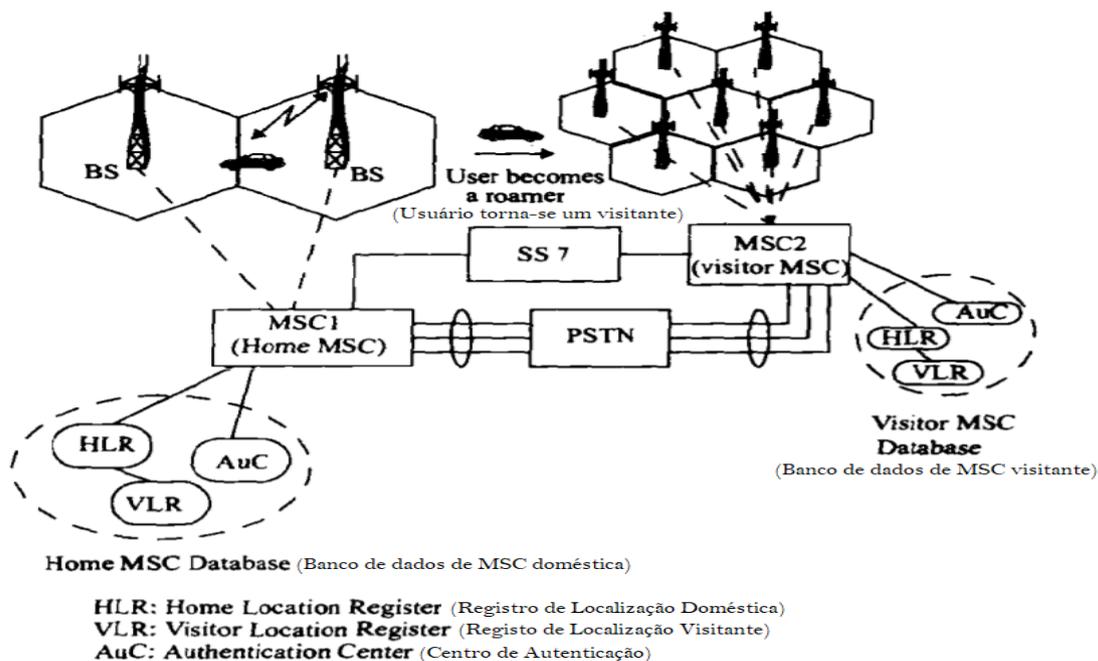
A telefonia celular chegou no Brasil em 1990. Segundo a ANATEL (2021), houve apenas 700 acessos na rede de telefonia móvel celular no país nesse ano. Após uma década, esse número já ultrapassava 23 mil acessos o que só aumentou no decorrer dos anos seguintes.

Para compreender a evolução da telefonia móvel é preciso ter em mente noções básicas das tecnologias que foram criadas para a sustentação da rede, desse modo, será realizado um breve relato dessas principais tecnologias, começando da primeira geração (1G) da rede móvel até a atual (5G).

2.1 Primeira Geração – 1G

O 1G foi a primeira geração de telefonia móvel que surgiu em 1980 e com ela era possível realizar chamadas telefônicas longe de casa e em movimento, por meio de um dispositivo sem fio (SANTOS, 2008). O padrão utilizado era o Sistema Avançado de Telefonia Móvel (**Advanced Mobile Phone System – AMPS**) conforme ilustração na Figura 1 abaixo.

Figura 1 — Esquema básico de um sistema AMPS



Fonte: Rappaport (1996)

Definido como um sistema analógico padrão com Múltiplos Acessos por Divisão de Frequência (**Frequency Division Multiple Access – FDMA**), foi adotado em 1982 nos Estados Unidos e posteriormente no Brasil e operava em uma faixa de 800 MHz. Como utilizava faixas de frequências estreitas e era um sistema apenas para transmissão de voz, possuía diversos defeitos, impactando diretamente na qualidade da ligação e limitando a capacidade de usuários (SILVA, 2020).

Em 1978, a Bell Labs desenvolveu o **AMPS**. Porém, durante esse período também surgiram arquiteturas diferentes, como o: **Nippon Telephone and Telegraph (NTT)** no Japão e o **Nordic Mobile Telephone (NMT)** na Noruega e outros países nórdicos. Utilizava uma transmissão *full-duplex*, ou seja, durante uma chamada de voz o usuário pode ouvir e falar simultaneamente, pois é usada uma frequência de rádio específica para recepção de sinal, e outra para à emissão de sinal, no qual a largura da banda de cada era canal de 30kHz, graças ao **FDMA (Frequency Division Multiple Access)** (TAKEDA, 2013).

2.2 Segunda Geração – 2G

Pode-se destacar que a segunda geração (2G) utiliza tecnologias digitais no lugar da analógica, uma vez que na década de 90, a Europa precisava remediar o problema de padronização dos sistemas para o Mercado Comum Europeu (MCE) e os EUA careciam de capacidade maior. A melhora foi significativa permitindo assim uma melhor capacidade de transmissão, qualidade nas chamadas de voz, que agora não emitiam ruídos e a viabilidade de criptografia através da comunicação de dados em sua transmissão (SILVA 2016).

As tecnologias 2G mais usadas são: **TDMA, CDMA, GSM e GPRS.**



2.2.1 TDMA (Múltiplo Acesso por Divisão do Tempo)

Foi o modelo escolhido pelo Brasil, utilizando como estrutura para o seu desenvolvimento o **AMPS**, que continuou operando na mesma frequência de 800 MHz, bem como continuou usando a largura de canal de 30 kHz. Dessa forma houve um aumento no desempenho do sistema e na sua capacidade. Os canais de frequência são divididos em até seis períodos alternados (*slots*) onde cada cliente utiliza um espaço específico para que não ocorra interferências (SILVA, 2016).

2.2.2 CDMA (Múltiplo Acesso por Divisão de Código)

Inicialmente o **CDMA** foi elaborado nos EUA para uso militar. Esse sistema utiliza o método de propagação espectral, onde permite que vários usuários ocupem um único canal de frequência simultaneamente. Ele propicia uma maior eficácia da largura de banda, logo, fornece uma quantidade maior de canais potenciais. Utiliza a frequência da largura de banda de 800 MHz a 1900 MHz e diferentemente das chamadas feitas no sistema analógico, as ligações com o CDMA garantem a privacidade dos clientes (TAKEDA, 2013).

2.2.3 GSM (Sistema Global para Comunicações Móveis)

O **GSM** foi projetado na Europa em uma tentativa de padronização e difundido posteriormente por todo o mundo. Seu intuito era atender ao tráfego de bits que era gerado por chamadas telefônicas. Sua tecnologia é baseada em cartões de memória **SIM (Card - Subscriber Identity Module)** que permite levar as características do usuário para outro dispositivo ou rede **GSM**. Desse modo é possível transferências mais rápidas e a portabilidade das informações (SILVA, 2020).

Opera nas faixas de frequência de 900, 1800 e 1900 MHz, possuindo largura de banda de 200kHz que é subdividido em oito períodos de tempo. Logo, é possível que uma única portadora suporte até oito conversações simultâneas. Através desta rede é possível enviar mensagens de texto (SMS), bloquear chamadas, colocar chamada em espera, dentre outros serviços (RODRIGUES; FARIA; AZEVEDO, 2015).

2.2.4 GPRS (General Packet Radio Service)

Com o tempo surgiu o **GPRS** que foi uma evolução do **GSM**, onde os dados eram divididos em pacotes, e dessa maneira oferecia uma conexão permanente de dados, com taxas de transmissão que varia de 30kbps a 40kbps e velocidade de 115kbps. Sua característica principal é a conexão do celular à internet, no qual o pagamento é somente pelos dados e não por tempo de permanência no ar (NIKOLOFSKI, 2011).



2.3 Terceira Geração – 3G

A Terceira geração veio para ofertar altas taxas de transmissão de dados permitindo o acesso à internet em alta velocidade e serviços de multimídia. Como uma forma de padronização a União Internacional de Telecomunicações (*A International Telecommunications Union – ITU*) criou o IMT – 2000 (*International Mobile Telecommunication For The Year 2000 – Telecomunicações Internacionais Móveis para o ano de 2000*) para definir os padrões do sistema 3G. Os mais importantes são: O **UMTS** e o **CDMA 2000** (ALMEIDA, 2019).

2.3.1 UMTS (Serviço de Telecomunicações Móvel Universal)

A **UMTS** surgiu para padronizar a comunicações pessoais e manter a qualidade e eficiência dos serviços da rede. Sua arquitetura foi elaborada através de uma aliança entre norte-americanos, asiáticos e europeus que formaram o grupo **Third Generation Partnership Project (3GPP)**, responsáveis pela produção e viabilização do padrão. Apresenta capacidade igual para upload e para download, e aperfeiçoa os serviços de conversas em tempo real. Aplica o método de múltiplo acesso o **CDMA** de Sequência Direta (**DS-CDMA**) e possibilita o uso de protocolos de transporte como: **Wideband CDMA (WCDMA)**, que é uma tecnologia baseada em *Internet Protocol (IP)* com uma banda larga com maior capacidade que usa comunicações via rádio digital e o **High Speed Packet Access (HSPA)**, uma evolução da UMTS, ou seja, a união da taxa de *download (High Speed Downlink Packet Access - HSDPA)* e a taxa de *upload (High Speed Uplink Packet Access - HSUPA)* (SILVA, 2016).

2.3.2 CDMA 2000

Elaborado pela **3GPP2 (Third Generation Partnership Project 2)** este padrão autoriza que as prestadoras de serviços sem fio insiram novas capacidades de acesso à internet com taxa maiores de dados, gradativamente nos sistemas que já existem. O primeiro padrão foi o **CDMA2000 1xRTT (1x Radio Transmission Technology)**, no qual estabelece que um único canal de rádio de 1,25 MHz seja utilizado (TAKEDA, 2013). Posteriormente surgiu CDMA-2000 1xEV (**Evolution Data**) que contém duas classificações: o CDMA-2000 1xEV-DO (**Data Only**), que executa somente canais de dados; e CDMA-2000 1xEV-DV (**Data and Voice**), que permite que os canais sejam utilizados tanto por voz quanto por dados. Já, o **CDMA-2000 3x (ou CDMA 3xRTT)** como o nome sugere, usa três portadoras de 1,25 MHz (ALECRIM, 2013).

As interfaces que mais se aproximam do 3G, visto que são capazes de disponibilizar taxas de transferência de dados de até 3,1 Mb/s (megabits por segundo) e taxas de upload de até 1,8 Mb/s são CDMA-2000 1xEV e CDMA-2000 1xEV-DO (ALECRIM, 2013).



2.4 Quarta Geração – 4G

A quarta geração surgiu no Japão, e sua característica principal é a tecnologia **LTE (Long Term Evolution)** que possui velocidade de 100 Mbps para conexões móveis e 1 Gbps para conexões fixas, 20 vezes maior que o 3G. No Brasil a taxa real obtida tem potencial de 200 Mbps para o *uplink*. As principais tecnologias comercializadas como 4G são: **LTE** e **WiMAX** (MOTA et al., 2019).

2.4.1 LTE

Foi apresentada pela 3GPP como uma tecnologia do 4G, embora, segundo a ITU, o **LTE** não satisfaz todas as características técnicas necessárias para ser considerada um padrão 4G, mas comercialmente é aceita como 4G. O diferencial do **LTE** se dá pelo modo de acesso, uma vez que distribui as informações das transmissões entre vários subconjuntos paralelos de portadoras, favorecendo uma velocidade maior de download (*downlink*), isso só é possível devido a técnica do **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access - Acesso Múltiplo por Divisão Ortogonal da Frequência)** (ALECRIM, 2013).

No que se refere ao upload (*uplink*), a técnica empregada é o **SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access - FDMA de Portadora Única)**, que é similar ao **OFDMA**, porém, consegue reduzir o consumo de potência e por consequência a energia por parte dos aparelhos conectados (ALECRIM, 2013).

Segundo Rodrigues, Faria e Azevedo (2015) existem diversas vantagens do **LTE** para os usuários e operadores, por exemplo:

- **A capacidade e o desempenho:** proporciona taxas de download de no mínimo 100Mbps, com latência inferior a 10ms.
- **Simplicidade:** Comporta portadoras com largura de banda flexível, menor que 5MHz até 20MHz nos modos de **FDD (Frequency Division Duplex – Duplexação por Divisão de Frequência)** e de **TDD (Time Division Duplex – Duplexação por Divisão de Tempo)**. Desse modo, a operadora pode incluir novas faixas, no local de maior facilidade e posicionar as portadoras, implementando o **LTE** em todas as faixas. Fatores como: a conexão e o funcionamento automático, auto-otimização, autoconfiguração facilitarão na implantação e gerenciamento da rede, assim como na redução do custo.
- **Ampla variedade de terminais:** É possível adicionar módulos **LTE** em computadores e outros dispositivos eletrônicos, visto que o **LTE** suporta *handover* e *roaming* para redes móveis existentes, desse modo, todos esses dispositivos são capazes de ter cobertura de banda larga móvel.

A **LTE Advanced** foi criada para cumprir os aspectos do 4G, estabelecidos pela ITU. Emprega-se um espectro de frequência de até 100 MHz com uma largura de banda superior a 70MHz e disponibiliza taxas de 1 Gbps e 40 MHz para *downlink* (requisito da ITU).

Para *uplink*, taxas de 500 Mbps, utilizando o **MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)** que ocupa a mesma banda de radiofrequência simultaneamente enviando os dados através de caminhos distintos, obtendo elevadas taxas de transferência usando o **Digital Signal Processor (DSP)**, pois com a técnica **MIMO** é viável oferecer ao cliente uma capacidade maior e confiabilidade três vezes mais que o LTE (VINHAL, 2020).

2.4.2 WiMAX

Desenvolvido pelo *WiMAX Forum* em 2001, o Padrão **WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)**, transmite vários sinais sem fio e podendo ser operado na forma de ponto e multiponto. Esta tecnologia pode ofertar até 10 Mbps e é similar ao Wi-Fi, porém, oferece acesso de alta velocidade, em uma área bem mais abrangente e com menor interferência. Sendo assim, os aparelhos habilitados com o padrão **WiMAX** conseguem acessar a internet em qualquer lugar dentro da grande área de cobertura e nos locais que não há disponibilidade de conexão Wi-Fi. Para o sistema o **WiMAX** funcionar, é necessário: Uma torre **WiMAX**, semelhante a uma torre de telefonia celular, que viabiliza a cobertura para uma área de até 8 mil km² e um receptor, conectado ao computador do assinante (MAZZONI, 2014).

2.5 Quinta Geração – 5G

O 5G tem como meta ampliar a rede de conexão móvel para o maior número de dispositivos possíveis. Podendo ser utilizado em várias áreas da Internet das Coisas (*IoT - Internet of Things*) como: em carros, eletrodomésticos, agricultura e outros. Sua taxa de latência é de 1ms (1 milissegundo), com a velocidade variando de 1 Gbps, até 10 Gbps (SBRISSIA, 2021).

No cenário mundial, a China possui a maior infraestrutura da rede **5G SA (standalone)** do mundo, em segundo lugar estão os Estados Unidos. A versão *standalone* é considerado como 5G “verdadeiro”, porém no Brasil é utilizado o **5G DDS (Dynamic Sprecum Share, ou Compartilhamento Dinâmico de Espectro)** que faz uso da estrutura da rede 4G já existente no país para oferecer o 5G. Para que o **5G DDS** funcione nas antenas das gerações anteriores é necessário apenas uma atualização no software, no entanto apresenta a mesmas velocidades prometidas pela tecnologia **5G SA** (DIAZ, 2021).

O primeiro leilão do 5G no Brasil ocorreu em novembro de 2021 e as faixas de frequências licitadas foram: 700 MHz, 2,3 GHz, 3,5 GHz e 26 GHz. Foi a maior oferta de espectro da história da Anatel arrecadando o montante de R\$ 47,2 bilhões (ANATEL, 2021).



3. APLICAÇÕES ENVOLVENDO TELECOMUNICAÇÕES

O campo de atuação das telecomunicações é vasto em utilizações. Para uma compreensão das áreas envolvendo as telecomunicações, no fim do século passado, uma pesquisa da NAE (National Academy of Engineering, USA) montou uma classificação feita por engenheiros sobre melhores tecnologias e maior impacto no Século XX (Oliveira, 2012).

No entendimento dessa pesquisa, os campos de aplicação envolvendo todas as tecnologias de telecomunicações citadas abaixo ficaram em evidência. Sendo alocadas em diversos setores da sociedade contemporânea.

- **Setores de atividade das telecomunicações**

1. Cabos submarinos
2. Cartões inteligentes (smart cards)
3. Compact Disc (CDs)
4. Compactação de dados (ZIPs, ARJs)
5. Comunicações pessoais (PCS)
6. Comunicação submarina (macroondas)
7. Comunicações biomédicas
8. Comunicações espaciais (sondas)
9. Controle e priorização de acesso
10. Correio eletrônico (e-mail) / Documentos eletrônicos
11. Criptografia (DES, IDEA, SAFER), Segurança de dados
12. Fac-símile (Fax)
13. Gravação digital (alta qualidade)
14. Guias de Navegação
15. Internet e redes mundiais
16. ISDN (Redes Digitais de Serviços Integrados RDSI)
17. Minitel (vídeo-texto)



- 18.Multimídia
- 19.Música ambiente (SCA)
- 20.Navegação aeronáutica
- 21.Proteção contra ruído
- 22.Radar (Radio Detection and Ranging)
- 23.Radio astronomia
- 24.Rádio determinação (GPS)
- 25.Rádioaltímetros
- 26.Radioamadorismo
- 27.Radiodifusão comercial (AM, FM)
- 28.Radiodifusão digital (DAB)
- 29.Rastreadores com GPS
- 30.Redes de computadores (LANs, WANs)
- 31.Sensoriamento remoto
- 32.Serviço de mensagens Paging
- 33.Síntese de voz (LPC, Vocoders)
- 34.Telecomando
- 35.Teleconferência
- 36.Telefonia fixa (analógica / digital)
- 37.Telefonia móvel celular
- **Tema e aplicação abordados nesse trabalho**
- 38.Telegrafia
- 39.Telessupervisão



- 40. Televisão comercial (VHF)
- 41. Televisão de alta-definição (HDTV)
- 42. Televisão direta por satélite (DBS - DTH)
- 43. Transferência eletrônica de fundos (TEF)
- 44. Transmissão de informação Genética
- 45. TV holográfica (3DTV)
- 46. TV por cabo (CATV)

4. CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS / PROJETO INDOOR

Para um melhor entendimento da proposta contida nesse trabalho, materiais utilizados e os resultados obtidos, se faz necessário ter noção de algumas definições relacionadas ao funcionamento das tecnologias da rede e serviços móveis de telecomunicações.

Desse modo, será realizado um breve relato das definições destas tecnologias.

4.1 Definição de sinal

A definição de sinal consiste em ser um conjunto de dados e informações. A exemplo temos o sinal de rádio frequência de televisão ou telefone. Nesses casos, os sinais são funções da variável independente tempo, todavia, nem sempre ocorre desse modo. Ao se distribuir uma carga elétrica sobre um corpo, o sinal é justamente a densidade dessa carga, uma função do espaço ao invés do tempo (LATHI, B. P. 2007).

4.2 Definição de radiofrequência (RF)

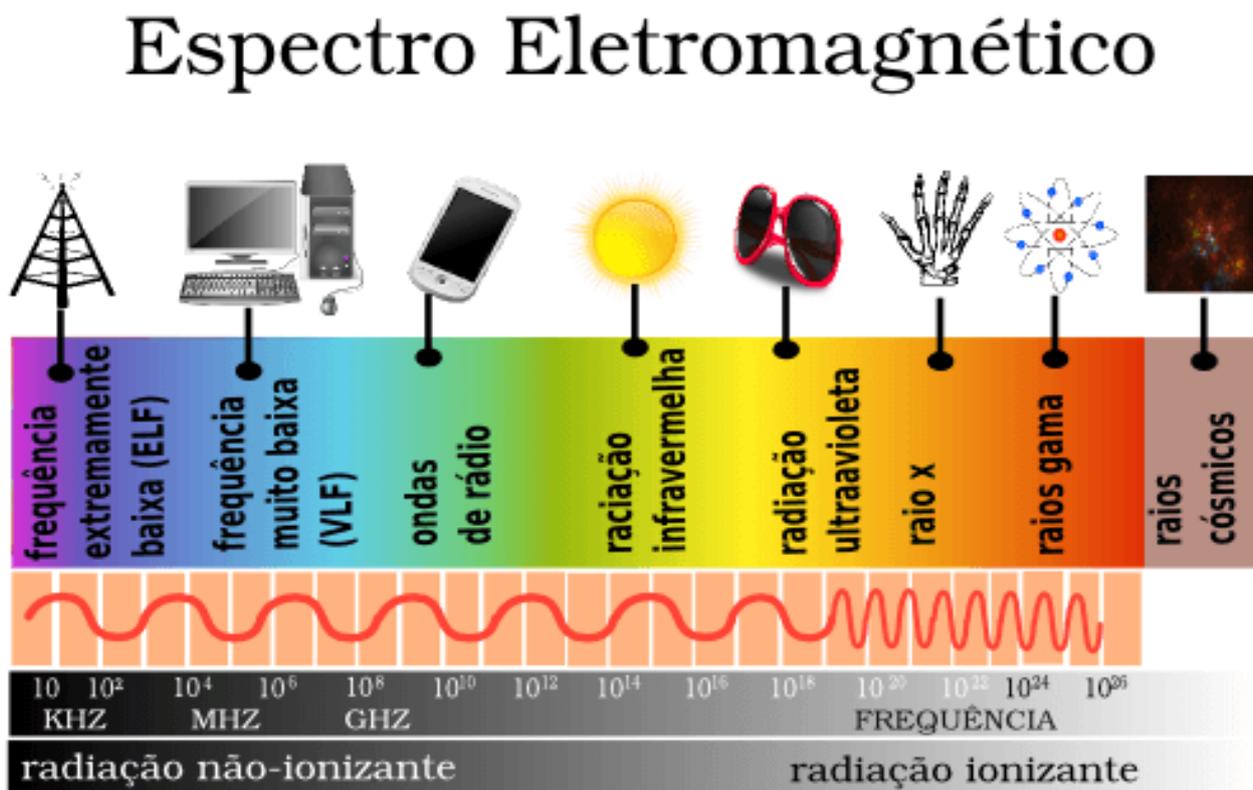
A radiofrequência (RF) é a faixa de frequência que abrange aproximadamente de 3 kHz a 300 GHz e que corresponde à frequência das ondas de rádio. RF geralmente se refere a oscilações eletromagnéticas ao invés de mecânicas nessa faixa de frequência, embora existam sistemas mecânicos em rádio frequências (RODITI, I. 2005).

De acordo a Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997 (Lei Geral de telecomunicações), o espectro de radiofrequências é um recurso cerceado, constituindo-se um bem público e utilizado para serviços de radiocomunicação gerenciado pela Anatel.

Na administração do espectro de radiofrequências, são observadas as atribuições das faixas, definidas em tratados e acordos internacionais, aprovados na União Internacional de Telecomunicações - UIT, e, anualmente, é emitido o Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências (PDFF) no Brasil, o qual contém o detalhamento do uso das faixas de radiofrequências associadas aos diversos serviços e atividades de telecomunicações (ANATEL, 2021).

A seguir, a Figura 2 demonstra o espectro eletromagnético onde está contido o intervalo de todas as possíveis frequências da radiação eletromagnética.

Figura 2 — Um raio de Luz



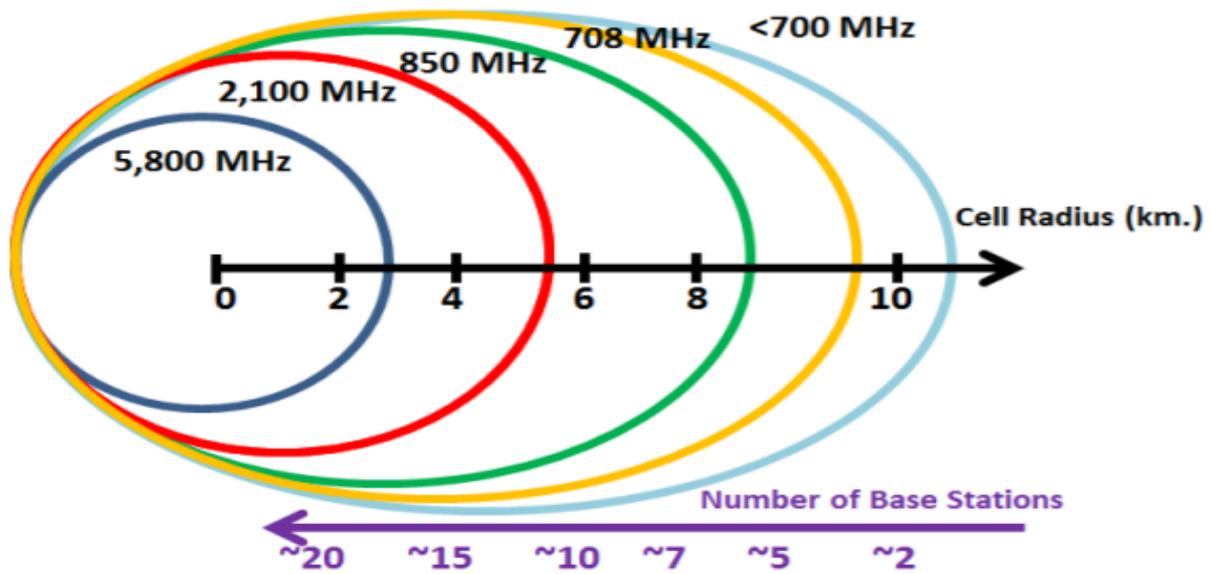
Fonte: digartdigmedia (2021)

4.3 Potencial de cobertura por tipo de faixa

No avanço da rede móvel, tecnologias e radiofrequências ocupadas para outras finalidades sofreram adaptações. Nesse contexto, a faixa de 700 MHz utilizada por canais de TV em UHF foi realocada para a telefonia celular. Esta faixa é estratégica para as operadoras por se tratar de uma frequência menor com maior poder de penetração de sinal, permitindo cobrir melhor ambientes internos e áreas mais afastadas conforme Figura 3 (ANATEL, 2021).



Figura 3 — Potencial de cobertura por tipo de faixa



Fonte: 5gamericas (2017)

4.4 Indicadores de medição

- O dBm - decibel miliwatt

Segundo NAVAS (2015, p.7), “[...] O dBm é a relação de uma potência P a ser medida em algum ponto do sistema e uma outra com valor fixo definido internacionalmente em 1 mW.” Conforme descrito na Figura 4.

Figura 04 — Potência absoluta mediante uma relação logarítmica

$$P_{\text{dBm}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{1\text{mW}} \right),$$

onde:

P_{dBm} é a potência em dBm

P é a potência em miliwatt

Fonte: Navas (2015)

- RSRP - Potência Recebida dos Sinais de Referência

O RSRP denominado de potência dos sinais de referência é a potência dos sinais de referência na tecnologia 4G (LTE) que demonstram os sinais espalhados pela largura da banda em geral. A tabela da Figura 5 indica dos melhores aos piores níveis de medição durante a análise dos espectros de rádio frequência (WIKI, 2021).

Figura 05 — Potência Recebida dos Sinais de Referência (RSRP)

RSRP	Sinal de força	Descrição
>= -80 dBm	Excelente	Sinal forte com velocidades máximas de dados
-80 dBm a -90 dBm	Boa	Sinal forte com boas velocidades de dados
-90 dBm a -100 dBm	Justo para pobre	Velocidades de dados confiáveis podem ser alcançadas, mas dados marginais com perdas são possíveis. Quando este valor chega perto de -100, o desempenho cairá drasticamente
<= -100 dBm	Sem sinal	Desconexão

Fonte: Wiki (2021)

- RSRQ - Qualidade do Sinal de Referência Recebido

O RSRQ é um indicador de Qualidade do Sinal de Referência Recebido nos dispositivos pela rede. Abaixo segue a Figura 6 indicando de melhor a pior qualidade do sinal recebido (WIKI, 2021).

Figura 06 — Qualidade do Sinal de Referência Recebido (RSRQ)

RSRQ	Qualidade do sinal	Descrição
>= -10 dB	Excelente	Sinal forte com velocidades máximas de dados
-10 dB a -15 dB	Boa	Sinal forte com boas velocidades de dados
-15 dB a -20 dB	Justo para pobre	Velocidades de dados confiáveis podem ser alcançadas, mas dados marginais com perdas são possíveis. Quando este valor chega perto de -20, o desempenho cairá drasticamente
<= -20 dB	Sem sinal	Desconexão

Fonte: Wiki (2021)

- RSCP - Potência do Código do Sinal Recebido

O RSCP evidencia no 3G a potência medida no receptor em um determinado canal de comunicação nas tecnologias CDMA e UMTS (WIKI, 2021). Conforme Figura 7.

Figura 07 — Potência do código do sinal recebido (RSCP)

RSCP	Sinal de força	Descrição
-60 a 0	Excelente	Sinal forte com velocidades máximas de dados
-75 a -60	Boa	Sinal forte com boas velocidades de dados
-85 a -75	Feira	Velocidades de dados razoáveis, mas úteis, rápidas e confiáveis podem ser alcançadas
-95 a -85	Pobre	Dados marginais com abandono são possíveis
-124 a -95	Muito pobre	O desempenho cairá drasticamente, provavelmente perto de -124 desconexões

Fonte: Wiki (2021)



- SINR - Indicador de Sinal-para-Interferência-mais-Ruído

A relação sinal ruído (SINR) é utilizada em redes de sistemas de comunicação sem fio para medir a qualidade dessas conexões e prover limites superiores teóricos na capacidade do próprio canal (WIKI, 2021). Conforme na Figura 8, esses limites se apresentam em dB.

Figura 08 — Indicador de sinal-para-interferência-mais-ruído (SINR)

SINR

SINR	Sinal de força	Descrição
> = 20 dB	Excelente	Sinal forte com velocidades máximas de dados
13 dB a 20 dB	Boa	Sinal forte com boas velocidades de dados
0 dB a 13 dB	Justo para pobre	Velocidades de dados confiáveis podem ser alcançadas, mas dados marginais com perdas são possíveis. Quando este valor chega perto de 0, o desempenho cairá drasticamente
<= 0 dB	Sem sinal	Desconexão

Fonte: Wiki (2021)

- RSSI - Indicador de Intensidade do Sinal Recebido

O RSSI é um indicador de intensidade do sinal recebido em uma medida da potência contida em um sinal de RF, geralmente apresentado por um valor negativo em dBm. O melhor cenário de sinal é quanto maior e mais próximo do zero. Entretanto, uma medição na casa dos -65 dBm pode significar uma excelente área de cobertura (WIKI, 2021). A Figura 9 apresenta estas informações em relação a força dos sinais nas tecnologias 4G/3G.

Figura 09 — Indicador de intensidade do sinal recebido (RSSI)

Níveis de sinal 4G

RSSI	Sinal de força	Descrição
> -65 dBm	Excelente	Sinal forte com velocidades máximas de dados
-65 dBm a -75 dBm	Boa	Sinal forte com boas velocidades de dados
-75 dBm a -85 dBm	Feira	Velocidades de dados razoáveis, mas úteis, rápidas e confiáveis podem ser alcançadas, mas dados marginais com perdas são possíveis
-85 dBm a -95 dBm	Pobre	O desempenho cairá drasticamente
<= -95 dBm	Sem sinal	Desconexão

Níveis de sinal 2G e 3G

RSSI	Sinal de força	Descrição
> = -70 dBm	Excelente	Sinal forte com velocidades máximas de dados
-70 dBm a -85 dBm	Boa	Sinal forte com boas velocidades de dados
-86 dBm a -100 dBm	Feira	Velocidades de dados razoáveis, mas úteis, rápidas e confiáveis podem ser alcançadas, mas dados marginais com perdas são possíveis
<-100 dBm	Pobre	O desempenho cairá drasticamente
-110 dBm	Sem sinal	Desconexão

Fonte: Wiki (2021)

- CA - Carrier Aggregation (Agregação de portadora)

O CA é uma técnica utilizada nas telecomunicações sem fio para o usuário final ter uma boa conexão em relação a taxa de dados. De acordo com SILVA (2016, p.74), “Com o intuito de aumentar a largura da faixa disponível, utiliza-se diversas subbandas que fazem parte das faixas de frequências, acarretando o crescimento da taxa de transferência. Esse mecanismo é chamado de Carrier Aggregation.”

- Throughput (Taxa de Transferência)

A taxa de transferência é uma métrica de desempenho responsável por medir a quantidade de dados a serem transferidos, ou seja, o montante de dados que foram processados em um determinado espaço de tempo (ALVES, 2020).

4.5 Sistema DAS

O sistema de antenas distribuídas (DAS) é uma infraestrutura que consegue se conectar à rede de telefonia móvel das operadoras. Esse sistema tem por finalidade espalhar pequenas antenas pelas dependências do imóvel alvo do projeto de cobertura indoor. Elevando assim o nível e qualidade de sinal para os espaços com pontos de sombra ou obstrução.

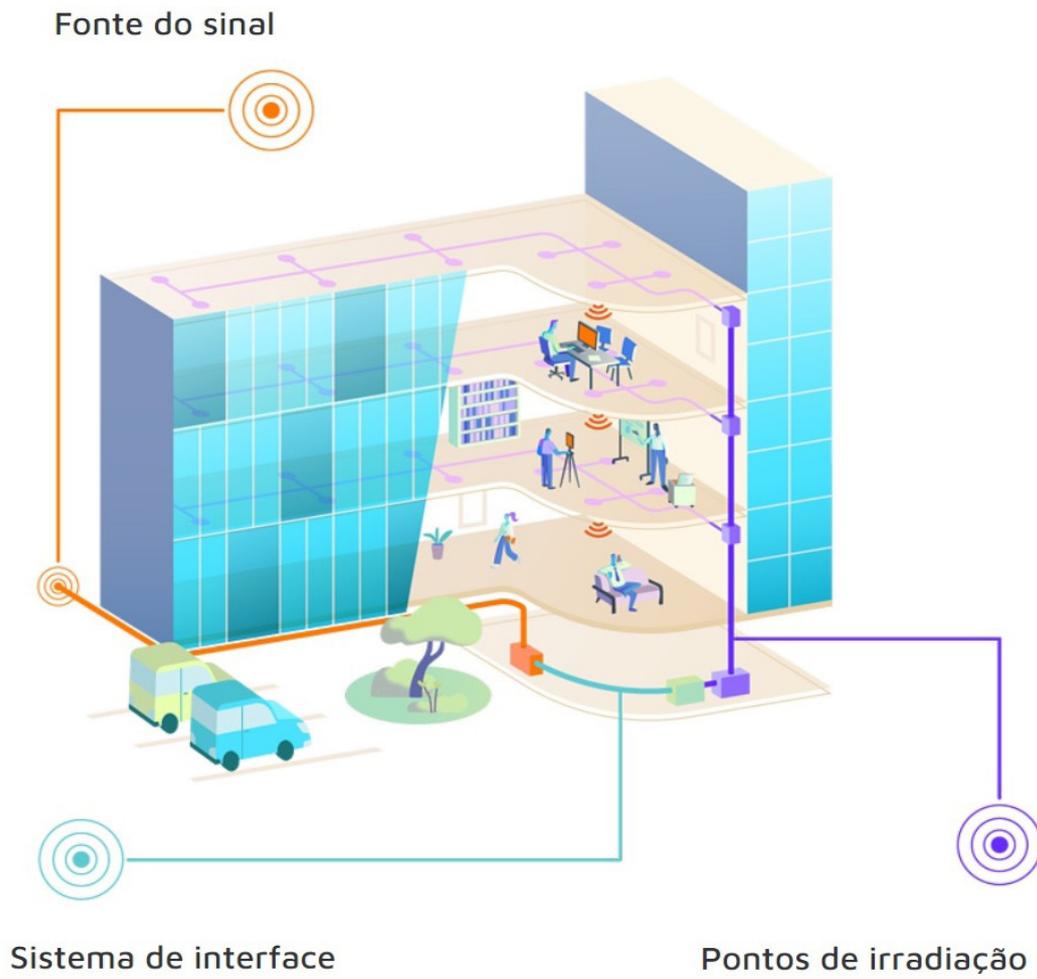
4.5.1 Como funciona sistema DAS

Dentro dos seus parâmetros de funcionamento, geralmente um sistema DAS possui três componentes fundamentais.

A **Fonte do sinal** onde as unidades (antenas) coletoras se encarregam pela captação/recepção de sinal provenientes das operadoras. O **Sistema de interface**, responsável pelo gerenciamento das tecnologias e frequências do sistema de cobertura, distribuindo assim o sinal que vem da fonte de sinal de maneira uniforme em toda a área que necessita de melhoria de cobertura e os **pontos de irradiação** com micro antenas de telefonia móvel, necessários para a irradiação do sinal em única via de distribuição que geralmente são harmonizados com o ambiente conforme demonstrado na Figura 10 (QMC, 2021).



Figura 10 — O que é o DAS e como funciona



Fonte: Qmc (2021)



CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS



1. METODOLOGIAS

A metodologia deste trabalho será apresentada em duas etapas.

1.1 1ª Etapa – Revisão de bibliográfica

Na primeira etapa foi utilizada a metodologia de revisão bibliográfica baseada em assuntos relacionados a evolução nas tecnologias de telecomunicações da telefonia móvel, a fim de se estabelecer fundamentos teóricos suficientes sobre o tema contextualizado. As bibliografias foram consultadas em obras relacionadas a temática, sites, fóruns e outros trabalhos acadêmicos. Selecionando assim os materiais mais indicados para a pesquisa, certificando da confiabilidade das fontes para que o presente trabalho e o planejamento da proposta de aplicação tenham maior embasamento e respaldo.

1.2 2ª Etapa – Estudo de caso / Aplicação / Projeto Indoor

Na segunda etapa o método aplicado foi um estudo de caso em que a pesquisa de campo consiste em realizar o desenvolvimento da proposta de um projeto de cobertura indoor, voltado para ambientes internos de prédios históricos. Como exemplo, será elaborada uma proposta modelo deste projeto para o edifício Palácio da Justiça do TJ-MA no centro de São Luís – MA.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

Conforme exposto nos objetivos específicos deste trabalho, para das atividades relacionadas a elaboração da proposta do projeto, se faz necessário a utilização de equipamentos/aplicações distintas instaladas nestes dispositivos.

- Computador Pessoal (PC)
- Smartphone (5G)
- Aplicações instaladas: Google Earth; G-Net Track Pro; Rx Monitor; Speedtest – Ookla.

2.1 Computador Pessoal (PC)

Equipamento necessário para dar andamento a maior parte das atividades relacionadas a este trabalho. Tanto na base administrativa com a composição de relatórios téc-

nicos, como também no campo. Sendo capaz de realizar o armazenamento, compilação, processamento e análise das informações como um todo, procedimentos importantes para o planejamento futuro das tomadas de decisões técnicas que possam surtir efeito corretivos para a melhoria do serviço ao usuário final, conforme Figura 11.

Figura 11 — Foto PC - Ekahau Site Survey



Fonte: favpng (2021)

2.2 Smartphone (5G)

Equipamento fundamental para a coleta das informações pertinentes a nível de sinal e throughput de dados. Por meio deste aparelho é inserindo chipset da operadora desejada e instaladas as aplicações específicas para a análise de acordo a Figura 12.

Figura 12 — Foto Smartphone Motorola Moto G 5G



Fonte: Figura do autor (2021)



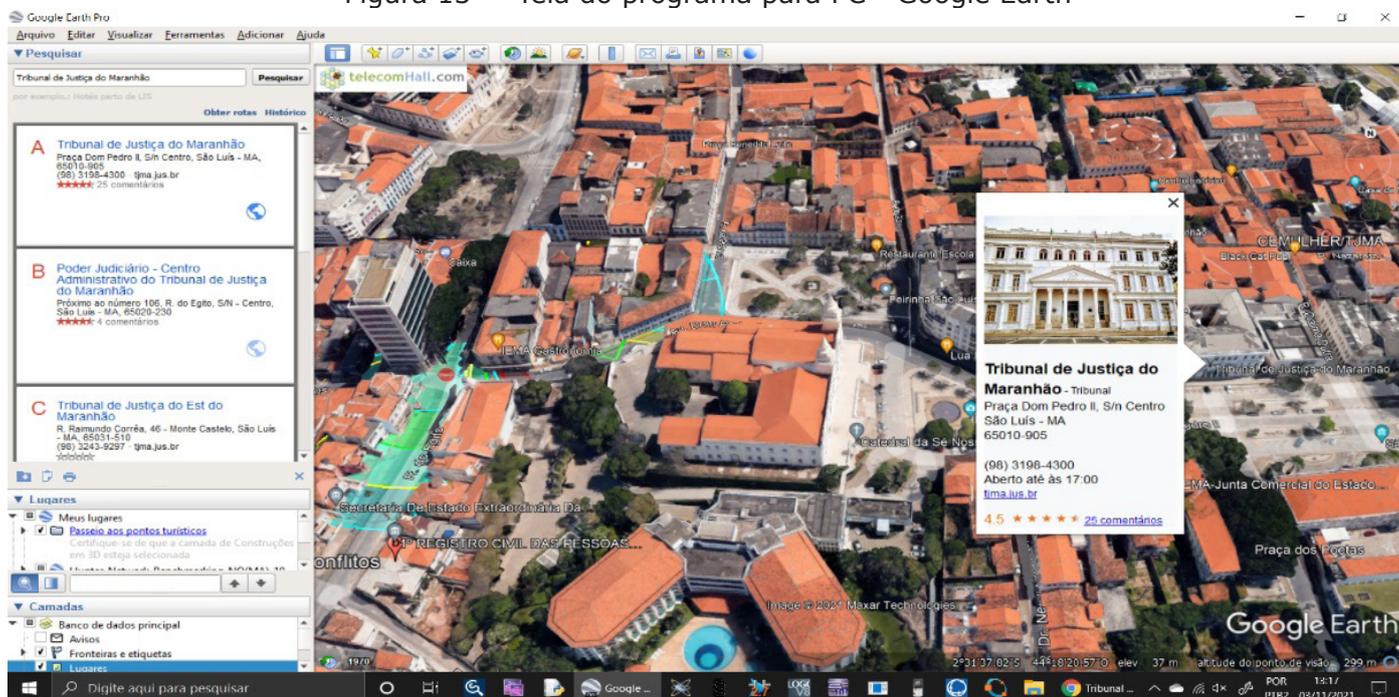
2.3 Programa para PC - Google Earth Pro

O Google Earth é uma das primeiras ferramentas utilizadas para a checagem exata das coordenadas a serem visitadas e estudadas. Esta aplicação também é capaz de trazer uma noção de distância, pontos de referências, obstáculos e características naturais ou artificiais da superfície do um terreno.

Quando passível de utilização 3D para a região, por meio dessa opção do aplicativo é possível ter uma visão ampla das infraestruturas dos prédios e arquiteturas de construções. Fundamental para entender supostos percalços que possam vir a interferir no planejamento dos projetos de cobertura.

Além disso, essa aplicação também é bastante utilizada como base para as telecomunicações nas otimizações conforme Figura 13.

Figura 13 — Tela do programa para PC - Google Earth



Fonte: Figura do autor (2021)

2.4 App - G-Net Track Pro

Aplicação (Figura 14) fundamental para a atividade de campo, capaz de analisar in loco as métricas mais importantes do funcionamento da rede de qualquer operadora.

Sendo possível verificar:

- Tipo de tecnologia: 5G/4G/3G/2G
- Identificação de célula portadora: eNB

- Frequência acampada: F
- Banda da rede: B
- Nível de potência: RSRP/RSCP/RSSI
- Nível de qualidade: RSRQ
- Relação Sinal Ruído: SNR
- Modo: Dados/Voz ou IDLE
- Tempo de serviço: Serving Time

Figura 14 — Telas do App - G-Net Track Pro



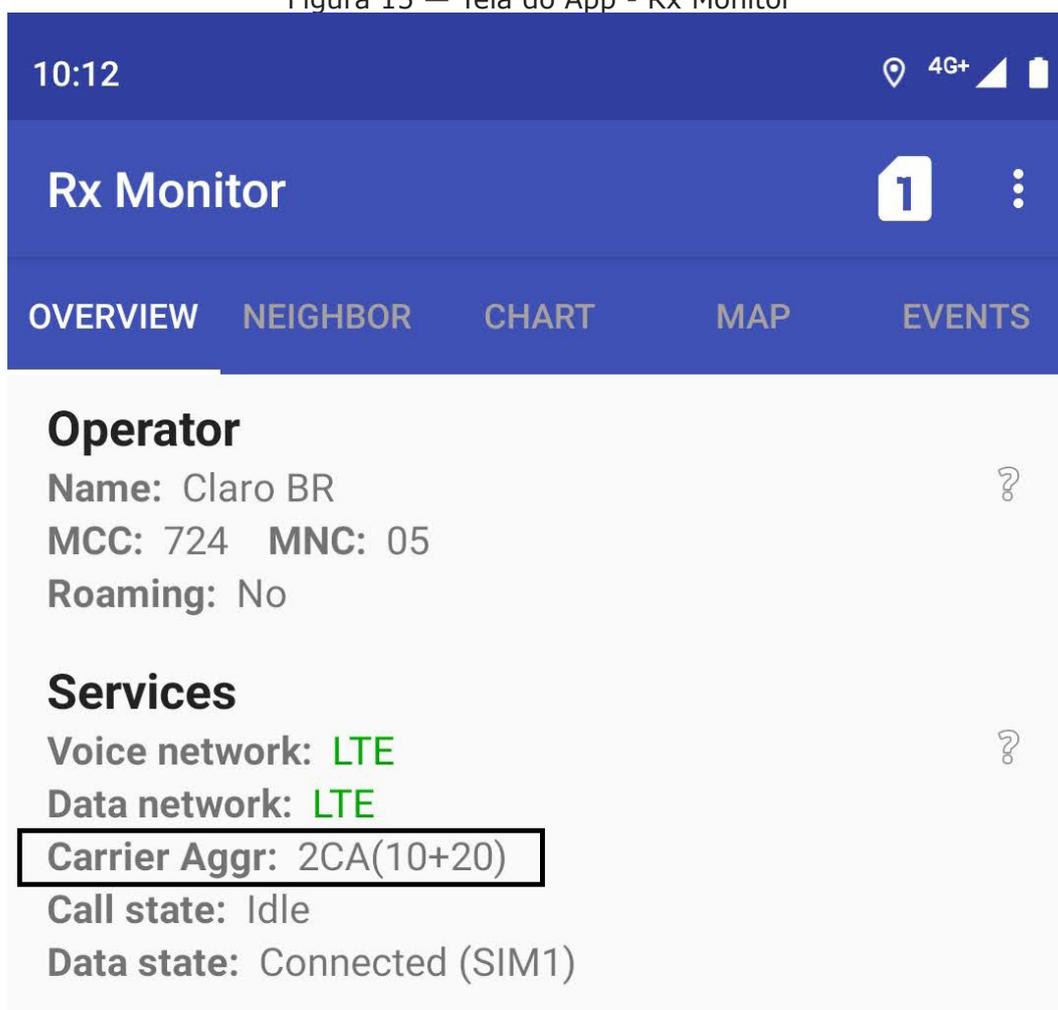
Fonte: Figura do autor (2021)

2.5 App - Rx Monitor

Por meio do aplicativo Rx Monitor (Figura 15) é possível compreender também várias métricas da rede a ser analisada. Entretanto, uma das principais funcionalidade desta ferramenta é fornecer a informação se a portadora faz agregação com outras bandas de frequência e a quantidade de banda disponibilidade na rede.



Figura 15 — Tela do App - Rx Monitor



Fonte: Figura do autor (2021)

2.6 App - Speedtest – Ookla

Aplicação importante capaz de examinar as métricas pertinente ao throughput de rede da operadora, indicadores diretamente responsáveis por trazer estabilidade e qualidade na velocidade de conexão apresentada na localidade analisada de acordo Figura 16.

Sendo possível verificar:

- Taxas: Download
- Taxas: Upload
- Ping
- Jinter
- Perdas de Pacote

- Rede da operadora
- Tipo de conexão
- Provedor
- Localização
- IP Interno
- IP Externo

Figura 16 — Tela do App - Speedtest – Ookla



Fonte: Figura do autor (2021)



CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. RESULTADOS

O caso a ser estudado a seguir está relacionado a uma dificuldade na recepção de sinal de redes celulares da Operadora X em ambientes internos de prédios históricos. Devido a própria infraestrutura de construção das arquiteturas coloniais, estas edificações espessas agem nas ondas de radiofrequência como agentes dificultadores para a penetração e propagação destes sinais em ambiente indoor. Desta forma, será elaborada uma proposta de um projeto de cobertura indoor para o edifício Palácio da Justiça do TJ-MA no centro de São Luís – MA, visando dirimir pontos de sombras internos deste ambiente.

1.1 1ª Etapa – Projeto RF e INFRA

1.1.1 Realização do Site Survey

Para o entendimento e posteriormente elaboração da proposta de projeto, se faz necessário realizar uma análise preliminar da localidade afetada pela dificuldade. Logo, foram efetuadas visitas técnicas para realização do Site Survey com a coleta das métricas do sinal RF (da operadora em questão) que chega nos pontos internos do edifício conforme Figura 17.

Figura 17 — Edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA



Fonte: Figura do autor (2021)

No dia **15 e 16/09/2021** foram realizadas as visitas no endereço do edifício do TJ-MA seguindo inicialmente as seguintes condições técnicas conforme abaixo:

- **Condições técnicas**

- Os testes foram realizados por meio dos app's G-NetTrack | Rx Monitor | Speed Test, a fim de monitorar e verificar a qualidade de sinal da operadora nas tecnologias 5G/4G/3G/2G em ambiente indoor.
- Além de aferir os níveis de sinal, foram realizados testes de chamadas de VOZ.



Os testes realizados foram direcionados a seguir a lógica de medição dos andares superiores (recepção de sinal mais favorável) até os andares inferiores (pouca penetração de sinal) do respectivo prédio.

- **Resultados da análise:** Edifício - Palácio da Justiça | Sede TJ-MA

- ◇ Análise no 2 andar

- 4G – Potência de Sinal: As informações contidas na Figura 18 apresentam um cenário de **sinal de força de justo para pobre / possível desconexão com RSRP -110 dBm.**

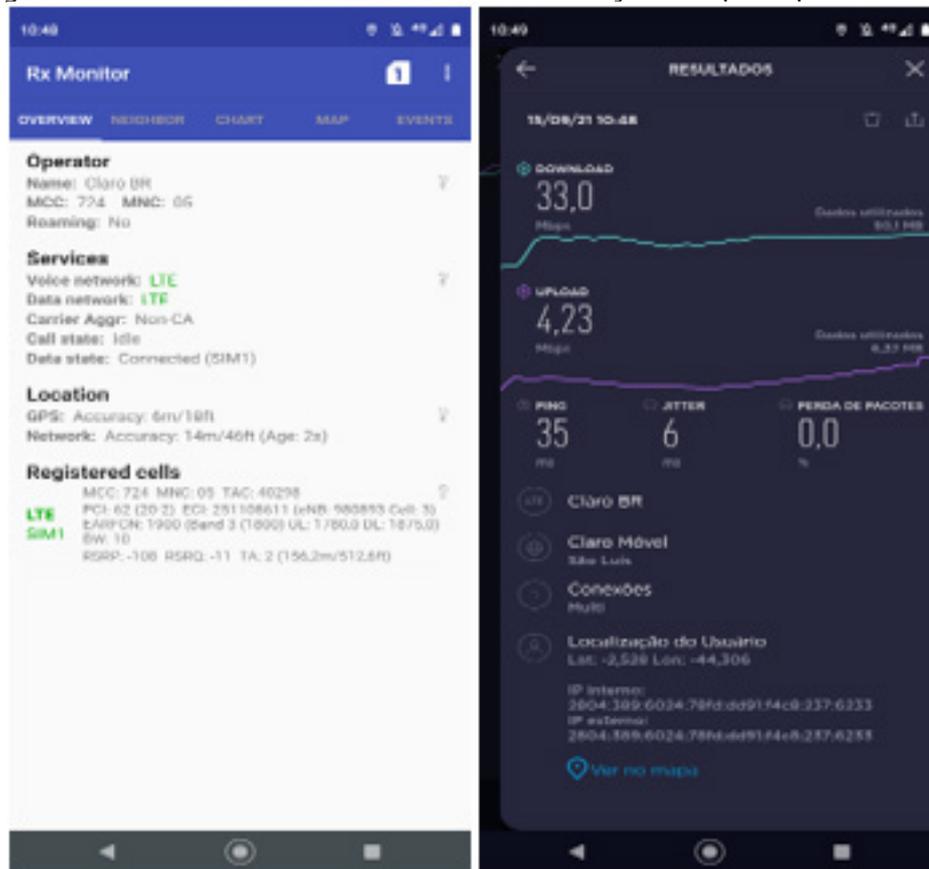
Figura 18 — Análise no edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA



Fonte: Figura do autor (2021)

Carrier Aggregation (CA) | Throughput: De acordo a Figura 19 até se pode alcançar no local uma **boa taxa de transferência** apesar de no momento do teste as portadoras **não apresentarem agregação** de bandas.

Figura 19 — Análise no edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA

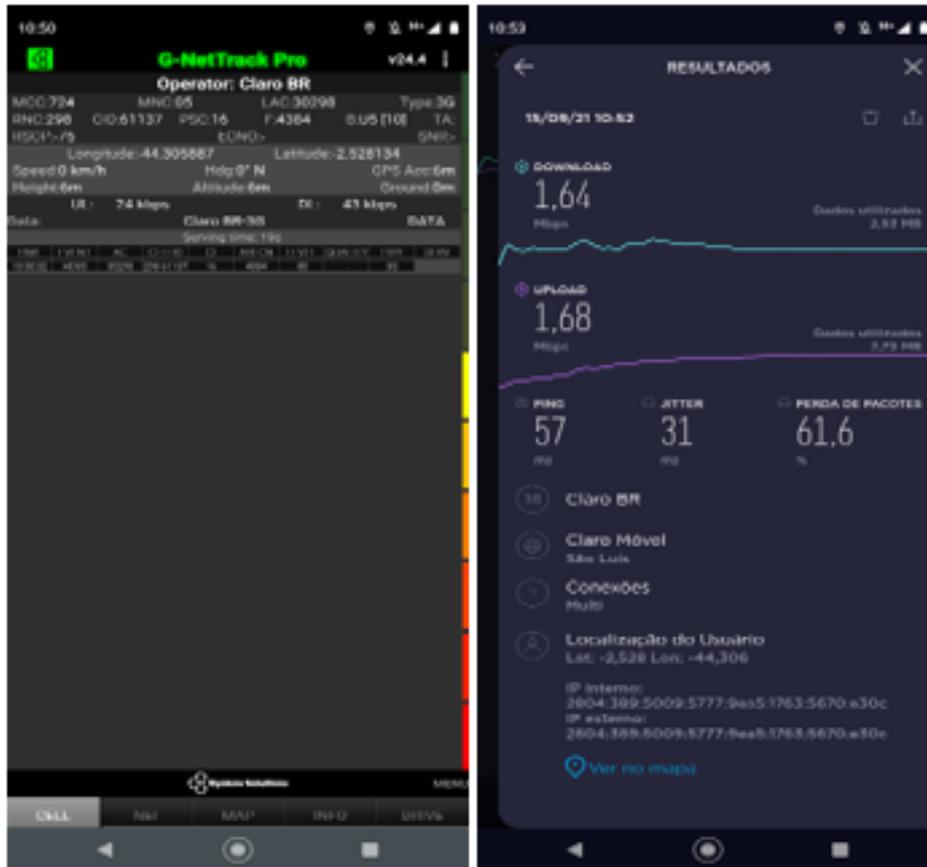


Fonte: Figura do autor (2021)

- 3G – Potência de Sinal | Throughput: A Figura 20 demonstra **bom sinal de força** com **RSCP de -75dBm**. Já a taxa de **transferência não é boa** e com perdas.



Figura 20 — Análise no edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA



Fonte: Figura do autor (2021)

- 2G – Potência de Sinal: O Sinal de força (**-95 dBm**) apresentado na Figura 21 abaixo, corresponde ao **nível intermediário (com possíveis perdas)** para a tecnologia.

Figura 21 — Análise no edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA



Fonte: Figura do autor (2021)

- ◇ Análise no 1 andar
- 4G – Potência de Sinal: O nível de força do sinal estando em **-105 dBm** sugere **experiencia de uso de justo para pobre / possível desconexão** conforme Figura 22.

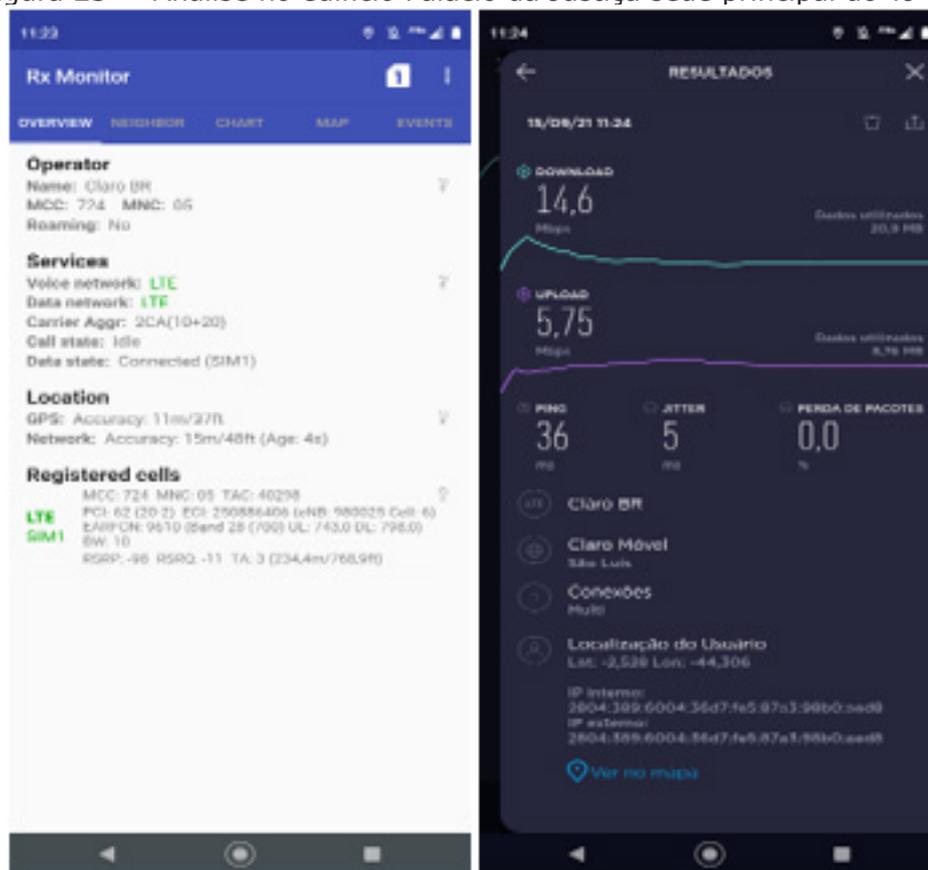
Figura 22 — Análise no edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA



Fonte: Figura do autor (2021)

Carrier Aggregation (CA) | Throughput: A Figura 23 abaixo demonstra que a portadora **está agregando** bandas, já os resultados de **transferências podem ser melhores**.

Figura 23 — Análise no edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA

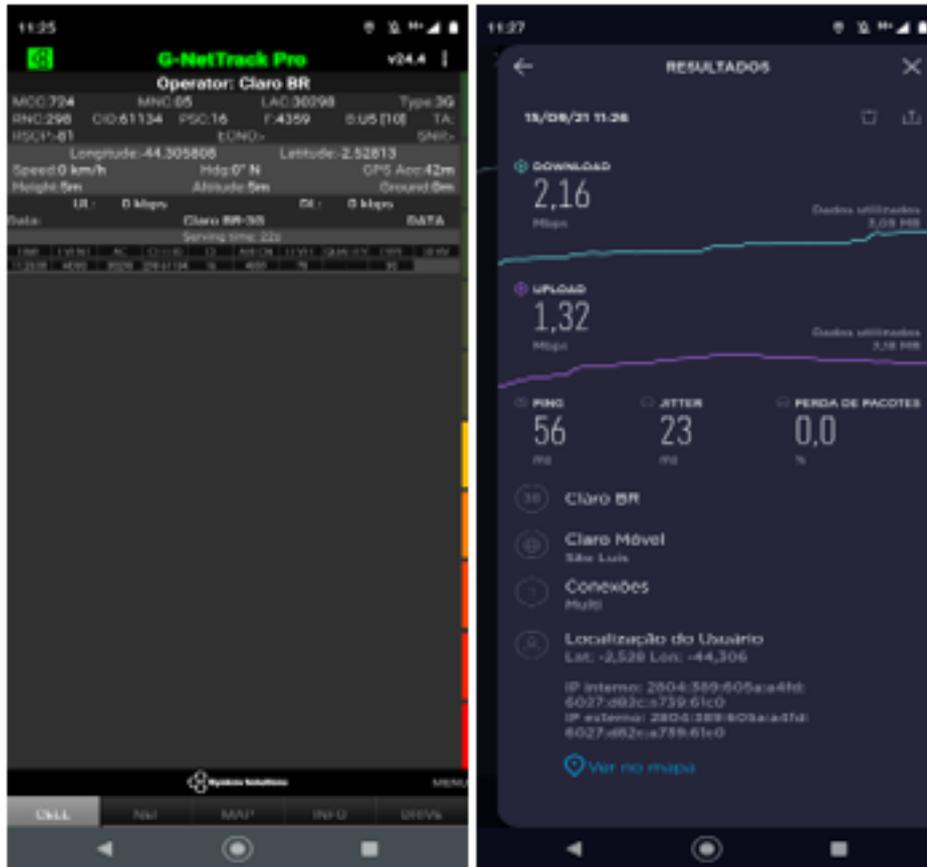


Fonte: Figura do autor (2021)

- 3G – Potência de Sinal | Throughput: A Potência recebida (**-81 dBm**) contida na Figura 24 demonstra **boa experiência de intensidade de sinal**, entretanto, a **taxa de transferência pode ser melhor**.



Figura 24 — Análise no edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA



Fonte: Figura do autor (2021)

- 2G – Potência de Sinal: A informações da Figura 25 representa um **nível intermediário de -95 dBm, passíveis de perdas.**

Figura 25 — Análise no edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA



Fonte: Figura do autor (2021)

◇ Análise no Térreo

- 4G – Potência de Sinal: O **RSRP a -110 dBm** (conforme na Figura 26) apresenta-se um panorama de uso de **justo para pobre / possível desconexão de sinal.**

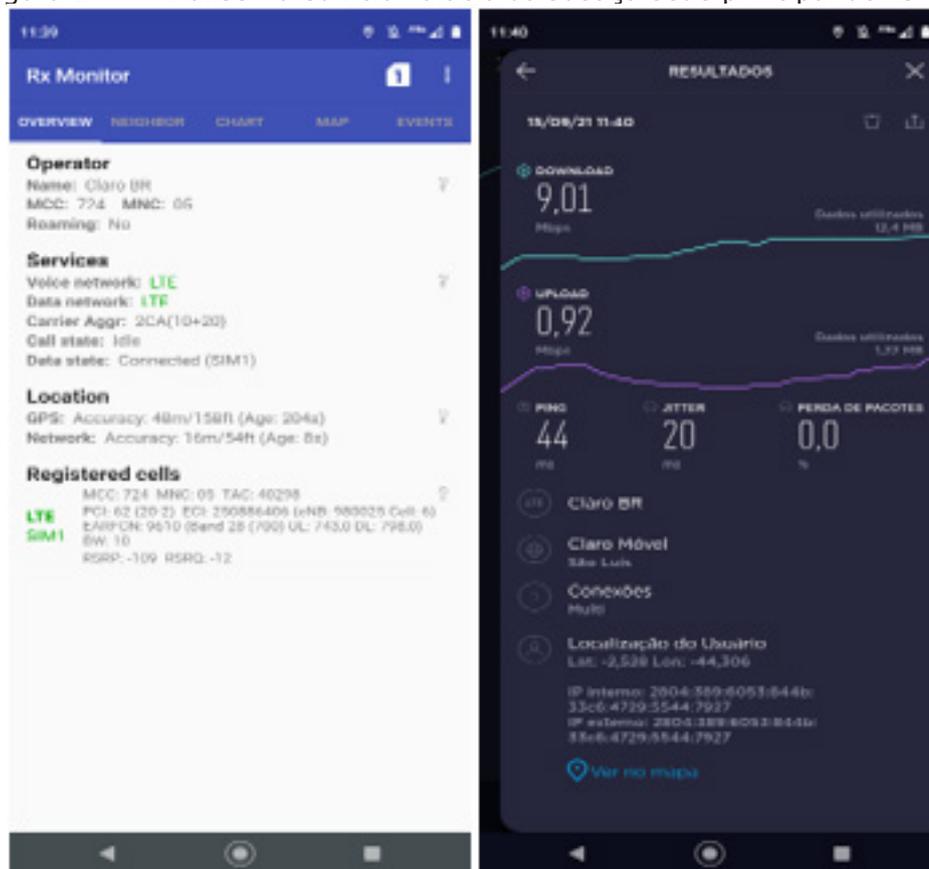
Figura 26 — Análise no edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA



Fonte: Figura do autor (2021)

Carrier Aggregation (CA) | Throughput: As informações indicam **agregação de bandas** e taxas de **transferências não são boas** conforme Figura 27.

Figura 27 — Análise no edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA

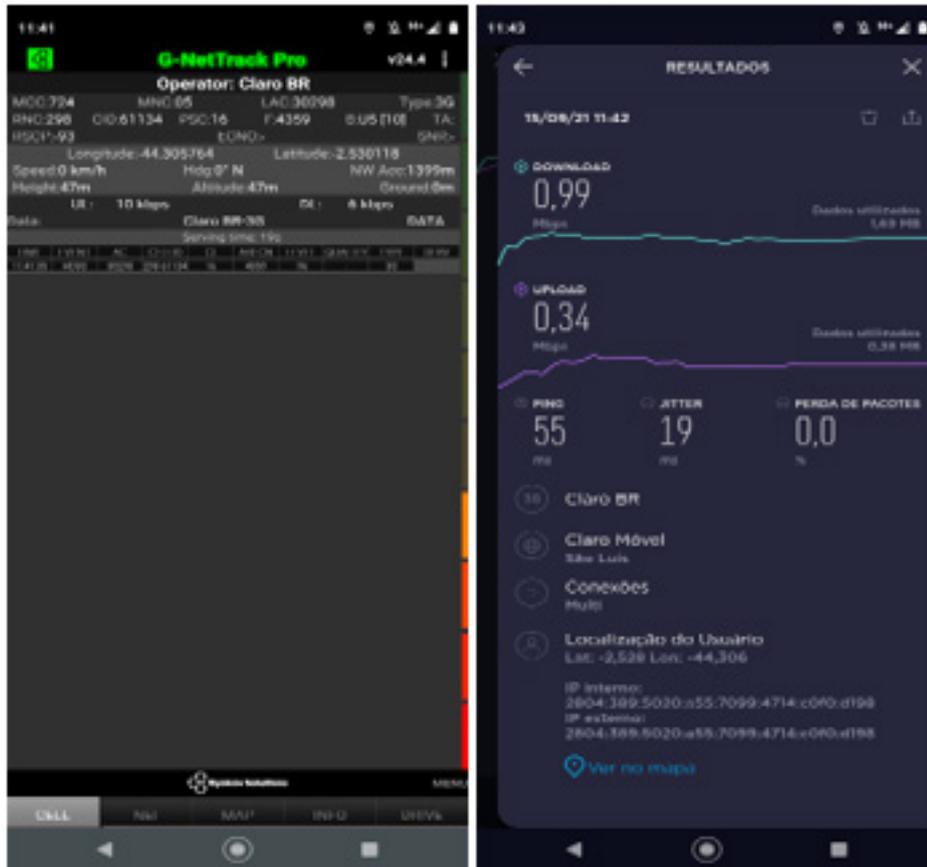


Fonte: Figura do autor (2021)

- 3G – Potência de Sinal | Throughput: A Figura 28 demonstra **pobre sinal de força** com **RSCP de -93dBm**. As **taxas de transferências não são boas** passível de desconexão.



Figura 28 — Análise no edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA



Fonte: Figura do autor (2021)

- 2G – Potência de Sinal: Apesar do sinal de força está apresentando **(-85 dBm)** o status do aparelho indica que já **não há conexão com a rede**. Conforme Figura 29.

Figura 29 — Análise no edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA



Fonte: Figura do autor (2021)

Obs.: Tecnologia 5G não encontrada, local fora de área segundo site mapa de cobertura da operadora (Claro, 2021).

1.1.2 Estudo dos dados / Espectros de frequências / Otimizações

Conforme os resultados apresentados na análise preliminar é possível ter uma noção das tecnologias e parâmetros encontrados na localidade afetada. Por meio desses parâmetros das bandas de frequências há a possibilidade de entender com qual intensidade o sinal está chegando ao ambiente interno nos andares do edifício. Logo, analisando as aferições realizadas no 2º andar as informações resultam em um ambiente mais favoráveis a recepção de sinal, tendo em vista a proximidade do telhado do próprio edifício.

Nessa perspectiva, à medida que vai descendo aos andares inferiores (como o 1º andar e térreo) a tendência é observar uma piora nos indicadores de intensidade de sinal para frequências mais altas e acampamento dos aparelhos celulares em frequências menores (como exemplo na tecnologia 4G - Banda de frequência n28 - 700MHz) com mais poder de penetração nos ambientes fechados.

Durante a análise dos dados característicos dos espectros dessas frequências, fica perceptível que infraestrutura das paredes (largura maior que 60cm) do prédio influencia diretamente na qualidade do sinal recebido enfraquecendo a penetração/propagação em alguns pontos internos principalmente no térreo e subsolo. Demonstrado na Figura 30.

Figura 30 — Alvenaria do edifício Palácio da Justiça sede principal do TJ-MA

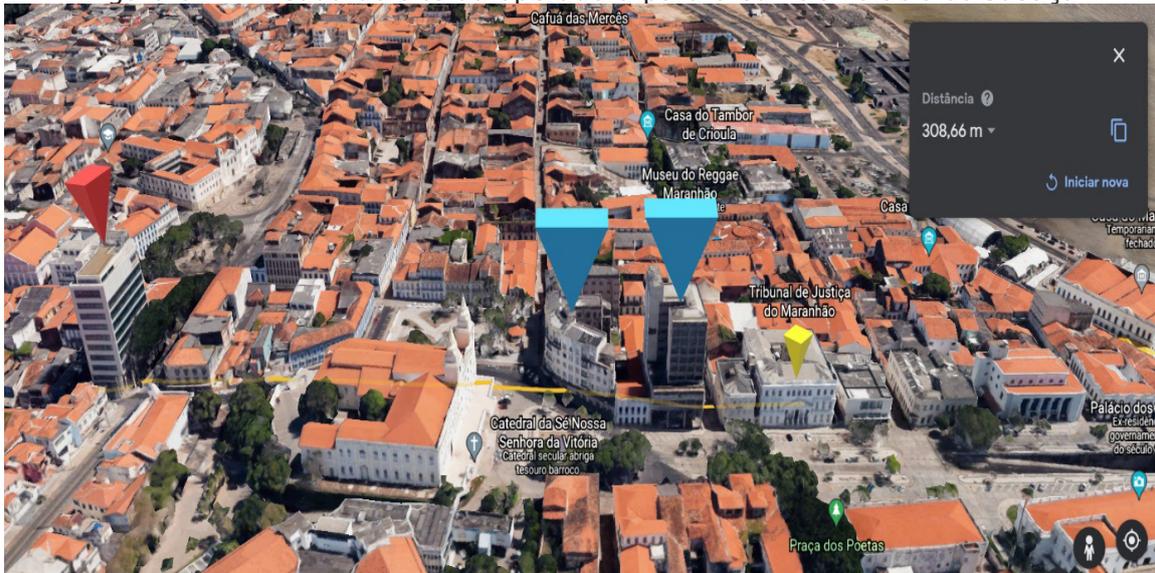


Fonte: Figura do autor (2021)

Conforme a Figura 31, o edifício sede do TJ-MA fica localizado a aproximadamente a 310 m do site servidor da operadora, entretanto, entre o site de cobertura (marca vermelha) até o edifício (marca amarela) há pontos de obstrução (marca azuis) no enlace de rádio impossibilitando a visada direta (LOS).



Figura 31 — Visada do site da operadora para o edifício Palácio da Justiça



Fonte: Figura do autor (2021)

Os pontos de obstrução citados acima correspondem ao Edifícios do Hotel Central e Edifício João Goulart conforme Figuras 32 e 33.

Figura 32 — Edifício Hotel Central



Fonte: Figura do autor (2021)

Figura 33 — Edifício João Goulart



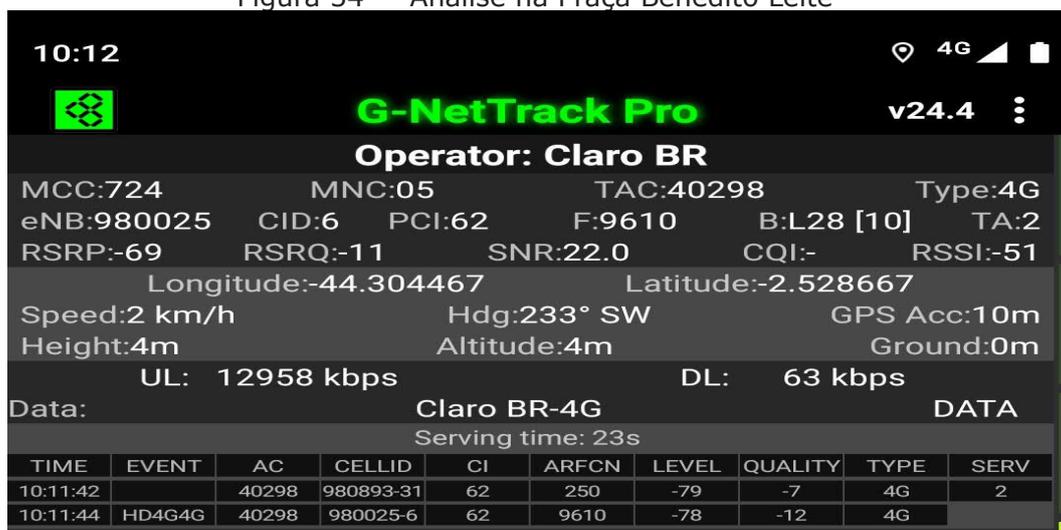
Fonte: Figura do autor (2021)

Comprovando a hipótese que os pontos de obstrução influenciam na qualidade da RF recebida no edifício sede do TJ-MA, foram realizados testes fora da zona obstruída.

◆ **Resultados da análise (SEM OBSTRUÇÃO):** Análise na Praça Benedito Leite

- 4G – Band28-700MHz -- Potência de Sinal: As informações na Figura 34 demonstra um **cenário de sinal de força EXCELENTE** com **RSRP -69 dBm e RSSI -51**.

Figura 34 — Análise na Praça Benedito Leite



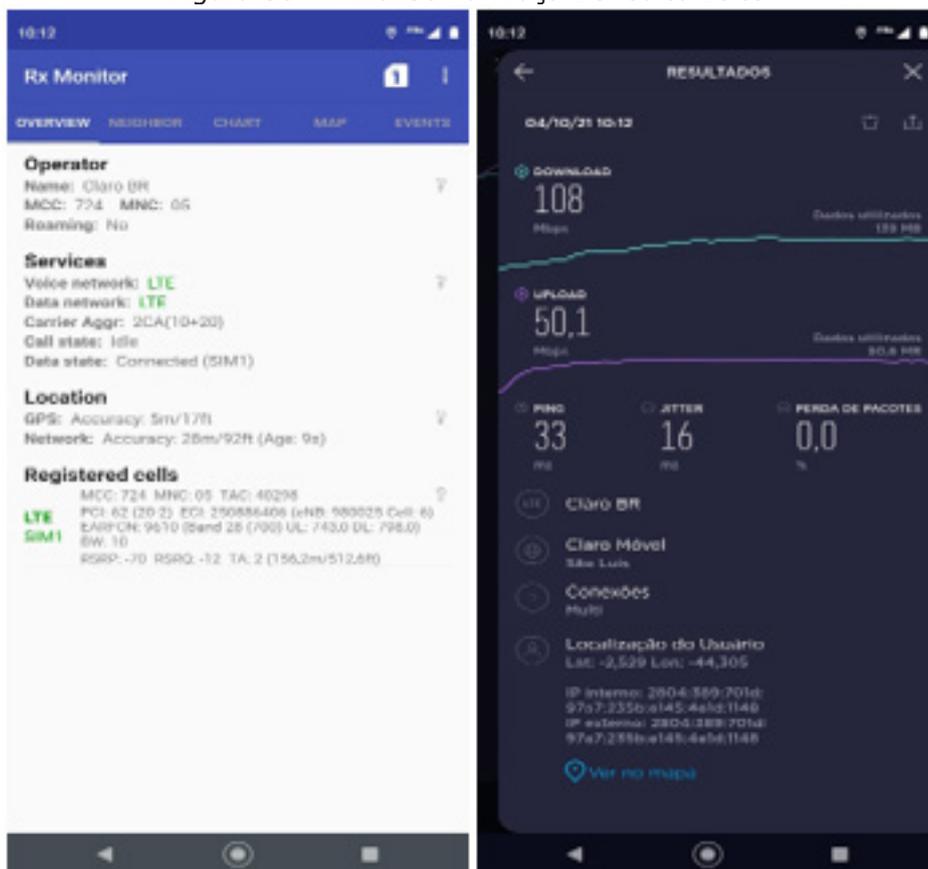
Fonte: Figura do autor (2021)

Carrier Aggregation (CA) | Throughput: Com as informações contidas na Figura 35 é possível verificar que a **portadora faz agregação** o que **eleva as taxas de transferên-**



cias também a níveis de **EXCELÊNCIA**.

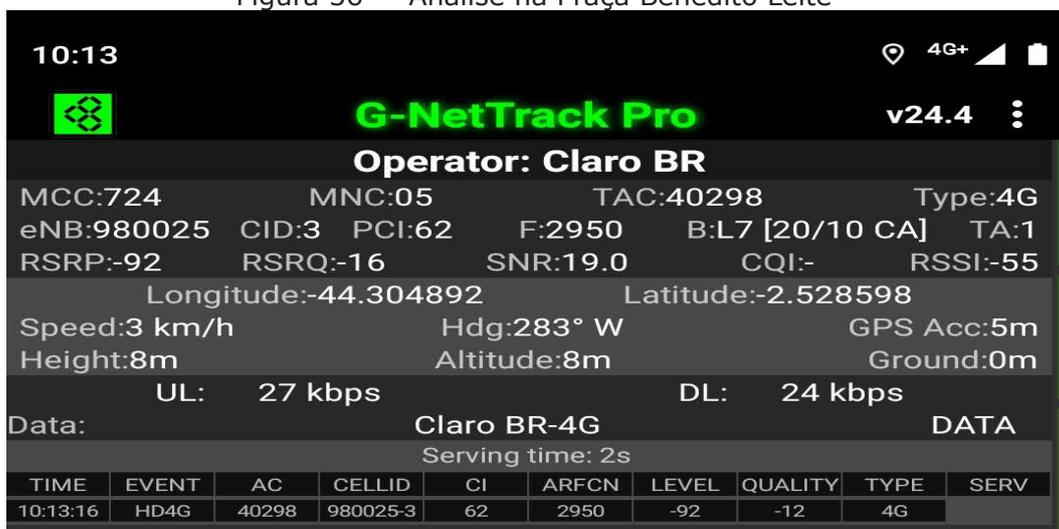
Figura 35 — Análise na Praça Benedito Leite



Fonte: Figura do autor (2021)

- 4G – Band7-2600MHz -- Potência de Sinal: Com o **RSRP -92 dBm** e **RSSI -55** a Figura 36 demonstra um **cenário de sinal de força EXCELENTE** para a frequência acampada.

Figura 36 — Análise na Praça Benedito Leite

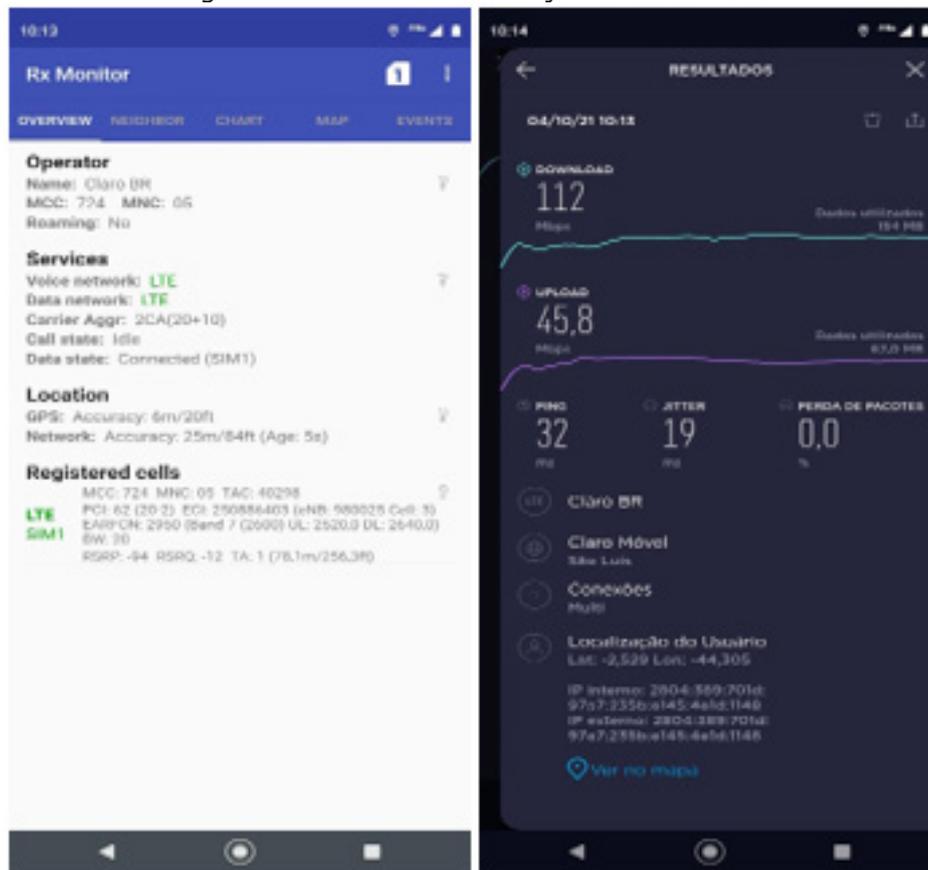


Fonte: Figura do autor (2021)

Carrier Aggregation (CA) | Throughput: As informações de **agregação** também foram encontradas e os níveis das **taxas de transmissão** apresentam estado de **EXCE-**

LÊNCIA, conforme Figura 37.

Figura 37 — Análise na Praça Benedito Leite



Fonte: Figura do autor (2021)

Nesse cenário os indicadores da qualidade do serviço foram excelentes. A análise foi realizada na Praça Benedito Leite (Lat\Long: -2.528667, -44.304467) e resultados demonstram excelente desempenho da rede considerando está sem pontos de obstrução.

Tendo em vista toda essa conjuntura vivida pelos usuários do serviço de telefonia móvel na localidade. De posse dos dados, foram realizados pela Engenharia da operadora ajustes técnicos como: Melhorias como modernização do site servidor com acréscimo de novas frequências (4G - 700MHz), tilts elétricos e aumento de potência do sinal na tentativa de melhorar a experiência para o usuário final. Mesmo com toda melhoria realizada pela Engenharia da operadora, ainda assim há relatos de usuários no ambiente internos do edifício que expõe dificuldades em recepção de sinal principalmente no térreo comprovando assim que devido aos pontos de obstrução e a infraestrutura do prédio o sinal está sendo desvanecido.

Desse modo, uma alternativa seria a instalação de equipamentos como repetidor\amplificador de sinal (com instalação de torre estaiada no topo do edifício e captação de sinal por meio de antena receptora externa) que ampliaria o poder de captação em recepção do sinal e conseqüentemente melhoraria os serviços da operadora no local reclamado.

1.1.3 Proposta do projeto de cobertura indoor

De acordo com as informações analisadas, segue abaixo o projeto proposto para a cobertura indoor do edifício Palácio da Justiça do TJ-MA. Para este caso específico, é sugerido a instalação de uma repetidora celular na localidade afetada por deficiência na recepção sinal. A repetidora deve conter as tecnologias 5G/4G/3G em um intervalo de frequências de 698 a 2690 MHz, com uma antena coletora e outra painel setorial. A repetidora também deverá fazer interface com 6 antenas do sistema (DAS) nos ambientes internos.

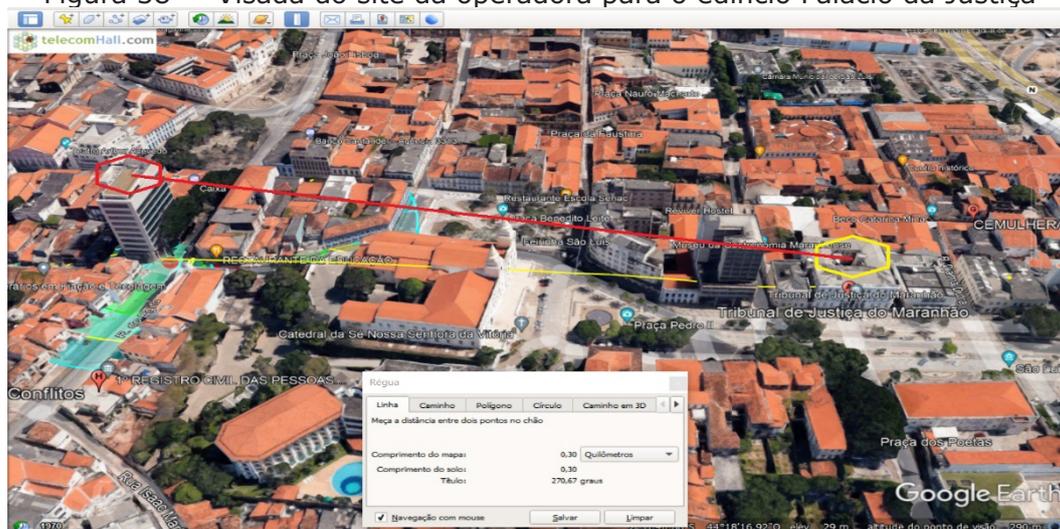
Esta proposta abrange o **estudo de viabilidade** de instalação dos aparelhos, as **tecnologias e frequências utilizadas** no local pela operadora, bem como a **lista dos equipamentos necessários** para sua instalação.

Buscando melhor funcionamento do projeto detalhado abaixo na área de instalação da torre da unidade repetidora recomenda-se que tenha um sinal com qualidade aceitável, ou seja acima -75dBm para indicador de potência recebida.

◇ Estudo de viabilidade

De acordo com a localidade indicada, os sinais a serem captados provém do site (em vermelho) conforme descrito na Figura 38 a seguir.

Figura 38 — Visada do site da operadora para o edifício Palácio da Justiça



Fonte: Figura do autor (2021)

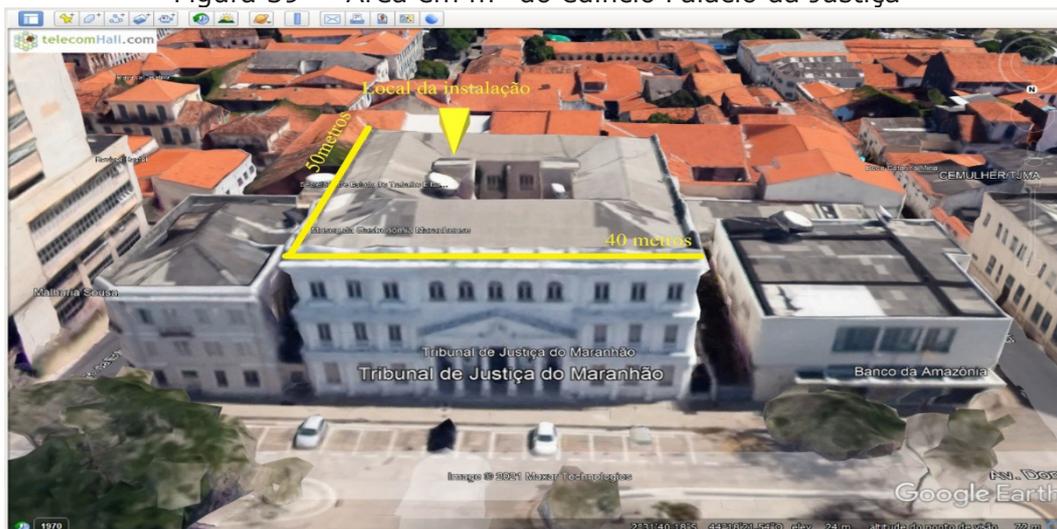
Devido à pouca distância entre as ERBS da operadora e a localidade (0,3 quilômetros) não existe problemas de intensidade de sinal para a captação com a antena externa receptora.

Assim como observamos na Figura (38) acima, a qualidade insatisfatória do sinal se deve ao fato da visada direta (LOS) do site de cobertura da operadora para o edifício Palácio da Justiça do TJ-MA ter pontos de obstrução. Agentes como a reflexão (R), dispersão (S) e difração (D) podem estar influenciando diretamente na intensidade do sinal recebido além da própria estrutura do prédio.

Na Figura 39, verifica-se que a área de cobertura necessária é de cerca 2.000 m².

Desta forma uma antena painel setorial e seis antena omnidirecional (internas) atende o sistema irradiante.

Figura 39 — Área em m² do edifício Palácio da Justiça



Fonte: Figura do autor (2021)

Sugere-se que a antena painel setorial deve observar uma distância mínima de 20 metros entre a antena coletora instalada na torre estaiada no rooftop do prédio.

Preferencialmente a antena receptora (coletora) e antena painel setorial deverão ficar de costas uma para outra. Tal procedimento tem por finalidade evitar possíveis interferências de uma antena em relação a outra, pois, a instalação das antenas com interferências entre elas pode causar a queima de aparelhos.

No edifício Palácio da Justiça há a existência de vãos internos como pontos de jardins e ventilação. Estrategicamente, em um desses pontos, sugere-se o local de instalação da antena painel setorial para cobertura pertinente ao centro do prédio conforme Figura 40.



Figura 40 — Local de instalação da antena painel setorial



Fonte: Figura do autor (2021)

As antenas internas omnidirecional deverão atender os pontos indoor em um par em cada andar (2º/1º/T) por meio de um sistema de antenas distribuídas (DAS).

No ambiente indoor do edifício do TJMA, os locais mais indicados para a instalação das antenas internas omnidirecional são conforme as Figuras 41, 42 e 43.

Figura 41 — Locais de instalação das antenas omnidirecional - 2º andar



Fonte: Figura do autor (2021)

Figura 42 — Locais de instalação das antenas omnidirecional - 1º andar



Fonte: Figura do autor (2021)



Figura 43 — Locais de instalação das antenas omnidirecional - Térreo



Fonte: Figura do autor (2021)

Dentro deste escopo, sugerimos a implantação do projeto abaixo e caso a cobertura ainda se mostre insuficiente, será realizada adequações com aumento de potência do repetidor de sinal.

◇ As Tecnologias e frequências da operadora

● **Operadora:** CLARO

● **Tecnologias:** 4G/3G/2G

● Frequências:

- 4G – Band28-700MHz / Band3-1800MHz / Band1-2100 / Band7-2600MHz

- 3G – Band5-850MHz / Band1-2100

- 2G – Band3-1800MHz

1.1.4 Infraestrutura / Equipamentos necessários

Para a localidade sugerimos a instalação de torre estaiada de 20 metros de altura com repetidor celular 5G/4G/3G multifrequência (698 a 2690 MHz) 10 Watts 95db, antena parabólica de 1,20 metros de 18,5 dbi para captação de sinal, uma antena painel setorial

de 15dbi multifrequência (698 a 2690 MHz) para envio do sinal e seis antena omnidirecional 03 / 05 dBi multifrequência (698 à 2690 MHz). Segue abaixo lista de material necessário para elaboração do projeto.

◇ **Lista dos equipamentos necessários**

- 01 Repetidor de Sinal Celular 5G/4G/3G Multifrequência (698 a 2690 MHz) 10 Watts 95db
- 01 Antena Parabólica de 1,20 metros 18,5dBi
- 01 Antena Painel Setorial de 1,30 metros e 15 / 17 dBi (698 a 2690 MHz)
- 06 Antena Omnidirecional 03 / 05 dBi (698 a 2690 MHz)

◇ **Lista dos componentes**

- 01 Torre de ferro de 20,00 x 0,30 metros
- 02 Armações rex galvanizado com suporte 4,76mm
- 10 Abraçadeiras galvanizadas tipo de 3/4" com parafuso
- 01 Base de Torre com 1,5 metros
- 01 Caixa hermética 800 x 800 x 250
- 02 Centelhador para cabo coaxial
- 04 Conectores para cabo superflexível de 1/2 din-macho
- 08 Conectores para cabo superflexível de 1/2 n-macho
- 04 Disjuntor bipolar 4 amperes
- 01 Eletroduto de ferro galvanizado 3/4" 0,75mm
- 03 Eletroduto galvanizado 3/4" 5 metros
- 06 Esticadores de cabo para cordoalha de 3/16" 06mm
- 05 Hastes cobreadas para aterramento 12 x 2400 10mic
- 01 Kit barramento neutro terra 12 liga 16mm



- 10 Metros de fio de cobre 06mm 750v
- 30 Metros de cabo de cobre 2 a 10mm
- 50 Metros de cordoalha de aço zincado 3/16"
- 80 Metros de cabo coaxial superflexível 1/2"
- 01 Para Raio Franklin 4 pontas
- 30 Parafusos e porcas
- 10 Peças de conector pressão para haste cobreado 5/8" 12-14mm
- 04 Peças de prensa cabo alumínio 1/2" 10-12,5mm
- 01 Protetor disjuntor dps bivolt clamper 45 a
- 08 Suportes com abraçadeira simples (isolador para raio)
- 01 Suporte/trilho fixação de disjuntor
- 04 Tomada externa dupla
- 03 Uniduto/luva alumínio pressão reta 3/4"

Obs.: Para que não seja formada opinião em relação a quais as melhores ou piores marcas existentes no mercado, a elaboração da proposta deste projeto não revelou os tipos de marcas dos equipamentos e componentes que foram citados. Desse modo os valores também não foram apresentados.

1.2 2ª Etapa – Desenvolvimento/Implantação

O Desenvolvimento e implantação do projeto proposto necessita de avaliação por parte do cliente e aprovação, bem como autorização de licenças ou similares junto aos entes reguladores municipais, estaduais e federais, quando estes se fizerem necessários para a instalação dos aparelhos conforme suas necessidades de usabilidades.



CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES



O advento da tecnologia foi fundamental para crescimento e história das telecomunicações. As constantes mudanças no setor trouxeram um cenário atual de altíssimo desempenho tecnológico sendo suportado por muito embasamento científico, otimização de tecnologias já defasadas e criação de outras necessárias. Neste trabalho, foi abordado a evolução da rede móvel no contexto dos avanços dessas tecnologias e apresentado uma dificuldade que os ambientes indoors de prédios históricos têm na recepção de sinais de radiofrequências, principalmente para prédios com arquiteturas coloniais e infraestrutura de construção antiga. O estudo contido nessa monografia, analisou a possibilidade de resolução da problemática que foi exposta por meio da viabilidade de instalações de equipamentos. Considerando um cenário futuro em que haverá cada vez mais a necessidade de acesso múltiplos a dados (principalmente com a utilização de frequências maiores das novas gerações) essa será uma realidade vivida pela área de telecomunicações nos próximos anos.

A introdução refletiu sobre o cenário de desenvolvimento tecnológico até a atualidade, em contrapartida a fundamentação teórica discorreu sobre a evolução da rede móvel considerando as principais tecnologias contidas do 1G ao 5G e suas aplicações. Foi fundamentado também as definições para compor um melhor entendimento dos resultados na proposta apresentada. Como também explicado os métodos e materiais utilizados para a realização das atividades pertinentes a campo apresentada em resultados.

O estudo de caso aplicado nos resultados, considerou inicialmente a realização de uma análise do ambiente de rede (Site Survey) com medições em um cenário indoor e novas em outdoor. Após análise das aferições no ambiente indoor, ficou comprovado a necessidade de uma solução alternativa para compor a solução do problema. Os resultados no ambiente outdoor com medições corroborou a hipótese que infraestrutura das paredes do prédio e os pontos de obstruções (sombra) influencia diretamente na potência, qualidade e intensidade do sinal de força recebido, enfraquecendo assim a penetração/propagação nos âmbitos internos. Assim, todo o entendimento e conclusão do que foi estudado culminou na elaboração da proposta contida nessa escrita com a possibilidade de um projeto de RF com interface para instalação de um sistema interno de antenas distribuídas (DAS).

Primariamente, o espectro que a quinta geração (5G) pretende utilizar oficialmente varia entre as faixas de radiofrequências compreendidas de 700 MHz a 26 GHz. Para os casos de utilização das faixas de SHF (3 GHz em diante), os ambientes internos conforme expostos nesse trabalho podem trazer uma experiência ruim ao usuário final a depender da distância do dispositivo deste usuário em relação as antenas das operadoras. Prospecando cenários futuros (pós implementação da rede de tecnologia 5G) a ideia ou modelo de instalação de equipamentos conforme lista apresentada prepara esses ambientes indoor para a chegada dessas novas tecnologias.

Diante do exposto, algumas melhorias futuras podem ser adicionadas nessa pesquisa como seu aperfeiçoamento e direcionamento para atuação nessa área que será uma crescente para o setor de telecomunicações nos próximos anos.



REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. ANATEL. **Anatel aprova o edital do leilão do 5G.** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-aprova-o-edital-do-leilao-do-5g/>. Acesso em: 25 set. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. ANATEL. **Histórico.** 2021. Disponível em: <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/aceessos/historico>. Acesso em: 25 set. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. ANATEL. **Anatel divulga relatório da telefonia móvel relativo a 2020.** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-divulga-relatorio-da-telefonia-movel-relativo-a-2020>. Acesso em: 25 set. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. ANATEL. **Plano de Uso do Espectro de Radiofrequências.** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulado/radiofrequencia/plano-de-uso-do-espectro-de-radiofrequencias>. Acesso em: 26 set. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. ANATEL. **Anatel autoriza uso dos 700 MHz para 4G em SP.** 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/anatel-autoriza-uso-dos-700-mhz-para-4g-em-sp>. Acesso em: 28 set. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. ANATEL. **Leilão da tecnologia de quinta geração alcança R\$ 47,2 bilhões.** Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/leilao-da-tecnologia-de-quinta-geracao-alcanca-r-47-2-bilhoes>. Acesso em; 28 set.2021.
- AGUIAR, Ricardo Portella. **A literatura e o leitor na fricção entre o homem e a máquina.** 2012. 157 f. TCC (DOUTORADO) – Programa de Pós-Graduação em Letras, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2012.
- ALECRIM, Emerson. **Tecnologias 3G e 4G: CDMA-2000, UMTS, HSPA, HSPA+ e LTE.** Disponível em: <https://www.infowester.com/3g4g.php>. Acesso em: 26 set. 2021.
- ALMEIDA, Yan R. **Privatizações, concentração de mercado e seus impactos no setor de telecomunicações: Uma abordagem sobre a telefonia móvel.** 2019. 44 f. TCC (Graduação) – Curso em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas. 2019.
- ALVES, Tiago de Camargo. **Ambiente de ensaios Ota (Over-The-Air) em câmara de reverberação aplicado ao 5G fr1.** 2020. 92 f. TCC (Graduação) – Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Elétrica e Telecomunicações, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas. 2020.
- ANDRADE, Adauto de. **Pequena história da telecomunicação.** Disponível em: <https://www.legal.adv.br/19991101/pequena-historia-da-telecomunicacao/>. Acesso em: 25 set. 2021.
- BERGER, Lars T.; INIEWSKI, Krzysztof. **Redes Elétricas Inteligentes: Aplicações, Comunicação e Segurança.** 1ed. São Paulo: LTC, 2016.
- BIBLIOTECA NACIONAL. **Há 168 anos, era inaugurada a primeira linha de telégrafo do Brasil.** Disponível em: <https://www.bn.gov.br/acontece/noticias/2020/05/ha-168-anos-era-inaugurada-primeira-linha-telegrafo>. Acesso em: 26 set.2021
- BRASIL. Lei nº 9.742, de 16 de julho de 1997. **Dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações, a criação e funcionamento de um órgão regulador e outros aspectos institucionais nos termos da Emenda Constitucional nº 8, de 1995. Brasília, DF: presidente da República.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9472.htm. Acesso em 26 set. 2021.
- CLARO. **Mapa de cobertura Claro, 2021.** Disponível em: <https://www.claro.com.br/mapa-de-cobertura>. Acesso em: 15 nov. 2021.
- COPEL. **Wi-Fi e Wireless, qual a diferença? Como usar o Wi-Fi e 4g juntos no seu android.** Copel-telecom, 2021. Disponível em: <https://www.copeltelecom.com/site/blog/wi-fi-e-wireless-qual-a-diferenca-como-usar-o-wi-fi-e-4g-juntos-no-seu-android/>. Acesso em: 15 de nov. de 2021.
- DIAZ, Luccas. **5G: entenda o que é a tecnologia e a disputa entre EUA e a China.** Disponível em: ht-



- [tps://guiadoestudante.abril.com.br/atualidades/5g-entenda-o-que-e-a-tecnologia-e-a-disputa-entre-eua-e-a-china/](https://guiadoestudante.abril.com.br/atualidades/5g-entenda-o-que-e-a-tecnologia-e-a-disputa-entre-eua-e-a-china/). Acesso em 28 set. 2021.
- DRUCOS. **Telecomunicações**. Drucos, 2021. Disponível em: <https://www.drucos.com.br/>. Acesso em: 15 de nov. de 2021.
- DUNLOP, J.; Geoffrey, s. D. **Telecommunications Engineering**. 3ed. Glasgow: CRC PRESS, 1994.
- EKAHAU Site Survey Wireless Site Survey. **Favpng, 2019**. Disponível em: <https://favpng.com/png_view/survey-site-ekahau-site-survey-wireless-site-survey-wi-fi-spectrum-analyzer-computer-network-png/CLFRuztQ>. Acesso em: 30 de set. de 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE TELECOMUNICAÇÃO – EMBRATEL. **A Empresa**. Disponível em: <https://www.embratel.com.br/a-empresa>. Acesso em 26 set. 2021.
- FERREIRA, Vera B.F. EVOLUÇÃO DO SETOR DE TELECOMUNICAÇÕES NO BRASIL. **In: Encontro Científico da Campanha Nacional das Escolas da Comunidade, 2**. 2004, Varginha. Disponível em: <https://www.oswaldocruz.br/download/artigos/social10.pdf>. Acesso em: 26 set. 2021.
- KUBOTA, Luis C. et al. **Tecnologias da informação e comunicação: competência, políticas e tendências**. Brasília: Ipea, 2012.
- LATHI, B. P. **Sinais e sistemas**. 2ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- MAFFEI, Fabiana A. **Educação: Qualquer coisa me Ligue! – O Uso do Celular**. Disponível em: http://www.projetos.unijui.edu.br/matematica/capacitacao/capacitacao/ccpmem/fabiana/fabiana_comput.htm. Acesso em: 25 de set.2021.
- MAZZONI, Victor S. **Análise Histórica e Funcional das Redes 4G LTE**. 2014. 59f. Monografia (Graduação) - Bacharelado em Sistemas de Informação, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.
- MOTA V. L. G. et al. Evolução da tecnologia de telefonia móvel e estudo e caracterização de um sistema móvel 5G de quinta geração. **Engevista**, V. 21, n.1, p.154-175, fevereiro 2019.
- NAVAS, Manoel, G. M. D. **Medidas em Telecomunicações e Eletrônica**. 1ed. Rio de Janeiro: SENAC, 2015.
- NIKOLOFSKI, Daniel R.F. **A Quarta Geração das Redes Sem Fio: Benefícios e Evolução**. 2011. 27f. Monografia (Pós-Graduação) - Programa de Pós-Graduação em Teleinformática e Redes de Computadores, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.
- OLIVEIRA, Hélio M. **Engenharia de Telecomunicações**. Recife: HM, 2012.
- PEDRAZ, Cristina G. **A Internet é descendente direta das pesquisas realizada no CERN**. Dicyt, 2012. Disponível em: <https://www.dicyt.com/noticia/a-internet-e-descendente-direta-das-pesquisas-realizada-no-cern>. Acesso em: 25 de set. de 2021.
- PEDROSA, Leyberson. **Telefone faz 145 anos: brasileiros contam histórias sobre aparelho**. Agência Brasil. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-03/historias-que-se-contam-ao-telefone>. Acesso em: 25 de set. de 2021.
- PINA, Carolina. **Um raio de Luz**. Digartdigmedia, 2019. Disponível em: <https://digartdigmedia.wordpress.com/2019/12/14/um-raio-de-luz/>. Acesso em: 30 de set. de 2021.
- QMC. **O que são soluções indoor**. Qmctelecom, 2021. Disponível em: <https://qmctelecom.com.br/solucoes-indoor/>. Acesso em: 15 de nov. de 2021.
- RAPPAPORT, Theodore S. et al. **Wireless communications: Principles and practice**. New Jersey: Prentice hall PTR, 1996.
- RODITI, I. **Dicionário Houaiss de Física**. Rio de Janeiro: Editora Objetiva, 2005.
- RODRIGUES, D. S.; FARIA, D. B.; AZEVEDO, J. P. A. **Telefonia móvel: Evolução e dependência**. 2015. 76f. Monografia (Graduação)- Graduação em Tecnologia em Sistemas de Telecomunicação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2015.
- SBRISSIA, Helena. **1G, 2G, 3G, 4G e 5G: entenda a evolução da internet móvel**. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/5g-no-brasil/217230-1g-2g-3g-4g-5g-entenda-evolucao-internet-movel.htm>.



Acesso em: 28 set. 2021

SILVA, Ítala L. C. S. **Do 1g ao 5g: Evolução das redes de telefonia móvel.** 2016. 89 f. TCC (Graduação) – Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas. 2016.

SILVA, Rafael. **Claro faz apresentação de 5G histórica em São Paulo.** Canaltech, 2019. Disponível em: <https://canaltech.com.br/telecom/claro-faz-apresentacao-de-5g-historica-em-sao-paulo-153099/>. Acesso em: 25 de set. de 2021.

SILVA, Renato H. R. **Criptografia em Redes Móveis da Quinta Geração.** 2020. 69 f. TCC(Graduação) – Graduação em Ciência da Computação, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020.

SPECTRUM. **Allocation in 700 MHz and 2.5 GHz in Latin Americ.** 5game-ricas, 2017. Disponível em: <https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/07/700_MHz_y_25_GHz_Oct_2017_Final-EN.pdf>. Acesso em: 25 de set. de 2021.

TAKEDA, L. N. **Evolução da tecnologia móvel até 2013.** 2013. 51f. TCC(Graduação) – Graduação em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

TEIXEIRA, A. R.; TOYOSHIMA, S. H. Evolução das Telecomunicações no Brasil,

1950–2001: o caso da telefonia. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 34, n. 1, jan./mar. 2003. TJMA. **Publicações.** TJMA, 2021. <https://www.tjma.jus.br/midia/portal/1/publicacoes>. Acesso em: 15 de nov. de 2021.

VINHAL, Matheus. P. **Evolução da telefonia móvel celular, cumprimento de leis e análise de modelos de propagação.** 2020. 82f. TCC(Graduação) – Bacharelado em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2020.

WIKI. **Recomendações de força do sinal móvel.** Teltonika, 2021. Disponível em: https://wiki.teltonika-networks.com/view/Mobile_Signal_Strength_Recommendations#Determining_Factors_of_Signal_Values. Acesso em: 13 de nov. de 2021.

Inicialmente esta obra conduz o leitor a uma reflexão contextualizando o cenário de desenvolvimento tecnológico até os dias atuais. Considerando o setor de telecomunicações como um dos setores que mais esteve em ascensão nos últimos anos, foi levantada uma abordagem sobre os assuntos relacionados a evolução das tecnologias de telecomunicações para a rede móvel celular. A composição da parte prática deste trabalho científico, apresenta-se uma proposta de um projeto de cobertura indoor voltado a solucionar uma problemática relacionada a dificuldades na recepção de sinal de redes celulares em ambientes internos de prédios históricos. Como exemplo para a resolução do problema, foi elaborada uma proposta modelo deste projeto para o edifício Palácio da Justiça do TJ-MA no centro de São Luís – MA.

ISBN: 978-65-86707-89-2

BR




Pascal
Editora