

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
CURSO DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES**

JOÃO PINHEIRO DE LUCENA JUNIOR

**ANÁLISE DA CAPACIDADE DA REDE 5G: UM ESTUDO DE CASO NOS
BAIRROS DE MANAUS**

MANAUS-AM

2025

JOÃO PINHEIRO DE LUCENA JUNIOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial – IFAM/CMDI.

Orientador(a): Gabriel Rebello Guerreiro.

Coordenador (a): Carlos Fontinelle

MANAUS-AM

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

- L935a Lucena Junior, João Pinheiro de.
Análise da capacidade da Rede 5G: um estudo de caso nos bairros de Manaus/ João Pinheiro de Lucena Junior. - Manaus, 2025.
43 f.: il. color.
- Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Curso de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações, Campus Manaus Distrito Industrial, 2025
Orientador: Gabriel Rebello Guerreiro.
1. Tecnologia 5G. 2. Infraestrutura. 3. Conectividade. 4. Desafios. 5. Acesso à Internet – cidade – Manaus, AM. I. GUERREIRO, Gabriel Rebello (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621.382



ANEXO 7

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 03 dias do mês de Novembro de 2025, às 18:00, o(a) discente João Pinheiro de Lucena Jr. apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para avaliação da Banca Examinadora constituída pelos seguintes integrantes: Gabriel Rebelo Guerreiro (docente-orientador), Alyson de Jesus dos Santos (Membro 1) e Celso Souza Condeiro (Membro 2). A sessão pública de defesa foi aberta pelo presidente da banca, que apresentou a Banca Examinadora e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC, que tem como título Apriimentamento do 5G em Manaus: Desafios e Oportunidades. Na sequência, o discente teve até 30 minutos para a comunicação oral de seu trabalho. Cada integrante da banca examinadora fez suas arguições após a defesa do mesmo. Ouvidas as explicações do discente, a banca examinadora, reunida em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberou e decidiu pela Aprovação com média final 9.7 (noventa e sete) do referido trabalho.

Foi dada ciência ao discente que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o dia 05/11/25, com as devidas alterações sugeridas pela banca. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 19:04, sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo discente.

Prof.(a) Orientador(a)/Presidente: _____

Prof.(a) Avaliador 1: _____

Prof.(a) Avaliador 2: _____

Discente: _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, fonte de força, sabedoria e orientação em todos os momentos da minha jornada. A Ele, minha eterna gratidão pela paz, paciência e pela inspiração para seguir em frente, mesmo diante dos desafios.

Aos meus familiares, que sempre estiveram ao meu lado, com amor, compreensão e incentivo incondicional. A presença de cada um de vocês foi fundamental para que eu pudesse superar obstáculos e continuar em busca dos meus objetivos. A cada palavra de apoio, a cada gesto de carinho, encontrei forças para seguir adiante, mesmo nos momentos mais difíceis.

E, especialmente, aos meus filhos, que tem sido minhas fontes constantes de motivação, minha esposa. Sua paciência, compreensão e amor me proporcionaram a segurança e o conforto necessários para persistir em minha trajetória acadêmica. Juntos, compartilhamos tanto os momentos de conquista quanto os de superação, e por isso, minha gratidão é imensurável.

Este trabalho é um reflexo do esforço coletivo e da força que recebi de todos vocês. Que possamos continuar juntos, trilhando novos caminhos e superando novos desafios.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder a dádiva da vida e a saúde, permitindo que, com fé, eu pudesse trilhar essa jornada repleta de desafios. Sou grato por me dar forças nos momentos de tristeza e dificuldade, e por me sustentar sempre que precisei.

Aos meus pais, por todo o apoio, amor incondicional e incentivo. Vocês são minha base, meu alicerce, e a razão de eu estar aqui, buscando vencer. À minha família, que, de alguma forma, contribuiu para que eu chegasse até este momento, meu eterno agradecimento.

Agradeço aos meus professores e orientador, cujos ensinamentos e orientações foram fundamentais para a construção deste estudo. Sua dedicação e conhecimento foram essenciais para que este trabalho atingisse seus objetivos.

Por fim, expresso minha gratidão a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade.

EPÍGRAFE

"A inovação não é um destino, mas um caminho contínuo. O aprimoramento do 5G não apenas conecta dispositivos, mas impulsiona o futuro da conectividade humana."

RESUMO

O avanço da tecnologia 5G em Manaus representa um marco significativo, proporcionando maior velocidade e eficiência no acesso à internet, além de impulsionar o desenvolvimento digital da cidade. No entanto, um dos principais desafios para sua plena implementação é a necessidade de ampliação da infraestrutura, incluindo a instalação de novas antenas para garantir uma cobertura mais abrangente e eficiente. A adaptação da cidade às exigências do 5G envolve tanto aspectos técnicos quanto regulatórios, demandando investimentos contínuos e aprimoramento da rede para atender à crescente demanda por conectividade.

A pesquisa analisou quatro das principais métricas em um serviço de telefonia móvel em dois bairros da cidade de Manaus, AM. Através do *software* Opensignal, a velocidade de download e upload, latência, disponibilidade do sinal e consistência da conexão, foram medidas nos bairros do Parque 10 de Novembro e no Jorge Teixeira. A pesquisa concluiu que a localidade e a infraestrutura são fundamentais para que se tenha uma internet de boa qualidade. O avanço na qualidade dos serviços prestados pelas operadoras pode trazer um impacto positivo em diversos setores, promovendo melhorias no cotidiano da população e impulsionando o crescimento econômico e industrial da cidade.

Dessa forma, apesar dos desafios estruturais, o aprimoramento do 5G em Manaus segue uma trajetória promissora. O investimento contínuo em infraestrutura e tecnologia será essencial para consolidar essa inovação e maximizar seus benefícios para a sociedade e o setor produtivo.

Palavras-chave: 5G, Infraestrutura, Conectividade, Desafios.

ABSTRACT

The advancement of 5G technology in Manaus represents a significant milestone, providing higher speed and efficiency in internet access, as well as driving the city's digital development. However, one of the main challenges for its full implementation is the need to expand infrastructure, including the installation of new antennas to ensure broader and more efficient coverage. Adapting the city to the requirements of 5G involves both technical and regulatory aspects, demanding continuous investment and network improvements to meet the growing demand for connectivity.

The research analyzed four key metrics of mobile phone service in two neighborhoods of Manaus, AM. Using the Opensignal software, download and upload speeds, latency, signal availability, and connection consistency were measured in the neighborhoods of Parque 10 de Novembro and Jorge Teixeira. The study concluded that location and infrastructure are fundamental to achieving high-quality internet service. Improvements in the quality of services provided by carriers can have a positive impact across various sectors, promoting better daily life for residents and boosting the city's economic and industrial growth.

Thus, despite structural challenges, the enhancement of 5G in Manaus follows a promising trajectory. Continuous investment in infrastructure and technology will be essential to consolidate this innovation and maximize its benefits for society and the productive sector.

Keywords: 5G, Infrastructure, Connectivity, Challenges.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 - 5G NSA e SA.....	18
Figura 2 - Diferença entre as duas arquiteturas.	19
Figura 3 - Impacto esperado	22
Figura 4 - Comparativos para velocidade de dados durante download.	29
Figura 5 - Comparativos para velocidade de dados durante upload.	29
Figura 6 - Comparativo para latência do sinal.	30
Figura 7 - Comparativo para o número de barras de sinal.....	30
Tabela 1 - Dados provenientes de relatórios da Anatel.	23
Tabela 2 - Valores para RSSI.	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ArcGIS Sistema de informação geográfica (Geographic Information System – GIS) software

BBU	Unidade de Banda Base
Gbps	Gigabits por segundo
IA	Inteligência Artificial
IoT	Internet das coisas
IPv6	Internet Protocol version
QGIS	Quantum GIS (software)
SA	Standalone
Volp	Voice over Internet Protocol
ZFM	Zona Franca de Manaus

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1.	Objetivos.....	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	Conectividade e evolução das redes móveis	17
2.2	O que é tecnologia 5G	18
2.3	Tecnologia SA e NSA.....	18
2.4	Características e benefícios do 5G	20
2.5	Panorama Atual de Infraestrutura e Tecnologia de Manaus	22
2.6	Impactos do 5G na Indústria	24
2.7	Avanço da tecnologia 5g em Manaus	25
3	FERRAMENTA OPENSIGNAL	27
3.1	Métricas Avaliadas	27
3.1.1	Velocidade de download e upload.....	27
3.1.2	Latência	27
3.1.3	Disponibilidade de sinal	28
3.1.4	Consistência da conexão.....	28
3.2	Teste realizados em Manaus	29
3.2.1	Resultados no bairro Parque 10 de Novembro.....	31
4	METODOLOGIA	32
4.1	Tipo de pesquisa.....	32
4.2	Procedimentos de coleta de dados	32
4.3	Crítérios de análise.....	33
4.4	Limitações do estudo	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34

5.1	Velocidade de download e upload.....	34
5.2	Latência.....	34
5.3	Disponibilidade de sinal.....	34
5.4	Consistência da conexão	35
5.5	Comparação geral entre os bairros	35
6	REGULAMENTAÇÃO MUNICIPAL DE ANTENAS	36
6.1	Principais Aspectos da Lei Complementar nº 002/2023.....	37
6.2	LEI Nº 6.434, de 18 de Setembro de 2023.....	37
6.3	Relação entre as Leis Municipal e Estadual.....	38
6.4	Impacto da regulamentação na expansão do 5G.....	38
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia 5G representa a quinta geração das redes móveis, oferecendo velocidades de download até 30 vezes superiores ao 4G convencional, menor latência e capacidade para conectar simultaneamente, com uma cobertura de até 1 milhão de aparelhos por quilômetro (ANATEL 2022). Essas características possibilitam avanços significativos em áreas como Internet das Coisas (IoT), realidade aumentada e virtual, além de aplicações em cidades inteligentes e automação industrial.

A implantação do 5G no Brasil enfrenta desafios como a necessidade de atualização da infraestrutura existente, altos investimentos para instalação de novas antenas e a adaptação da legislação, Federal, Estadual e Municipal para permitir a expansão da rede. Além disso, garantir a cobertura em áreas remotas e rurais é uma preocupação, visando a inclusão digital em todo o território nacional.

Antes da chegada do 5G, Manaus operava predominantemente com redes 4G, que ofereciam velocidades e capacidades inferiores. A implementação do 5G na capital amazonense teve início em outubro de 2022, quando as operadoras TIM, Claro e Vivo ativaram suas redes na cidade.

Este trabalho tem como objetivo analisar o aprimoramento da tecnologia 5G, com base em medidas experimentais através de uma das principais ferramentas de análise de desempenho de redes móveis a nível global, no caso o Opensignal. Foi medida a experiência real do usuário, a partir de dados coletados diretamente em dispositivos móveis, oferecendo métricas como velocidade de download e upload, latência, consistência da conexão e disponibilidade de sinal.

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar os desafios do aprimoramento do 5G em Manaus, na perspectiva do usuário final, através das seguintes métricas: Velocidade de download e upload, latência, disponibilidade de sinal, e consistência da conexão.

1.1.2 Objetivos Específicos

Visando atingir o objetivo principal, alguns objetivos específicos são requeridos, entre eles:

- Descrever a tecnologia 5G e suas vantagens, explicando as diferenças entre as arquiteturas 5G Standalone (SA) e 5G Non-Standalone (NSA).
- Identificar os principais desafios técnicos enfrentados na implementação da rede 5G em Manaus, considerando aspectos como infraestrutura existente e densidade de torres e cobertura geográfica.
- Utilizar a plataforma Opensignal como ferramenta de mensuração e análise comparativa da qualidade da experiência de rede móvel em diferentes regiões de Manaus, com foco nas operadoras Claro, Tim e Vivo, a fim de avaliar indicadores como velocidade de download, latência, disponibilidade de sinal e consistência da conexão.
- Analisar as barreiras regulatórias e de licenciamento que impactam a instalação da rede 5G na cidade, levando em conta a legislação local e as exigências das autoridades competentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A crescente demanda por conectividade móvel de alta qualidade tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias que possibilitam a avaliação da performance de redes móveis. Nesse contexto, o OpenSignal surge como uma ferramenta essencial para análise e comparação do desempenho de operadoras móveis em diferentes localidades. Trata-se de uma plataforma global baseada em *crowdsourcing* (colaboração coletiva), que coleta dados reais de usuários sobre a qualidade da rede, incluindo métricas como velocidade de download e upload, latência, tempo de disponibilidade de sinal *uptime* (tempo de atividade) e experiência de vídeo e jogos (Silva, 2022).

No entanto, para garantir um aprimoramento bem-sucedido, será necessário um planejamento cuidadoso, a superação de barreiras regulatórias e a adaptação da infraestrutura existente às novas exigências das redes 5G.

A Opensignal é uma plataforma internacionalmente reconhecida por fornecer dados empíricos sobre a performance real das redes móveis em diversas localidades ao redor do mundo. Diferente de testes conduzidos em ambientes controlados, a ferramenta se baseia em dados coletados diretamente dos dispositivos dos usuários, garantindo maior representatividade e realismo nos resultados.

A cidade de Manaus representa um desafio singular em termos de conectividade, devido à sua geografia, densidade populacional e distância dos grandes centros urbanos do Brasil. Segundo Lima e Ferreira (2023), a distribuição de antenas, a infraestrutura de rede e a topografia influenciam diretamente a qualidade do sinal e da internet móvel.

Diante disso, ferramentas como a Opensignal tornam-se fundamentais para monitorar a efetividade da cobertura móvel na região. Relatórios da plataforma indicam que, apesar de avanços recentes na implantação do 5G, ainda há variações significativas de desempenho entre bairros e operadoras em Manaus.

O uso de dados abertos e independentes da Opensignal promove maior transparência, comparabilidade entre operadoras e a democratização da informação, contribuindo para a formulação de políticas públicas mais eficazes no setor de telecomunicações. Conforme aponta Costa (2021), o acesso a essas informações permite não apenas o monitoramento da qualidade dos serviços, mas também a identificação de áreas com menor cobertura ou desempenho insatisfatório, orientando investimentos e ações regulatórias mais precisas.

Para o aprimoramento da infraestrutura de 5G, é crucial garantir que as antenas sejam instaladas para atender a cobertura do 5G e alcançar um sinal de qualidade. A instalação de

antenas requer uma análise detalhada das áreas de cobertura, com um planejamento minucioso das localizações para garantir uma conectividade contínua.

A infraestrutura digital aprimorada também seria um vetor de desenvolvimento para pequenos e médios empreendedores, que poderiam utilizar as vantagens do 5G para aprimorar seus processos, aumentar sua visibilidade online e acessar mercados mais amplos. A conectividade rápida e estável ajudaria a quebrar barreiras geográficas, permitindo que empresas locais se conectassem a novos consumidores e mercados, tanto no Brasil quanto internacionalmente.

No entanto, em um mundo cada vez mais globalizado e digital, as empresas instaladas na Zona Franca precisam se adaptar às novas exigências de conectividade e inovação tecnológica para manter sua competitividade.

Melhorar a qualidade da rede 5G em Manaus pode ser um fator transformador nesse sentido, fornecendo uma infraestrutura digital que permite aperfeiçoar no quesito de tecnologias avançadas, como a indústria 4.0, a Internet das Coisas (IoT) e a automação industrial. Segundo Sharma (2021), viabilizar o que já existe, buscando o aperfeiçoamento do 5G é crucial para a modernização das indústrias, pois oferece uma maior capacidade de transmissão de dados e permite o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e rápidos, que são essenciais para o aumento da produtividade e redução de custos operacionais.

O 5G não apenas melhora a eficiência energética em termos de consumo imediato, mas também tem um impacto a longo prazo, permitindo uma maior eficiência nos sistemas de comunicação, como os usados em cidades inteligentes, veículos autônomos e IoT. A redução do consumo de energia por meio de redes mais eficientes é essencial, especialmente considerando a crescente preocupação com a sustentabilidade e as mudanças climáticas. O 5G pode, assim, ser uma peça-chave na construção de uma infraestrutura digital mais verde e com menor impacto ambiental, ao mesmo tempo em que promove uma conectividade mais robusta e abrangente, no decorrer será falado dessa eficiência citada pelo autor (Sundararajan, 2020).

2.1 Conectividade e evolução das redes móveis

Desde a primeira geração (1G), que permitia apenas chamadas de voz analógicas, até a quinta geração (5G), as redes móveis evoluíram em velocidade, confiabilidade e capacidade de transmissão de dados. O 2G introduziu as mensagens de texto (SMS) e maior segurança na comunicação. O 3G possibilitou o acesso à internet móvel, e o 4G trouxe altas taxas de

transmissão, tornando possível o uso intensivo de aplicativos, vídeos em alta definição e serviços de streaming.

O 5G surge como um salto tecnológico que supera as limitações das gerações anteriores. Sua principal característica é a alta velocidade, combinada com baixa latência e maior eficiência energética, permitindo uma comunicação quase instantânea e conexões massivas entre dispositivos. Essa nova geração de rede viabiliza a consolidação de cidades inteligentes, veículos autônomos e a Internet das Coisas (IoT), expandindo as possibilidades de inovação tecnológica e industrial.

2.2 O que é tecnologia 5G

Atualmente, muito se discute sobre o 5G e as inúmeras possibilidades que essa tecnologia oferece nos dias atuais. Fala-se em uma revolução completa, onde tudo e todos estarão conectados de maneira inédita. De fato, o novo padrão da telefonia móvel celular traz consigo grandes expectativas, que, no entanto, ainda precisam ser plenamente concretizadas.

A 5G é a quinta geração das tecnologias e padrões de comunicação wireless (sem fio), ou seja, é a rede que será utilizada pelos dispositivos móveis para se conectar à Internet a partir de qualquer lugar. É uma evolução da tecnologia 4G que revolucionou as comunicações e através da qual entramos em um novo terreno: o da hiperconectividade.

Com essas características, o 5G pode ser visto não apenas como uma melhoria nas telecomunicações, mas como uma infraestrutura essencial para a criação de novas oportunidades e soluções para a sociedade, com impactos profundos na economia de Manaus e no cotidiano das pessoas.

2.3 Tecnologia SA e NSA

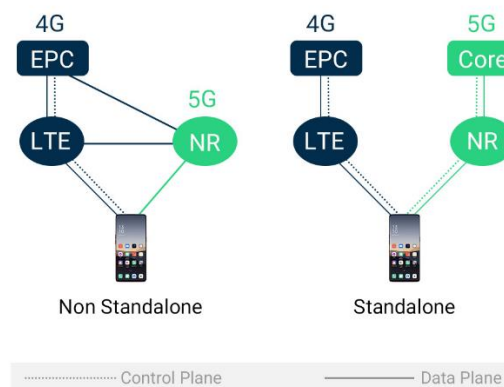


Figura 1 - 5G NSA e SA

<https://c.realme.com/in/post-details/1417760401533194240>

O 5G NSA (*Non-Standalone*) é uma arquitetura que utiliza a infraestrutura existente da rede 4G LTE, mantendo o core network (núcleo da rede) do 4G, enquanto adiciona novos recursos de rádio para oferecer maior velocidade e eficiência na transmissão de dados. Essa abordagem permite que as operadoras implementem o 5G de maneira mais rápida e com menor custo inicial, aproveitando investimentos já realizados em infraestrutura.

No entanto, por depender de uma estrutura híbrida, essa tecnologia não consegue entregar todos os benefícios do 5G puro, como a latência ultrabaixa e a capacidade massiva de conexão para dispositivos IoT.

O 5G SA (*Standalone*) é a versão mais avançada da tecnologia, operando em uma rede totalmente nova, sem dependência da infraestrutura 4G. Esse modelo permite que o 5G atinja seu desempenho máximo, proporcionando baixíssima latência, maior eficiência energética e suporte a aplicações críticas, como veículos autônomos, telemedicina e realidade aumentada.

Porém, a implementação do 5G SA exige altos investimentos na construção de um novo core network, além de um tempo maior para implantação.

	5G SA	5G NSA
Versão	Mais moderna	Mais antiga
Velocidade	Até 20 Gb/s	Até 20 Gb/s Permite agregar velocidades do 4G
Latência	Menor	Maior
Confiabilidade da rede	Maior	Menor
Consumo de energia	Menor	Maior
Infraestrutura	Utiliza núcleo de rede dedicado	Utiliza núcleo da rede 4G
Implementação	Mais lenta e com maior custo	Mais rápida e com menor custo
Compatibilidade de aparelhos	Menor	Maior

Figura 2 - Diferença entre as duas arquiteturas.

https://tecnoblog.net/responde/diferencas-5g-standalone-sa-vs-nsa/?utm_source

A escolha entre 5G NSA e SA impacta diretamente a implementação do 5G em Manaus. Como observado na análise a adoção do modelo NSA permitiu uma rápida ativação da rede, garantindo maior cobertura inicial. No entanto, para alcançar todo o potencial do 5G, será necessária a migração gradual para a arquitetura SA, garantindo maior confiabilidade e suporte a novas aplicações tecnológicas.

Dessa forma, a transição para o 5G completo exigirá investimentos contínuos, parcerias estratégicas e a adaptação das infraestruturas municipais, incluindo a atualização da legislação para facilitar a instalação de antenas e equipamentos compatíveis com a tecnologia *Standalone*.

2.4 Características e benefícios do 5G

A internet 5G é a evolução das redes de comunicações móveis, trazendo grande inovações no que diz respeito ao avanço para as novas gerações, com uma latência menor e maior capacidade para transmitir os dados, sem contar com as inovações, o 5G por sua vez, pode chegar à velocidade entre 1 e 10 Gbps – uma diferença de 100 vezes ou mais em relação ao 4G.

Segundo Hossain (2013) o 5G será a nova tecnologia que irá fornecer todos os tipos de aplicações possíveis, utilizando apenas um dispositivo universal, e interligado a maior parte das infraestruturas de comunicação já existentes.

O mundo está em constante evolução, e a necessidade de conectividade cresce exponencialmente. Com o avanço da Internet das Coisas (IoT), torna-se imprescindível a implementação de um sistema robusto, seguro e de alta velocidade. Para acompanhar esse cenário, é fundamental a adaptação contínua e o aprimoramento das tecnologias, garantindo que a inovação seja plenamente aproveitada para atender às novas demandas.

Essa evolução é especialmente relevante para setores como computação em nuvem, streaming, jogos online e outras aplicações que exigem baixa latência e alto desempenho. À medida que a era digital avança, torna-se essencial investir em infraestrutura e capacitação tecnológica para garantir um progresso sustentável e alinhado às crescentes exigências da sociedade moderna.

- **Maior Velocidade:** As redes 5G podem atingir velocidades de 10 gigabits por segundo, tornando-as dez vezes mais rápidas que as redes 4G. Assim, tarefas que antes eram intensivas, como baixar um filme ou fazer backup de um banco de dados, agora levarão uma fração do tempo.
- **Baixa Latência:** Um dos principais motivos para o salto na velocidade é a baixa latência. A latência é o atraso entre o envio e o recebimento de informações. As redes 4G podem atingir uma latência de aproximadamente 200 milissegundos. Com o 5G, ela é reduzida para um milissegundo.

- Maior Capacidade de Conexões Simultâneas, uma das grandes promessas do 5G é a sua capacidade de conectar um número massivo de dispositivos de maneira eficiente. Estima-se que a 5G possa suportar até 1 milhão de dispositivos por quilômetro quadrado. Como essa capacidade é fundamental para o aprimoramento de "Internet das Coisas" (IoT) em larga escala, especialmente em cidades inteligentes, indústria 4.0 e sistemas de saúde interconectados.
- Eficiência Energética, outro benefício do 5G é a sua eficiência energética. Embora a maior largura de banda e a conectividade de alta densidade demandem mais energia, o 5G promete ser mais eficiente em termos de consumo de energia do que as gerações anteriores, principalmente pela tecnologia de "small cells" que reduzem a necessidade de grandes torres de comunicação e minimizam a perda de sinal. Como observa (Sundararajan, 2020) a otimização da infraestrutura e o design mais eficaz das redes de 5G permitem um consumo de energia mais controlado, o que é essencial em um mundo cada vez mais preocupado com a sustentabilidade.

A chegada da tecnologia 5G pode transformar Manaus em um polo ainda mais competitivo, impulsionando tanto a ZFM quanto o restante da economia local. A conexão ultra-rápida, a baixa latência e a capacidade de suportar um número massivo de dispositivos conectados são características que podem não só melhorar os processos industriais e logísticos, mas também abrir portas para novos setores econômicos. Por exemplo, a indústria 4.0, que integra automação, IoT e inteligência artificial, depende diretamente de redes de alta capacidade e baixa latência, características oferecidas pela rede 5G.

No gráfico abaixo é demonstrado alguns os benefícios que podem ser alcançados e ter com o aprimoramento da internet 5G em Manaus.

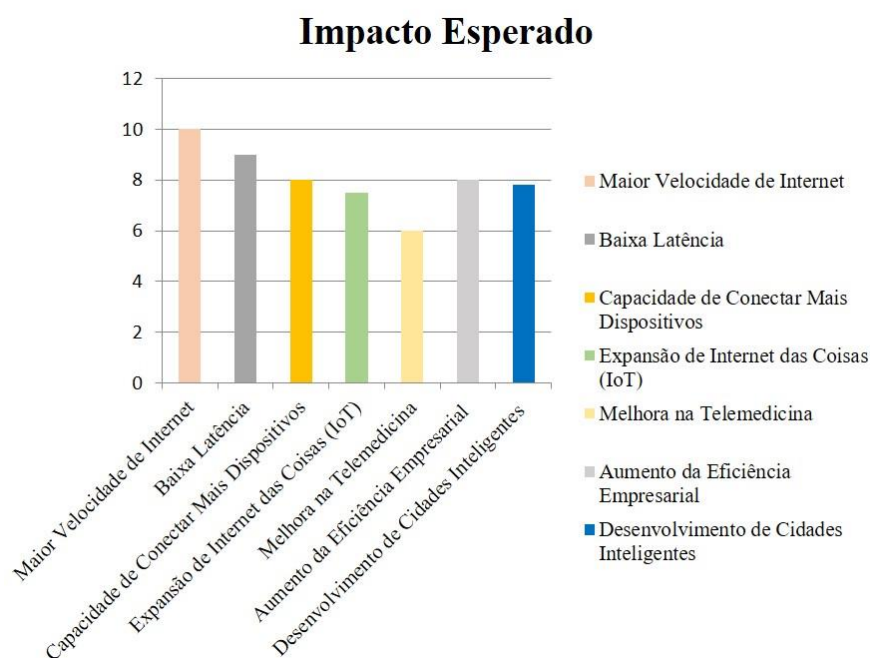


Figura 3 - Impacto esperado

Em geral, a Internet 5G trará benefícios significativos em várias áreas, com destaque para a maior velocidade de internet, a capacidade de conectar mais dispositivos e o desenvolvimento de cidades inteligentes. Porém, a latência baixa e a expansão da IoT também são aspectos importantes. É interessante observar que, embora a telemedicina tenha um impacto menor no gráfico, seu desenvolvimento será essencial à medida que a 5G se espalhar e permitir um avanço mais rápido e eficaz nos cuidados de saúde à distância.

2.5 Panorama Atual de Infraestrutura e Tecnologia de Manaus

A capital do Amazonas é uma cidade em constante crescimento, e pensar de forma prioritária no que diz respeito ao aprimoramento do 5G, é algo primordial. Segundo estudos da ABT-Estudo-Antenas-Manaus, Manaus não possui antenas suficientes para que tenhamos sinais de excelência do 5G, fazendo-se necessário a instalação de antenas que atendam a demanda, para que Manaus se torne um diferencial em tecnologia 5G. Contudo, Manaus possui desafios geográficos e logísticos que dificultam a instalação de uma infraestrutura adequada para o 5G. A cidade está localizada em uma região remota, cercada pela floresta amazônica, e tem acesso limitado a alguns recursos essenciais, como materiais de construção de redes e profissionais especializados. Além disso, a cidade enfrenta questões de transporte e fornecimento de energia elétrica que podem afetar a execução de projetos de grande escala.

Entretanto, mesmo com todos estes aspectos por ventura negativos, no que diz respeito ao ampliamto da tecnologia 5G, Manaus tem se destacado na região Norte do Brasil. A

cidade concentra 98% da cobertura de 5G no estado do Amazonas, com 256 antenas instaladas até fevereiro de 2024. A TIM lidera com 110 antenas, seguida pela Claro com 109 e a Vivo com 77, como mostrado na Tabela 1 (Relatório da Anatel 2024). Vale ressaltar que os dados podem variar conforme as operadoras expandem suas infraestruturas para melhorar a cobertura e a qualidade do serviço 5G em Manaus.

Tabela de distribuição de Antenas por operadoras

Operadora	Quantidade de Antenas	Percentual de Cobertura aproximado	Principais bairros atendidos.
Tim	110	43%	Adrianópolis, Chapada, Dom Pedro, Parque 10 de Novembro
Claro	109	43%	Aleixo, Centro, Compensa, Nossa Senhora das Graças
Vivo	77	30%	Alvorada, Praça 14 de Janeiro, entre outros

Tabela 1 - Dados provenientes de relatórios da Anatel.

A expansão do 5G no interior do Amazonas ainda é limitada. Além de Manaus, apenas cinco cidades no estado do Amazonas possuem cobertura 5G: Manacapuru, Itacoatiara, Silves, Tefé e Manicoré. No entanto, há planos para que 14 municípios recebam o sinal até julho de 2025, incluindo Autazes, Careiro, Iranduba, Itapiranga, Manacapuru, Presidente Figueiredo e Parintins.

No entanto, podemos utilizar ferramentas como QGIS, Google Earth e ArcGIS, sendo que o QGIS e o ArcGIS são sistemas de informação geográfica (SIG). Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), também conhecidos como GIS (Geographic Information System), são ferramentas essenciais para o estudo do espaço natural, permitindo a análise e a representação do ambiente e dos fenômenos que ocorrem nele. O Google Earth, por sua vez, é um aplicativo que possibilita a exploração virtual do mundo, utilizando imagens de satélite, mapas e modelos em 3D. O Google Earth combina imagens de alta resolução com avançada tecnologia de navegação, proporcionando uma experiência única e detalhada de exploração.

Portanto, o objetivo da geolocalização e do mapeamento das áreas de cobertura 5G é realizar uma análise espacial visando identificar regiões onde a cobertura ainda é insuficiente.

Essas ferramentas podem ser empregadas para mapear a infraestrutura existente e para identificar as áreas de maior demanda ou aquelas que mais se beneficiariam com a aprimoramento do 5G em Manaus.

2.6 Impactos do 5G na Indústria

A indústria 4.0, que já tem se consolidado no Brasil e no mundo, pode se expandir de maneira significativa com o 5G. Um dos principais avanços proporcionados por essa tecnologia é a automação em tempo real, que pode ser impulsionada por uma rede de alta velocidade e baixa latência. Isso permite, por exemplo, que fábricas em Manaus implementem sistemas de controle mais precisos, que conectam máquinas e dispositivos em tempo real, otimizando a produção e reduzindo falhas operacionais.

De acordo com a Associação Brasileira de Telecomunicações (Telebrasil), o 5G tem o potencial de aumentar a produtividade da indústria brasileira, uma vez que possibilita o uso intensivo de tecnologias como realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e manutenção preditiva (Telebrasil, 2020). O aprimoramento do 5G em Manaus pode facilitar a criação de fábricas inteligentes, onde sensores e dispositivos IoT monitoram processos e garantem ajustes rápidos, minimizando desperdícios e melhorando o desempenho dos sistemas.

Outro ponto relevante é a capacidade do 5G de apoiar a evolução dos sistemas logísticos. O uso de veículos autônomos e drones para entrega de mercadorias pode ser realizado com maior eficiência, aproveitando a conectividade superior do 5G para garantir a troca rápida de informações entre os sistemas e a coordenação das rotas de transporte.

Manaus, sendo um polo industrial da Zona Franca de Manaus (ZFM), também se beneficia do 5G no fortalecimento de sua competitividade global. A indústria de tecnologia e eletrônicos, por exemplo, pode ser beneficiada pela redução dos custos operacionais e pelo aumento da capacidade de produção com a adoção de processos mais eficientes. A conectividade 5G também pode favorecer o setor de energias renováveis, uma vez que as novas soluções de monitoramento em tempo real e de otimização de consumo energético dependem de uma infraestrutura robusta de telecomunicações.

A obra “A Revolução da Indústria 4.0 e os Impactos do 5G”, oferece um panorama detalhado das possíveis transformações que o 5G pode gerar para a indústria global, com ênfase especial no contexto brasileiro. Segundo Carlos da Silva, especialista em telecomunicações, "O 5G é um divisor de águas para a indústria 4.0, permitindo a integração

de máquinas, sensores e sistemas de forma mais eficiente e com menor latência" (Silva, 2022, pág. 148).

Portanto, a tecnologia não é apenas um avanço em termos de conectividade, mas sim um agente de mudança fundamental na forma como as indústrias operam, favorecendo a inovação, a competitividade e o desenvolvimento econômico sustentável.

Contudo, pode-se afirmar que o impacto do 5G em Manaus vai além das fronteiras de conectividade, mas como um patamar que irá engrandecer a indústria, afetando positivamente a economia regional.

O aprimoramento de infraestrutura 5G é capaz de criar novos empregos, estimular investimentos e atrair empresas do setor de tecnologia e inovação, consolidando Manaus como uma cidade que evolui com a tecnologia, buscando se tornar uma potência de inovação na região Norte, além de infraestrutura, o aprimoramento do 5G requer investimentos significativos em novas antenas, fibras ópticas e equipamentos, e a segurança devido se ter mais dispositivos conectados, aumentando a preocupação com a segurança cibernética e a proteção de dados, e avançando para garantir que a tecnologia 5G seja acessível a todos, independentemente de localização ou condição socioeconômica, é um desafio global.

2.7 Avanço da tecnologia 5g em Manaus

Manaus tem avançado significativamente na implementação da tecnologia 5G, destacando-se como a capital mais avançada na região Norte do Brasil. De acordo com dados da Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), o estado do Amazonas conta com 423 antenas de 5G instaladas, sendo 406 delas em Manaus. (Crítica)

A cidade foi reconhecida como "Cidade Amiga do 5G" devido aos esforços em infraestrutura e legislação favorável à tecnologia. Em outubro de 2022, o serviço 5G foi parcialmente ativado em Manaus, beneficiando setores como educação, saúde, indústria e entretenimento.

No entanto, é importante notar que, apesar dos avanços, o 5G ainda não atende plenamente as indústrias. De acordo com a associação de operadoras Conexis, não há antenas 5G destinadas às empresas do Polo Industrial de Manaus.

Além disso, o 5G está sendo explorado em projetos nas áreas de saúde, mobilidade urbana e segurança, visando melhorar a qualidade de vida na cidade. (Comunicação)

Em síntese, Manaus está na vanguarda da adoção do 5G na região Norte, com investimentos em infraestrutura e iniciativas que buscam integrar a tecnologia aos diversos

setores da sociedade, embora ainda haja desafios a serem superados para uma implementação completa.

3 FERRAMENTA OPENSIGNAL

A Opensignal é uma empresa internacional de análise de redes móveis que utiliza dados coletados de forma colaborativa (crowdsourcing) diretamente de dispositivos móveis com o aplicativo da plataforma instalado. Essa abordagem permite que as medições reflitam a experiência real do usuário final, em vez de dados obtidos apenas em ambientes de teste ou simulados.

A plataforma foi criada com o objetivo de tornar a análise da qualidade de rede mais transparente, democrática e útil para consumidores, operadoras, órgãos reguladores e pesquisadores.

A plataforma utiliza crowdsourcing (coleta colaborativa de dados) para reunir informações sobre diferentes métricas de desempenho de rede, como:

- Velocidade de download e upload
- Latência (tempo de resposta)
- Disponibilidade de sinal
- Consistência da conexão

Os dados são anonimizados e agregados para gerar relatórios e rankings que ajudam operadoras, reguladores, empresas de telecomunicações e o público a entender o desempenho das redes em determinadas regiões o gráfico abaixo demonstra essa comparação.

3.1 Métricas Avaliadas

3.1.1 Velocidade de download e upload

Indicam a taxa de transmissão de dados, expressa em megabits por segundo (Mbps). A velocidade de download mede a recepção de dados; a de upload, o envio. Essas métricas determinam a eficiência da rede em tarefas como videoconferência, streaming e compartilhamento de arquivos.

3.1.2 Latência

A latência é o tempo (em milissegundos) que um pacote de dados leva para ir do dispositivo até o servidor e retornar. Quanto menor a latência, mais rápida é a resposta da rede — fator essencial para jogos online, telemedicina e controle remoto de dispositivos.

3.1.3 Disponibilidade de sinal

Mede o percentual de tempo em que o usuário permanece conectado à rede. Reflete a estabilidade e continuidade do serviço, sendo influenciada por fatores geográficos e pela densidade de antenas. É avaliada em conjunto com a consistência da conexão através do indicador RSSI (Received Signal Strength Indicator). O RSSI mede a potência total recebida pela antena de um dispositivo em uma dada largura de banda. Essa potência recebida inclui ruídos, potência da célula em serviço, e interferências. No aplicativo da OpenSignal, os valores medidos da RSSI são mostrados em 5 barras crescentes, onde a menor à esquerda indica baixa potência recebida do sinal, e a maior à direita, indica alta potência recebida do sinal. Os níveis em dBm correspondentes para cada barra é mostrado na Tabela 2.

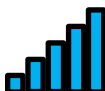




Barras	RSSI	Potência do sinal	Descrição
	> -65 dBm	Excelente	Sinal forte com velocidades máximas de conexão.
	-65 dBm até -75 dBm	Bom	Sinal forte com boas velocidades de conexão.
	-75 dBm até -85 dBm	Satisfatória	Altas taxas de dados ainda podem ser obtidas, mas queda de conexão é possível.
	-85 dBm até -95 dBm	Baixa	Desempenho irá cair drasticamente.
	\leq -95 dBm	Muito baixa	Conexão pode encerrar.

Tabela 2 - Valores para RSSI.

3.1.4 Consistência da conexão

Avalia o quanto a rede mantém desempenho estável durante o uso. Uma conexão consistente permite streaming em HD, chamadas VoIP e navegação contínua, sem quedas perceptíveis.

3.2 Teste realizados em Manaus

Com o objetivo de analisar a qualidade da conectividade móvel em dois pontos específicos da cidade de Manaus/AM, foram realizados testes de desempenho de rede utilizando a plataforma Opensignal.

Os testes foram aplicados em dois bairros com características urbanas distintas: Jorge Teixeira, localizado na Zona Leste, com infraestrutura mista e predominância residencial; e Parque 10 de Novembro, situado na região central, com maior presença de áreas comerciais e cobertura reforçada por redes móveis. Os resultados são demonstrados nas Figuras 4-7.

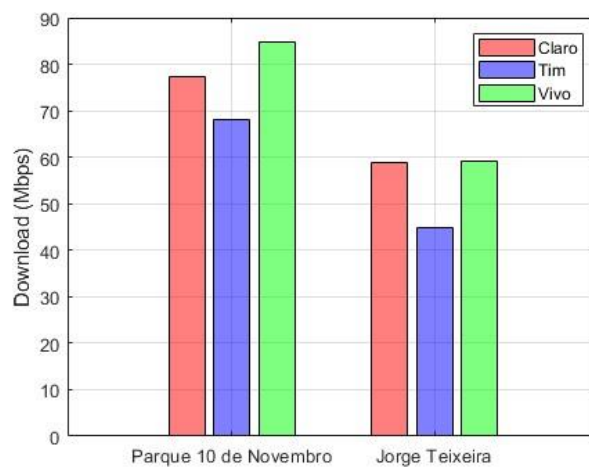


Figura 4 - Comparativos para velocidade de dados durante download.

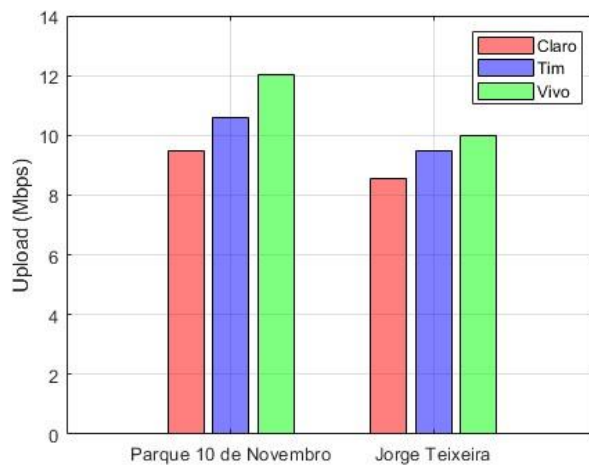


Figura 5 - Comparativos para velocidade de dados durante upload.

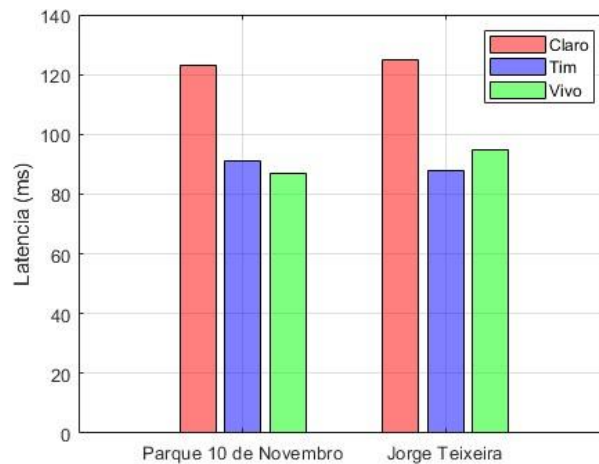


Figura 6 - Comparativo para latência do sinal.

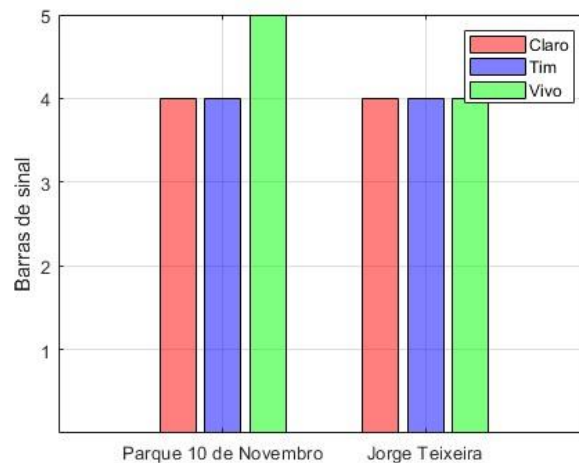


Figura 7 - Comparativo para o número de barras de sinal.

No bairro Jorge Teixeira, localizado na zona leste de Manaus e caracterizado por uma densa população e infraestrutura urbana em expansão, os testes indicaram uma performance moderada das redes móveis. A Vivo obteve a melhor taxa de download com 59,11 Mbps, seguida pela Claro com 58,85 Mbps, e pela TIM com 44,87 Mbps. Os resultados mostram um equilíbrio entre as operadoras Vivo e Claro, com uma ligeira vantagem da primeira. Entretanto, a TIM demonstrou uma performance consideravelmente inferior, o que pode indicar limitações na cobertura ou na capacidade da infraestrutura instalada nessa região específica.

3.2.1 Resultados no bairro Parque 10 de Novembro

Por outro lado, no bairro Parque 10, uma das áreas mais centrais e comerciais da cidade, a performance das redes móveis foi significativamente superior. A operadora Claro destacou-se de forma expressiva com uma velocidade de download de 123 Mbps, seguida pela TIM com 91 Mbps e pela Vivo com 87 Mbps. Esses números revelam uma tendência de maior investimento e infraestrutura mais robusta por parte das operadoras em regiões de maior circulação econômica e comercial. A vantagem da Claro nesse bairro é notável e sugere um posicionamento estratégico da operadora em áreas de alto tráfego de dados.

Ao comparar os dois bairros, nota-se uma diferença substancial nas velocidades médias de download. Enquanto no Jorge Teixeira a média entre as três operadoras é de 54,27 Mbps, no Parque 10 a média sobe para 100,33 Mbps — um aumento de aproximadamente 84,9%. Esse dado reforça a disparidade na qualidade da conectividade móvel entre regiões periféricas e centrais de Manaus, o que pode ser interpretado como um reflexo das desigualdades de infraestrutura digital urbana.

Esses resultados evidenciam a importância de políticas públicas e investimentos que visem à equidade digital entre os bairros da cidade. A conectividade de qualidade deve estar presente em todas as regiões da cidade, independentemente de sua localização geográfica, pois o acesso eficiente à internet móvel é essencial para atividades cotidianas, profissionais e educacionais. Estudos como os realizados pela Opensignal são fundamentais para identificar variações no desempenho das operadoras, contribuindo para o aprimoramento contínuo das redes móveis e para o planejamento estratégico de investimentos por parte das empresas de telecomunicações e dos órgãos reguladores.

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi elaborada para compreender os desafios e oportunidades do aprimoramento da infraestrutura 5G em Manaus, com base em dados reais e análises qualitativas. O estudo buscou unir fundamentos teóricos com observações práticas obtidas por meio da ferramenta OpenSignal.

4.1 Tipo de pesquisa

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória e descritiva de abordagem qualitativa, com elementos quantitativos derivados das medições realizadas. A pesquisa exploratória possibilitou identificar fatores que influenciam a qualidade da rede 5G em diferentes regiões da cidade, enquanto a abordagem descritiva permitiu interpretar e organizar os resultados de forma comparativa.

De acordo com Gil (2008), a pesquisa exploratória é apropriada quando se busca compreender um fenômeno ainda pouco estudado. Assim, este trabalho visa analisar como infraestrutura, geografia urbana e políticas públicas interferem na efetividade da conectividade móvel em Manaus.

4.2 Procedimentos de coleta de dados

Os dados empíricos foram obtidos por meio da plataforma OpenSignal. Como ferramenta complementar, foi empregado o Speedtest by Ookla para validação das métricas de velocidade e latência, assegurando maior confiabilidade aos resultados.

As métricas avaliadas foram:

- Velocidade de download e upload (Mbps);
- Latência (ms);
- Disponibilidade de sinal (%);
- Consistência da conexão.

Os testes ocorreram em dois bairros de Manaus com perfis distintos:

- Jorge Teixeira – Zona Leste, de alta densidade populacional e infraestrutura irregular;
- Parque 10 de Novembro (Parque 10) – Zona Centro-Sul, com infraestrutura consolidada e maior presença de antenas.
- As medições foram feitas em horários de pico e fora de pico, com condições semelhantes de tráfego e ambiente, a fim de minimizar variações externas.

4.3 Critérios de análise

Para garantir comparabilidade e consistência, foram definidos os seguintes critérios de análise entre as operadoras Claro, TIM e Vivo:

- Média aritmética das velocidades de download e upload;
- Tempo médio de latência (ms);
- Percentual de disponibilidade de sinal 5G;
- Índice de consistência da conexão durante uso contínuo.

Esses parâmetros refletem diretamente a experiência do usuário final e possibilitam avaliar a qualidade do serviço de forma objetiva e mensurável.

4.4 Limitações do estudo

Algumas limitações foram identificadas:

- Os testes restringiram-se a dois bairros, o que limita a generalização dos resultados;
- Fatores como clima, interferência eletromagnética e tráfego simultâneo podem ter afetado pontualmente as medições;
- A coleta via OpenSignal depende da quantidade de usuários ativos em cada área, o que influencia a densidade da amostragem.

Mesmo com essas limitações, os resultados obtidos são representativos e confiáveis, fornecendo uma visão clara sobre a qualidade da rede 5G em Manaus e os desafios de sua expansão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados a seguir analisam o desempenho das operadoras móveis em Manaus, considerando as métricas de velocidade de download e upload, latência, disponibilidade de sinal e consistência da conexão, nos bairros Jorge Teixeira e Parque 10 de Novembro.

5.1 Velocidade de download e upload

No bairro Jorge Teixeira, a média de velocidade de download foi de 54,27 Mbps, com destaque para a Vivo (59,11 Mbps), seguida da Claro (58,85 Mbps) e da TIM (44,87 Mbps).

Já no Parque 10 de Novembro, o desempenho foi superior: Claro (123 Mbps), TIM (91 Mbps) e Vivo (87 Mbps).

A diferença de cerca de 85% entre as médias dos dois bairros demonstra a disparidade de infraestrutura. Áreas centrais, com maior densidade de antenas e melhor planejamento urbano, oferecem conectividade muito mais eficiente.

No upload, o Parque 10 de Novembro também apresentou desempenho superior e mais estável, refletindo melhor capacidade de tráfego e menor interferência.

Essas medições permitem identificar como fatores como infraestrutura, densidade populacional e localização geográfica afetam a qualidade do serviço 5G, além de evidenciar desigualdades digitais entre áreas centrais e periféricas.

5.2 Latência

A latência média no Jorge Teixeira variou de 95 a 125 ms, enquanto no Parque 10 de Novembro ficou entre 87 e 123 ms. Embora os valores sejam próximos, o desempenho mais estável no Parque 10 de Novembro mostra menor variação na resposta da rede. A baixa latência é essencial em aplicações que exigem tempo de resposta imediato, como telemedicina e jogos em nuvem.

As diferenças encontradas indicam que o desempenho do núcleo de rede é satisfatório, mas poderia ser aprimorado com mais servidores locais e otimização do roteamento.

5.3 Disponibilidade de sinal

No Parque 10 de Novembro, todas as operadoras apresentaram alta disponibilidade de sinal, com médias acima de 95%.

No Jorge Teixeira, a cobertura manteve-se estável, mas com pequenas variações, especialmente em áreas de relevo acentuado.

Essas diferenças refletem a influência da densidade de antenas e da capacidade de tráfego simultâneo.

A ampliação da infraestrutura em áreas periféricas é fundamental para reduzir essas discrepâncias e assegurar acesso equitativo à conectividade.

5.4 Consistência da conexão

A consistência mede a estabilidade da rede em uso contínuo. No Parque 10 de Novembro, as medições apresentaram alta estabilidade e baixa oscilação, enquanto no Jorge Teixeira houve flutuações mais intensas, especialmente nas operadoras TIM e Vivo. Isso indica que a saturação da rede e a quantidade de usuários simultâneos impactam diretamente a experiência do usuário. Regiões com menor investimento em infraestrutura tendem a apresentar quedas momentâneas e velocidades irregulares.

5.5 Comparação geral entre os bairros

De modo geral, o Parque 10 de Novembro apresentou melhor desempenho em todas as métricas.

A diferença de 84,9% na velocidade média, aliada à latência menor e consistência superior, reforça a necessidade de políticas que priorizem a expansão equilibrada do 5G.

Os resultados revelam que o 5G em Manaus encontra-se em processo de consolidação, com avanços relevantes, mas ainda enfrenta desafios estruturais e regulatórios que precisam ser superados para atingir seu potencial máximo de cobertura e desempenho.

6 REGULAMENTAÇÃO MUNICIPAL DE ANTENAS

A Lei Municipal 17/2022 e sua atualização pela Lei Municipal 002/2023 são marcos importantes no processo de regulamentação e implementação da tecnologia 5G no município de Manaus, Amazonas. Essas legislações estabelecem diretrizes que visam facilitar a instalação da infraestrutura necessária para a expansão da conectividade 5G, ao mesmo tempo que promovem a inclusão digital e o desenvolvimento econômico e social da cidade. Lei Municipal 17/2022 foi criada com o objetivo de regular e estruturar a implementação da tecnologia 5G em Manaus. Entre as principais disposições dessa lei, destacam-se: Simplificação dos Processos Regulatórios. (Municipais)

A Lei 17/2022 determina a agilidade nos processos de licenciamento para a instalação de antenas e infraestrutura necessária ao 5G. Essa simplificação visa reduzir a burocracia, permitindo que as operadoras cumpram com os prazos estabelecidos para o uso da tecnologia.

- **Revogação de dispositivos anteriores:** A lei revoga os incisos I e IV do §1º do art. 46, o art. 49, o art. 50, o art. 53 e os incisos XIV e XXIII do §1º do art. 93 da Lei nº 1.838. LegisWeb
- **Diretrizes para instalação:** A lei define critérios para a instalação de ERBs, incluindo restrições de localização, compartilhamento de infraestrutura e a necessidade de qualificação das vias urbanas, visando minimizar impactos ambientais e garantir a segurança e o conforto dos pedestres.

Os instrumentos previstos na Lei Municipal 17/2022 e sua atualização para a 002/2023 têm impacto direto na viabilização e expansão do 5G em Manaus. Ao reduzir a burocracia e promover parcerias estratégicas entre o setor público e privado, a nova legislação possibilita que operadoras – como a Claro – acelerem a implantação de redes com maior cobertura, menor latência e maior qualidade de serviço.

Em síntese, a Lei Municipal 17/2022 e sua atualização para a 002/2023 configuram instrumentos essenciais para a transformação digital de Manaus. Ao simplificar processos e estabelecer critérios claros para a instalação de redes e antenas, tais normativas promovem a expansão do 5G e estimulam a modernização tecnológica.

Lei Complementar nº 002/2023: Sancionada pela Prefeitura de Manaus em 1º de junho de 2022, esta lei estabelece critérios para a instalação de antenas 5G na capital amazonense. A legislação visa agilizar o processo de licenciamento, permitindo, por exemplo, que as antenas 5G sejam acopladas às estruturas já existentes das antenas 4G, adaptando-as para o novo

serviço. Além disso, o licenciamento autodeclaratório foi implementado, reduzindo o prazo de liberação para até dois dias, em contraste com os 60 dias anteriormente necessários.

6.1 Principais Aspectos da Lei Complementar nº 002/2023

- **Redução do Prazo de Licenciamento:** A lei reduz significativamente o prazo para o licenciamento de novas antenas, de 60 dias para até 48 horas. Essa mudança busca agilizar a expansão da rede 5G em Manaus, permitindo uma adaptação mais rápida às demandas tecnológicas atuais.
- **Aproveitamento de Infraestrutura Existente:** A legislação autoriza que as novas antenas 5G sejam acopladas às estruturas já existentes das antenas 4G, facilitando a transição entre as tecnologias e otimizando os recursos disponíveis.
- **Isenção de Taxas na Zona Rural:** O licenciamento para a instalação de antenas na zona rural de Manaus não será cobrado, incentivando a expansão da conectividade em áreas menos urbanizadas.

6.2 LEI Nº 6.434, de 18 de Setembro de 2023

- Art 1º Esta Lei dispõe sobre diretrizes para a viabilização de tecnologias de conectividade digital em favor da chegada de tecnologias de quinta geração - 5G, para a economia digital da indústria 4.0, comércio e serviço no âmbito do Estado do Amazonas.
- § 1º As tecnologias digitais a que se refere o caput se caracterizam por incorporarem o uso da internet em processos de economia digital favoráveis à produção da Indústria 4.0, comercialização, distribuição e prestação de serviços.
- § 2º Considera-se economia digital aquela baseada em tecnologias de computação digital, caracterizada por incorporar a internet, as tecnologias e os dispositivos digitais, incluídas as mídias digitais, nos processos de produção, na comercialização ou na distribuição de bens e na prestação de serviços.
- § 3º Considera-se indústria 4.0 as aplicações de tecnologias digitais no âmbito da automação na indústria, tendo como principais características a integração de sistemas inteligentes capazes de realizar análises e ações por meio de automação.

6.3 Relação entre as Leis Municipal e Estadual

A relação entre essas duas legislações reside no fato de que ambas visam à expansão e melhoria da infraestrutura de telecomunicações no estado do Amazonas, especialmente em Manaus. Enquanto a lei estadual nº 6.434 foca na promoção do 5G em nível estadual, a lei complementar nº 17 detalha os procedimentos municipais para a instalação de ERBs, fundamentais para a implementação do 5G. Portanto, a lei municipal complementa a estadual ao regulamentar aspectos específicos da infraestrutura necessária para a expansão da conectividade digital no município.

6.4 Impacto da regulamentação na expansão do 5G

A simplificação do licenciamento e o aproveitamento de infraestrutura existente reduziram significativamente custos e prazos de implantação.

A política de isenção de taxas em áreas rurais contribui para ampliar a cobertura e diminuir desigualdades digitais, beneficiando populações antes excluídas do acesso à internet de alta velocidade.

Com essas medidas, Manaus se consolida como uma cidade modelo na implantação do 5G, promovendo um ambiente favorável à inovação e ao desenvolvimento sustentável.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aprimoramento do 5G em Manaus representa um marco na transformação tecnológica da cidade. Os resultados obtidos confirmam avanços expressivos, mas também apontam desafios estruturais e geográficos que precisam ser enfrentados para a consolidação plena dessa tecnologia.

As análises realizadas com a ferramenta OpenSignal demonstraram diferenças significativas de desempenho entre os bairros Parque 10 de Novembro e Jorge Teixeira, evidenciando a influência da densidade de antenas e da infraestrutura local na qualidade da conectividade.

Enquanto o Parque 10 de Novembro apresentou melhores resultados em todas as métricas, o Jorge Teixeira revelou desigualdades de cobertura e estabilidade.

Essas diferenças reforçam a importância de investimentos equilibrados e políticas de inclusão digital que garantam o acesso equitativo à tecnologia.

As leis municipais e estaduais analisadas mostraram-se decisivas para acelerar o licenciamento e ampliar a infraestrutura, favorecendo um ecossistema mais moderno e integrado.

Dessa forma, conclui-se que a consolidação do 5G em Manaus depende da cooperação entre operadoras, poder público e instituições de pesquisa, com foco na expansão justa e sustentável da conectividade.

O 5G tem potencial para impulsionar a indústria, a economia digital e a qualidade de vida na capital amazonense, tornando-se um pilar estratégico para o desenvolvimento regional e a inserção de Manaus na era das cidades inteligentes.

REFERÊNCIAS

ANTENESE. Estudo Antenas Manaus – V1. 2024. Disponível em: <https://antene.org.br>. Acesso em: 10 fev. 2025.

ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Entenda o 5G: a nova geração de redes móveis. Brasília: ANATEL, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5g>. Acesso em: 22 out. 2025.

A CRÍTICA. Manaus concentra 98% da cobertura de internet 5G no Amazonas. 2024. Disponível em: <https://www.acritica.com/geral/manaus-concentra-98-da-cobertura-de-internet-5g-no-amazonas-1.331181>. Acesso em: 11 fev. 2025.

BNC DO AMAZONAS. Prefeito assina lei que prepara Manaus para a tecnologia 5G. 2025. Disponível em: <https://bncamazonas.com.br/municipios/prefeito-assina-lei-que-prepara-manaus-para-a-tecnologia-5g>. Acesso em: 10 fev. 2025.

BAGGIO, Rodrigo. A sociedade da informação e a infoexclusão. *Ciência da Informação*, v. 29, n. 2, p. 16–21, 2000.

BONOMI, F.; MILANI, L.; RIZZO, A. 5G and Digital Inclusion in Brazil: Challenges and Opportunities. *Journal of Communication Technologies*, 2020.

CARVALHO, F.; SCOTTO, G. *Conflitos socioambientais no Brasil*. Rio de Janeiro: [s.n.], 1995. v. 1.

CASTELLS, Manuel. *A era da informação: economia, sociedade e cultura*. v. 1: O poder da identidade. São Paulo: Paz e Terra, 1999.

CASTELLS, Manuel. *A galáxia da Internet: reflexões sobre a Internet, os negócios e a sociedade*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

CAVALHERI, Paulo. Fórum discute tecnologias inteligentes. Campinas: Unicamp, maio 2015. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/noticias/2015/05/21/forum-discute-tecnologias-paracidades-inteligentes>.

COSTA, João M. Inclusão digital e qualidade de redes móveis no Brasil. São Paulo: Editora Conectiva, 2021.

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

G1. Lei que regulariza tecnologia 5G em Manaus é sancionada. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/2022/06/01/lei-que-regulariza-tecnologia-5g-em-manaus-e-sancionada.ghtml>. Acesso em: 10 fev. 2025.

GOMES, Rafael. A revolução da Indústria 4.0 e os impactos do 5G. São Paulo: FGV Editora, 2022.

HOMAYOUNI, S. et al. Design and development of private 5G standalone network for vertical industries. In: INTERNATIONAL WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING CONFERENCE (IWCMC), 2023.

HOSSAIN, S. 5G Wireless Communication Systems. American Journal of Engineering Research (AJER), v. 2, 2013.

KDDI. KDDI receives global awards from Opensignal for network excellence. 2025. Disponível em: https://newsroom.kddi.com/english/news/detail/kddi_nr-495_3771.html. Acesso em: 30 jun. 2025.

LIMA, André S.; FERREIRA, Cláudia M. Desafios de infraestrutura em redes móveis na Amazônia. Revista de Engenharia e Tecnologia Aplicada, v. 8, n. 2, p. 112–130, 2023.

LUCAS, Santos. Manaus concentra 98% na cobertura da internet 5G no Amazonas. A Crítica, 7 fev. 2024. Disponível em: <https://www.acritica.com/geral/manaus-concentra-98-da-cobertura-de-internet-5g-no-amazonas-1.331181>. Acesso em: 4 fev. 2025.

MINAYO, Maria Cecília de Souza (Org.). Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 33. ed. Petrópolis: Vozes, 2013.

NORDRUM, A.; CLARK, K. With massive MIMO, future 5G networks will be able to cram more data onto the same amount of spectrum. IEEE Spectrum, 2017. Disponível em: <https://spectrum.ieee.org/5g-bytes-massive-mimo-explained>. Acesso em: 16 jan. 2025.

OLIVEIRA, O. S. de C. Impacto da tecnologia 5G nos aspectos econômicos, legais e sociais globais. *Revista Economia*, v. 10, 2021.

OPENSIGNAL. Closing 2024 and looking ahead to 2025. 2024. Disponível em: <https://www.opensignal.com/2024/12/19/closing-2024-and-looking-ahead-to-2025>. Acesso em: 30 jun. 2025.

RCR WIRELESS. Opensignal 5G experience improves across all US carriers. 2025. Disponível em: <https://www.rcrwireless.com/20250108/5g/5g-opensignal>. Acesso em: 30 jun. 2025.

REDDIT. Opensignal global ranking discussion thread. 2025. Disponível em: <https://www.reddit.com/r/Nok/comments/1id4akt>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SEVERINO, Antônio Joaquim. *Metodologia do trabalho científico*. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2017.

SILVA, Bruna T.; OLIVEIRA, Renato P. *Redes móveis: teoria, prática e desafios no Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

SHARMA, M.; CHHETRI, P. *Small Cells in 5G Networks: Implementation and Deployment Strategies*. *International Journal of Communication Systems*, 2021.

SOYACINCAU. Opensignal: Malaysia's network quality dips in global ranking. 2025. Disponível em: <https://soyacincgau.com/2025/04/28/opensignal-malaysia-global-network-4g-5g-excellent-index>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SUNDARARAJAN, A. et al. *Energy Efficiency in 5G Networks*. [S.l.: s.n.], 2020.

TELEBRASIL. *O impacto do 5G na economia brasileira*. 2020. Disponível em: <https://www.telebrasil.org.br>. Acesso em: 16 jan. 2025.

TRAN, Tuyen X. *Modelos de otimização e desempenho em redes 5G*. Arxiv, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1602.02178>. Acesso em: 10 fev. 2025.