



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus Campina Grande
Curso Superior de Bacharelado em Engenharia de Computação

ANÁLISE DA COBERTURA E INTENSIDADE DE SINAL DA REDE WI-FI DO IFPB

WESLEY WILSON ALMEIDA ARAÚJO

Orientador: Éwerton Rômulo Silva Castro
Coorientador: Átila de Souza Medeiros

Campina Grande
Julho de 2026



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
Campus Campina Grande
Curso Superior de Bacharelado em Engenharia de Computação

ANÁLISE DA COBERTURA E INTENSIDADE DE SINAL DA REDE WI-FI DO IFPB

WESLEY WILSON ALMEIDA ARAÚJO

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Engenharia de Computação do IFPB
- Campus Campina Grande, como requisito
parcial para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Computação.

Orientador: Éwerton Rômulo Silva Castro
Coorientador: Átila de Souza Medeiros

Campina Grande
Julho de 2026

Catlogação na fonte:
Ficha catalográfica elaborada por Thiago Ferreira Cabral de Oliveira – CRB 15/628

A658a ARAUJO, Wesley Wilson Almeida.

Análise da cobertura e intensidade de sinal da rede Wi-Fi do IFPB / Wesley Wilson Almeida Araújo. - Campina Grande, 2026.

61 f.

Monografia (Graduação em Bacharelado em Engenharia de Computação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, 2026.

Orientador: Prof. Éwerton Rômulo Silva Castro.

Coorientador: Prof. Átila de Souza Medeiros. .

1. C o b e r t u r a d e R e d e s . 2. wifi. 3. IFPB I.I. Castro, Éwerton Rômulo Silva. II. Medeiros, Átila de Souza. III. Instituto | | Federal da Paraíba. IV. Título.

CDU 004.7

ANÁLISE DA COBERTURA E INTENSIDADE DE SINAL DA REDE WI-FI DO IFPB

WESLEY WILSON ALMEIDA ARAÚJO

Dr. Éwerton Rômulo Silva Castro
Orientador

Dr. Paulo Ribeiro Lins Júnior
Membro da Banca

Dr. Anderson Fabiano Batista Ferreira da Costa
Membro da Banca

Campina Grande, Paraíba, Brasil
Julho de 2026

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido saúde, força e sabedoria para superar todos os desafios ao longo desta jornada acadêmica.

À minha noiva, Ana Beatriz Nogueira Silva, pelo amor incondicional, pela paciência comigo e por me ajudar a evoluir todos os dias, sendo sempre o meu maior incentivo em todos os momentos.

À minha família, por ser a minha base sólida e por ter me proporcionado tudo nesta vida. O apoio constante e por acreditarem nos meus sonhos desde o princípio tornaram esta conquista possível.

Aos meus professores, que foram peças fundamentais na minha formação profissional. Agradeço pela paciência, dedicação e por compartilharem seus conhecimentos de forma tão generosa ao longo de todo o curso.

Aos meus amigos do IFPB, que estiveram ao meu lado durante toda essa caminhada. Obrigado por compartilharem os desafios e por fazerem com que essa conquista fosse muito mais leve e divertida.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), instituição que me acolheu desde o ensino médio e foi o grande cenário do meu desenvolvimento pessoal e acadêmico até a graduação.

A todos que, de forma direta ou indireta, torceram por mim e contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

Resumo

A evolução contínua das tecnologias de comunicação consolidou o Wi-Fi (*Wireless Fidelity* - Fidelidade sem fio) como um padrão essencial para a conectividade global. A infraestrutura de rede sem fio em ambientes acadêmicos enfrenta desafios constantes devido à alta quantidade de usuários e à diversidade de dispositivos conectados simultaneamente. Isso exige um monitoramento contínuo para garantir que os parâmetros de QoS (*Quality of Service* - Qualidade de Serviço) atendam às necessidades das atividades de ensino, pesquisa e extensão. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo geral avaliar a intensidade de sinal e a cobertura da rede Wi-Fi do IFPB (Instituto Federal da Paraíba) e propor melhorias técnicas. A metodologia adotada caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, exploratória e descritiva, conduzida sob a forma de um estudo de caso com abordagem mista. Os procedimentos abrangem o levantamento topográfico para o mapeamento da cobertura, a identificação de zonas de sombra por meio da aferição da potência de sinal, além do mapeamento espacial da intensidade do sinal para a avaliação minuciosa da cobertura em toda a extensão do campus. Com o diagnóstico detalhado, fornecem-se contribuições baseadas em dados reais para o planejamento estratégico do setor de Tecnologia da Informação. Dessa forma, buscou-se otimizar a infraestrutura e a experiência de conectividade da comunidade escolar, substituindo os ajustes baseados em tentativa e erro por intervenções tecnicamente fundamentadas.

Palavras-chave: Wi-Fi. IFPB. Cobertura de rede. Mapeamento de cobertura.

Abstract

The continuous evolution of communication technologies has consolidated Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) as an essential standard for global connectivity. The wireless network infrastructure in academic environments faces constant challenges due to the high number of users and the diversity of devices connected simultaneously. This requires continuous monitoring to ensure that QoS (*Quality of Service*) parameters meet the needs of teaching, research, and extension activities. In this context, the general objective of this work is to evaluate the signal strength and coverage of the Wi-Fi network at IFPB (*Instituto Federal da Paraíba*) and propose technical improvements. The adopted methodology is characterized as applied, exploratory, and descriptive research, conducted as a case study with a mixed-methods approach. The procedures encompass a topographic survey for coverage mapping, the identification of dead zones through signal strength measurement, as well as the spatial mapping of signal strength for a detailed evaluation of coverage throughout the campus. With the detailed diagnosis, contributions based on real data are provided for the strategic planning of the Information Technology sector. Thus, the study sought to optimize the infrastructure and the connectivity experience of the academic community, replacing trial-and-error adjustments with technically grounded interventions.

Keywords: Wi-Fi. IFPB. Network coverage. Coverage mapping.

Lista de Abreviaturas

AP	<i>Access Point - Ponto de acesso</i>
CAD	<i>Computer Aided Design - Desenho Auxiliado por Computador</i>
CSMA/CA	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance - Acesso Múltiplo com Verificação de Portadora e Prevenção de Colisões</i>
CTI	<i>Coordenação de Tecnologia de Informação</i>
dB	<i>Decibel</i>
dBm	<i>Decibel-miliwatt</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum - Espectro de Espalhamento de Sequência Direta</i>
FHSS	<i>Frequency-Hopping Spread Spectrum - Espectro de Espalhamento por Salto de Frequência</i>
Gbps	<i>Gigabits per second - Gigabits por segundo</i>
IDW	<i>Inverse Distance Weighting - Inverso da Distância Ponderada</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos</i>
IFPB	<i>Instituto Federal da Paraíba</i>
IoT	<i>Internet of Things - Internet das Coisas</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical – Industrial, Científica e Médica</i>
LOS	<i>Line-of-Sight - Visão direta</i>
MAC	<i>Medium Access Control – Controle de Acesso ao Meio</i>
MAPC	<i>Multi-AP Coordination - Coordenação de Múltiplos Pontos de Acesso</i>
MHz	<i>Megahertz</i>
MIMO	<i>Multiple-Input Multiple-Output - Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas</i>
MU-MIMO	<i>Multi-User MIMO - MIMO para Múltiplos Usuários</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing - Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiple Access - Acesso Múltiplo por Divisão de Frequências Ortogonais</i>
PHY	<i>Physical Layer - Camada Física</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation - Modulação de Amplitude em Quadratura</i>
QoS	<i>Quality of Service - Qualidade de Serviço</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator - Indicador de Força do Sinal Recebido</i>
SIG	<i>Sistemas de Informação Geográfica</i>
SNR	<i>Signal-to-Noise Ratio - Relação Sinal-Ruído</i>
SSID	<i>Service Set Identifier - Identificador de Conjunto de Serviços</i>
TCC	<i>Trabalho de Conclusão de Curso</i>
UHR	<i>Ultra High Reliability - Confiabilidade Ultra-Alta</i>
WECA	<i>Wireless Ethernet Compatibility Alliance - Aliança para Compartibilidade entre Redes Ethernet Sem Fio</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity - Fidelidade sem fio</i>
WMM	<i>Wi-Fi Multimedia - Multimídia Wi-Fi</i>

Lista de Figuras

1.1	Exemplo de topologia de rede ilustrando a integração de um Ponto de Acesso Sem Fio	11
2.1	Distribuição e sobreposição dos canais na frequência de 2,4 GHz	15
2.2	Esquema do mecanismo de reflexão de ondas eletromagnéticas.	20
2.3	Esquema do mecanismo de refração e reflexão de ondas eletromagnéticas.	21
2.4	Comportamento da difração de ondas em aberturas largas e estreitas.	21
3.1	Interface de medição de sinal do aplicativo Wi-Fi Analyzer	31
3.2	Parametrização da ferramenta de Interpolação IDW no <i>software</i> QGIS	32
4.1	Mapa de calor da rede institucional (SSID: IFPB) na frequência de 2,4 GHz.	36
4.2	Mapa de calor da rede institucional (SSID: IFPB) na frequência de 5 GHz.	37
4.3	Mapa de calor da rede discente (SSID: IFPB-ALUNO) na frequência de 2,4 GHz.	38
4.4	Mapa de calor da rede discente (SSID: IFPB-ALUNO) na frequência de 5 GHz.	39
4.5	Comparativo de transmissão entre OFDM (Wi-Fi 5) e OFDMA (Wi-Fi 6)	46
4.6	Analogia de transmissão: Wi-Fi 5 (OFDM) vs Wi-Fi 6 (OFDMA)	47

Lista de Tabelas

2.1	Evolução dos padrões Wi-Fi 802.11	18
4.1	Exemplo prático de atribuição de pesos na interpolação IDW	40
4.2	Estatística descritiva da intensidade de sinal (RSSI) coletada no campus	43
4.3	Percentual de cobertura classificado por faixas de qualidade de sinal	44

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Justificativa e relevância do trabalho	12
1.2	Objetivos	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos	12
1.3	Metodologia	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	O ecossistema IEEE 802.11 e sua evolução tecnológica	14
2.2	Dinâmica de propagação	17
2.3	Qualidade de Serviço	22
2.4	Indicadores de performance	23
2.5	Redes de alta densidade	25
2.6	Conceitos de site survey e mapas de calor (<i>heatmaps</i>)	27
2.7	Interpolação espacial e o método IDW	28
3	PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	30
3.1	Instrumental de pesquisa e ferramentas	30
3.2	Preparação da base cartográfica e calibração	31
3.3	Protocolo de coleta de dados	32
3.4	Critérios para análise de cobertura e sinal	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	Discussão dos resultados	40
4.2	Análise quantitativa e estatística do sinal	43
4.3	Propostas de soluções	44
5	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	50
5.1	Oscilação de sinal e amostragem	50
5.2	Acesso físico e interpolação	51
5.3	Restrições cibernéticas e coleta passiva	51
6	TRABALHOS FUTUROS	53
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	53
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	Referências Bibliográficas	58

1 INTRODUÇÃO

A evolução contínua das tecnologias de comunicação consolidou o Wi-Fi (*Wireless Fidelity* - Fidelidade sem Fio) como um padrão essencial para a conectividade global. Essa consolidação é impulsionada pela grande inserção de dispositivos móveis no mercado. No Brasil, por exemplo, estima-se que existam cerca de 167,5 milhões de pessoas com 10 anos ou mais de idade utilizando telefone celular para uso pessoal. Este contingente corresponde a 88,9% da população nessa faixa etária. Considerando a tendência global de aumento no número de usuários ativos, o Wi-Fi estabeleceu-se como a tecnologia fundamental para atender a essa demanda por conectividade móvel (BELLO, 2025).

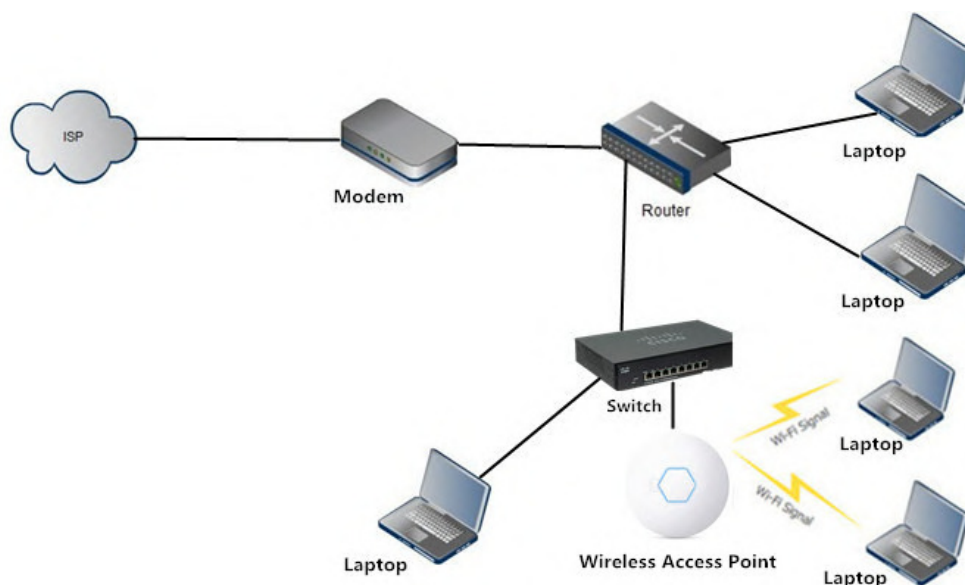
Os fundamentos teóricos das comunicações sem fio remontam à Segunda Guerra Mundial, período no qual se desenvolveram sistemas de rádio baseados em espalhamento espectral (*spread spectrum*) para fins militares de proteção contra interceptações e interferências inimigas. Na década de 1970, essa base tecnológica foi aprimorada com foco na redução de custos de fabricação, o que permitiu o início de sua transição para aplicações civis e a disponibilização de redes sem fio para a população geral (ZEINDIN *et al.*, 2003).

A rede Wi-Fi utiliza o padrão 802.11 da IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers* - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos), lançado em 1997. Esse padrão foi desenvolvido para atender as necessidades de dispositivos móveis se conectarem sem precisar de longos cabos de conexão, garantindo uma maior flexibilidade para com os dispositivos móveis. Até a data de desenvolvimento deste trabalho, o Wi-Fi 7 configura-se como o padrão mais recente ratificado pelo IEEE, operando sob a especificação 802.11be desde janeiro de 2024 (MOZAFFARIAHRAR; THEOLEYRE; MENTH, 2022).

Para que um dispositivo móvel, como um smartphone ou tablet, possa se conectar a uma rede Wi-Fi, é necessário um equipamento chamado AP (*Access Point* - Ponto de acesso). O AP conecta os dispositivos móveis à infraestrutura de rede cabeada, viabilizando o acesso à internet sem a necessidade de conexões físicas. Este equipamento é essencial para a funcionalidade das redes sem fio e está amplamente disponível em locais públicos, residências e empresas (SILVA; ROSSETO, 2023).

Para melhor compreensão dessa arquitetura, a Figura 1.1 exemplifica uma topologia de rede típica que inclui a presença de um AP. Como é possível observar na imagem, o sinal proveniente do provedor chega através do modem e é gerido pelo roteador (*Router*). Em seguida, um *switch* distribui a rede cabeada para alguns computadores e, de forma crucial, para o AP. Este AP atua como uma ponte, convertendo o tráfego da rede cabeada em sinais de radiofrequência (sinal Wi-Fi), o que permite estender a conectividade para que diversos *laptops* e dispositivos móveis acessem a rede simultaneamente e sem a necessidade de fios.

Figura 1.1: Exemplo de topologia de rede ilustrando a integração de um Ponto de Acesso Sem Fio



Fonte: Adaptado de (WiSpot, 2026).

Portanto, graças à evolução dos dispositivos móveis e das tecnologias Wi-Fi, tornou-se possível conectar-se ao redor do mundo utilizando aparelhos eletrônicos na palma da mão. Isso gera benefícios como o aumento da socialização entre pessoas mesmo a milhares de quilômetros de distância, o acesso imediato a informações em tempo real, a possibilidade de realizar atividades acadêmicas e profissionais de qualquer lugar, a realização de serviços bancários, a comunicação facilitada em situações de emergência, e além de diversas formas de entretenimento e outras atividades do cotidiano (MANTOVANI, 2006).

Apesar da indiscutível importância dessa tecnologia, a gestão de redes sem fio em ambientes acadêmicos de alta densidade frequentemente esbarra na falta de diagnósticos precisos sobre a propagação das ondas no ambiente físico. No contexto específico do IFPB (Instituto Federal da Paraíba) - Campus Campina Grande, a ausência de um mapeamento técnico rigoroso do comportamento da radiofrequência cria uma lacuna operacional para a CTI (Coordenação de Tecnologia da Informação). Sem um levantamento cartográfico da potência do sinal, as intervenções de rede e a distribuição dos pontos de acesso correm o risco de serem guiadas por métodos de tentativa e erro, dificultando a resolução de instabilidades e zonas sem cobertura.

Diante dessa deficiência técnica e da necessidade de otimizar a conectividade acadêmica, este trabalho estabelece formalmente a sua delimitação a partir do seguinte problema de pesquisa: Como a infraestrutura de rede sem fio do IFPB Campus Campina Grande está fisicamente dimensionada em relação à sua cobertura e potência de sinal RSSI (*Received Signal Strength Indicator* - Indicador de Força do Sinal Recebido), e quais intervenções técnicas baseadas em mapeamento espacial podem ser propostas para mitigar as falhas de conectividade no campus?

1.1 Justificativa e relevância do trabalho

A infraestrutura de rede sem fio em ambientes acadêmicos enfrenta desafios constantes devido à alta quantidade de usuários e à diversidade de dispositivos conectados simultaneamente. No contexto do IFPB - Campus Campina Grande, a crescente demanda por tráfego de dados exige um monitoramento contínuo para garantir que os parâmetros de QoS (*Quality of Service* - Qualidade de Serviço) atendam às necessidades das atividades de ensino, pesquisa e extensão.

Este trabalho justifica-se pela necessidade de realizar um diagnóstico técnico detalhado que auxilie o setor de Tecnologia da Informação na compreensão da propagação de sinal nas áreas críticas do campus. Ao mapear as zonas de sombra e a distribuição da potência do sinal, este estudo fornece subsídios baseados em dados reais para o planejamento estratégico da infraestrutura, permitindo otimizar a cobertura e a experiência de conectividade da comunidade escolar sem a necessidade de ajustes baseados em tentativa e erro.

A proposição de melhorias baseadas em políticas lógicas de QoS atua como uma progressão natural e complementar ao diagnóstico físico realizado neste estudo. O mapeamento da intensidade do sinal atende à premissa estrutural básica de qualquer rede: garantir que a infraestrutura alcance os dispositivos, identificando as zonas de sombra e os limites de propagação. Uma vez mapeada e assegurada essa cobertura física, o QoS atua na camada lógica como a ferramenta gerencial indispensável para organizar o tráfego em um ambiente acadêmico de alta densidade. Dessa forma, a união entre a entrega de um sinal de rádio eficiente e uma gestão de banda estruturada consolida a base técnica necessária para viabilizar o acesso democrático e contínuo da comunidade escolar.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a cobertura e a intensidade do sinal (RSSI) da rede Wi-Fi do IFPB Campus Campina Grande, a fim de propor melhorias técnicas na infraestrutura baseadas em dados espaciais.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em:

- Realizar um levantamento topográfico das áreas de interesse do campus para mapear a cobertura atual da rede Wi-Fi;
- Identificar zonas de sombra da rede por meio do registro pontual da potência do sinal e análise física do ambiente;

- Mapear a distribuição espacial da intensidade do sinal (RSSI) em locais estratégicos do campus para avaliar a qualidade física da propagação;

1.3 Metodologia

A metodologia deste trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, destinada a gerar conhecimentos para a solução de problemas específicos na rede sem fio do IFPB - Campus Campina Grande. Quanto aos objetivos, a pesquisa é exploratória e descritiva, buscando aprofundar o entendimento sobre a infraestrutura local e correlacionar as variáveis que impactam a propagação física do sinal Wi-Fi.

A abordagem adotada é mista, conduzida sob o método de Estudo de Caso. A vertente quantitativa ocorre por meio da coleta contínua e aferição de métricas de rede (nível de potência do sinal), enquanto a qualitativa atua na interpretação espacial desses dados para diagnosticar as causas de sombreamento radiométrico. O detalhamento do instrumental tecnológico utilizado, a configuração da base cartográfica e o protocolo exato da varredura de dados (*site survey*) encontram-se rigorosamente descritos e fundamentados no Capítulo 3 (Procedimentos Técnicos).

Para a apresentação desta pesquisa, o documento estrutura-se da seguinte forma:

- **Capítulo 2:** Fundamentação teórica;
- **Capítulo 3:** Procedimentos técnicos;
- **Capítulo 4:** Resultados e discussões;
- **Capítulo 5:** Limitações da pesquisa;
- **Capítulo 6:** Trabalhos futuros;
- **Capítulo 7:** Considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O ecossistema IEEE 802.11 e sua evolução tecnológica

O início da conexão sem fio aconteceu em 1997, ano em que o IEEE lançou o padrão 802.11. Essa novidade técnica fez com que o *Wi-Fi* virasse uma peça fundamental para a mudança digital em vários setores, como o ambiente das faculdades e os sistemas de saúde, acabando com a dependência de cabos na infraestrutura de rede tradicional (ADREES *et al.*, 2024).

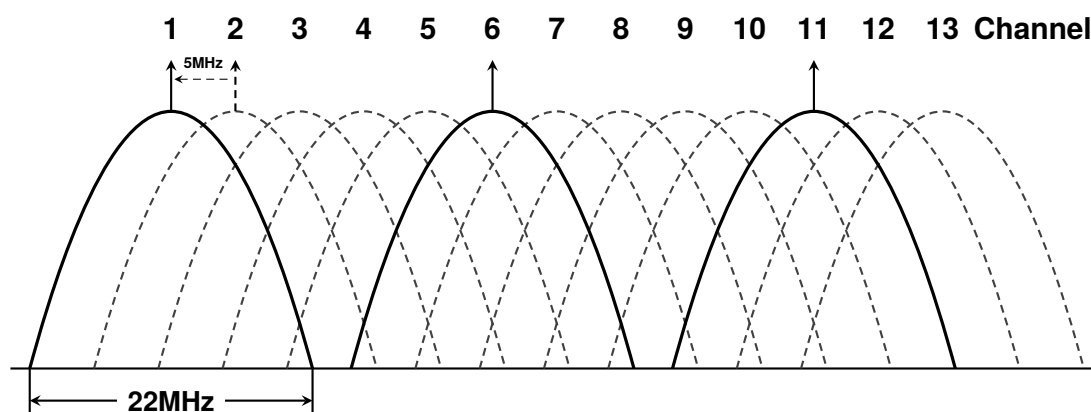
Para entender o padrão 802.11, é preciso olhar para o seu histórico. A criação dessa regra começou antes de 1997, tendo como base um sistema desenvolvido pela empresa *NCR Corporation*. Victor Hayes, que trabalhava na própria *NCR*, foi quem incentivou o IEEE a aceitar a ideia e transformá-la em um padrão oficial. No começo, as velocidades de transmissão eram baixas, ficando entre 1 Mbps e 2 Mbps. Por causa do seu papel na liderança do grupo que criou as regras das redes sem fio, Victor Hayes é conhecido como um dos "pais do *Wi-Fi*" (PERRAMON, 2017).

Em 1999, o IEEE lançou o padrão 802.11b. Essa atualização foi um grande passo: enquanto os primeiros aparelhos funcionavam entre 1 Mbps e 2 Mbps, esse novo padrão chegava a 11 Mbps. No mesmo ano, surgiu a WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance* - Aliança para Compatibilidade entre Redes Ethernet Sem Fio). Depois, essa organização mudou o nome para *Wi-Fi Alliance*, funcionando como uma entidade sem fins lucrativos que ajuda a difundir o *Wi-Fi* e garante que aparelhos de marcas diferentes funcionem juntos em qualquer lugar do mundo (PERRAMON, 2017).

Desde 1997, o funcionamento do padrão 802.11 é dividido em duas partes principais que cuidam da base da comunicação: as camadas PHY (*Physical Layer* - Camada Física) e MAC (*Medium Access Control* - Controle de Acesso ao Meio). A camada PHY cuida da parte eletrônica e dos circuitos que fazem a transmissão real dos *bits*. Já a camada MAC funciona como uma organizadora, criando as regras para que vários aparelhos consigam usar o mesmo canal e conversar entre si sem confusão (PERRAMON, 2017).

A Figura 2.1 ilustra como esses canais são distribuídos fisicamente na banda de 2,4 GHz. Nela, observa-se que o espaçamento de apenas 5 MHz (Megahertz) entre os canais (que possuem 22 MHz de largura) gera sobreposição de frequências. Por esse motivo, os canais 1, 6 e 11 são os mais utilizados em projetos de rede, pois são os únicos que não se sobrepõem, evitando interferências.

Figura 2.1: Distribuição e sobreposição dos canais na frequência de 2,4 GHz



Fonte: Adaptado de TP-Link (2026).

Sobre o sinal de rádio, a tecnologia usa as faixas ISM (*Industrial, Scientific and Medical* - Industrial, Científica e Médica), que são frequências reservadas no mundo todo para usos não comerciais. Dessas faixas, a de 2,4 GHz é a mais utilizada e, por isso, a mais ocupada. Para organizar o uso, essa banda é dividida em canais, e a potência e a disponibilidade de cada um variam de acordo com as leis de cada país. Além disso, a largura do canal muda diretamente a qualidade da rede: canais mais largos conseguem transmitir mais dados, mas correm um risco maior de sofrer interferências (PERRAMON, 2017).

Para compreender em profundidade o impacto de cada avanço tecnológico no ecossistema de redes sem fio, faz-se necessário detalhar as particularidades de cada geração do padrão IEEE 802.11, seguindo a análise evolutiva proposta por Santos, Santos e Maniçoba (2024).

Wi-Fi 1 (IEEE 802.11 original): Lançado em 1997, o primeiro padrão operava na faixa de 2,4 GHz com taxas de transmissão limitadas entre 1 e 2 Mbps. Utilizando o método de acesso CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* - Acesso Múltiplo com Verificação de Portadora e Prevenção de Colisões) e tecnologias de espalhamento espectral FHSS (*Frequency-Hopping Spread Spectrum* - Espectro de Espalhamento por Salto de Frequência) e DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum* - Espectro de Espalhamento de Sequência Direta), esta geração enfrentou barreiras de interoperabilidade e altos custos, o que acabou impedindo sua adoção em larga escala.

Wi-Fi 2 (IEEE 802.11b e IEEE 802.11a): Em 1999, o mercado foi transformado pela introdução do 802.11b, que elevou a capacidade de transmissão para 11 Mbps em 2,4 GHz, tornando-se o primeiro grande sucesso comercial da tecnologia. No mesmo ano surgiu o 802.11a, que operava na faixa de 5 GHz com multiplexação OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* - Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais), alcançando até 54 Mbps. Contudo, seu custo elevado e a incompatibilidade com o 802.11b restringiram sua popularidade inicial.

Wi-Fi 3 (IEEE 802.11g): Apresentado em 2003, este padrão unificou os benefícios de

seus antecessores. Operando na frequência de 2,4 GHz para manter a retrocompatibilidade com o 802.11b, o 802.11g adotou a modulação OFDM oriunda do 802.11a para atingir velocidades teóricas de 54 Mbps. Isso consolidou de vez as redes domésticas, apesar de a faixa de operação ser suscetível a muitas interferências.

Wi-Fi 4 (IEEE 802.11n): O grande marco da quarta geração, lançada em 2009, foi a introdução da tecnologia MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output* - Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas) e a adoção de canais mais largos (40 MHz). Operando de forma flexível tanto em 2,4 GHz quanto em 5 GHz, o padrão permitiu a transmissão de múltiplos fluxos espaciais, elevando a taxa teórica máxima para 600 Mbps e oferecendo conexões mais estáveis e de maior alcance.

Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac): Implementado em 2013, o 802.11ac focou exclusivamente na faixa de 5 GHz para mitigar congestionamentos. A introdução de canais de até 160 MHz, modulação de alta densidade 256-QAM (256-*Quadrature Amplitude Modulation* - Modulação de Amplitude em Quadratura de 256 Estados) e a inovação do MU-MIMO (*Multi-User Multiple-Input Multiple-Output* - Múltiplas Entradas e Múltiplas Saídas para Múltiplos Usuários) (permitindo transmissões simultâneas para múltiplos clientes no sentido de *downlink*) fez com que as redes sem fio rompessem a barreira do Gigabit por segundo.

Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax): Lançado em 2019, o foco da sexta geração deixou de ser apenas a velocidade bruta para priorizar a eficiência espectral em cenários de altíssima densidade. Retornando à operação *dual-band* (2,4 e 5 GHz), o padrão introduziu a modulação 1024-QAM e o OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access* - Acesso Múltiplo por Divisão de Frequências Ortogonais). Essa técnica divide o canal em unidades de recursos menores, permitindo atender múltiplos usuários simultaneamente com baixíssima latência.

Wi-Fi 6E (IEEE 802.11ax): Como uma extensão direta do 802.11ax, o Wi-Fi 6E expande as inovações da sexta geração para a recém-liberada faixa de 6 GHz. Essa expansão adiciona 1200 MHz de espectro contínuo, solucionando problemas históricos de congestionamento e escassez de canais largos. Ao restringir o acesso nessa faixa apenas a dispositivos compatíveis com o novo padrão, o Wi-Fi 6E elimina a sobrecarga de transmissão gerada por dispositivos legados, garantindo a performance máxima e a confiabilidade exigidas por aplicações modernas (SANTOS; SANTOS; MANIÇOBA, 2024).

Wi-Fi 7 (IEEE 802.11be): Esta geração foca na expansão da eficiência espectral em cenários de alta densidade. O protocolo viabiliza taxas nominais superiores a 30 Gbps (*Gigabits per second* - Gigabits por segundo) através do uso de canais de até 320 MHz e da modulação 4K-QAM. Além do incremento na velocidade, o ecossistema reduz sensivelmente a latência e otimiza a gerência de múltiplos dispositivos simultâneos, garantindo a execução estável de aplicações críticas em tempo real, como sistemas imersivos de realidade virtual e aumentada (BOSSO; WANDERLEY; NETO, 2024).

Wi-Fi 8 (IEEE 802.11bn): Sob a especificação IEEE 802.11bn, a oitava geração estabelece uma mudança de paradigma ao priorizar a UHR (Ultra High Reliability - Confiabilidade

Ultra-Alta). O padrão combina canais de 320 MHz com a modulação 8K-QAM para alcançar picos teóricos de até 100 Gbps. Seu grande diferencial é a introdução da MAPC (*Multi-AP Coordination* - Coordenação de Múltiplos Pontos de Acesso), recurso que elimina interferências cruzadas e reduz a latência para escalas de sub-milissegundos, tornando-o ideal para automação na Indústria 5.0, robótica e aplicações de realidade estendida (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2026).

A evolução dos padrões IEEE 802.11 reflete a constante busca por maior eficiência, velocidade e confiabilidade nas redes sem fio. A Tabela 2.1 sintetiza essa trajetória cronológica, apresentando as principais características técnicas e os marcos incrementais desde a primeira geração até as especificações mais recentes.

Apesar da constante evolução tecnológica dos padrões Wi-Fi, o desempenho real de uma rede sem fio ainda depende diretamente do ambiente onde ela está instalada. Os APs são os equipamentos responsáveis por emitir o sinal, convertendo os dados da rede em ondas de rádio. Porém, essas ondas precisam viajar pelo espaço até chegar aos dispositivos dos usuários, e esse trajeto raramente é livre de obstáculos físicos.

Em um ambiente acadêmico, estruturas como paredes, portas e pilares podem enfraquecer o sinal que sai dos APs, criando áreas com pouca ou nenhuma conectividade, conhecidas como zonas de sombra. Além das barreiras arquitetônicas, a quantidade de usuários conectados e a forma como eles se distribuem pelo espaço são fatores determinantes para o desempenho da conectividade. O perfil de ocupação do terreno interage diretamente com a infraestrutura, exigindo que o planejamento da rede considere tanto a transposição dos obstáculos físicos quanto a densidade de acessos simultâneos (KOSTIN; AMORIM, 2006). Compreender a união dessas dinâmicas de uso e propagação é o passo fundamental para analisar o comportamento real da cobertura dentro do campus.

2.2 Dinâmica de propagação

Os APs têm um papel fundamental nas redes de comunicação atuais, pois permitem que dispositivos portáteis se conectem à internet sem a necessidade de fios ou cabos. Essa facilidade é muito importante, já que usar redes cabeadas para conectar todos os usuários seria inviável, tanto pela quantidade de cabos necessária quanto pelas limitações da estrutura física dos locais. Em termos práticos, conforme ilustrado na topologia de rede da Figura 1.1, o AP funciona como a antena transmissora, sendo o equipamento responsável por emitir a energia da onda eletromagnética para o ambiente.

Para que essa facilidade técnica entregue uma conexão de qualidade, é necessário planejar muito bem onde esses equipamentos serão instalados. O objetivo é garantir que o sinal consiga cobrir toda a área desejada de maneira satisfatória. Para entender os desafios desse planejamento, é preciso saber que a propagação do sinal sofre uma diminuição natural de força. Mesmo em um cenário ideal e totalmente livre de obstáculos, conhecido como espaço livre, a potência do

Tabela 2.1: *Evolução dos padrões Wi-Fi 802.11*

Padrão	Ano	Faixa de Frequência	Velocidade Máxima	Observações
IEEE 802.11 (Original)	1997	2,4 - 2,4835 GHz (ISM)	1 a 2 Mbps	Primeiro padrão lançado, operação na faixa ISM, uso livre.
IEEE 802.11b (Wi-Fi 2)	1999	2,4 GHz	Até 11 Mbps	Um dos primeiros padrões Wi-Fi comercialmente bem-sucedidos; ainda usado em redes legadas.
IEEE 802.11a (Wi-Fi 2)	1999	5 GHz	Até 54 Mbps	Maior capacidade de transmissão, alcance menor devido à frequência alta.
IEEE 802.11g (Wi-Fi 3)	2003	2,4 GHz	Até 54 Mbps	Combina velocidade do 802.11a com compatibilidade do 802.11b; amplamente usado em redes domésticas.
IEEE 802.11n (Wi-Fi 4)	2009	2,4/5 GHz	Até 600 Mbps	Introduziu MIMO para melhorar desempenho e alcance.
IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5)	2013	5 GHz	Até 1,3 Gbps	Maior eficiência espectral; ideal para ambientes com muitos dispositivos.
IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6)	2019	2,4/5 GHz	Até 10 Gbps	Melhor eficiência e capacidade para múltiplos dispositivos simultâneos.
IEEE 802.11be (Wi-Fi 7)	2024	2,4/5/6 Ghz	Até 46 Gbps	Avanços em modulação e largura de canal; foco em alta largura de banda (8K, AR/VR, jogos em nuvem).
IEEE 802.11bn (Wi-Fi 8)	Indefinido	2,4/5/6 Ghz	Acima de 50 Gbps (estimado)	Em desenvolvimento; espera-se maior velocidade, menor latência e mais capacidade.

Fonte: Adaptado de (SILVA, 2025) (p. 19).

sinal cai à medida que se afasta do transmissor. Esse fenômeno, no qual a energia diminui com o aumento da distância, é chamado de perda no espaço livre (*Path Loss*) (VIEIRA, 2017).

Segundo Lemos (2015), a propagação no espaço livre é um cenário idealizado onde a transmissão de ondas de rádio entre a antena que envia (o transmissor) e a que recebe (o dispositivo do usuário) acontece sem que absolutamente nenhum objeto interaja com o sinal. Nesse ambiente perfeito, a onda eletromagnética viaja em linha reta, livre de qualquer fenômeno de difração ou reflexão.

Para calcular a força com que o sinal chega ao seu destino nessas condições ideais, utiliza-se a equação fundamental de transmissão de Friis. Matematicamente, a potência do sinal recebido pode ser expressa pela Equação 2.1:

$$P_R = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.1)$$

Onde:

- P_R é a potência do sinal recebido;
- P_T é a potência transmitida pelo AP;
- G_T e G_R representam, respectivamente, os ganhos das antenas transmissora e receptora;
- λ é o comprimento da onda do sinal;
- d é a distância física que separa as duas antenas.

O conceito prático mais importante extraído dessa equação é que, mesmo no vazio e sem obstáculos, a energia do sinal não se mantém constante: ela enfraquece naturalmente à medida que se espalha, caindo de forma proporcional ao quadrado da distância (d^2) percorrida (CAVALCANTE, 2010).

Como os equipamentos de redes Wi-Fi geralmente aferem a intensidade do sinal em escala logarítmica em dBm (Decibel-miliwatt), a equação de Friis pode ser reescrita conforme a Equação 2.2:

$$P_R(\text{dBm}) = P_T(\text{dBm}) + G_T + G_R + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right) \quad (2.2)$$

Além disso, para simplificar os cálculos práticos de perda de percurso (*Path Loss*) – o quanto de sinal foi atenuado no caminho –, pode-se utilizar uma variação da fórmula baseada diretamente na distância em quilômetros (d) e na frequência em Megahertz (f), conforme demonstrado na Equação 2.3:

$$L = 32,5 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (2.3)$$

Embora seja uma simplificação teórica, o modelo de espaço livre é extremamente útil para avaliar conexões que possuem uma linha de visada direta (visão desobstruída entre as antenas).

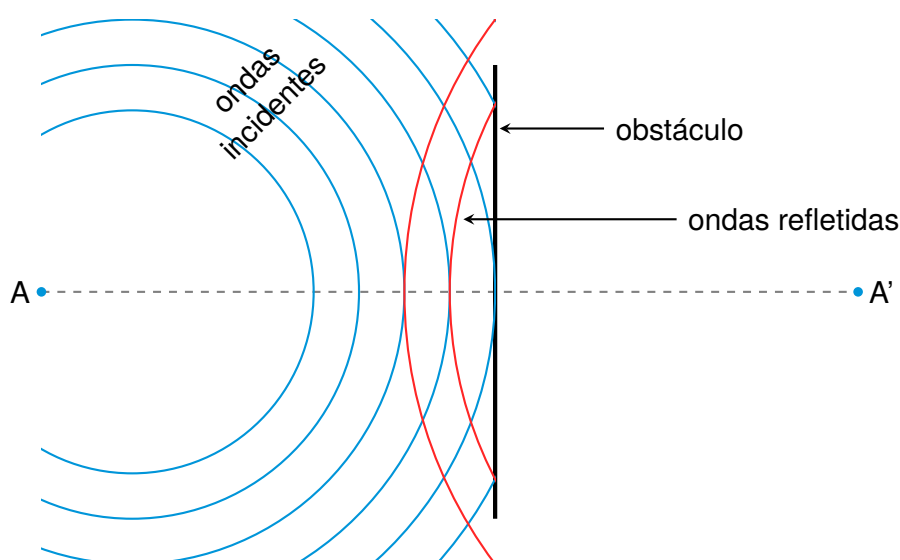
Compreender essa perda natural gerada unicamente pelo distanciamento é o passo fundamental antes de calcularmos as atenuações reais e severas causadas pelas paredes e estruturas da infraestrutura do campus (LEMOS, 2015).

Na prática, porém, uma propagação perfeitamente livre de obstáculos é uma situação quase impossível. Ao trazer essa teoria para o cenário real do campus do IFPB, nota-se que o sinal Wi-Fi esbarra constantemente em barreiras físicas como paredes, portas e pilares, além de sofrer interferência eletromagnética de outros dispositivos e redes vizinhas. O choque das ondas de rádio com as estruturas da instituição não apenas barra a propagação, mas também altera o comportamento do sinal. Como resultado dessas interações com o ambiente, surgem eventos físicos específicos que causam instabilidade e perda de potência na rede, como a reflexão, a refração, a difração e o sombreamento, que serão detalhados a seguir.

Ao passar pelos blocos e salas do IFPB, as ondas de rádio enfrentam vários obstáculos que mudam o seu caminho e a sua força. Os principais fenômenos que afetam as redes sem fio em locais fechados são a reflexão, a refração e a difração. Para entender e resolver o problema das zonas de sombra, é muito importante saber como cada um desses eventos funciona:

- **Reflexão:** Acontece quando a onda eletromagnética atinge uma superfície (como pisos, paredes ou lousas) e parte de sua energia "rebate", retornando ao meio de propagação original ao invés de atravessar o objeto. Como ilustrado na Figura 2.2, isso muda a direção do sinal de rádio e cria caminhos alternativos pelo ambiente (OLIVEIRA, 2019).

Figura 2.2: Esquema do mecanismo de reflexão de ondas eletromagnéticas.

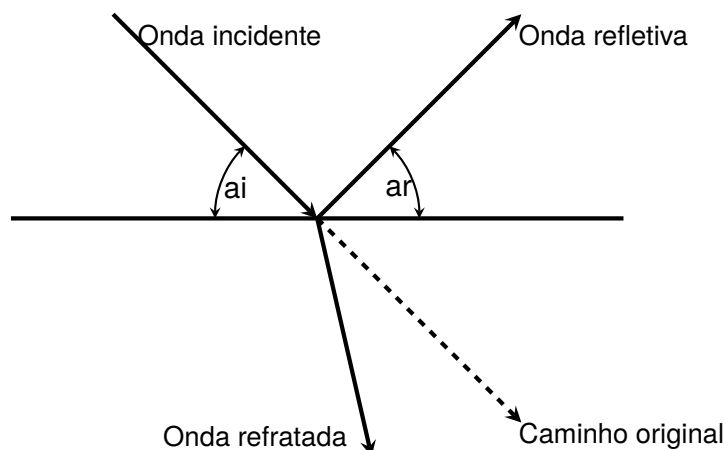


Fonte: Adaptado de Lemos (2015).

- **Refração e Transmissão:** Quando o sinal não é totalmente refletido, ele tenta penetrar e atravessar o obstáculo. Conforme esquematizado na Figura 2.3, durante essa travessia, ocorre a refração, que altera a velocidade e a direção da onda dependendo do material

(como vidro ou alvenaria). Parte dessa energia também é perdida no processo, fenômeno conhecido como absorção (OLIVEIRA, 2019).

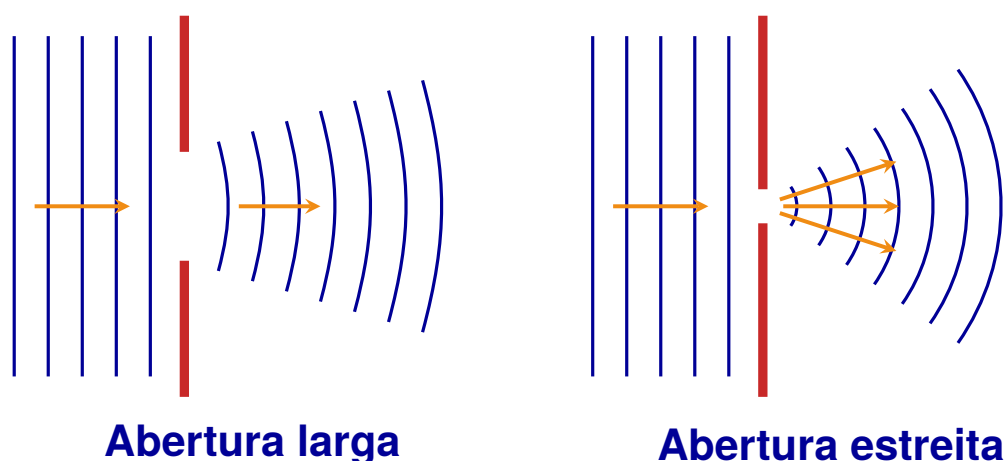
Figura 2.3: Esquema do mecanismo de refração e reflexão de ondas eletromagnéticas.



Fonte: Adaptado de Lemos (2015).

- **Difração:** É a capacidade que o sinal tem de contornar as bordas dos objetos. Seguindo o princípio de Huygens, quando uma onda encontra a quina de uma parede ou a fresta de uma porta, essa borda passa a agir como um novo ponto de origem para o sinal, comportamento demonstrado na Figura 2.4. A difração é o principal motivo pelo qual o Wi-Fi consegue chegar a lugares que não têm LOS (*line-of-sight* - Visão direta) para o AP, mesmo que o sinal chegue até lá mais fraco (OLIVEIRA, 2019).

Figura 2.4: Comportamento da difração de ondas em aberturas largas e estreitas.



Fonte: Adaptado de MUNDO EDUCAÇÃO (2026).

A união de todos esses fenômenos ao mesmo tempo cria o que chamamos de múltiplo percurso (*multipath*). Como o sinal bate e desvia em vários lugares da sala, várias "cópias" da

mesma onda chegam ao celular do usuário em momentos um pouco diferentes. Esse encontro de vários sinais causa o desvanecimento (*fading*), que resulta naquelas quedas rápidas e na oscilação da qualidade da conexão (OLIVEIRA, 2019).

Resumindo, todas essas barreiras físicas causam uma perda natural e constante na força do sinal. Porém, para que a rede atenda bem aos alunos e professores, não basta apenas que o Wi-Fi tenha alcance; o sinal precisa chegar com estabilidade e velocidade. Essa necessidade de medir e garantir uma boa conexão, mesmo com tantos obstáculos no caminho, nos leva ao conceito de *Quality of Service*.

2.3 Qualidade de Serviço

Como visto na seção anterior, as ondas de rádio sofrem perdas e oscilações ao longo do seu caminho devido aos obstáculos físicos do ambiente. No entanto, para que uma rede sem fio funcione com qualidade, não basta apenas que o sinal tenha alcance para chegar aos aparelhos. É preciso garantir que a transferência de dados seja estável e consiga suportar várias atividades sendo feitas ao mesmo tempo pelos usuários. Para resolver isso, utiliza-se o conceito de QoS. Enquanto a propagação lida com a física do sinal, a QoS atua na parte lógica da rede. Ela gerencia o tráfego de dados para organizar a comunicação e garantir que os serviços mais importantes funcionem de forma contínua e sem travamentos, ajudando a contornar os problemas causados pelas barreiras físicas.

De acordo com Costa (2008), a Qualidade de Serviço não se resume a tentar aumentar a capacidade da rede de forma bruta. Trata-se da aplicação de um conjunto de técnicas que permitem tratar diferentes tipos de dados de maneiras distintas. Em um ambiente com muitos usuários conectados, aplicativos como chamadas de vídeo exigem respostas imediatas, enquanto o envio de um e-mail ou o download de um arquivo podem tolerar pequenos atrasos.

Em redes sem fio, o desafio de manter essa organização é ainda maior devido à natureza compartilhada e instável do meio de transmissão pelo ar (ALMEIDA, 2025). Para avaliar a "saúde" dessa comunicação e garantir uma boa experiência de uso, a literatura estabelece quatro métricas fundamentais de desempenho:

- **Vazão (*Throughput*):** É a quantidade real de dados úteis entregues com sucesso entre dois pontos em um determinado período. Ao contrário da taxa teórica máxima informada pelos fabricantes de roteadores, a vazão mostra a velocidade de tráfego que o usuário realmente experimenta na prática (COSTA, 2008). Fatores como a distância do ponto de acesso e o nível de ruído ambiental forçam a redução automática da modulação utilizada, o que diminui drasticamente a capacidade real de tráfego disponível para o dispositivo final (ALMEIDA, 2025).
- **Atraso (*Latência*):** Representa o tempo que um pacote de dados leva para sair do dispositivo de origem, atravessar a rede e chegar ao seu destino. Atrasos elevados causam

lentidão perceptível e dessincronização em aplicações de tempo real. Em cenários de alta densidade de usuários, o tempo de espera para acessar o canal (*backoff*) torna-se o principal componente do atraso, prejudicando severamente a fluidez de fluxos de vídeo e chamadas de voz (COSTA, 2008).

- **Variação de Atraso (*Jitter*):** É a oscilação nos tempos de chegada dos pacotes. Se os dados chegam em intervalos muito irregulares (um pacote rápido e o próximo muito demorado), o serviço de áudio ou vídeo pode apresentar falhas e engasgos, mesmo que a vazão média da rede seja alta (COSTA, 2008). Para compensar essa variação, os sistemas utilizam memórias temporárias (*buffers*), porém, oscilações excessivas superam a capacidade dessas correções e resultam no descarte de pacotes que chegam fora de ordem.
- **Perda de Pacotes (*Packet Loss*):** Ocorre quando os dados são descartados pela rede antes de chegarem ao destino, geralmente devido a congestionamentos de usuários ou sinais de rádio muito fracos. Pacotes perdidos obrigam a rede a reenviar as informações, o que aumenta a latência geral e derruba o desempenho do sistema (ALMEIDA, 2025). Essa perda é crítica em redes Wi-Fi, pois protocolos de transporte interpretam cada descarte como um sinal de sobrecarga, reduzindo preventivamente a taxa de envio e degradando a percepção de qualidade do usuário.

Para contornar esses problemas práticos em conexões Wi-Fi, os pontos de acesso modernos utilizam mecanismos de classificação de tráfego, como o padrão WMM (*Wi-Fi Multimedia* - Multimídia Wi-Fi). Essa tecnologia cria filas de prioridade lógica na rede, garantindo que os pacotes mais sensíveis a atrasos passem na frente de pacotes menos críticos (ALMEIDA, 2025).

A análise conjunta desses parâmetros permite diagnosticar com precisão se a infraestrutura consegue atender à demanda dos usuários de forma equilibrada. Contudo, é importante ressaltar que o desempenho lógico da rede QoS depende diretamente da qualidade física do sinal captado pelos dispositivos.

2.4 Indicadores de performance

Como visto na seção anterior, a eficiência lógica da rede depende diretamente da qualidade física do sinal captado pelos dispositivos. Em redes sem fio, o ar é um meio compartilhado e sujeito a mudanças constantes a todo momento. Por conta disso, torna-se necessário utilizar indicadores técnicos para entender o comportamento das ondas de rádio e traduzir o que é invisível em dados que possam ser avaliados de forma prática. Para diagnosticar a real situação de uma área de cobertura, este trabalho foca em dois parâmetros principais: a força bruta do sinal que chega ao aparelho e a clareza dessa comunicação quando comparada aos ruídos do ambiente. O monitoramento em conjunto dessas duas métricas é o que fornece as informações necessárias para avaliar se a rede consegue entregar uma boa navegação para o usuário.

O primeiro indicador, e o mais básico para qualquer projeto de rede, é o RSSI. O RSSI é a medida exata da potência do sinal de rádio que consegue viajar pelo espaço, atravessar os obstáculos e chegar até a antena de um aparelho cliente, como um telefone celular, um *tablet* ou um computador portátil. Devido à imensa variação de energia envolvida nas transmissões pelo ar, essa medição não utiliza valores comuns, mas sim uma escala logarítmica dBm. Na prática, os valores de RSSI são sempre representados por números negativos. Como a potência que sai do AP já é naturalmente baixa, a perda de energia que a onda sofre ao longo do caminho faz com que o sinal chegue ao destino com uma força muito pequena. Nessa escala negativa, quanto mais próximo de zero for o valor, mais forte é o sinal recebido pelo usuário. Por exemplo, um sinal de -30 dBm é considerado excelente e geralmente só é alcançado quando o dispositivo está muito perto do equipamento de transmissão, no mesmo cômodo. Por outro lado, valores na faixa de -80 dBm ou menores indicam um sinal muito fraco, que mal consegue manter o aparelho conectado à internet (SILVA, 2026).

Manter a potência do sinal estável é essencial para a rede funcionar bem, pois as quedas bruscas no RSSI, causadas pelas barreiras físicas, são as principais culpadas pela conexão cair ou congestionar no dia a dia. Porém, a prática mostra que apenas mapear as zonas de sombra e garantir um sinal forte não é suficiente para ter uma navegação rápida. É preciso considerar também todas as interferências presentes no ambiente. Esse ruído constante, gerado por redes vizinhas ou outros equipamentos eletrônicos, pode acabar abafando o sinal principal. Isso explica por que, muitas vezes, o celular mostra o ícone do Wi-Fi no máximo, mas a conexão continua muito lenta. Essa lentidão aparente ocorre não apenas devido ao ruído gerado por redes vizinhas, mas também pela alta quantidade de usuários conectados simultaneamente disputando o mesmo canal de comunicação. Por esse motivo, medir apenas a força do sinal não basta; é fundamental analisá-la em comparação direta com as interferências do local e o nível de congestionamento da infraestrutura.

Para resolver esse problema e conseguir medir a qualidade real da conexão, utiliza-se o segundo indicador principal de performance: a SNR (*Signal-to-Noise Ratio* - Relação Sinal-Ruído). A função da SNR é avaliar o quanto o sinal útil da rede Wi-Fi consegue se destacar e ficar acima desse ruído de fundo do ambiente. Diferente do RSSI e do piso de ruído, a SNR é medida apenas em decibéis e utiliza valores positivos. O cálculo é feito de forma simples na infraestrutura, subtraindo o nível de ruído do valor do nível de sinal. A qualidade final de um enlace de comunicação sem fio depende diretamente dessa relação, pois os sistemas de telecomunicações precisam de um sinal claro e limpo para conseguir entregar os blocos de dados sem erros para o usuário. Uma SNR alta indica que o sinal da rede sobressai com facilidade sobre o ruído, resultando em uma conexão firme. Para fins de análise e diagnóstico, a relação sinal-ruído é comumente dividida em faixas práticas de qualidade. Valores acima de 25 dB (Decibel) indicam um cenário excelente, no qual a rede consegue entregar o seu desempenho e velocidade máxima. Quando a SNR fica entre 10 dB e 20 dB, a conexão é considerada apenas aceitável, sendo suficiente para tarefas básicas de navegação na internet. Por fim, valores abaixo

de 10 dB tornam a comunicação bastante instável ou quase impossível, já que as informações se corrompem com facilidade ao viajar pelo ar. (SILVA, 2020).

Manter uma boa relação sinal-ruído é um requisito obrigatório para que os mecanismos de priorização de tráfego consigam funcionar corretamente. O padrão *Wi-Fi Multimedia*, por exemplo, atua organizando a rede para que aplicações em tempo real, como chamadas de voz e transmissões de vídeo ao vivo, passem na frente de tarefas menos urgentes, como o download de um arquivo. Se a SNR estiver muito baixa e o ambiente cheio de interferências, esses pacotes prioritários do WMM podem se perder no caminho, causando engasgos, degradação da qualidade de áudio ou quedas durante uma chamada importante (ALMEIDA, 2025).

Além de afetar a estabilidade geral, a Relação Sinal-Ruído impacta de forma direta e automática a taxa de transmissão total da rede. As tecnologias modernas do padrão 802.11 são inteligentes e alteram a forma como enviam as informações com base na qualidade do ambiente, utilizando diferentes formatos de modulação de sinal. Quando o sinal está limpo e a SNR é bem alta, o AP utiliza uma modulação avançada e complexa, conseguindo empacotar e enviar uma quantidade muito maior de dados no mesmo segundo, resultando em uma conexão rápida. Caso o ruído do ambiente aumente ou o usuário se afaste muito do roteador, diminuindo a SNR, o sistema percebe a dificuldade e reduz a taxa de transmissão por conta própria, passando a usar uma modulação mais simples. Essa modulação mais lenta envia menos dados, mas é muito mais resistente a falhas, funcionando como um mecanismo de defesa para tentar evitar que a conexão pare de funcionar por completo (SILVA, 2026).

2.5 Redes de alta densidade

O aumento expressivo no uso de dispositivos móveis mudou profundamente a dinâmica das redes sem fio atuais. No Brasil, estima-se que cerca de 167,5 milhões de pessoas com 10 anos ou mais de idade utilizem telefone celular para uso pessoal, uma tendência de crescimento que se reflete em escala global (BELLO, 2025). Esse cenário impulsiona o surgimento das chamadas redes de alta densidade, que se caracterizam pela grande concentração de múltiplos aparelhos conectados simultaneamente em um mesmo espaço público ou privado, como centros comerciais, aeroportos, arenas de eventos e complexos hospitalares.

Nesses locais de grande concentração de acessos, o principal desafio técnico deixa de ser apenas o alcance físico do sinal (garantir que o Wi-Fi chegue a todos os pontos do ambiente) e passa a ser a capacidade da infraestrutura de gerenciar o volume de dados trafegados de forma organizada. Como muitos usuários disputam o mesmo espaço no ar para realizar atividades diferentes ao mesmo tempo, que vão desde o envio de mensagens simples até o consumo de vídeos em alta definição, o canal de comunicação pode ficar severamente sobrecarregado. Esse congestionamento gera atrasos na transmissão e aumento na perda de informações, o que o usuário final percebe diretamente como lentidão, travamentos ou quedas constantes na conexão. Por isso, compreender o comportamento das tecnologias sem fio sob condições de alto estresse

de carga é um passo fundamental para planejar melhorias que evitem gargalos e garantam uma internet estável e fluida para todos (MARTINS *et al.*, 2025).

Para que uma rede sem fio apresente um desempenho satisfatório, o planejamento de sua infraestrutura deve conciliar três variáveis diretamente interdependentes: a cobertura, a capacidade e a interferência. Esse relacionamento funciona de forma cíclica: expandir a área de cobertura exige a instalação de mais pontos de acesso, o que passa a demandar um plano de frequências minucioso para controlar e reduzir o nível de interferência no ambiente. Por outro lado, para suportar um volume maior de acessos simultâneos (capacidade), é necessário elevar a taxa média de transmissão de dados por equipamento (JUNIOR, 2012).

Contudo, essa taxa de transmissão real está intimamente ligada à qualidade do canal de comunicação e à relação sinal-ruído. À medida que o usuário se afasta de um AP, a potência do sinal diminui e a proximidade com eventuais fontes de ruído (como APs vizinhos) aumenta, degradando a SNR. Para mitigar essa perda e garantir taxas de dados mais altas, a engenharia de redes adota como solução limitar o raio de alcance de cada ponto de acesso. No entanto, essa redução de cobertura exige um adensamento ainda maior de novos APs, o que acaba gerando mais interferência mútua entre eles. Trata-se de um desafio técnico complexo, cujo ponto de equilíbrio ideal só é alcançado por meio de um projeto de radiofrequência bem estruturado (JUNIOR, 2012).

Segundo Junior (2012), a delimitação da área de cobertura de um ponto de acesso depende de uma combinação direta entre as especificações do equipamento, a capacidade dos dispositivos dos usuários e os obstáculos presentes no ambiente físico. Em infraestruturas que operam em múltiplas frequências, a faixa de 5 GHz sofre com uma atenuação natural mais severa do que a de 2,4 GHz, o que costuma gerar "buracos" de sinal no local. Para contornar esse problema e equilibrar as coberturas sem prejudicar o envio de dados dos usuários de volta para o roteador, o autor aponta que a solução ideal é adotar antenas de maior ganho para a faixa de 5 GHz. Contudo, como as fórmulas matemáticas puramente teóricas não conseguem prever com precisão as interferências e os materiais reflexivos de cada espaço, torna-se indispensável a realização de testes práticos de campo, conhecidos como *site survey*, para mapear o raio real da cobertura e dimensionar a quantidade necessária de equipamentos.

Na banda de 2,4 GHz, o controle de interferências é um grande desafio porque existem apenas três canais que não se sobrepõem: 1, 6 e 11. Para reduzir o ruído, os projetos adotam planos de reuso de frequências, distribuindo os pontos de acesso de forma estratégica. Uma técnica eficiente para conter o alcance de cada antena é configurar uma velocidade mínima de conexão mais alta, o que obriga o usuário a se conectar mais perto do equipamento e com um sinal mais limpo. Além disso, em prédios com vários andares, é preciso alternar esses canais verticalmente para evitar que um pavimento interfira no outro. Já a faixa de 5 GHz oferece muito mais flexibilidade ao projeto, pois sua grande quantidade de canais isolados facilita a organização da rede e elimina os conflitos de sinal (JUNIOR, 2012).

O dimensionamento da capacidade em redes sem fio exige a análise dos tipos de disposi-

tivos conectados, visto que o uso simultâneo de diferentes gerações tecnológicas pode degradar o desempenho geral da infraestrutura. Em cenários de alta densidade, uma solução comum é desativar o suporte a padrões antigos, como o 802.11b, pois aparelhos legados ou com sinal fraco demoram muito mais tempo para transmitir dados, sobrecarregando o canal e atrasando os demais usuários. Embora essa medida diminua o alcance máximo do ponto de acesso, ela eleva a taxa de transmissão média agregada dos demais clientes. Outro fator crítico é a quantidade de redes virtuais SSID (*Service Set Identifier* - Identificador de Conjunto de Serviços) configuradas no mesmo canal, já que cada nome de rede exige o envio constante de pacotes de sinalização (*beacons*), gerando um consumo desnecessário de tempo de transmissão. Por fim, como a maioria dos smartphones possui limitações físicas de *hardware*, operando geralmente em canais de 20 MHz e sem múltiplas antenas, a capacidade real da rede costuma ser menor do que o limite teórico dos equipamentos, exigindo cálculos de tráfego baseados na porcentagem de usuários ativos simultaneamente (JUNIOR, 2012).

2.6 Conceitos de site survey e mapas de calor (*heatmaps*)

O *site survey* configura-se como um conjunto de procedimentos indispensáveis para o mapeamento e a caracterização eletromagnética dos ambientes sob análise. Essa avaliação torna-se viável porque as estruturas e os materiais que compõem o espaço possuem propriedades elétricas e magnéticas particulares, as quais interferem diretamente nos fenômenos de absorção, reflexão ou atenuação das ondas emitidas pelos transmissores de rádio (ALEXANDER, 2004 apud STROBEL, 2006).

Diante disso, esse diagnóstico assume um papel primordial na concepção de projetos de redes sem fio, visto que seu impacto transcende a mera prevenção de gastos com a aquisição de equipamentos supérfluos. Ele assegura, fundamentalmente, o dimensionamento correto e estratégico de toda a infraestrutura, permitindo a entrega de uma cobertura de sinal estável, uniforme e perfeitamente alinhada às demandas locais, o que simplifica a topologia da rede e reduz o número de ativos a serem gerenciados no dia a dia (STROBEL, 2006).

Contudo, a aplicação prática dessas metodologias sistemáticas esbarra em limitações de mercado. Embora o planejamento rigoroso e a validação dependam de *softwares* especializados de *site survey*, a maior parte das ferramentas consolidadas possui natureza proprietária e elevado custo de licenciamento (TAQUARI, 2025). O preço elevado dessas licenças, associado à necessidade frequente de *hardwares* de coleta específicos e à exigência de treinamento em plataformas fechadas, termina por restringir o acesso a esse tipo de análise. Como consequência direta, cria-se uma barreira técnica para profissionais autônomos, pequenas empresas ou organizações com restrições orçamentárias, limitando a identificação precisa de zonas de sombra e prejudicando a tomada de decisões fundamentadas sobre a realocação de pontos de acesso ou a expansão da infraestrutura de rede (TAQUARI, 2025).

Em resumo, mesmo com os desafios financeiros das ferramentas pagas, a aplicação

prática do *site survey* e o uso dos mapas de calor são fundamentais para deixar de lado os ajustes por tentativa e erro, permitindo gerenciar as redes sem fio com base em dados reais. Entender os indicadores de rádio e as limitações dos *softwares* de mercado cria a base necessária para montar um plano de medição preciso e eficiente. Com toda essa base teórica construída, o próximo capítulo detalha a parte prática do trabalho, apresentando as ferramentas utilizadas, o protocolo de coleta em campo e os critérios para analisar o desempenho real da infraestrutura.

Diante desse cenário de barreiras financeiras e técnicas impostas por *softwares* proprietários, justifica-se, no presente estudo, a adoção de soluções metodológicas acessíveis. A utilização integrada de aplicativos móveis de diagnóstico, como o *Wi-Fi Analyzer*, associada a SIG (Sistemas de Informação Geográfica de Código Aberto), como o QGIS, apresenta-se como uma alternativa viável e eficaz para a execução de *site surveys* e a geração de mapas de calor sem a necessidade de altos investimentos em licenciamento.

2.7 Interpolação espacial e o método IDW

A geração de mapas de calor contínuos a partir de amostras pontuais restritas exige a aplicação de técnicas matemáticas de interpolação espacial. Dentre os algoritmos integrados a SIG, o IDW (*Inverse Distance Weighting* - Inverso da Distância Ponderada) destaca-se por sua eficiência computacional e capacidade de modelagem paramétrica. O método IDW prediz um valor para locais não medidos utilizando os valores amostrados à sua volta, atribuindo maior peso aos pontos mais próximos, cuja influência diminui gradativamente com o aumento da distância (VARGAS *et al.*, 2018).

A interpolação por IDW determina os valores estimados através de uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados (MARCUIZZO; ANDRADE; MELO, 2011). O cálculo para estimar um ponto desconhecido $Z(x)$ é expresso pela Equação 2.4:

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (2.4)$$

Onde n é a quantidade de pontos próximos utilizados no cálculo, $Z(x_i)$ é o valor medido no ponto amostrado e ω_i é o peso atribuído a essa amostra (MARCUIZZO; ANDRADE; MELO, 2011). Para calcular o peso da influência de cada amostra, utiliza-se a relação com o inverso da distância geométrica, dada pela Equação 2.5:

$$\omega_i = \frac{1}{h(x, x_i)^p} \quad (2.5)$$

Na Equação 2.5, $h(x, x_i)$ representa a distância física entre o local que está sendo estimado e o ponto amostrado, enquanto p consiste no parâmetro de potência da distância. O parâmetro de potência geralmente utilizado é igual a dois, sendo que valores de potência maiores enfatizam fortemente os pontos mais próximos (tornando a superfície menos suave), ao passo que potências

menores ampliam a influência de pontos distantes (MARCUIZZO; ANDRADE; MELO, 2011).

Para o mapeamento de radiofrequência e elaboração de diagnósticos de cobertura Wi-Fi, o IDW apresenta vantagens consideráveis de modelagem. O método IDW atua como um interpolador exato e global, apresentando rápida velocidade de processamento de dados. Uma característica fundamental desse interpolador é que ele não estima valores maiores ou menores do que os limites quantitativos máximos e mínimos obtidos nas amostras originais. Em termos de redes sem fio, isso garante fidelidade física ao mapa, impedindo que o software infle artificialmente a potência ao redor de um AP com valores de decibéis irrealisticamente altos, que jamais foram captados pela antena receptora durante a varredura (VARGAS *et al.*, 2018).

Apesar de sua assertividade, a metodologia apresenta algumas limitações estruturais. O IDW possui a tendência característica de gerar pequenas "ilhas" concêntricas de dados ao redor das coordenadas de medição. Conforme demonstrado matematicamente, a geração dessas ilhas isoladas ocorre porque, à medida que a distância $h(x, x_i)$ para o ponto medido se aproxima de zero, o peso da influência ω_i desse ponto sobre a área vizinha tende ao infinito, ofuscando a influência de outras medições. Adicionalmente, por basear-se puramente em um modelo matemático de distâncias bidimensionais, a fórmula não decodifica a existência de barreiras arquitetônicas impenetráveis (como pilares e paredes espessas). Para adequar o método à realidade de ambientes *indoor*, exige-se que a etapa de coleta de dados contorne fisicamente os obstáculos estruturais, forçando o algoritmo a processar a atenuação de sinal induzida pelas paredes (MARCUIZZO; ANDRADE; MELO, 2011).

3 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Este capítulo detalha o aparato tecnológico e as etapas de execução utilizadas para avaliar a rede sem fio do IFPB. A escolha das ferramentas e o delineamento do experimento visam garantir que os dados coletados reflitam com precisão a realidade da cobertura e do desempenho enfrentados pelos usuários no dia a dia da instituição.

3.1 Instrumental de pesquisa e ferramentas

Para a viabilização deste estudo de caso, a coleta primária de dados é realizada de maneira prática com o auxílio do aplicativo móvel Wi-Fi Analyzer (OLGOR.COM, 2026). A adoção dessa ferramenta permite aferir o RSSI diretamente das interfaces móveis, capturando a intensidade real da rede sob a exata perspectiva e limitação de *hardware* dos dispositivos utilizados pela comunidade acadêmica. A Figura 3.1 ilustra a interface principal do aplicativo, demonstrando como a intensidade do sinal das redes disponíveis é apresentada para o usuário.

Figura 3.1: Interface de medição de sinal do aplicativo Wi-Fi Analyzer



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

A consolidação e a análise espacial dessas métricas ocorrem no *software* QGIS (QGIS Development Team, 2026). Adotado como a plataforma central de SIG desta pesquisa, o QGIS possui algoritmos robustos que processam o cruzamento das coordenadas geográficas com a potência do sinal coletado, possibilitando a renderização técnica e contínua dos mapas de calor (*heatmaps*).

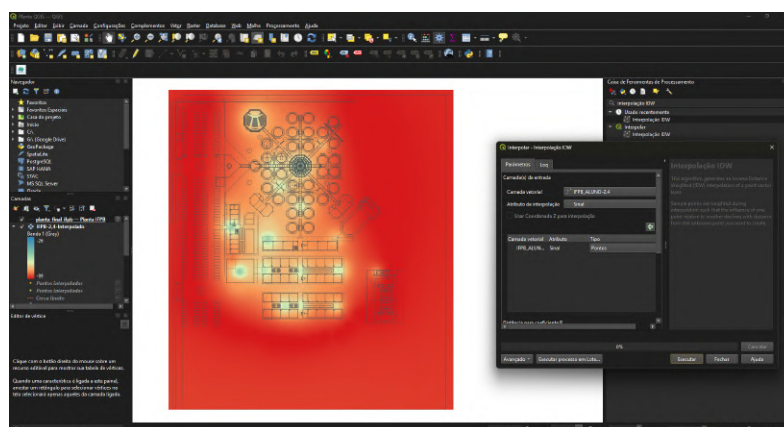
3.2 Preparação da base cartográfica e calibração

O processo metodológico inicia-se com a transposição das plantas baixas do IFPB, originalmente projetadas no formato CAD (*Computer Aided Design* — Desenho Auxiliado por Computador), diretamente para o ambiente de geoprocessamento do QGIS. Para otimizar a análise espacial, os arquivos originais passam por uma triagem vetorial, onde elementos irrelevantes para a propagação de rádio são suprimidos, mantendo-se em evidência as estruturas físicas e barreiras arquitetônicas, como alvenaria e pilares.

Após a importação no QGIS, a planta digital é rigorosamente georreferenciada e escalonada. Esta etapa de calibração espacial é crítica: ao definir a escala métrica exata da edificação, assegura-se que os algoritmos de interpolação matemática estimem o decaimento do sinal e a extensão territorial das zonas de sombra sem qualquer distorção geométrica.

Com a base calibrada e os dados de campo tabulados, realiza-se o processamento espacial. A Figura 3.2 ilustra a parametrização da ferramenta de Interpolação IDW nativa do *software* QGIS. Para a modelagem do mapa de calor, o RSSI medido em campo foi definido como o atributo de interpolação base. O coeficiente de ponderação da distância (p) foi rigorosamente fixado em 2,0, assegurando que o decaimento da influência de um ponto siga a lei do inverso do quadrado da distância geométrica, comportamento compatível com a atenuação de radiofrequência em espaço livre. A resolução do *raster* de saída (tamanho do pixel) foi configurada para 1,0 metro, uma densidade que garante a renderização de uma superfície contínua e detalhada sobre a planta, sem comprometer a fidelidade matemática dos dados originais.

Figura 3.2: Parametrização da ferramenta de Interpolação IDW no *software* QGIS



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

3.3 Protocolo de coleta de dados

A coleta de campo adota o método de varredura espacial progressiva (*walk-through*), projetado para mapear de forma metódica o comportamento de rádio no ambiente físico. Para garantir a reprodutibilidade da pesquisa e a padronização das amostras, os parâmetros e as condições de contorno do levantamento foram estritamente definidos:

- **Instrumento de Medição:** As aferições foram realizadas utilizando um *smartphone* Samsung Galaxy S23 FE (128GB), equipado com *chipset* Wi-Fi Exynos 2200 compatível com as frequências analisadas. O uso de um dispositivo móvel padrão e moderno reflete com exatidão as características e limitações de *hardware* de recepção vivenciadas pelo corpo discente no dia a dia da instituição.

- **Condições e Período:** A varredura ocorreu no dia 2 de junho de 2026, durante o período letivo da tarde, concentrando-se na janela horária entre 14h e 16h. O campus operava em um dia de aula normal e sem eventos atípicos. Essa janela temporal foi escolhida estrategicamente para capturar o cenário real de atenuação do sinal causado pelo fluxo rotineiro de estudantes e servidores (absorção de radiofrequência por corpos humanos) e pela dinâmica arquitetônica de abertura e fechamento de portas. As condições climáticas mantiveram-se limpas e estáveis durante todas as aferições.
- **Malha Amostral:** Foram estabelecidos, no total, 34 pontos físicos de amostragem ao redor do IFPB. Para maximizar a coleta, em cada uma dessas 34 coordenadas o levantamento capturou 4 métricas distintas simultaneamente (avaliando as redes IFPB e IFPB-ALUNO, ambas nas frequências de 2,4 GHz e 5 GHz). O critério de espaçamento entre as medições adotou uma distância geométrica regular que foi sendo ajustada na prática conforme a presença de barreiras físicas e interseções de corredores.

O procedimento prático executado em cada um desses pontos consistiu nas seguintes etapas:

- **Demarcação e Amostragem Estática:** Em cada coordenada demarcada, realizou-se uma pausa curta para garantir a estabilização das leituras da antena do dispositivo móvel. Em seguida, registrou-se, através do aplicativo *Wi-Fi Analyzer*, o nível de potência do sinal (RSSI) aferido em dBm para cada rede e frequência.
- **Tabulação de Dados:** As informações aferidas foram estruturadas de forma tabular, correlacionando o valor exato do sinal capturado com as suas coordenadas bidimensionais correspondentes, gerando o banco de dados que alimentou a análise espacial no SIG.

3.4 Critérios para análise de cobertura e sinal

Os dados brutos coletados em campo foram processados no QGIS para a geração dos mapas de calor bidimensionais. O foco metodológico da análise e da geração dos mapas restringe-se estritamente à variação espacial da potência recebida (RSSI) de toda a infraestrutura *indoor* do campus.

A escolha exclusiva por esta métrica, em detrimento de medições na camada de aplicação (como aferição ativa de vazão, latência e *jitter*), sustenta-se sob dois pilares. Primeiro, a execução de testes de *throughput* exige autenticação contínua e injeção de tráfego, procedimento que encontra restrições severas nas políticas de segurança cibernética das redes corporativas protegidas da instituição, limitando o diagnóstico a varreduras passivas de sinal.

Segundo e mais importante, sob a ótica da engenharia de redes sem fio, a qualidade da camada física é o pré-requisito irrefutável para o funcionamento lógico do sistema. Nenhuma

política de controle de banda ou recurso avançado de rede consegue compensar de forma milagrosa as perdas de integridade causadas por um nível de sinal físico excessivamente degradado pelas paredes e obstáculos arquitetônicos. Dessa forma, o diagnóstico cartográfico baseado no RSSI consolida-se como o passo mais basilar, permitindo identificar com clareza o limite físico da cobertura viável e mapear as zonas de sombra estruturais da instituição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados espaciais obtidos a partir do *site survey*. Os dados brutos de intensidade de sinal, aferidos em campo, foram interpolados no *software* QGIS para a geração de mapas de calor (*heatmaps*) contínuos.

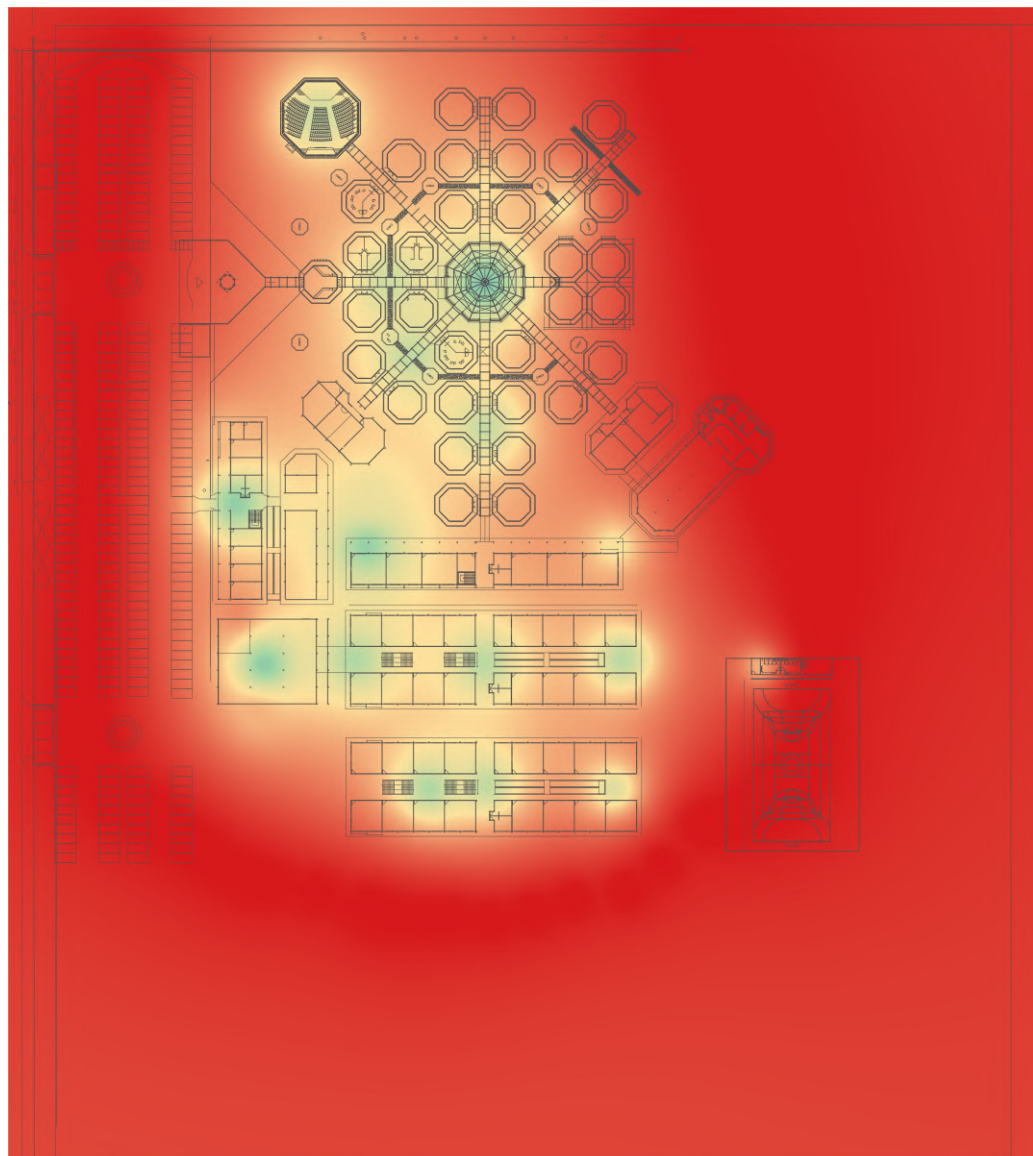
A definição dos limiares de intensidade de sinal (RSSI) adotados neste estudo fundamenta-se em diretrizes consolidadas da indústria de telecomunicações e nas recomendações de infraestrutura para redes sem fio de alta densidade, a exemplo dos parâmetros estabelecidos nos guias de desenho e de *site survey* corporativos da Cisco (Cisco Systems, 2022). Para a correta interpretação radiométrica dos mapas apresentados nas páginas subsequentes, estabeleceu-se uma escala colorimétrica padronizada que reflete a atenuação do sinal eletromagnético alinhada a esses critérios técnicos:

- **Cores Frias (Tons de Azul e Verde-água):** Representam áreas com excelente nível de potência (tipicamente ≥ -60 dBm). Nestas zonas, a relação sinal-ruído é alta, permitindo o uso de modulações complexas e garantindo o desempenho máximo da rede, traduzido por uma vazão elevada e baixa latência.
- **Cores Intermediárias (Tons de Amarelo e Verde claro):** Indicam zonas de transição e cobertura aceitável (entre -61 dBm e -75 dBm). A conexão mantém-se estável para serviços básicos de navegação, embora possa apresentar limitações para tráfego de tempo real em momentos de alta densidade de usuários.
- **Cores Quentes (Tons de Laranja e Vermelho escuro):** Sinalizam as zonas de sombra radiométrica (tipicamente ≤ -76 dBm). Nestas áreas, os obstáculos arquitetônicos causaram degradação severa do sinal, resultando em instabilidade, perda de pacotes ou incapacidade total de associação ao ponto de acesso.

O mapeamento foi estratificado para analisar isoladamente as duas principais redes disponibilizadas no campus: a rede de uso institucional (SSID: IFPB) e a rede destinada ao corpo discente (SSID: IFPB-ALUNO). Ambas foram avaliadas nas faixas de operação de 2,4 GHz e 5 GHz.

Os mapas de calor resultantes para a rede institucional estão ilustrados na Figura 4.1 (operando na frequência de 2,4 GHz) e na Figura 4.2 (operando em 5 GHz). De maneira análoga, o comportamento da cobertura para a rede discente pode ser visualizado na Figura 4.3 (2,4 GHz) e na Figura 4.4 (5 GHz), dispostas nas páginas seguintes.

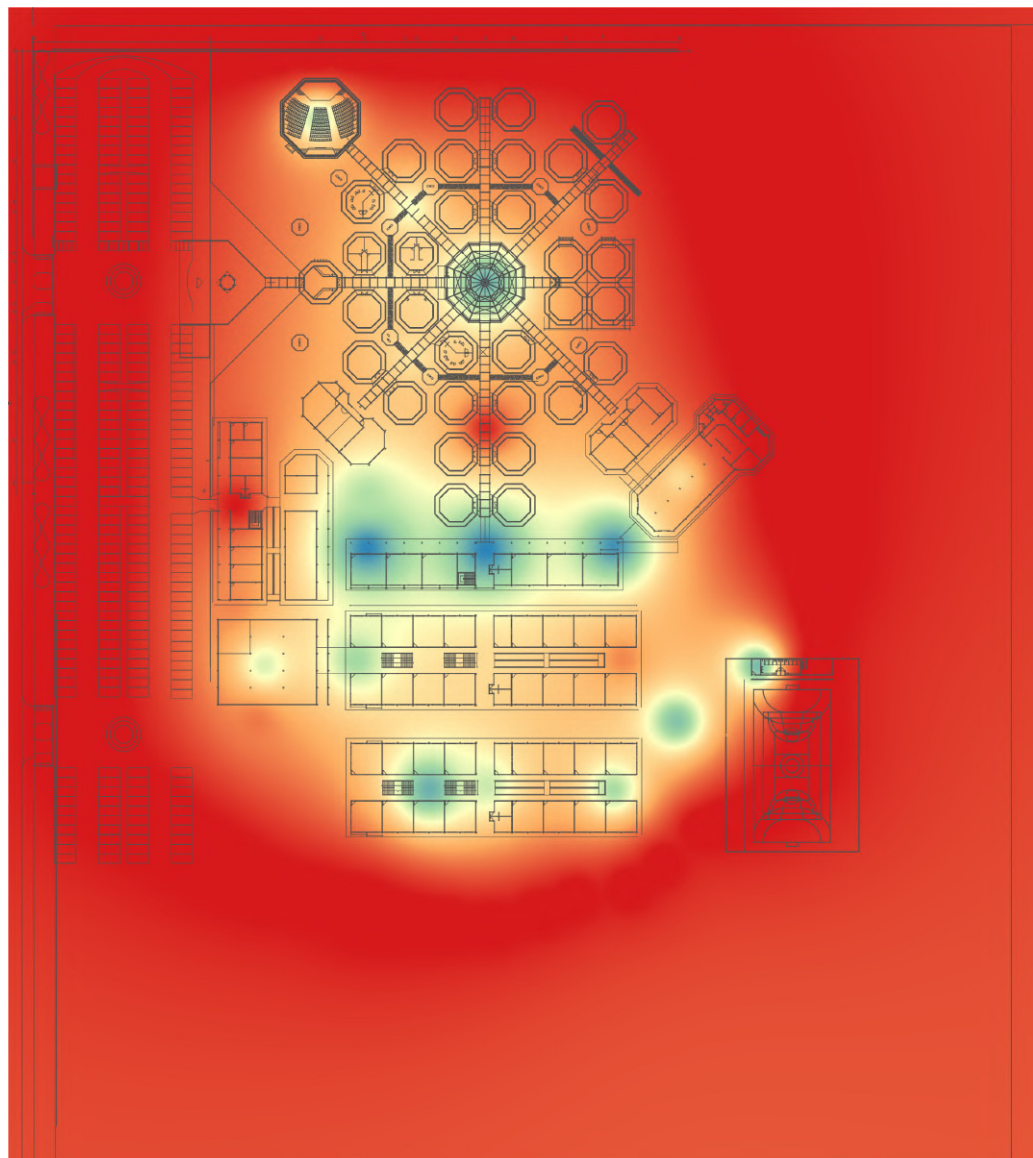
Figura 4.1: Mapa de calor da rede institucional (SSID: IFPB) na frequência de 2,4 GHz.



Excelente (≥ -60 dBm) Aceitável (-61 a -75 dBm) Sombra (≤ -76 dBm)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

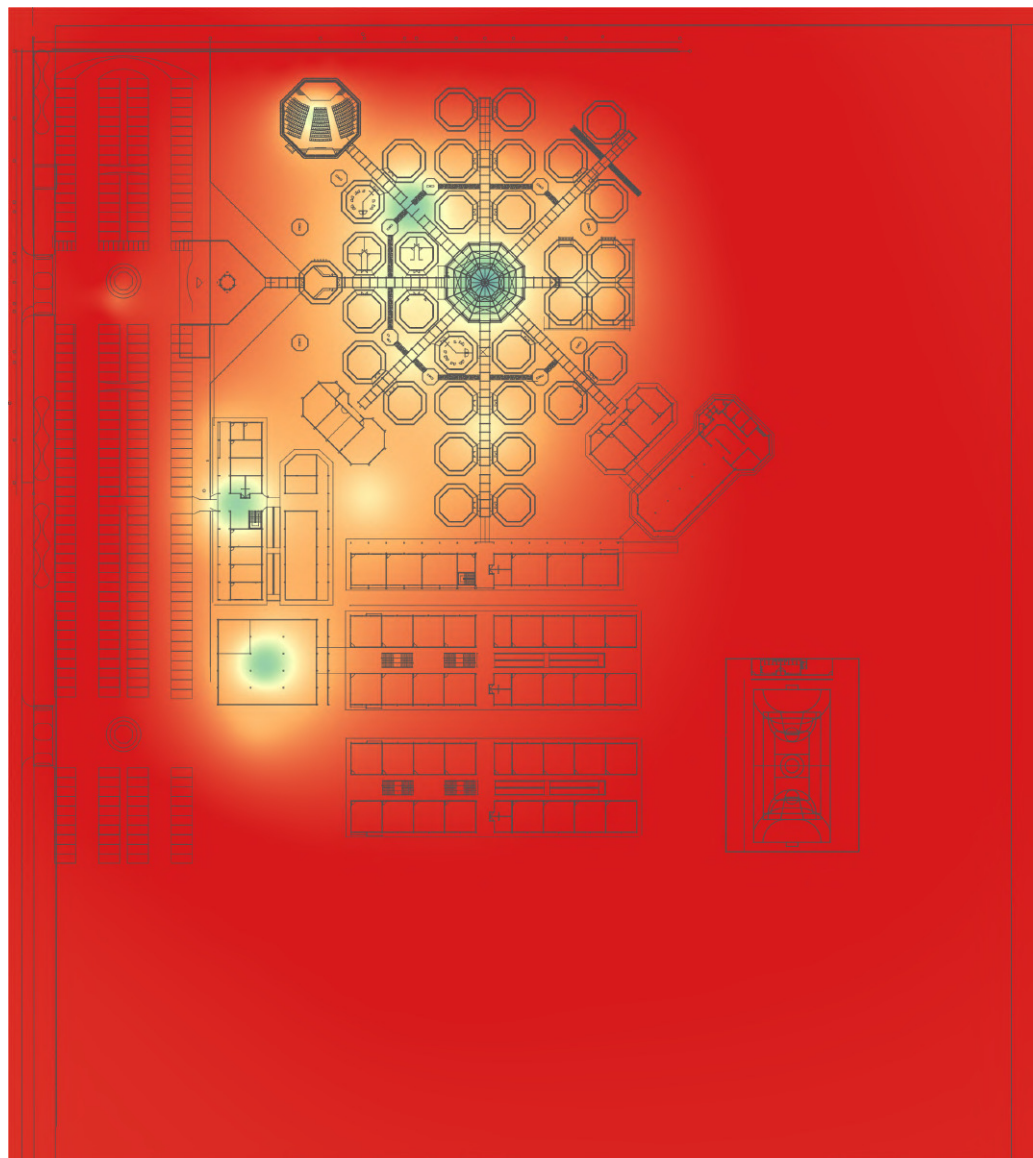
Figura 4.2: Mapa de calor da rede institucional (SSID: IFPB) na frequência de 5 GHz.



Excelente (≥ -60 dBm) Aceitável (-61 a -75 dBm) Sombra (≤ -76 dBm)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

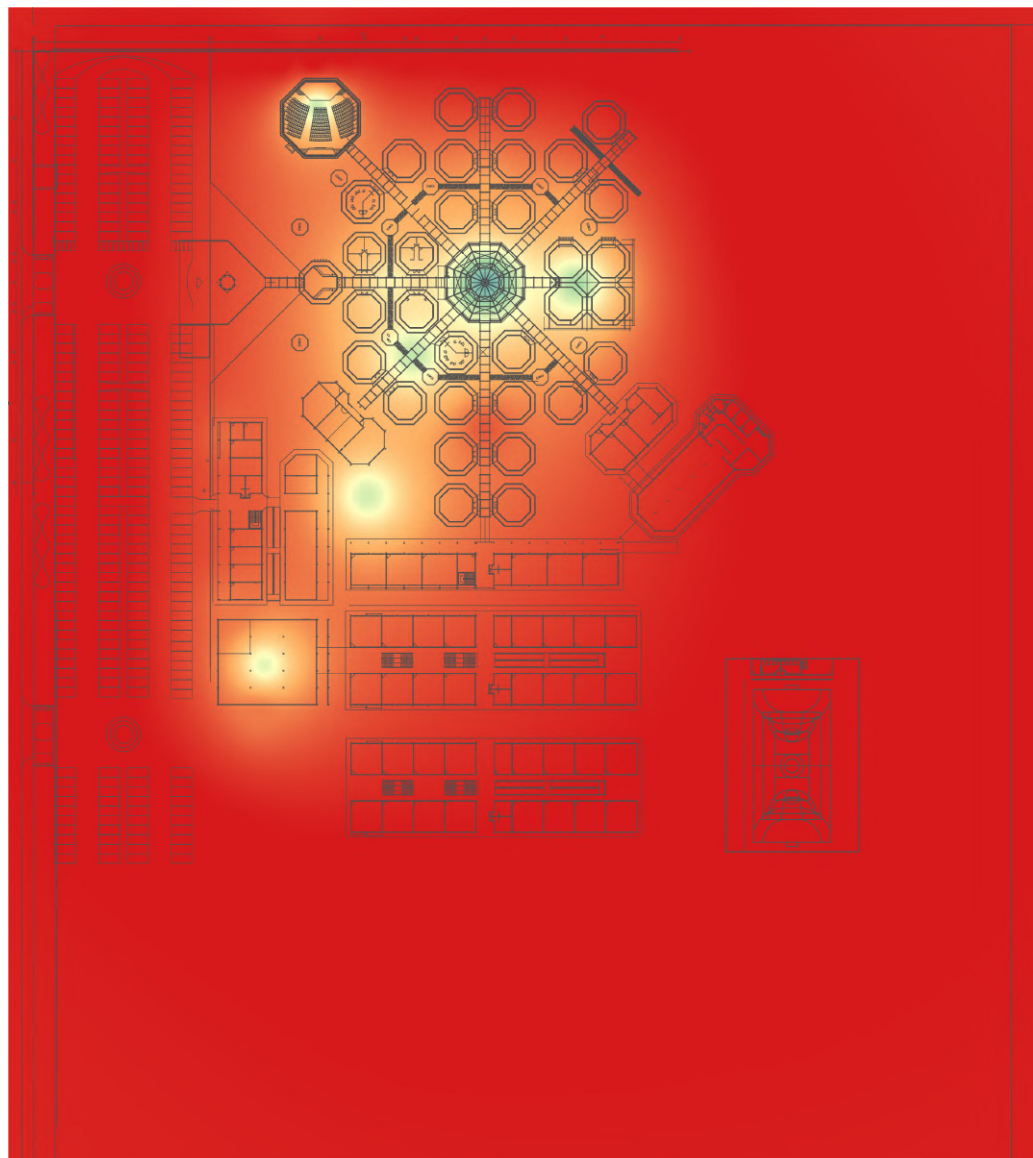
Figura 4.3: Mapa de calor da rede discente (SSID: IFPB-ALUNO) na frequência de 2,4 GHz.



Excelente (≥ -60 dBm) Aceitável (-61 a -75 dBm) Sombra (≤ -76 dBm)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Figura 4.4: Mapa de calor da rede discente (SSID: IFPB-ALUNO) na frequência de 5 GHz.



Excelente (≥ -60 dBm) Aceitável (-61 a -75 dBm) Sombra (≤ -76 dBm)

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

4.1 Discussão dos resultados

A análise dos mapas de calor gerados no QGIS permite visualizar de forma clara e direta como o sinal da rede sem fio se comporta na prática dentro do campus. Diferente de planilhas cheias de números que são difíceis de interpretar, os mapas transformam os dados invisíveis do Wi-Fi em um formato visual simples de entender.

Para criar esses mapas contínuos, o *software* utilizou uma técnica matemática chamada interpolação. Ela funciona da seguinte maneira: como seria impossível medir o sinal em cada centímetro quadrado do chão do IFPB, as medições foram feitas em vários pontos específicos enquanto se caminhava pelo prédio. O programa de computador pega essas amostras pontuais e usa um método chamado IDW para preencher os espaços vazios. Basicamente, o sistema interpola e estima qual seria a força do sinal nas zonas onde não houve medição física, conferindo maior peso e relevância aos pontos de coleta espacialmente mais próximos daquela área (MARCUIZZO; ANDRADE; MELO, 2011).

Para fins de clareza, a Tabela 4.1 exemplifica a lógica desse cálculo para estimar o sinal em um local desconhecido (chamaremos de Ponto X) a partir de três medições ao redor. Como o coeficiente de distância configurado no QGIS foi 2,0, o peso é calculado pelo inverso do quadrado da distância ($1/d^2$).

Tabela 4.1: *Exemplo prático de atribuição de pesos na interpolação IDW*

Ponto Conhecido	Distância até o Ponto X	Sinal Medido	Peso na Interpolação
Ponto 1	2 metros	-50 dBm	0,250
Ponto 2	5 metros	-65 dBm	0,040
Ponto 3	10 metros	-80 dBm	0,010

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Como demonstrado na tabela, o Ponto 1, por estar a apenas 2 metros de distância, recebe um peso de 0,250. Isso significa que ele exerce uma influência matemática 25 vezes maior do que o Ponto 3 (que está a 10 metros) na hora de o programa decidir a cor daquele pixel no mapa de calor.

É muito importante deixar claro que esse mapa não é um retrato 100% perfeito e exato da realidade. A interpolação não consegue prever, por exemplo, o bloqueio exato causado por um armário de metal isolado ou por uma cadeira. Mesmo não sendo perfeito nos mínimos detalhes, essa aproximação cumpre muito bem o seu papel estratégico. Dando uma excelente visão geral de onde a cobertura está forte e onde estão as zonas de sombra, ajudando a tomar decisões baseadas em dados reais em vez de apenas tentar adivinhar onde colocar os equipamentos de rede (TAQUARI, 2025).

A partir da observação das imagens, a primeira grande descoberta está relacionada à diferença física entre as frequências de operação, um fenômeno que fica evidente nos mapas de ambas as redes: tanto na institucional (SSID: IFPB) quanto na discente (SSID: IFPB-ALUNO).

Na frequência de 5 GHz, o sinal tem um comportamento mais "agudo" e concentrado. Na prática, isso significa que ele é capaz de entregar uma excelente qualidade de conexão, com velocidades altíssimas e quase nenhuma interferência. No entanto, por ter uma frequência muito alta, esse sinal perde força rapidamente ao esbarrar em obstáculos físicos do dia a dia, como paredes de alvenaria, portas e pilares. Como resultado desse bloqueio, os mapas em 5 GHz mostram que a cobertura atinge uma área bem menor, limitando-se aos locais que possuem visão direta ou estão muito próximos aos APs.

Em contrapartida, o sinal de 2,4 GHz possui uma característica física oposta: ele é mais "largo" e tem uma facilidade muito maior para se espalhar pelo ambiente. Por conseguir contornar obstáculos com mais facilidade e atravessar paredes, ele sofre menos com as barreiras arquitetônicas. Por esse motivo, ao analisar os mapas em 2,4 GHz, nota-se que o sinal atinge uma área muito maior do campus, espalhando-se por corredores e pátios onde a rede de 5 GHz não consegue chegar.

Embora esse comportamento físico das ondas seja natural e esperado para ambas as frequências, o cruzamento dos mapas revelou um cenário intencional na configuração lógica da infraestrutura. Comparando a rede institucional com a rede discente, percebe-se que a IFPB-ALUNO sofre um verdadeiro "apagão" em áreas cruciais para a vivência acadêmica, como o bloco de aulas, o bloco dos professores, o refeitório e o ginásio. Nesses locais, os alunos ficam praticamente sem nenhum nível de potência de sinal útil.

Para compreender a motivação técnica dessa ausência de sinal, realizou-se um levantamento das políticas de acesso junto à CTI do campus. A verificação das diretrizes de rede revelou que esse apagão não decorre de falhas de planejamento ou defeitos de *hardware*, configurando-se como uma decisão de gestão estratégica da infraestrutura. Segundo os parâmetros operacionais da CTI, a propagação do sinal da rede discente nesses setores específicos é bloqueada de forma intencional, possuindo respaldo pedagógico e disciplinar. O objetivo dessa restrição física é mitigar o uso de dispositivos móveis para fins de entretenimento ou dispersão durante o horário letivo, fatores que poderiam impactar negativamente o rendimento escolar.

O objetivo da restrição é evitar que os estudantes acessem a internet nos celulares para entretenimento ou dispersão durante as aulas, o que poderia afetar negativamente o aprendizado e o rendimento escolar. Além disso, a medida atua como uma barreira de segurança, visando impedir que a rede discente seja utilizada para consultas indevidas e "colas" durante a aplicação de provas.

Apesar de a decisão possuir uma justificativa focada na disciplina acadêmica, essa restrição afeta diretamente a flexibilidade e a autonomia do corpo discente. A exclusão da rede IFPB-ALUNO nos blocos de aulas e nas áreas de convivência dificulta o uso de *smartphones* e dispositivos portáteis para pesquisas rápidas orientadas pelos professores, impossibilita o *download* de materiais didáticos no momento da aula e restringe a aplicação de metodologias de ensino mais ativas e conectadas. O diagnóstico mostra que o desafio atual da instituição não é apenas melhorar o alcance físico do sinal de rádio, mas também repensar o equilíbrio

entre as rígidas políticas de controle disciplinar e a inclusão digital dos alunos no ambiente de aprendizagem.

Para aprofundar essa reflexão sobre a inclusão, é preciso observar o comportamento natural dos usuários quando encontram essa zona sem sinal. Hoje em dia, grande parte do material de estudo, listas de exercícios e fóruns de discussão estão em plataformas digitais. Quando o sinal da rede IFPB-ALUNO é bloqueado nos blocos de ensino, o estudante que precisa de um acesso rápido acaba recorrendo ao seu próprio plano de dados móveis (4G ou 5G). Isso cria um cenário de desigualdade dentro da sala de aula: alunos que possuem condições financeiras para pagar pacotes de dados continuam acessando a internet, seja para estudar ou para se distrair, contornando a restrição. Enquanto isso, alunos de baixa renda, que dependem exclusivamente da infraestrutura pública do Instituto para estudar, ficam completamente desconectados.

Sendo assim, o "apagão" do sinal acaba penaliza de maneira assimétrica e, muitas vezes, não atinge o seu objetivo principal de manter o foco total da turma. Além das questões políticas da rede, a análise técnica dos mapas também ensina muito sobre o dia a dia da conectividade. Nos locais onde o sinal de ambas as frequências está disponível, ocorre um fenômeno invisível, mas constante: o *roaming* automático entre bandas. Durante a movimentação pelo campus, os dispositivos móveis associam-se inicialmente à frequência de 5 GHz para obter maior taxa de transmissão. Contudo, a transição para pátios ou corredores internos resulta na atenuação severa desse sinal devido ao bloqueio imposto pelas barreiras arquitetônicas. Para não deixar o usuário sem internet, o celular detecta a queda e troca instantaneamente para a rede de 2,4 GHz, que, como vimos nos mapas, consegue chegar mais longe.

Sob a ótica da teoria de redes de alta densidade, o problema prático desse salto automático é que a frequência de 2,4 GHz tende a sofrer rápida saturação. Como ela atua como a "rede de segurança" que cobre a maior área do campus, uma grande quantidade de aparelhos acaba associada a ela simultaneamente. Esse fenômeno explica uma frustração comum relatada pelos usuários: muitas vezes, o ícone do Wi-Fi apresenta um indicador de sinal forte, mas a percepção de navegação é lenta. Embora a força do sinal exista (como comprovado nos mapas), a literatura de telecomunicações indica que a concentração massiva de dispositivos disputando o mesmo tempo de transmissão (*airtime*) em um espectro reduzido eleva a probabilidade de congestionamento do canal de comunicação.

Portanto, os mapas de calor gerados por este trabalho entregam à gestão do campus uma ferramenta visual. Eles provam que configurar uma rede de alta densidade não se resume a espalhar vários roteadores pelo teto de forma aleatória. É preciso entender a planta do prédio, saber como as ondas eletromagnéticas se comportam em contato com as paredes e alinhar toda essa física com regras de acesso da rede. Com esses dados em mãos, a instituição pode melhorar os ajustes e passar a planejar melhores técnicas de precisão, garantindo uma conexão que seja, ao mesmo tempo, veloz e estável.

4.2 Análise quantitativa e estatística do sinal

Para complementar a interpretação visual dos mapas de calor e fornecer uma base de comparação numérica objetiva para a infraestrutura do campus, os dados brutos de intensidade de sinal (RSSI) extraídos dos 34 pontos de amostragem foram submetidos a uma análise estatística descritiva. A Tabela 4.2 consolida o comportamento quantitativo do sinal aferido para ambas as redes (institucional e discente) nas frequências de 2,4 GHz e 5 GHz.

Tabela 4.2: Estatística descritiva da intensidade de sinal (RSSI) coletada no campus

Rede / Frequência	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão
IFPB (2,4 GHz)	-90 dBm	-50 dBm	-71,9 dBm	-71,0 dBm	12,2 dBm
IFPB (5 GHz)	-90 dBm	-26 dBm	-68,5 dBm	-72,5 dBm	18,7 dBm
IFPB-ALUNO (2,4 GHz)	-90 dBm	-50 dBm	-78,0 dBm	-80,5 dBm	13,5 dBm
IFPB-ALUNO (5 GHz)	-90 dBm	-43 dBm	-81,6 dBm	-85,0 dBm	11,7 dBm

Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

Nota técnica: Para fins de cálculo estatístico, os pontos sem associação de rede foram estabelecidos no limite de sensibilidade de -90 dBm. A amostragem foi consolidada de forma global (todos os blocos integrados) para preservar a significância estatística do desvio padrão.

A observação direta dos dados tabulados corrobora matematicamente as características de propagação visualizadas qualitativamente nos *heatmaps*. O desvio padrão expressivo encontrado na rede institucional de 5 GHz (na ordem de 18,7 dBm) evidencia a alta sensibilidade dessa frequência a obstáculos físicos. Enquanto o valor máximo registrado (-26 dBm) demonstra uma excelente força de conexão quando há linha de visada direta com os equipamentos, os valores mínimos absolutos (-90 dBm) revelam quedas abruptas de potência e perda de associação nas zonas de sombra arquitetônicas.

Em contrapartida, a variação de intensidade de sinal na rede institucional de 2,4 GHz (desvio padrão de 12,2 dBm) apresenta-se numericamente mais estável e uniforme ao longo do percurso, confirmando a maior capacidade de difração física dessa banda. Adicionalmente, a discrepância estatística entre os valores da rede institucional e da rede discente (IFPB-ALUNO) reflete, em números absolutos, as políticas de restrição descritas anteriormente. O bloqueio intencional do SSID dos alunos nos blocos de ensino derruba a média geral de cobertura discente para patamares muito próximos ao limite de desconexão (-78,0 dBm e -81,6 dBm), aumentando significativamente a disparidade do serviço ofertado dentro da mesma instituição.

Além das métricas de tendência central e dispersão, a Tabela 4.3 categoriza as amostras percentualmente, classificando os 34 pontos de acordo com os limiares de qualidade de sinal estabelecidos na metodologia: Excelente (≥ -60 dBm), Aceitável (entre -61 dBm e -75 dBm) e Sombra (≤ -76 dBm).

Tabela 4.3: *Percentual de cobertura classificado por faixas de qualidade de sinal*

Rede / Frequência	Excelente (≥ -60)	Aceitável (-61 a -75)	Sombra (≤ -76)
IFPB (2,4 GHz)	17,6%	44,1%	38,2%
IFPB (5 GHz)	29,4%	26,5%	44,1%
IFPB-ALUNO (2,4 GHz)	14,7%	23,5%	61,8%
IFPB-ALUNO (5 GHz)	5,9%	11,8%	82,4%

Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

A distribuição percentual reforça as premissas físicas e acadêmicas da infraestrutura. O índice de 44,1% de zonas de sombra na rede institucional em 5 GHz é condizente com a literatura. Trabalhos semelhantes realizados em infraestruturas educacionais apontam que a alta frequência de 5 GHz sofre atenuação severa ao transpor blocos de alvenaria e múltiplas divisórias físicas típicas de campi universitários, o que frequentemente resulta em coberturas "fatiadas" e restritas aos ambientes com LOS (JUNIOR, 2012).

De modo análogo, os resultados obtidos dialogam com diagnósticos recentes realizados em outras unidades da própria instituição. Estudos de avaliação de redes do IFPB Campus João Pessoa e Campina Grande (SILVA, 2026; ALMEIDA, 2025) também constataram que as redes de 2,4 GHz entregam uma área de cobertura física percentualmente maior devido à sua resiliência geométrica frente às barreiras arquitetônicas. Contudo, assim como observado no presente estudo, essa vantagem física de alcance esbarra na rápida saturação do canal e na baixa eficiência lógica em cenários de alta densidade.

Por fim, os percentuais alarmantes de zona de sombra na rede discente (atingindo 82,4% no 5 GHz e 61,8% no 2,4 GHz) ratificam numericamente a constatação qualitativa: o dimensionamento da rede IFPB-ALUNO diverge da capacidade real dos roteadores instalados e decorre de restrições de propagação aplicadas sistemicamente nas áreas de ensino.

4.3 Propostas de soluções

Com base na análise dos mapas de calor e na identificação empírica das zonas de sombra e das restrições de conectividade, este trabalho propõe um conjunto de soluções estratégicas e tecnicamente fundamentadas. O objetivo central é fornecer um roteiro para ajudar a rede Wi-Fi do IFPB para atender à crescente e complexa demanda do corpo discente e dos servidores com estabilidade, velocidade e eficiência.

Ciente de que a engenharia aplicada deve sempre respeitar as viabilidades técnica, administrativa e, sobretudo, orçamentária inerentes a uma instituição pública de ensino, as propostas de intervenção foram modeladas e divididas em dois cenários práticos. O primeiro apresenta um plano ideal de atualização tecnológica, aplicável mediante a disponibilidade de recursos financeiros. O segundo estabelece um plano de otimização lógica imediata, focado em extrair o desempenho máximo da infraestrutura já instalada com custo financeiro zero.

Plano de Expansão e Atualização Tecnológica (Cenário com Orçamento)

A infraestrutura de rede sem fio atual do campus apoia-se fortemente na utilização de pontos de acesso da fabricante Huawei, com destaque para os modelos AP5030DN e AP8130DN. Tratam-se de equipamentos historicamente robustos e de excelente qualidade de fabricação para ambientes corporativos tradicionais. Ambos operam baseados na norma IEEE 802.11ac, conhecida comercialmente como Wi-Fi 5.

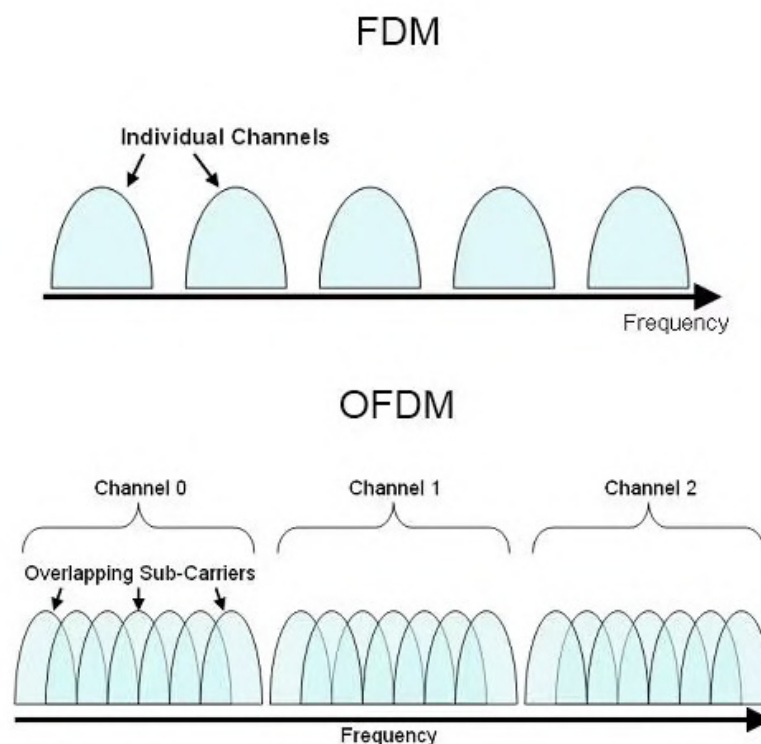
Contudo, ao projetarmos as necessidades de conectividade para o cenário de um campus acadêmico em 2026, é necessário reconhecer que a tecnologia Wi-Fi 5 encontra-se arquitetonicamente defasada para lidar com as chamadas redes de altíssima densidade. O grande limitador desse padrão legado é a sua forma de gerenciar o tempo de transmissão (*airtime*). O padrão 802.11ac carece do mecanismo OFDMA, o que impede a subdivisão eficiente do canal para múltiplos usuários simultâneos. Conforme a literatura teórica sobre o padrão demonstra, isso resulta em limitações de acesso ao meio em cenários de alta densidade. Em um caso hipotético de uma sala de aula com quarenta alunos requisitando dados ao mesmo tempo, o AP legado é forçado a gerenciar as requisições sequencialmente, criando filas de espera invisíveis. Embora este trabalho não tenha executado medições ativas na camada de aplicação, sabe-se teoricamente que a soma desses milissegundos de espera no *airtime* culmina em um gargalo lógico. Como consequência indireta dessa arquitetura, redes sob alto estresse costumam apresentar atrasos perceptíveis (latência) e desconexões por *timeout*, independentemente do RSSI aferido nos dispositivos.

A solução ideal para suplantiar essa limitação física é a elaboração de um projeto de transição gradual para equipamentos compatíveis com o padrão Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax) ou superior. O grande avanço técnico dessa nova geração de roteadores é a introdução do recurso de multiplexação espacial chamado OFDMA.

Traduzida de forma direta como Acesso Múltiplo por Divisão de Frequências Ortogonais, essa tecnologia significa que o canal principal de transmissão sem fio é subdividido em várias subfaixas ou subcanais menores que operam de maneira independente e totalmente sem interferência entre si – uma propriedade física chamada de ortogonalidade. O termo "acesso múltiplo" indica justamente que o roteador ganha a capacidade de permitir que múltiplos dispositivos utilizem esses subcanais de forma simultânea.

A Figura 4.5 ilustra visualmente a diferença de eficiência entre o padrão antigo e esta nova tecnologia.

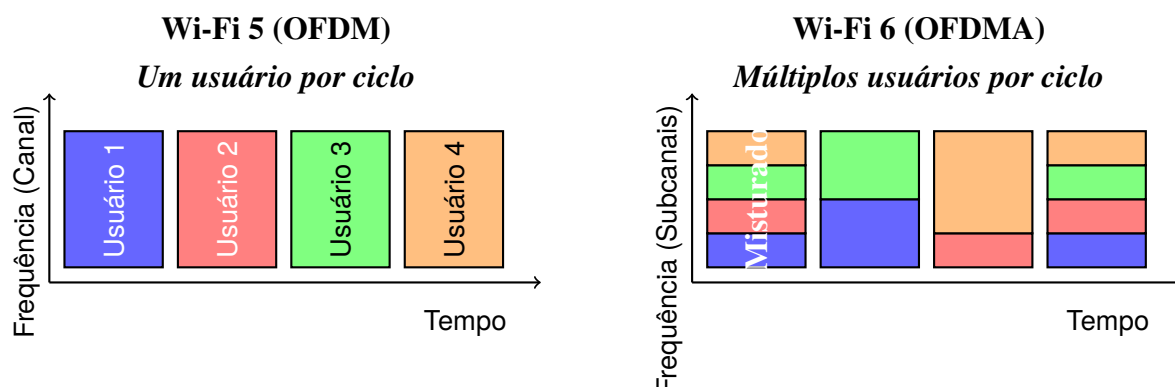
Figura 4.5: Comparativo de transmissão entre OFDM (Wi-Fi 5) e OFDMA (Wi-Fi 6)



Fonte: Adaptado de Fiveable (2026).

Enquanto o Wi-Fi 5 (OFDM) utiliza toda a largura do canal para transmitir dados a um único cliente por vez, o Wi-Fi 6 introduz o OFDMA, que permite ao roteador “fatiar” o canal de comunicação em blocos menores, conhecidos como subcanais. Essa divisão viabiliza a alocação de frequência e a entrega de pacotes de dados para dezenas de aparelhos no exato mesmo instante, otimizando o uso do espectro a cada ciclo de transmissão. Com a eliminação do gargalo do *airtime*, a rede passa a suportar perfeitamente a realidade de múltiplos alunos consumindo conteúdo educacional de forma simultânea e sem travamentos, dinâmica que se encontra esquematizada na Figura 4.6.

Figura 4.6: Analogia de transmissão: Wi-Fi 5 (OFDM) vs Wi-Fi 6 (OFDMA)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Acompanhando a imprescindível atualização dos hardwares, este plano propõe uma reestruturação profunda na topologia física da rede do IFPB. Ao observar um mapa de calor com zonas de sombra, o instinto inicial e natural de muitos administradores de rede seria adquirir roteadores mais "fortes" e configurá-los no limite máximo de potência, na tentativa forçada de fazer o sinal atravessar o bloco inteiro. Entretanto, essa é uma premissa fisicamente incorreta quando se trata de redes móveis. A comunicação sem fio é uma via de mão dupla. Mesmo que a instituição instale um AP com antenas extremamente potentes, capaz de enviar o sinal através de três paredes de alvenaria até o celular do aluno, a comunicação falhará. O *smartphone* ou *tablet* do usuário possui uma bateria pequena e uma antena com potência de rádio pequena, incapaz de devolver a resposta do sinal atravessando a mesma distância e os mesmos obstáculos.

Para resolver essa assimetria de potência, a abordagem de expansão correta é o abandono do conceito de "macrocélulas" em favor da implementação de uma arquitetura de "microcélulas". Na prática, isso significa instalar uma quantidade expressivamente maior de APs modernos nos corredores e blocos, por exemplo, posicionando um equipamento a cada duas salas de aula, mas configurá-los para operar com a potência de transmissão drasticamente reduzida.

Essa estratégia de adensamento controlado gera múltiplos benefícios. Primeiramente, o sinal não viaja o suficiente para causar interferência nos APs vizinhos. Em segundo lugar, a carga colossal de usuários é pulverizada: ao invés de cento e cinquenta alunos no corredor pendurados e sobrecarregando um único equipamento, obtém-se grupos menores de trinta alunos conectados de forma estável a roteadores individuais dentro das salas. Essa é a base técnica incontestável para garantir uma cobertura de excelência, contornando a alta densidade de paredes do campus sem comprometer a estabilidade do serviço.

Plano de Otimização Lógica e Radiofrequência (Cenário de Custo Zero)

Sabendo que a substituição completa de equipamentos e a reestruturação física em instituições públicas dependem de processos orçamentários, disponibilidade de verbas e lentos

trâmites licitatórios, o diagnóstico deste estudo estaria incompleto se não oferecesse um plano de contingência imediato. É plenamente possível expandir a sensação de alcance e elevar drasticamente a saúde e a usabilidade da rede existente aplicando apenas ajustes matemáticos e lógicos no controlador central da Huawei, sem gerar sequer um centavo de custo financeiro ao IFPB.

A primeira ação técnica deste plano contingencial visa resolver o problema principal evidenciado nos mapas: fazer o sinal ir mais longe e contornar melhor as barreiras arquitetônicas sem a necessidade de instalar novas antenas. Para atingir esse objetivo, propõe-se a redução drástica da largura de canal (*Channel Width*) na frequência de 5 GHz. Por padrão de fábrica, a maioria dos roteadores vem configurada para operar com canais largos — geralmente em 40 MHz ou 80 MHz — na tentativa mercadológica de entregar taxas em Gigabit. O problema físico dessa configuração é que canais mais largos "espalham" a energia de transmissão da onda e, ao mesmo tempo, funcionam como "antenas maiores" para captar os ruídos e interferências do ambiente. Como consequência direta, o sinal perde força muito rapidamente ao colidir com o primeiro obstáculo.

A proposta é reconfigurar todos os rádios de 5 GHz da instituição para operarem estritamente na largura mínima de 20 MHz. Ao confinar a transmissão de dados em um canal mais estreito, a energia da onda de rádio torna-se altamente concentrada. De acordo com os fundamentos da radiofrequência, a cada redução da largura do canal pela metade, o sistema ganha automaticamente cerca de 3 decibéis (3 dB) na sua SNR (TAVEIRA, 2006). Esse ganho, embora numericamente sutil, duplica a clareza prática do sinal, permitindo que a frequência de 5 GHz penetre nas alvenarias do campus com maior resiliência e alcance zonas previamente classificadas como áreas de sombra.

A segunda técnica sugerida consiste em desobstruir o "trânsito" no ar utilizando a inteligência do próprio controlador sem fio. Recomenda-se a ativação forçada do recurso de *Band Steering* (Direcionamento de Banda). Essa funcionalidade detecta aparelhos modernos (celulares novos e *laptops*) e os direciona compulsoriamente a se conectarem na frequência de 5 GHz. Dessa forma, a congestionada faixa de 2,4 GHz é esvaziada. A frequência de 2,4 GHz possui a propriedade de difração e viajar por distâncias muito maiores, deixá-la limpa e livre de interferências cria uma excelente rede de apoio de longo alcance. Um aluno na ponta mais distante do ginásio esportivo, por exemplo, terá a via de 2,4 GHz praticamente livre para ele, garantindo a sua conexão em locais onde o 5 GHz jamais chegaria.

Aliado ao *Band Steering* (Direcionamento de Banda), sugere-se realizar um ajuste manual e cirúrgico da potência (*TX Power*). A equipe de TI deve mapear a planta baixa e elevar cuidadosamente a potência apenas dos APs instalados nas extremidades dos blocos (as bordas da rede) para "esticar" a cobertura até os pátios abertos, cantinas e quadras. Simultaneamente, os roteadores confinados nos corredores estreitos internos devem ter sua potência diminuída, evitando que um equipamento sofra interferência do aparelho vizinho.

Por fim, a terceira proposta deste plano lógico foca em solucionar a restrição administrativa identificada na subseção anterior, referente ao "apagão" proposital do sinal na rede discente.

Embora a justificativa de manter a disciplina nas salas de aula e evitar fraudes em avaliações seja válida do ponto de vista pedagógico, o corte absoluto do sinal do SSID (IFPB-ALUNO) atua de maneira desproporcional. A restrição física da rede acaba por impedir a adoção de metodologias de ensino modernas e prejudica, principalmente, o aluno de baixa renda que não possui planos robustos de internet móvel (4G/5G), gerando um indesejado cenário de exclusão digital dentro das dependências do IFPB.

A solução técnica moderna e pragmática para esse dilema é abandonar o desligamento total da rede discente e adotar uma gestão inteligente baseada em *Firewall* de Aplicação (Camada 7 da rede) aliado a políticas rígidas de QoS. A tecnologia atual permite que o IFPB mantenha o sinal do Wi-Fi sempre forte e constante em todas as salas de aula, mas aplique regras virtuais restritivas diretamente no roteador de borda do campus.

Configurando o bloqueio por assinaturas de pacotes (*Deep Packet Inspection*), é perfeitamente viável bloquear o acesso a redes sociais (como *Instagram* e *TikTok*), serviços de *streaming* de vídeo e servidores de jogos *online* de maneira automatizada durante o horário letivo. Em conjunto, a parametrização do QoS assegura que o tráfego gerado pelos sistemas acadêmicos e pelos computadores dos professores receba sempre a prioridade máxima na fila de banda larga. Dessa forma, a instituição pacifica o ambiente acadêmico: preservam-se as diretrizes disciplinares para evitar dispersão e proteger a integridade das aulas, mas garante-se a conectividade integral do discente. A internet deixa de ser vista como um risco a ser bloqueado e passa a cumprir plenamente o seu papel como ferramenta indispensável para o ensino, a pesquisa e a inovação tecnológica.

É importante relacionar esses ajustes técnicos na rede com as novas leis e debates que proíbem o uso de celulares nas salas de aula. Desligar o sinal do Wi-Fi totalmente pode parecer o jeito mais fácil de cumprir essa regra, mas usar um *Firewall* para controlar os acessos é uma opção muito mais adequada para o IFPB. Essa medida funciona bem para os dois públicos do campus: os alunos do ensino médio integrado, que possuem regras de disciplina mais rígidas, e os estudantes do ensino superior, que precisam de mais flexibilidade para acessar materiais e fazer pesquisas.

Com a rede funcionando, mas com os aplicativos de distração bloqueados, cumpre-se a lei sem atrapalhar as exceções. Por exemplo, se um professor quiser fazer uma dinâmica online ou uma pesquisa em sala, a internet já estará disponível para a turma imediatamente. Dessa forma, a configuração da rede deixa de ser apenas um bloqueio e passa a atuar como um controle. A instituição mantém a disciplina e obedece à lei, evitando que os alunos se distraiam, mas deixa a infraestrutura pronta para que o celular vire um instrumento de estudo e inclusão sempre que o professor ou a necessidade do aluno exigirem.

5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A transição de um projeto de pesquisa do campo puramente teórico para a execução prática em um ambiente institucional real revela cenários que exigem adaptações metodológicas. Em trabalhos de Engenharia de Computação aplicados à infraestrutura, o pesquisador frequentemente se depara com restrições estruturais, logísticas e de segurança que moldam o escopo da coleta de dados. Longe de invalidarem a pesquisa, essas variáveis de mundo real atestam a complexidade do ambiente avaliado e exigem a adoção de estratégias pragmáticas para garantir o rigor científico dos resultados.

Neste TCC (Trabalho de Conclusão de Curso), voltado ao mapeamento das redes Wi-Fi do IFPB Campus Campina Grande, a execução do *site survey* encontrou delimitações naturais. Este capítulo detalha como os desafios inerentes à física das telecomunicações, à logística do campus e às políticas de segurança da informação foram contornados, justificando as escolhas metodológicas que garantem a credibilidade e a utilidade do diagnóstico gerado.

5.1 Oscilação de sinal e amostragem

O primeiro desafio contornado por este estudo refere-se à própria natureza física das ondas de rádio e à metodologia de amostragem escolhida para a geração dos mapas de calor. A propagação do sinal Wi-Fi é um fenômeno altamente dinâmico. O ambiente eletromagnético flutua de acordo com variáveis momentâneas, como a abertura e o fechamento de portas de alvenaria ou vidro, as mudanças de umidade e, principalmente, a circulação de pessoas. Como o corpo humano absorve parte da energia das frequências de 2,4 GHz e 5 GHz, o simples fluxo de usuários nos corredores altera momentaneamente o nível de sinal medido em um determinado ponto (PIZARRO, 2015).

Para contornar essa volatilidade extrema e estabelecer uma base de análise consistente, a metodologia deste trabalho optou por realizar uma amostragem de caráter transversal, ou seja, uma única medição por coordenada estabelecida. Se as medições fossem repetidas em horários e dias muito distintos, a mescla desses dados poderia gerar um mapa inconsistente, misturando cenários de campus vazio com cenários de campus lotado na mesma planta gráfica.

Ao adotar a medição única, o mapa de calor gerado no QGIS consolida-se como um “instantâneo” (*snapshot*) de grande valor para a análise da infraestrutura. Ele entrega à gestão de Tecnologia da Informação do IFPB uma visão macroscópica clara de como o sinal se propaga e interage com a arquitetura fixa do prédio. Deve-se interpretar este mapa como uma ferramenta estratégica de diagnóstico basal. Embora a radiofrequência oscile no dia a dia, a modelagem gerada a partir dessa varredura transversal cumpre perfeitamente o seu papel de revelar os grandes gargalos de propagação, apontando com precisão as zonas de sombra crônicas que necessitam de intervenção técnica.

Outra limitação intrínseca à varredura ativa de sinal diz respeito ao *hardware* receptor. Como a coleta de dados foi executada utilizando exclusivamente um modelo de *smartphone* (Samsung Galaxy S23 FE), o diagnóstico cartográfico reflete o ganho de antena e a sensibilidade de rádio específicos deste equipamento. Dispositivos distintos, equipados com chipsets ou arranjos de antenas de menor capacidade, podem apresentar uma percepção de cobertura ainda mais degradada nas mesmas coordenadas físicas aferidas por este estudo.

5.2 Acesso físico e interpolação

O segundo aspecto delimitador do *site survey* envolveu a logística de circulação dentro do campus. A metodologia ideal de varredura espacial pressupõe uma caminhada homogênea por todos os metros quadrados do ambiente. No entanto, o IFPB possui laboratórios de informática e de práticas laboratoriais que contêm equipamentos de alto valor e sediam projetos de pesquisa sensíveis, permanecendo trancados quando ociosos ou estritamente ocupados durante o período de aulas e exames oficiais.

Solicitar a abertura individual de cada laboratório ou interromper o andamento das aulas práticas para realizar a aferição do sinal seria uma abordagem metodologicamente intrusiva, que desrespeitaria a rotina e o cronograma pedagógico da instituição. Diante desse cenário, a pesquisa adaptou o seu plano de coleta de maneira estratégica, optando por não acessar o interior dos laboratórios fechados e concentrando a varredura nas rotas de circulação livre, como corredores centrais, *halls* de acesso, pátios e áreas imediatamente adjacentes a essas salas.

Essa decisão metodológica foi sustentada pela confiabilidade do SIG. O software QGIS, por meio do seu algoritmo de interpolação IDW, foi o encarregado de calcular o decaimento do sinal. Ao coletar dados robustos na porta e nas janelas ao longo do corredor de um laboratório, o algoritmo possui capacidade matemática para estimar o comportamento da onda eletromagnética no interior daquele espaço, considerando a atenuação das paredes mapeadas na planta baixa. Dessa forma, a pesquisa respeitou o funcionamento da instituição e, ao mesmo tempo, validou a eficácia do uso de *softwares* de geoprocessamento como aliados na superação de barreiras físicas na engenharia de redes.

5.3 Restrições cibernéticas e coleta passiva

Conforme justificado no escopo metodológico (Seção 3.4), a execução de testes ativos na camada de aplicação (como aferição de *throughput* e latência) esbarrou em restrições referentes às políticas de segurança da informação do campus. Não houve a liberação de acessos especiais ou credenciais para a rede corporativa institucional (SSID: IFPB), inviabilizando a injeção de tráfego de testes nessa infraestrutura.

Embora o acesso à rede discente (SSID: IFPB-ALUNO) fosse plenamente viável por meio das credenciais acadêmicas do pesquisador, a realização de testes ativos de desempenho

exclusivamente nesta rede criaria uma severa assimetria metodológica. Avaliar a vazão de um SSID enquanto o outro é avaliado apenas por coleta passiva impediria o cruzamento de dados e a comparação direta de cobertura nos mapas de calor. Para garantir a padronização e o rigor do estudo de caso, optou-se por uniformizar a amostragem utilizando a métrica de RSSI, que pôde ser coletada de forma simultânea e isonômica para todas as redes (institucional e discente).

Adicionalmente, a execução de testes ativos de vazão em redes de alta densidade durante o horário letivo esbarra na volatilidade momentânea do tráfego. Testes de velocidade comuns refletem o gargalo do *link* externo de internet e o consumo dos demais usuários conectados naquele exato segundo, mascarando a real capacidade de *hardware* dos APs. A aferição técnica e isolada da capacidade da rede local sem fio exigiria a instalação de um servidor de testes dedicado na infraestrutura cabeada do IFPB. Esse procedimento de injeção de carga na rede demandaria privilégios administrativos irrestritos aos servidores (*Data Center*) do campus, reforçando a inviabilidade da coleta ativa e consolidando o mapeamento passivo de sinal como a abordagem mais segura e coerente para o diagnóstico.

6 TRABALHOS FUTUROS

A execução deste trabalho permitiu realizar um diagnóstico e espacialmente contextualizado sobre a infraestrutura de rede sem fio do IFPB Campus Campina Grande. A integração entre ferramentas de monitoramento passivo, como o aplicativo Wi-Fi Analyzer, e SIG, por meio do software QGIS, mostrou-se uma metodologia altamente viável e eficiente para mapear as dependências da instituição sem a necessidade de investimentos financeiros em licenças proprietárias. Os mapas de calor gerados cumprem um papel estratégico indispensável, fornecendo à gestão de Tecnologia da Informação uma base visual sólida para a identificação de zonas de sombra e para o planejamento de futuras expansões.

O estudo evidenciou que os desafios de conectividade do campus não se limitam apenas ao alcance físico do sinal de rádio, mas envolvem a capacidade lógica de atendimento em cenários de alta densidade de usuários e a necessidade de balanceamento entre diretrizes disciplinares e inclusão digital. Diante das delimitações naturais enfrentadas durante a pesquisa, como a realização de uma amostragem transversal e as restrições de acesso físico e administrativo, consolidou-se um ponto de partida robusto para a evolução contínua da rede.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Com o objetivo de dar continuidade à linha de pesquisa estabelecida e propor novos avanços na engenharia de redes dentro da instituição, sugerem-se as seguintes frentes de atuação para trabalhos futuros:

- **Análise temporal e mapeamento dinâmico da radiofrequência:** Recomenda-se a realização de um estudo longitudinal que englobe coletas de dados estruturadas em diferentes períodos letivos, dias da semana e horários de pico (como os momentos de intervalo e início de turnos). Essa abordagem permitirá avaliar o impacto quantitativo da densidade populacional flutuante e do fluxo de pessoas sobre a atenuação do sinal Wi-Fi, gerando mapas de calor dinâmicos mais próximos da rotina oscilante do campus.
- **Auditoria de desempenho ativo na camada de aplicação:** Sugere-se o estabelecimento de uma parceria técnica com a CTI para a criação de credenciais de testes temporárias. Isso viabilizará a realização de um *site survey* ativo nas redes institucionais protegidas, permitindo mensurar de forma empírica parâmetros lógicos de QoS, como a vazão real de dados (*throughput*), índices de latência e taxas de perda de pacotes em pontos estratégicos do campus.
- **Simulação computacional e modelagem preditiva tridimensional:** Propõe-se a utilização de ferramentas de *software* voltadas à simulação preditiva de radiofrequência em ambientes tridimensionais (3D). Esse estudo poderá confrontar os dados empíricos

obtidos neste TCC com modelos computacionais simulados, validando o impacto do posicionamento lógico ou da adição de novos APs antes de sua implementação física e infraestrutural.

- **Automação do processo de site survey via robótica móvel ou IoT (*Internet of Things* - *Internet das Coisas*):** Recomenda-se investigar o desenvolvimento de plataformas robóticas móveis ou dispositivos de IoT programados para realizar a varredura espacial de forma automatizada pelas rotas de circulação do campus. A automação do processo reduziria o tempo de execução do levantamento e aumentaria a precisão geomática no georreferenciamento das coordenadas de leitura.
- **Avaliação de desempenho com foco nos padrões Wi-Fi 6 e Wi-Fi 6E:** Sugere-se a divisão de esforços para a elaboração de um estudo focado na análise de viabilidade técnica e na medição de desempenho dos novos padrões de conectividade (IEEE 802.11ax e sua extensão em 6 GHz) frente à infraestrutura legada do IFPB. A pesquisa fornecerá subsídios científicos e relatórios de custo-benefício para orientar os futuros investimentos e aquisições de ativos de rede pela administração do campus.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A jornada investigativa deste TCC estruturou-se sob a premissa de que a conectividade sem fio deixou de ser uma mera conveniência tecnológica para se consolidar como uma infraestrutura crítica no ambiente educacional. O ambiente acadêmico do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) - Campus Campina Grande, caracterizado pela alta densidade de usuários e pela intensa rotatividade de dispositivos móveis, apresenta desafios singulares que exigem da engenharia de redes uma abordagem contínua de monitoramento, adaptação e otimização. Ao longo deste estudo, buscou-se não apenas mapear a força do sinal das redes disponíveis, mas também compreender a complexa interseção entre o comportamento físico das ondas de rádio e as políticas administrativas que regem o acesso à informação na instituição.

A primeira grande contribuição deste trabalho reside na validação da sua abordagem metodológica. Historicamente, o planejamento e a auditoria de redes sem fio, o *site survey*, estiveram restritos ao uso de *softwares* proprietários de altíssimo custo e hardwares dedicados, criando barreiras financeiras proibitivas para instituições públicas de ensino. A metodologia aqui aplicada provou que é plenamente viável executar um diagnóstico de precisão utilizando ferramentas acessíveis e de código aberto. A integração entre o aplicativo móvel Wi-Fi Analyzer e a plataforma de SIG, especificamente o QGIS, demonstrou ser uma aliança poderosa. O uso do algoritmo de interpolação do Inverso da Distância Ponderada (IDW) permitiu transmutar os dados invisíveis da radiofrequência em mapas de calor (*heatmaps*) contínuos e de fácil interpretação. Essa conversão de dados abstratos em inteligência visual empodera a gestão de Tecnologia da Informação (TI), permitindo que decisões arquitetônicas deixem de ser baseadas em tentativa e erro e passem a ser fundamentadas em evidências cartográficas irrefutáveis.

Do ponto de vista da infraestrutura física, o cruzamento das medições de campo com a planta baixa do campus expôs as limitações inerentes ao atual modelo de distribuição de pontos de acesso. A análise comparativa entre as frequências de 2,4 GHz e 5 GHz materializou, na prática, os conceitos teóricos de atenuação e difração eletromagnética. Ficou evidente que o paradigma atual de instalação focado na criação de "macrocélulas" que tentam forçar o sinal a atravessar múltiplas paredes de alvenaria encontra-se saturado. Embora a rede de 2,4 GHz consiga uma capilaridade maior ao contornar as robustas barreiras físicas do IFPB, ela sofre com o esgotamento rápido de canais limpos e com o congestionamento excessivo. Por outro lado, a frequência de 5 GHz, capaz de suportar as altas taxas de tráfego exigidas por aplicações modernas, tem seu raio de atuação severamente castrado pela arquitetura do prédio, limitando-se aos corredores com linha de visada direta (LOS).

O diagnóstico revelou que as zonas de sombra crônicas não são meros acidentes geográficos, mas sim o reflexo de uma infraestrutura baseada no padrão 802.11ac (Wi-Fi 5), que não foi originalmente desenhada para ambientes de altíssima densidade simultânea. O esgotamento do tempo de transmissão (*airtime*) prova que a adição indiscriminada de roteadores mais po-

tentes não é a solução matemática correta. A densidade de alunos nas salas de aula exige uma mudança de paradigma rumo à adoção de microcélulas, nas quais a potência de transmissão é propositalmente reduzida para conter a interferência, mas a capacidade de gerenciamento de dispositivos é multiplicada, um cenário ideal para a futura transição para a tecnologia Wi-Fi 6 (802.11ax) e seu recurso de multiplexação OFDMA.

Contudo, a descoberta mais sensível e impactante desta pesquisa transcendeu a engenharia de radiofrequência e adentrou a esfera da gestão educacional. A sobreposição cartográfica das malhas de sinal revelou o apagão sistêmico e intencional do *Service Set Identifier* (SSID) destinado aos estudantes, a rede IFPB-ALUNO, em perímetros nevrálgicos para o ensino, como os blocos de salas de aula, o pavilhão dos professores e áreas de convivência. A constatação de que o sinal não chega aos alunos não por falha dos APs, mas por uma política ativa de bloqueio de transmissão, impõe uma reflexão multidisciplinar obrigatória.

A restrição cibernética implementada pela administração possui uma justificativa pedagógica embasada: mitigar distrações causadas pelo uso de *smartphones* e garantir a integridade das avaliações formais. No entanto, o diagnóstico deste TCC argumenta que a metodologia de bloqueio utilizada o corte total da camada física da rede discente gera efeitos colaterais que prejudicam a própria missão institucional do IFPB. Ao eliminar o sinal dentro das salas de aula, engessa-se a capacidade do corpo docente de aplicar metodologias ativas de ensino, inviabiliza-se o *download* imediato de *handouts* ou apostilas vitais e restringe-se a pesquisa exploratória orientada no momento da aula.

Mais grave que as limitações pedagógicas é o impacto social desse apagão disciplinar. Quando a infraestrutura pública cessa o fornecimento de conectividade, transfere-se o ônus do acesso para o estudante. Alunos com condições financeiras ativam seus pacotes de dados móveis particulares, contornando a barreira disciplinar, enquanto os alunos de baixa renda, que dependem exclusivamente da rede do campus, são empurrados para a exclusão digital temporária. Essa disparidade evidencia que a tecnologia da restrição física falha em seu propósito isonômico.

Como resposta direta a esse dilema, o leque de soluções propostas neste trabalho destaca-se por sua exequibilidade técnica e sua sensibilidade administrativa. Em vez de simplesmente demandar altos investimentos financeiros imediatos, o TCC estruturou a engenharia de soluções em duas vertentes pragmáticas. O plano de expansão a médio prazo desenhou o roteiro ideal para a atualização do *hardware* para a tecnologia Wi-Fi 6, justificando matematicamente por que a divisão do canal por meio do OFDMA é a única saída sustentável para suportar a densidade futura de dispositivos.

Em paralelo, e de maneira ainda mais relevante para a realidade do serviço público, o estudo entregou um plano de otimização de custo zero, totalmente baseado em ajustes finos lógicos no controlador da rede atual. A proposta de reduzir a largura dos canais de 5 GHz para concentrar a energia da onda (*SNR*) e a aplicação do *Band Steering* constituem manobras de alto impacto técnico e esforço nulo de orçamento. Além disso, a sugestão de substituir o corte bruto de sinal da rede IFPB-ALUNO pela implementação de regras virtuais em *Firewall* de Aplicação

(Camada 7) alinhado a políticas de QoS resolve o impasse administrativo de forma brilhante. Ao manter o sinal forte para todos, mas bloqueando logicamente os serviços de entretenimento e priorizando o tráfego de portais acadêmicos, a instituição garante a disciplina sem promover o abismo digital.

Em síntese, o presente Trabalho de Conclusão de Curso cumpriu com êxito a sua proposta central de diagnosticar a infraestrutura de conectividade do campus por meio da análise de cobertura e do mapeamento espacial da intensidade de sinal. Ao concentrar o escopo metodológico na avaliação da propagação física e no diagnóstico topológico da rede, reconhecendo as limitações para aferições ativas de desempenho na camada de aplicação e para o dimensionamento matemático quantitativo de *hardwares* —, o estudo garantiu o rigor científico dentro das restrições cibernéticas do ambiente avaliado.

O planejamento e a auditoria de redes sem fio não devem ser enxergados como meras tarefas de fixação de roteadores nos tetos de edifícios, mas sim como a construção inteligente do espaço invisível pelo qual trafega o conhecimento. Os mapas de calor, as análises estatísticas e as soluções lógicas propostas entregam ao IFPB Campus Campina Grande um legado de dados estruturados. Substitui-se, assim, o empirismo por intervenções fundamentadas na ciência de dados aplicada às telecomunicações, pavimentando o caminho para que o campus ofereça uma infraestrutura de conectividade verdadeiramente resiliente, segura e democrática para toda a sua comunidade acadêmica.

Referências Bibliográficas

ADREES, T. H. *et al.* The evolution and impact of wi-fi technology. *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, v. 9, n. 11, p. 2472–2473, November 2024. ISSN 2456-2165. Disponível em: <<https://ijisrt.com/assets/upload/files/IJISRT24NOV1213.pdf>>.

ALMEIDA, M. G. S. de. *Impacto das condições reais de Wi-Fi ofertado para os alunos do IFPB CG na escolha de modulação e codificação em um sistema ponto-a-ponto SDR*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Telemática)) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campina Grande, 2025.

BELLO, L. *No Brasil, 88,9% da população de 10 anos ou mais tinha celular em 2024*. 2025. Agência de Notícias IBGE. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/44032-no-brasil-88-9-da-populacao-de-10-anos-ou-mais-tinha-celular-em-2024>>.

BOSSO, C. P.; WANDERLEY, G. L. d. S.; NETO, J. M. F. A. Análise das tecnologias li-fi e wi-fi: comparativos de desempenho, segurança e aplicações em ambientes urbanos. *Prospectus*, v. 6, n. 2, p. 473–518, 2024. ISSN 2674-8576.

CAVALCANTE, G. A. Otimização de modelos de predição da perda de propagação aplicáveis em 3, 5ghz utilizando algoritmos genéticos. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

Cisco Systems. *Enterprise Mobility Design Guide: Wireless LAN Design*. San Jose, CA, 2022. Disponível em: <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/controller/8-5/Enterprise-Mobility-8-5-Design-Guide/Enterprise_Mobility_8-5_Deployment_Guide.html>. Acesso em: 1 jul. 2026.

COSTA, G. H. da. *Métricas para Avaliação de Desempenho em Redes QoS sobre IP*. Monografia (Especialização em Tecnologias, Gerência e Segurança de Redes de Computadores) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Fiveable. *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM)*. 2026. Disponível em: <<https://fiveable.me/advanced-signal-processing/unit-11/orthogonal-frequency-division-multiplexing-ofdm/study-guide/5wj4CgYJsuWuAtm9>>. Acesso em: 30 jun. 2026.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. *Wi-Fi 8 (IEEE 802.11bn) - Ultra High Reliability*. [S.l.], 2026. Relatório técnico sobre as especificações do padrão de redes sem fio de oitava geração.

JUNIOR, A. d. C. *Redes WLAN de Alta Densidade*. 2012. Portal Teleco – Inteligência em Telecomunicações. Tutorial Técnico. Publicado em: 12 nov. 2012. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br>>.

KOSTIN, S.; AMORIM, C. L. *Métricas para Controle Eficiente de Potência de Transmissão em Cenários de Redes de Sensores com Obstáculos*. 2006. Trabalho acadêmico. Laboratório de Computação Paralela, COPPE/UFRJ.

LEMOS, N. A. *Caracterização de cobertura de sinais na faixa de 700 MHz em ambientes indoor*. Dissertação (Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica)) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), João Pessoa - PB, 2015.

MANTOVANI, C. M. C. A. Info-entretenimento na telefonia celular: informação, mobilidade e interação social em um novo espaço de fluxos. Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. d. R. Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do mato grosso. UFPE, 2011.

MARTINS, A. L. *et al.* Wi-fi 7 (802.11be): Um avanço na tecnologia de redes sem fio de alto desempenho. *Revista Foz*, UNIVC, São Mateus, ES, v. 8, n. 1, p. 85–107, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.69872/revistafoz.v8i1.351>>.

MOZAFFARIAHRAR, E.; THEOLEYRE, F.; MENTH, M. A survey of wi-fi 6: Technologies, advances, and challenges. *Future Internet*, v. 14, n. 10, 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1999-5903/14/10/293>>.

MUNDO EDUCAÇÃO. *O Fenômeno Difração*. 2026. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-fenomeno-difracao.htm>>. Acesso em: 6 maio 2026.

OLGOR.COM. *Wi-Fi Analyzer*. 2026. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/dev?id=8009694192831589714&hl=pt_BR>. Acesso em: 28 jun. 2026.

OLIVEIRA, I. R. H. *Análise de Difração em Múltiplos Obstáculos*. Dissertação (Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica)) — Universidade Federal de São João del-Rei e Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, São João del-Rei, 2019. Disponível em: <<https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgel/212-2019-08-13-DissertacaoIsabelOliveira.pdf>>. Acesso em: 6 maio 2026.

PERRAMON, E. S. *Interference Impact in WLAN Performance Evaluation*. Dissertação (Bachelor Thesis) — Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, Spain, 2017. Disponível em: <<https://upcommons.upc.edu/server/api/core/bitstreams/a46758bc-0afb-489e-9dc9-619116ec200b/content>>.

PIZARRO, Y. A. Á. Estudo da taxa de absorção específica e análise de dosimetria em protótipos de óculos e fone de ouvido para dispositivos de comunicação operando próximo da cabeça do usuário. 2015.

QGIS Development Team. *QGIS User Guide*: Release 3.44. [S.l.], 2026. Disponível em: <https://docs.qgis.org/3.44/en/docs/user_manual/>. Acesso em: 28 jun. 2026.

SANTOS, A. A.; SANTOS, A. F. d.; MANIÇOBA, R. H. C. Wi-fi 6 e wi-fi 6e: Uma análise comparativa dentro do novo padrão 802.11ax. *Revista UNIVC*, São Mateus, ES, v. 1, n. 1, p. 89–108, 2024. Disponível em: <<https://revista.unc.br/index.php/revistafoz/article/view/306/151>>. Acesso em: 23 abr. 2026.

SILVA, A. S. d.; ROSSETO, C. A. B. Análise de interferências em redes wi-fi domésticas: estudo para solução dos problemas. 2023.

SILVA, L. J. da. *Estudo da estabilidade da potência do sinal das redes wi-fi nos blocos de eletroeletrônica do Campus João Pessoa do IFPB*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações)) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2026.

SILVA, R. F. da. *Análise e comparação das tecnologias WIFI (IEEE 802.11) e WIMAX (IEEE 802.16)*. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Redes de Computadores) — Universidade Estadual de Goiás (UEG) - Unidade de Pires do Rio, Pires do Rio - GO, 2025. Disponível em: <<https://repositorio.ueg.br/jspui/bitstream/riueg/7658/2/MG004%2022006-2025.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2026.

SILVA, W. S. da. *Aplicações de aprendizagem de máquina na estimação de qualidade de enlace para comunicações sem fio*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

STROBEL, R. E. *Uma Infraestrutura de Rede Sem Fio para Ambientes Clínico-Hospitalares*. 146 p. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação) — Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Joinville, 2006.

TAQUARI, B. S. *Site Survey para Rede Wi-Fi 802.11ac*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Computação)) — Instituto Federal Goiano, Campus Trindade, Trindade, 2025.

TAVEIRA, P. D. *Caracterização e análise de desempenho dos amplificadores ópticos Raman discretos em sistemas de comunicações ópticas na banda "O"*. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)) — Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2006.

TP-Link. *Suporte Técnico FAQ 4309: O que são canais sem fio e como escolher o melhor canal?* 2026. Disponível em: <<https://www.tp-link.com/br/support/faq/4309/>>. Acesso em: 28 jun. 2026.

VARGAS, T. D. *et al.* Aplicação do interpolador idw para elaboração de mapas hidrogeológicos paramétricos na região da serra gaúcha. *Scientia cum Industria*, v. 6, n. 3, p. 38–43, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v6iss3p38>>.

VIEIRA, S. T. *Otimização do Posicionamento de Pontos de Acesso Wireless*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Formiga, Formiga-MG, 2017. Disponível em: <<https://www.formiga.ifmg.edu.br/documents/2017/PublicacoesTCCsBiblioteca/CienciadaComputacao/Monografia-Samuel-Terra-Vieira--Ciencia-da-Computacao.pdf>>. Acesso em: 4 maio 2026.

WiSpot. *Access Point*. 2026. Disponível em: <<https://wispot.com.br/access-point/>>. Acesso em: 28 jun. 2026.

ZEINDIN, D. C. A. *et al.* A tecnologia do futuro wi-fi (wireless fidelity). 2003.



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
Campus Campina Grande - Código INEP: 25137409
R. Tranquilino Coelho Lemos, 671, Dinamérica, CEP 58432-300, Campina Grande (PB)
CNPJ: 10.783.898/0003-37 - Telefone: (83) 2102.6200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Trabalho de conclusão de curso com ficha catalográfica

Assunto:	Trabalho de conclusão de curso com ficha catalográfica
Assinado por:	Wesley Wilson
Tipo do Documento:	Anexo
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Wesley Wilson Almeida Araújo, DISCENTE (202111250009) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO - CAMPINA GRANDE**, em 29/07/2026 09:58:17.

Este documento foi armazenado no SUAP em 29/07/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1929222

Código de Autenticação: 955931a0a1

