

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM REDES DE COMPUTADORES

EDUARDO GONÇALVES SANTA BRIGIDA
LUIS FERNANDO PICANÇO PIMENTEL

ANÁLISE DE COBERTURA E PROPAGAÇÃO DA REDE WI-FI DO BLOCO B DO IFAP – CAMPUS MACAPÁ

MACAPÁ
2026

EDUARDO GONÇALVES SANTA BRIGIDA
LUIS FERNANDO PICANÇO PIMENTEL

ANÁLISE DE COBERTURA E PROPAGAÇÃO DA REDE WI-FI DO BLOCO B DO IFAP – CAMPUS MACAPÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Tecnologia em Redes de Computadores como requisito avaliativo para obtenção do título de Tecnólogo em Redes de Computadores.
Orientador: Prof. Esp. José Anderson C. Brasil

MACAPÁ
2026

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

B856a Brigida, Eduardo Gonçalves Santa
Análise de cobertura e propagação da rede wi-fi do bloco b do IFAP / Eduardo Gonçalves Santa Brigida, Luis Fernando Picanço Pimentel. - Macapá, 2026.
35 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Macapá, Curso Técnico em Redes de Computadores, 2026.

Orientadora: Esp. José Anderson Carvalho Brasil Brasil.

1. Rede wi-fi. I. Pimentel, Luis Fernando Picanço. I. Brasil, Esp. José Anderson Carvalho Brasil, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica do IFAP
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

EDUARDO GONÇALVES SANTA BRIGIDA

LUIS FERNANDO PICANÇO PIMENTEL

ANÁLISE DE COBERTURA E PROPAGAÇÃO DA REDE WI-FI DO BLOCO B DO IFAP – CAMPUS MACAPÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Tecnologia em Redes de Computadores como requisito avaliativo para obtenção do título de Tecnólogo em Redes de Computadores.
Orientador: Prof. Esp. José Anderson C. Brasil

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
JOSE ANDERSON CARVALHO BRASIL
Data: 19/11/2026 20:25:43-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Esp. José Anderson Carvalho Brasil (Orientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
gov.br
LOURIVAL QUEIROZ ALCANTARA JUNIOR
Data: 19/11/2026 20:39:25-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Me. Lourival Queiroz Alcântara Júnior

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Documento assinado digitalmente
gov.br
ELENDER KEULY DE SOUZA
Data: 24/11/2026 16:16:37-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Me. Elender Keuly de Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá

Apresentado em: 14/10/2026.

Conceito/Nota: 85

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar e diagnosticar a qualidade da infraestrutura de redes locais sem fio do Instituto Federal do Amapá, avaliando o alcance e a disponibilidade para propor soluções frente à instabilidade de conexão enfrentada pelos discentes. A pesquisa adotou uma abordagem quantitativa de medição de sinal em campo, iniciada por levantamento bibliográfico sobre os princípios de comunicação sem fio, padrões IEEE 802.11 e propagação de ondas eletromagnéticas. Em seguida, foi executado um procedimento de Site Survey itinerante, utilizando o software NetSpot e aplicativos de auditoria para mensurar a intensidade do sinal em vinte e duas salas de aula do Bloco B. A partir dos dados coletados, gerou-se um mapeamento térmico e uma análise detalhada que permitiram segmentar a cobertura do bloco. Os resultados evidenciaram a existência de zonas mortas críticas causadas pela atenuação de barreiras físicas, além de pontos de instabilidade por interferência de canal. Ao final, propõe-se um plano de otimização que contempla desde ações de reposicionamento estratégico a custo zero até investimentos estruturais em sistemas de redes mesh e migração para o padrão Wi-Fi 6, contribuindo para a garantia de uma conectividade resiliente de suporte ao ensino.

Palavras-chave: auditoria de redes; site survey; propagação de sinal; zonas mortas; Wi-Fi

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze and assess the quality of the wireless local area network infrastructure at the Federal Institute of Amapá, evaluating its range and availability in order to propose solutions to the connection instability experienced by students. The research adopted a quantitative approach to in-the-field signal measurement, beginning with a literature review on the principles of wireless communication, IEEE 802.11 standards, and electromagnetic wave propagation. Next, a mobile site survey was conducted using NetSpot software and audit applications to measure signal strength in twenty-two classrooms in Block B. Based on the collected data, a thermal map and a detailed analysis were generated, which allowed for the segmentation of the block's coverage. The results revealed the existence of critical dead zones caused by signal attenuation from physical barriers, as well as points of instability due to channel interference. Finally, an optimization plan is proposed that ranges from strategic repositioning at no cost to structural investments in mesh network systems and migration to the Wi-Fi 6 standard, helping to ensure resilient connectivity to support teaching.

Keywords: network audit; site survey; signal propagation; dead zones; Wi-Fi.

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	7
2	**PROBLEMA DA PESQUISA**	8
3	**JUSTIFICATIVA**	9
4	**OBJETIVOS**	10
5	**REFERENCIAL TEÓRICO**	11
5.1	**Funcionamento e propagação do sinal**	11
5.1.1	Geração e Transmissão do Sinal na Camada Física	12
5.1.2	Dinâmica Espacial de Propagação da Onda de Rádio	12
5.2	**Evolução dos Padrões IEEE 802.11 (Wi-Fi 4 ao Wi-Fi 6E)**	13
5.3	**Faixas de Frequência e Engenharia de Canais (2,4 GHz, 5 GHz e 6 GHz)**	14
5.4	**Fenômenos de Propagação de Sinal**	16
6	**METODOLOGIA**	18
6.1	**Natureza E Estrutura Do Percurso Metodológico**	18
6.2	**Caracterização Do Cenário De Estudo: Bloco B Do Ifap**	19
6.2.1	Dimensões E Extensão Longitudinal	19
6.2.2	Levantamento De Materiais Construtivos E Impacto No Sinal	21
6.3	**Ferramentas E Dispositivos De Coleta**	22
6.4	**Procedimento De Site Survey (Ativo E Passivo)**	23
6.5	**Critérios de interpolação dos níveis de sinal**	24
6.6	**Elaboração das propostas de melhoria**	25
6.7	**Limitações da pesquisa**	25
7	**ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE RESULTADOS**	27
7.1	**Interpretação Do Mapa De Calor (Heatmap)**	27
7.2	**Avaliação Da Intensidade De Sinal Por Sala (Rssi)**	29
7.3	**Identificação De Zonas Mortas (Salas 8 A 12)**	30
7.4	**Análise De Instabilidade E Interferência (Sala 16)**	31
8	**PROPOSTAS DE OTIMIZAÇÃO**	32
8.1	**Soluções Lógicas E De Baixo Custo (Reposicionamento Estratégico)**	32

8.2 **Implementação de Pontos de Acesso Gerenciados com Backhaul Cabeado** 32
8.3 **Adequação da Infraestrutura Física, Cabeamento e Alimentação Energética** 33
9 **CONSIDERAÇÕES FINAIS** 35
REFERÊNCIAS 37

1 INTRODUÇÃO

A integração de recursos digitais no ambiente acadêmico transformou a conectividade em um pilar essencial para o ensino moderno. A capacidade de acessar bases de dados, realizar pesquisas em tempo real e utilizar plataformas de aprendizagem virtual é, atualmente, indispensável para a dinâmica do processo de ensino-aprendizagem. Nesse cenário, as redes locais sem fios (WLAN), padronizadas pela família IEEE 802.11 e conhecidas comercialmente como Wi-Fi, atuam como a principal infraestrutura habilitadora dentro das instituições de ensino. Elas eliminam a necessidade de cablagem física individual para cada terminal e garantem a mobilidade de dispositivos indispensáveis à rotina de estudantes e docentes, como notebooks e smartphones.

No entanto, embora a tecnologia de redes tenha evoluído rapidamente para suportar maiores densidades de usuários e tráfego através de padrões avançados, a eficiência real da conexão permanece estritamente sujeita às leis da física que regem a propagação de ondas de rádio. O sinal eletromagnético emitido por um ponto de acesso (Access Point) não se propaga de forma isolada; ele sofre degradação natural e severa ao interagir com o ambiente arquitetônico ao seu redor. Materiais de alta densidade, como as paredes de alvenaria e o concreto armado presentes no campus, causam atenuação, superfícies metálicas geram reflexões destrutivas e a simples distância física dissipa a energia da onda, reduzindo drasticamente a intensidade do sinal recebido pelo usuário final.

A escolha deste tema partiu de uma observação prática e de uma vivência diária compartilhada pelos autores nas dependências do Instituto Federal do Amapá (IFAP). Durante os deslocamentos rotineiros entre as salas de aula adjacentes localizadas no mesmo pavimento do Bloco B, constatou-se uma grande assimetria na qualidade da rede destinada aos discentes: enquanto o sinal mostrava-se robusto e estável em determinados pontos, sofria uma degradação severa e quedas abruptas de conexão em salas de aula vizinhas imediatas. Essa flutuação crônica na cobertura, experimentada no cotidiano acadêmico, evidenciou que a infraestrutura local carecia de um diagnóstico técnico estrutural detalhado.

2 PROBLEMAS DE PESQUISA

A conectividade por redes sem fio constitui um recurso importante para o desenvolvimento das atividades acadêmicas, possibilitando o acesso a ambientes virtuais de aprendizagem, sistemas institucionais, conteúdos digitais e demais recursos disponíveis na internet. No contexto do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá (IFAP) – Campus Macapá, a rede Wi-Fi também desempenha papel relevante no suporte às atividades realizadas por estudantes e docentes.

Entretanto, a qualidade da cobertura de uma rede sem fio pode variar entre diferentes ambientes de uma edificação. Fatores como distância entre o dispositivo cliente e o ponto de acesso, presença de paredes e outros obstáculos, características dos materiais construtivos, posicionamento dos equipamentos e condições do ambiente de radiofrequência podem influenciar a propagação do sinal e ocasionar áreas com diferentes níveis de intensidade.

No Bloco B do IFAP – Campus Macapá, observações realizadas pelos autores durante a utilização cotidiana da rede indicaram diferenças na qualidade da conexão entre as salas, incluindo situações de redução do sinal e instabilidade em determinados ambientes. Contudo, essas observações, por si só, não permitem determinar tecnicamente a distribuição da cobertura nem identificar os fatores associados às variações percebidas pelos usuários.

Diante desse cenário, torna-se necessário realizar um diagnóstico técnico da cobertura da rede Wi-Fi no Bloco B, utilizando procedimentos de medição capazes de identificar a distribuição espacial da intensidade do sinal e relacioná-la às características físicas e técnicas do ambiente. Esse diagnóstico poderá fornecer dados para a identificação de áreas com cobertura reduzida e subsidiar a elaboração de propostas de melhoria para a infraestrutura de rede sem fio.

Assim, estabelece-se a seguinte questão de pesquisa:

De que forma a análise da cobertura e da propagação do sinal Wi-Fi no Bloco B do IFAP – Campus Macapá pode identificar áreas de baixa cobertura e subsidiar propostas de melhoria da infraestrutura de rede sem fio?

3 JUSTIFICATIVA

Estudos sobre infraestrutura de TI em instituições de ensino brasileiras apontam que o dimensionamento incorreto e a falta de planejamento de radiofrequência (RF) geram cenários de saturação espectral que impactam negativamente a experiência educacional. O aumento de múltiplos dispositivos portáteis por usuário sobrecarrega pontos de acesso antigos, criando zonas de sombra que limitam o acesso de discentes que dependem da rede para realizar pesquisas e interagir com ambientes virtuais de aprendizagem. De acordo com a Ekahau (2023), o planejamento prévio e a modelagem preditiva de redes sem fio corporativas são etapas indispensáveis para garantir alta performance e evitar custos posteriores com remanejamento emergencial de hardware.

Diante dessa realidade nacional, a realização deste estudo justifica-se por uma necessidade institucional latente no Instituto Federal do Amapá (IFAP), identificada a partir da vivência diária dos autores como acadêmicos do curso . A constante oscilação de sinal e a perda de conectividade experimentadas durante os deslocamentos entre as salas de aula do Bloco B evidenciaram que a instabilidade crônica não era um fato isolado, mas um reflexo de barreiras físicas e lógicas que limitam diretamente a eficiência das ferramentas pedagógicas em sala de aula . Mapear cientificamente esse campo de cobertura tornou-se, portanto, essencial para garantir aos usuários um acesso uniforme e estável.

Sob o aspecto técnico do curso de Tecnologia em Redes de Computadores, a pesquisa aplica conceitos práticos de auditoria de sistemas sem fio para solucionar esse problema real de infraestrutura que afeta toda a comunidade escolar . O diagnóstico das causas de atenuação por barreiras físicas fornece à equipe de Tecnologia da Informação (TI) da instituição um embasamento estatístico crucial para tomadas de decisão estruturais, transformando a vivência dos alunos em uma solução definitiva para assegurar a inclusão digital plena e o total aproveitamento acadêmico no campus.

4 OBJETIVOS

Analisar a cobertura e a propagação do sinal Wi-Fi no Bloco B do IFAP – Campus Macapá, a fim de identificar áreas de baixa cobertura e subsidiar propostas de melhoria da infraestrutura de rede sem fio.

- Mapear a cobertura do sinal Wi-Fi nas salas do Bloco B do IFAP – Campus Macapá, por meio de técnicas de Site Survey e representação por mapa de calor (heatmap).
- Mensurar a intensidade do sinal Wi-Fi (RSSI) nos pontos de coleta definidos, identificando áreas com níveis reduzidos de cobertura e instabilidade de conexão.
- Analisar a relação entre os níveis de sinal observados e as características físicas e técnicas do ambiente que possam influenciar a propagação da rede sem fio.
- Propor melhorias para a infraestrutura de rede Wi-Fi do Bloco B com base nos resultados obtidos na análise de cobertura.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

A compreensão aprofundada dos mecanismos que regem o funcionamento das redes locais sem fios (WLAN) exige o estudo das bases físicas e tecnológicas que sustentam as telecomunicações modernas. Conforme Tanenbaum e Wetherall (2011), para diagnosticar com precisão problemas de desempenho e perdas de pacotes em ambientes de rede, é indispensável compreender as características físicas do meio de transmissão por onde as informações trafegam: o espaço livre.

Neste capítulo, abordam-se os conceitos fundamentais para a sustentação desta auditoria, iniciando-se pela análise do espectro eletromagnético e dos princípios de radiofrequência, passando pela evolução histórica dos padrões da família IEEE 802.11 e pela engenharia de canais, até os fenômenos físicos de propagação que provocam a atenuação de sinal no ambiente construído.

5.1 Funcionamento e propagação do sinal

A viabilidade técnica e a confiabilidade de uma rede local sem fio (WLAN) dependem diretamente da dinâmica eletromagnética estabelecida entre os ativos transmissores e os dispositivos receptores. Ao contrário dos meios de transmissão guiados, como os cabos de par trançado e as fibras ópticas, a comunicação sem fio utiliza o espaço livre como meio compartilhado e não confinado, o que exige a conversão contínua de sinais binários em oscilações eletromagnéticas de radiofrequência (Stallings, 2018; Tanenbaum; Wetherall, 2011).

Para compreender o comportamento do sinal Wi-Fi em ambientes internos e edificados, faz-se indispensável analisar a cadeia completa da transmissão — desde o processo de modulação e transdução de energia nas antenas até a forma como essas frentes de onda se expandem pelo espaço tridimensional (Pavani; Silva, 2021; Rappaport, 2009). Conforme ressaltam Kurose e Ross (2021), a integridade dos dados que chegam ao usuário final está estritamente condicionada tanto à capacidade de processamento dos circuitos de rádio quanto às perturbações físicas sofridas pelo feixe eletromagnético ao longo de sua trajetória.

A seguir, detalham-se os mecanismos envolvidos na geração e conversão do sinal na

camada física, bem como os princípios que regem a sua dispersão geométrica pelo ambiente.

5.1.1 Geração e Transmissão do Sinal na Camada Física

O mecanismo fundamental de operação das redes locais sem fio (Wireless LAN) baseia-se na conversão bidirecional entre fluxos de dados digitais e grandezas eletromagnéticas transmitidas pelo espaço livre (Stallings, 2018). Inicialmente, o ponto de acesso ou roteador recebe os dados binários lógicos — compostos por sequências discretas de bits (zeros e uns) — provenientes da rede cabeada ou da camada de enlace. No circuito de rádio transmissor (RF), essa informação lógica é modulada e convertida em uma corrente elétrica alternada oscilante de altíssima frequência (Tanenbaum; Wetherall, 2011; Ciência Hoje, 2025).

Essa corrente é então direcionada aos elementos irradiantes da antena transmissora, os quais convertem os impulsos elétricos e os propagam para o meio livre sob a forma de ondas eletromagnéticas (Pavani; Silva, 2021). Essas ondas enquadram-se na categoria de radiação não ionizante do espectro eletromagnético, possuindo energia insuficiente para alterar estruturas moleculares ou atômicas, operando estritamente para o transporte de dados (Stallings, 2018; Ciência Hoje, 2025). No dispositivo cliente (receptor), como um computador portátil ou smartphone, ocorre exatamente a demodulação e conversão inversa: a antena receptora capta a energia residual da onda incidente, gerando microcorrentes elétricas induzidas que são decodificadas pelos circuitos de radiofrequência, reconstituindo o fluxo binário original para processamento no dispositivo de destino (Kurose; Ross, 2021)

5.1.2 Dinâmica Espacial de Propagação da Onda de Rádio

A propagação da radiofrequência corresponde ao percurso físico e espacial que a onda eletromagnética executa a partir do instante em que se desvincula do elemento irradiante transmissor. Em cenários comuns de redes locais com antenas dipolo convencionais, essa irradiação ocorre com padrão omnidirecional no plano horizontal, distribuindo a frente de onda tridimensionalmente em todas as direções à velocidade da luz ($c \approx 3 \times 10^{8} m/s$) (Rappaport, 2009; Pavani; Silva, 2021).

Contudo, durante o deslocamento pelo meio físico não guiado até o receptor, a onda não mantém uma trajetória retilínea ou isotrópica desimpedida. Conforme pontuam Tanenbaum e Wetherall (2011) e Rappaport (2009), a onda interage contínua e inevitavelmente com os elementos físicos, arquitetônicos e atmosféricos do ambiente. Essas interações geram perturbações eletromagnéticas que provocam perdas por espalhamento no espaço livre (free-space path loss), dispersões e desvios de rota decorrentes dos fenômenos de reflexão, refração e atenuação dos materiais circundantes, moldando diretamente o padrão de cobertura e a potência útil de recepção no ambiente auditado.

5.2 Evolução dos Padrões IEEE 802.11 (Wi-Fi 4 ao Wi-Fi 6E)

A padronização das arquiteturas de redes sem fio é estabelecida pelo Institute of Electrical and Electronics Engineers através da família de normas IEEE 802.11. De acordo com o IEEE (2021), a evolução das emendas normativas foca no aumento da vazão de dados, na otimização da modulação espectral e no controle de acesso ao meio em ambientes de alta densidade de usuários.

Conforme Tanenbaum e Wetherall (2011) e Kurose e Ross (2021), as principais etapas evolutivas dividem-se em:

- Wi-Fi 4 (IEEE 802.11n): Ratificado em 2009, introduziu a tecnologia MIMO (Multiple Input, Multiple Output), possibilitando o uso simultâneo de múltiplos fluxos espaciais de antenas para elevar o throughput agregado a patamares teóricos de até 600 Mbps nas faixas de 2,4 GHz e 5 GHz.
- Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac): Lançado em 2013 com foco na faixa de 5 GHz, implementou canais mais amplos (80 MHz e 160 MHz) e o mecanismo MU-MIMO (Multi-User MIMO), viabilizando transmissões simultâneas a múltiplos terminais receptores.
- Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax): Oficializado em 2019, alterou o foco do padrão para a eficiência espectral coletiva em cenários densos através da modulação OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), que particiona canais em subportadoras ortogonais dedicadas a diferentes clientes no mesmo instante.
- Wi-Fi 6E: Extensão regulamentar do padrão 802.11ax homologada a partir de 2020 que desbloqueou o acesso aos 1.200 MHz contínuos da faixa de 6 GHz, mitigando o

problema da sobreposição de canais.

Tabela 1 – Comparação Técnica dos Padrões IEEE 802.11

Geração Comercial	Padrão IEEE	Ano de Lançamento	Frequências de Operação	Velocidade Máxima Teórica	Tecnologias-Chave
Wi-Fi 4	802.11n	2009	2,4 GHz e 5 GHz	600 Mbps	MIMO e canais de até 40 MHz
Wi-Fi 5	802.11ac	2013	Apenas 5 GHz	3,5 Gbps	MU-MIMO e canais de 80 e 160 MHz
Wi-Fi 6	802.11ax	2019	2,4 GHz e 5 GHz	9,6 Gbps	OFDMA, Modulação 1024-QAM e WPA3
Wi-Fi 6E	802.11ax	2020	2,4 GHz, 5 GHz e 6 GHz	9,6 Gbps	Acesso à banda limpa de 6 GHz

Fonte: Adaptado de IEEE (2021) e Alura (2025).

5.3 Faixas de Frequência e Engenharia de Canais (2,4 GHz, 5 GHz e 6 GHz)

Para o ambiente de redes locais sem fio, o espectro regulamentado divide-se em três faixas principais de operação:

- Faixa de 2,4 GHz: Apresenta comprimentos de onda maiores (aproximadamente 12,5 cm), o que lhe confere melhor capacidade de difração e penetração em obstáculos sólidos, resultando em maior raio de alcance. Em contrapartida, conforme ressalta Gast (2013), por se tratar de uma banda estreita e de uso livre amplamente difundida, encontra-se frequentemente saturada por ruído e interferências eletromagnéticas.
- Faixa de 5 GHz: Possui comprimentos de onda reduzidos (cerca de 6 cm) e maior largura de banda agregada. Segundo Tanenbaum e Wetherall (2011), essa faixa oferece taxas de transmissão substancialmente mais elevadas e menor índice de contenção entre canais, embora sofra atenuação mais acentuada ao atravessar barreiras de alvenaria e concreto.
- Faixa de 6 GHz: Introduzida recentemente nos padrões mais avançados de

> conectividade, atua com blocos massivos de espectro contínuo. Conforme documentado pela Wi-Fi Alliance (2024), essa banda opera sem o congestionamento de dispositivos legados, viabilizando conexões de baixíssima latência e alta vazão em ambientes onde prevalece a linha de visada direta (LoS).

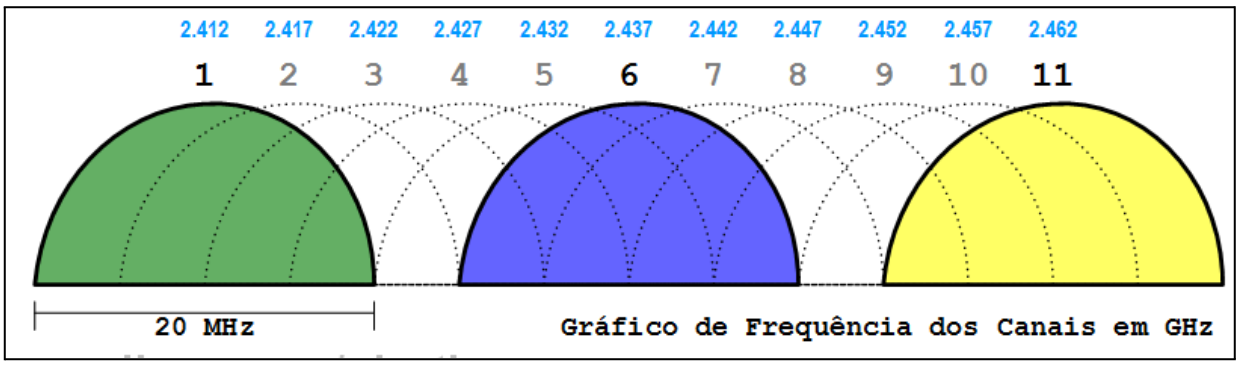
As características físicas dessas três faixas de frequência são determinantes para a experiência dos usuários que dependem da infraestrutura acadêmica. Elas criam o mapa de propagação da rede, exigindo um planejamento de rádio rigoroso para equilibrar a grande capacidade de penetração da faixa de 2,4 GHz com as altas taxas de transmissão e baixa tolerância a barreiras das faixas de 5 GHz e 6 G.

Para viabilizar a concorrência ordenada entre dispositivos sem fio em um meio compartilhado, as faixas de operação são segmentadas em faixas espectrais menores chamadas canais de comunicação. Segundo a Hitron (2025), a distribuição e escolha assertiva desses canais reduzem o congestionamento do espectro aéreo, assegurando maior vazão ao evitar que redes adjacentes disputem a mesma largura de banda.

Conforme explica Brito (2018), na faixa de 2,4 GHz os canais possuem larguras nominais de 20 MHz a 22 MHz dispostos em intervalos de apenas 5 MHz entre portadoras centrais, o que ocasiona o fenômeno de sobreposição espectral (spectral overlap). Segundo o autor, para evitar interferência adjacente nessa faixa, a engenharia de radiofrequência padronizou o emprego estrito dos canais 1, 6 e 11, pois são os únicos que mantêm afastamento suficiente para operar de maneira mutuamente ortogonal sem colisão destrutiva de pacotes.

Em contrapartida, conforme pontuam Kurose e Ross (2021), a faixa de 5 GHz disponibiliza um espectro mais amplo, comportando até 24 canais independentes que não se sobrepõem no espaço livre, o que simplifica o planejamento de células sem fio em edifícios multi compartimentados. De acordo com Gast (2013), o correto zoneamento de canais e o isolamento de células constituem o principal fator de mitigação contra a interferência de co-canal (CCI), em que múltiplos pontos de acesso no mesmo canal competem pelo mesmo meio físico, elevando o tempo de contenção e o descarte de quadros.

Figura 1 - Gráfico de Frequência dos Canais em GHz



Fonte: Medium (2025).

5.4 Fenômenos de Propagação de Sinal

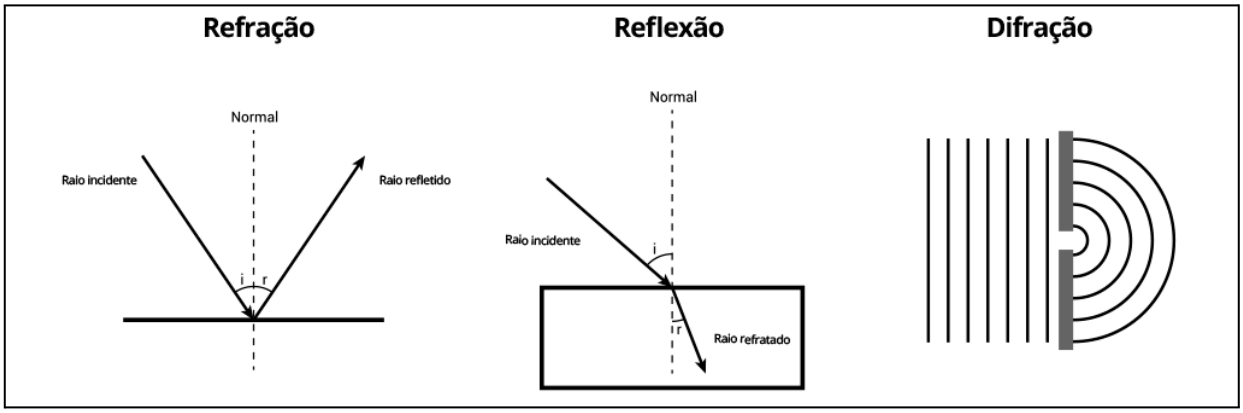
A propagação das ondas de radiofrequência em ambientes fechados (indoor) não ocorre de maneira ideal como no espaço livre. Segundo Rappaport (2009), à medida que a onda eletromagnética se afasta do transmissor, ela interage com a geometria física e com os materiais do entorno, sofrendo quatro fenômenos fundamentais:

- Atenuação: Conforme Stallings (2018), a atenuação consiste na perda contínua de potência da onda eletromagnética ao longo da distância e, principalmente, ao penetrar materiais sólidos. De acordo com medições consolidadas por Rappaport (2009), paredes divisórias e lajes de concreto impõem perdas por inserção que variam entre 3 dB e mais de 15 dB por barreira dependendo da espessura e umidade do material, provocando rápida degradação da relação sinal-ruído (SNR) e culminando nas chamadas zonas de sombra ou zonas mortas.
- Reflexão e Efeito Multicaminho (Multipath): Segundo Tanenbaum e Wetherall (2011), a reflexão surge no instante em que a frente de onda eletromagnética atinge uma superfície condutora de dimensões muito superiores ao comprimento de onda incidente, como portas metálicas, divisórias de alumínio e armários de aço. Conforme demonstra Rappaport (2009), esse rebate gera múltiplos feixes secundários que chegam ao receptor com pequenas defasagens de tempo e fase (Multipath), gerando desvanecimento do sinal (fading) e distorção na recepção dos símbolos.
- Difração: De acordo com Stallings (2018), a difração manifesta-se quando o feixe de

rádio colide com uma aresta ou quina pontiaguda de um obstáculo intransponível, gerando frentes secundárias de onda que se propagam para trás do anteparo. Conforme observa Gast (2013), ondas com frequências mais baixas (como 2,4 GHz) difratam melhor do que frequências mais altas (como 5 GHz e 6 GHz), permitindo contornar cantos com menor perda relativa.

- Refração: Conforme explicado por Rappaport (2009), ocorre quando a onda eletromagnética atravessa a interface entre meios que apresentam constantes dielétricas distintas, como a transição do ar para vidraças ou painéis acrílicos, provocando desvios na trajetória e dispersão angular do feixe transmitido.

Figura 2 - Comparação de Fenômenos de Propagação



Fonte: Museu WEG de Ciência e Tecnologia (2023).

Conforme explicam Pavani e Silva (2021), a propagação de ondas em ambientes indoor é influenciada pelo ganho e padrão de radiação das antenas, bem como pelas perdas no espaço livre geradas por descontinuidades e reflexões dos materiais construtivos.

6 METODOLOGIA

O presente capítulo descreve os procedimentos metodológicos, as técnicas de amostragem, os instrumentos de coleta de dados e as ferramentas computacionais empregadas para a execução da análise de cobertura e propagação da rede sem fio do Bloco B do Instituto Federal do Amapá (IFAP) – Campus Macapá.

6.1 Natureza E Estrutura Do Percurso Metodológico

Esta pesquisa caracteriza-se, quanto à sua natureza, como aplicada, de abordagem quantitativa e, quanto aos seus objetivos, como descritiva.

Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa aplicada busca produzir conhecimentos direcionados à solução de problemas específicos e de interesse prático. Nesse sentido, o presente estudo analisa uma situação concreta relacionada à cobertura da rede sem fio do Bloco B do IFAP - Campus Macapá.

Quanto à abordagem, a pesquisa caracteriza-se como quantitativa, considerando que os dados obtidos podem ser mensurados e analisados numericamente (Prodanov; Freitas, 2013). Neste estudo, essa abordagem está relacionada principalmente às medições da intensidade do sinal recebido, expressas por meio do indicador RSSI (Received Signal Strength Indicator), em dBm, possibilitando a comparação dos níveis de sinal observados nos diferentes ambientes analisados.

Quanto aos objetivos, a pesquisa possui caráter descritivo, pois busca registrar, analisar e caracterizar as condições de cobertura do sinal Wi-Fi existentes no ambiente estudado. Conforme Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa descritiva permite observar, registrar e analisar características relacionadas ao fenômeno investigado, sem a manipulação deliberada das condições estudadas.

Quanto aos procedimentos técnicos, foram utilizados levantamento bibliográfico, inspeção técnica do ambiente e Site Survey, com coleta de dados em campo. O percurso metodológico deste trabalho foi organizado em quatro etapas consecutivas:

- Primeira Etapa: Dedicou-se à pesquisa bibliográfica e documental para a fundamentação teórica, englobando a análise de livros de redes de computadores, normas do IEEE, artigos e periódicos especializados em telecomunicações e

radiofrequência.

- Segunda Etapa: Consistiu na inspeção física e no levantamento de materiais construtivos e mobiliários do Bloco B do IFAP, visando catalogar as barreiras estruturais que influenciam na atenuação e reflexão das ondas de rádio.
- Terceira Etapa: Compreendeu a execução do procedimento de Site Survey itinerante ativo e passivo por meio do software NetSpot e aplicativos de análise espectral, coletando métricas de RSSI em 22 salas de aula para a construção de uma base de dados estatística.
- Quarta Etapa: Concentrou-se no processamento dos dados coletados, gerando os mapas de calor cromáticos e tabelas de diagnóstico que fundamentaram a elaboração de um plano de propostas de otimização lógico-estrutural para o campus.

6.2 Caracterização Do Cenário De Estudo: Bloco B Do Ifap

O cenário avaliado compreende o Bloco B do Instituto Federal do Amapá (IFAP), Campus Macapá, uma estrutura predial que apresenta desafios significativos à propagação de ondas eletromagnéticas devido às suas dimensões físicas e à sua composição arquitetônica estrutural

6.2.1 Dimensões E Extensão Longitudinal

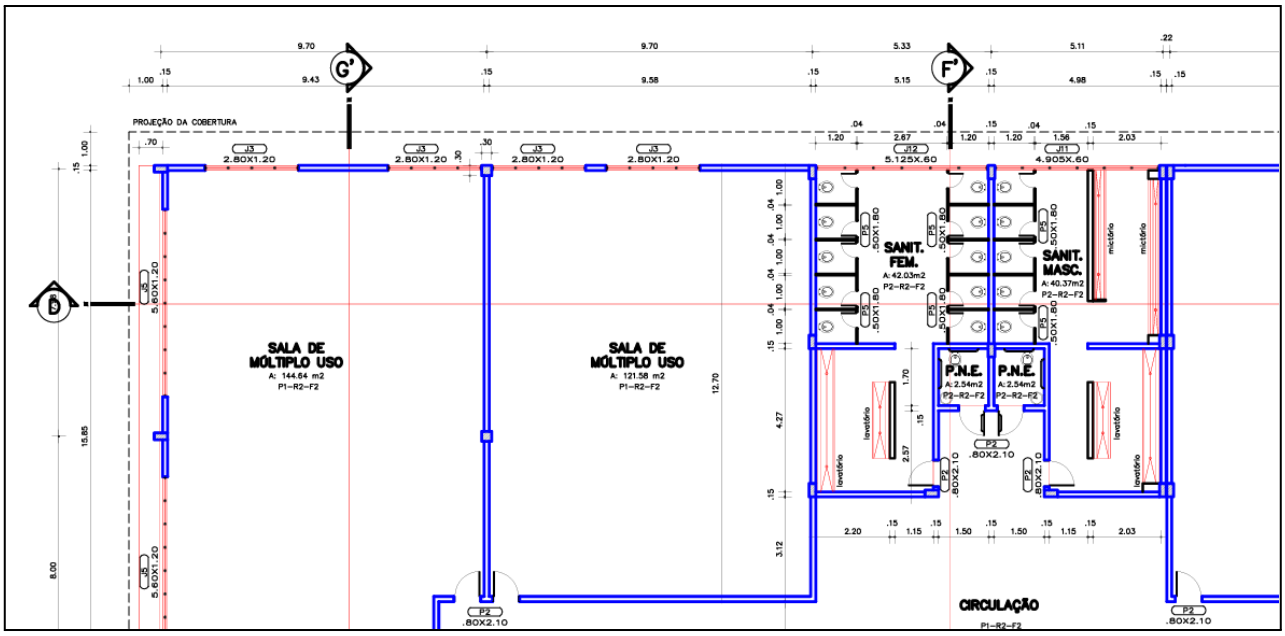
O referido bloco possui um corredor principal retilíneo com aproximadamente 64 metros de comprimento. Essa característica arquitetônica longitudinal exige um planejamento rigoroso no posicionamento de antenas para garantir a sobreposição correta das células de rádio e a transparência no processo de transição de conexão dos dispositivos portáteis (roaming).

A planta do pavimento é composta por salas de aula, laboratórios técnicos e setores de suporte dispostos lateralmente ao longo do corredor central, totalizando 22 salas de aula distintas (Figura 4) entre Sala 2 à Sala 23, totalmente integradas ao escopo deste estudo.

Para a caracterização física da infraestrutura e modelagem da área auditada, realizou-se a aferição das dimensões do Bloco B tomando como base a somatória das medidas contempladas na planta arquitetônica oficial do IFAP (Figura 3). A partir dessa validação em escala real, utilizou-se a planta oficial como modelo para desenhar uma planta baixa limpa —

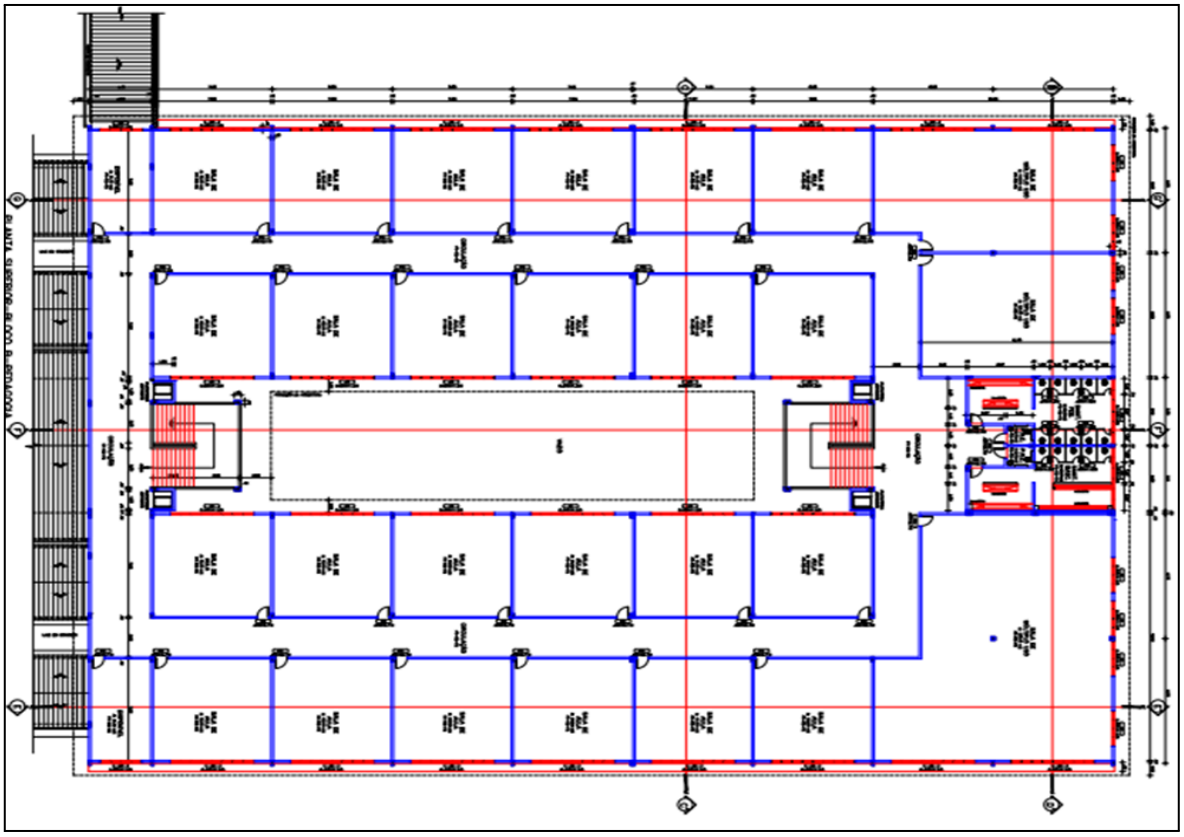
contendo exclusivamente as demarcações de paredes e sem poluentes visuais ou numéricos —, o que foi fundamental para garantir a precisão geométrica e a clara visualização no mapeamento de calor.

Figura 3 - Zoom do canto superior esquerdo da planta baixa do bloco B - IFAP no layout modo retrato



Fonte: IFAP (2026).

Figura 4 - Planta baixa do bloco B - IFAP



Fonte: IFAP (2026).

6.2.2 Levantamento De Materiais Construtivos E Impacto No Sinal

A interação entre as ondas eletromagnéticas e a estrutura interna do pavilhão do IFAP é ditada diretamente pelos materiais predominantes de sua construção. Cada um desses componentes físicos exerce atenuações ou distorções específicas na amplitude da onda de rádio, dividindo-se em:

- Alvenaria e Concreto: As paredes divisórias internas e as fachadas externas são constituídas por tijolos cerâmicos revestidos com reboco e colunas de concreto armado. Estes materiais possuem um alto índice de constante dielétrica e absorção, gerando uma perda por inserção que atenua a intensidade do sinal Wi-Fi em valores que variam entre 3 dB e 15 dB.
- Pavimentação, Revestimento e Forro: O acabamento do piso inclui concreto liso,

Korodur e lajotas cerâmicas. O teto é composto por laje de concreto rebocada ou forros estruturais em PVC, elementos que atuam confinando ou refratando o sinal entre os pavimentos.

- Esquadrias e Elementos Metálicos: A presença de portas de alumínio, esquadrias de metal ferroso e janelas de vidro introduz fenômenos instantâneos de reflexão e refração. Superfícies metálicas são consideradas críticas para este projeto, pois barram e refletem a radiofrequência de volta para o meio, degradando de forma severa a relação sinal-ruído (SNR) e gerando ruído eletromagnético por multicaminhos (Multipath).

6.3 Ferramentas E Dispositivos De Coleta

A varredura e a consolidação dos dados de campo foram executadas entre as 19h e 21h combinando ferramentas especializadas de software e dispositivos móveis, garantindo o rigor estatístico e a precisão espacial das métricas obtidas:

- Software de Mapeamento Técnico: Utilizou-se a plataforma profissional licenciada NetSpot (versão 5.1.0.707) para a importação e calibração da planta digitalizada, correlação espacial das medições de campo e posterior renderização do mapa de calor (heatmap) de cobertura de radiofrequência do Bloco B.
- Aplicativos de Auditoria Espectral: Com a finalidade de verificar os parâmetros de transmissão das redes detectadas, foram empregados de forma complementar:
    - Wi-Fi Analyzer (versão 3.11.2): Aplicativo auxiliar utilizado na identificação e monitorização em tempo real das redes sem fios do ambiente, fornecendo dados sobre canais de operação, largura de banda e intensidade de sinal;
    - NetSpot (versão 5.1.0.707): Empregado no registro contínuo dos pontos de amostragem e na análise quantitativa dos identificadores de rede (SSIDs) identificados no percurso.
- Dispositivos de Coleta (Hardware Client): As medições de campo foram executadas através de dispositivos móveis (smartphones), devidamente caracterizados pelas suas interfaces de rádio:
    - Samsung Galaxy A11 (Modelo SM-A115M/DS), operando sob o sistema operacional Android, com interface de rede sem fios compatível com o padrão

IEEE 802.11 b/g/n (Wi-Fi 4) na frequência de 2,4 GHz;

- Xiaomi Redmi Note 12 (Modelo 23021RAAEG), operando sob o sistema operacional Android, equipado com interface dual-band compatível com os padrões IEEE 802.11 a/b/g/n/ac (Wi-Fi 5) nas faixas de 2,4 GHz e 5 GHz.

- Métricas de Análise: O principal indicador adotado para a avaliação da cobertura da rede foi o RSSI (Received Signal Strength Indicator), expresso em decibéis-miliwatt (dBm), cujos valores mensuram a potência do sinal recebido nos pontos amostrados.

6.4 Procedimento De Site Survey (Ativo E Passivo)

O processo de engenharia reversa e auditoria de campo foi estruturado metodologicamente através das seguintes etapas técnicas:

a) Calibração e Mapeamento da Planta Baixa: Consistiu na importação da planta baixa limpa do Bloco B para o ambiente do software NetSpot. Nesta etapa, inseriu-se o vetor de escala real calibrado a partir dos dados numéricos externos da planta oficial.

b) Coleta Itinerante e Pontos de Amostragem (Data Points): O levantamento foi executado de forma presencial percorrendo toda a extensão longitudinal do corredor central e adentrando o perímetro das salas de aula. Para representatividade adequada, os pontos de amostragem foram estabelecidos de forma padronizada em duas posições por sala: o primeiro ponto na porta de entrada e o segundo na região central do ambiente. Considerando as 22 salas analisadas (Salas 2 a 23), foram definidos 44 pontos de coleta principais. A adoção dessa amostragem dupla possibilitou observar detalhadamente a variação da intensidade do sinal entre o corredor e o interior dos recintos. Em cada ponto de amostragem, disparou-se uma varredura estática para capturar e registrar as métricas dos identificadores de rede (SSIDs) e canais associados.

c) Interpolação e Geração do Mapa de Calor: Após a consolidação dos Data Points, o motor gráfico do NetSpot aplicou equações matemáticas de interpolação de dados para preencher o espaço tridimensional do mapa, gerando a representação visual cromática da cobertura eletromagnética do local.

d) Policiamento de Integridade dos Dados: Como critério de segurança científica, as áreas sem preenchimento colorido (zonas cinzas) foram mantidas no mapa. Elas evidenciam a ausência de amostragem física local (Data Points), funcionando como uma trava do algoritmo do software para blindar o relatório contra "falsos positivos" ou a projeção de dados meramente especulativos em áreas não auditadas.

6.5 Critérios de interpolação dos níveis de sinal

Para interpretação dos resultados, os valores de RSSI foram classificados em faixas de intensidade de sinal com base nos parâmetros de desempenho de cobertura para redes sem fios recomendados pela Cisco Systems (2020) e pelas métricas do software NetSpot (2025). A classificação teve como finalidade estabelecer um critério uniforme para diferenciar ambientes com melhores condições de cobertura daqueles que apresentaram níveis reduzidos ou críticos de intensidade do sinal.

Tabela 2 – Classificação por faixa etária RSSI (dBm)

Faixa de RSSI (dBm)	Classificação
- 30dBm a - 50dBm	Sinal forte
- 51dBm a - 65dBm	Sinal adequado
- 66dBm a - 75dBm	Sinal moderado
- 76dBm a - 85dBm	Sinal fraco
- 86dBm a -100dBm	Sinal crítico

Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Cabe ressaltar expressamente que a análise do RSSI avalia tão somente a intensidade da cobertura do sinal de radiofrequência no ambiente. Esse indicador não mensura diretamente, de forma isolada, a velocidade de transmissão de dados nem a latência da rede, parâmetros que também dependem de fatores como a Relação Sinal-Ruído (SNR), o congestionamento do canal e a capacidade de processamento do ponto de acesso.

6.6 Elaboração das propostas de melhoria

Após a identificação das áreas com menores níveis de cobertura e a análise da distribuição do sinal no Bloco B, os resultados obtidos foram utilizados como base para a elaboração de propostas de melhoria da infraestrutura de rede sem fio.

As propostas foram formuladas considerando os problemas identificados durante o Site Survey e as características observadas no ambiente, envolvendo medidas relacionadas ao reposicionamento de pontos de acesso, planejamento e engenharia de canais, ampliação da cobertura por intermédio de infraestrutura cabeada para interligação e atualização tecnológica dos ativos de rede.

Ressalta-se que as recomendações apresentadas constituem diretrizes técnicas fundamentadas no diagnóstico obtido, não representando comprovação experimental de sua eficácia em campo, visto que as soluções sugeridas não foram implementadas nem submetidas a uma nova campanha de medições no escopo desta pesquisa.

6.7 Limitações da pesquisa

O estudo apresenta limitações relacionadas às condições em que as medições foram realizadas. O comportamento de uma rede sem fio pode variar em função de fatores como quantidade de usuários conectados, movimentação de pessoas, características dos dispositivos utilizados, condições físicas do ambiente e presença de outras redes sem fio no entorno.

As medições representam, portanto, as condições encontradas nos locais, horários e período em que ocorreu a coleta (turno noturno, entre 19h e 21h), não sendo viável extrapolar os valores obtidos como invariáveis para quaisquer condições de utilização da rede. Outra limitação técnica refere-se aos instrumentos de coleta, uma vez que as medições foram conduzidas por meio de dispositivos móveis e ferramentas de análise computacional de camada de aplicação, não tendo sido empregados analisadores dedicados do espectro radioelétrico.

Por fim, as propostas de melhoria formuladas neste trabalho não foram executadas fisicamente na infraestrutura do bloco durante a pesquisa. Consequentemente, não foi realizada uma segunda campanha de Site Survey para verificar quantitativamente eventuais

alterações na cobertura após a aplicação prática das soluções recomendadas. Dessa forma, os resultados consolidam-se estritamente como um diagnóstico técnico de cobertura para subsidiar futuras intervenções na infraestrutura de rede sem fio do Bloco B.

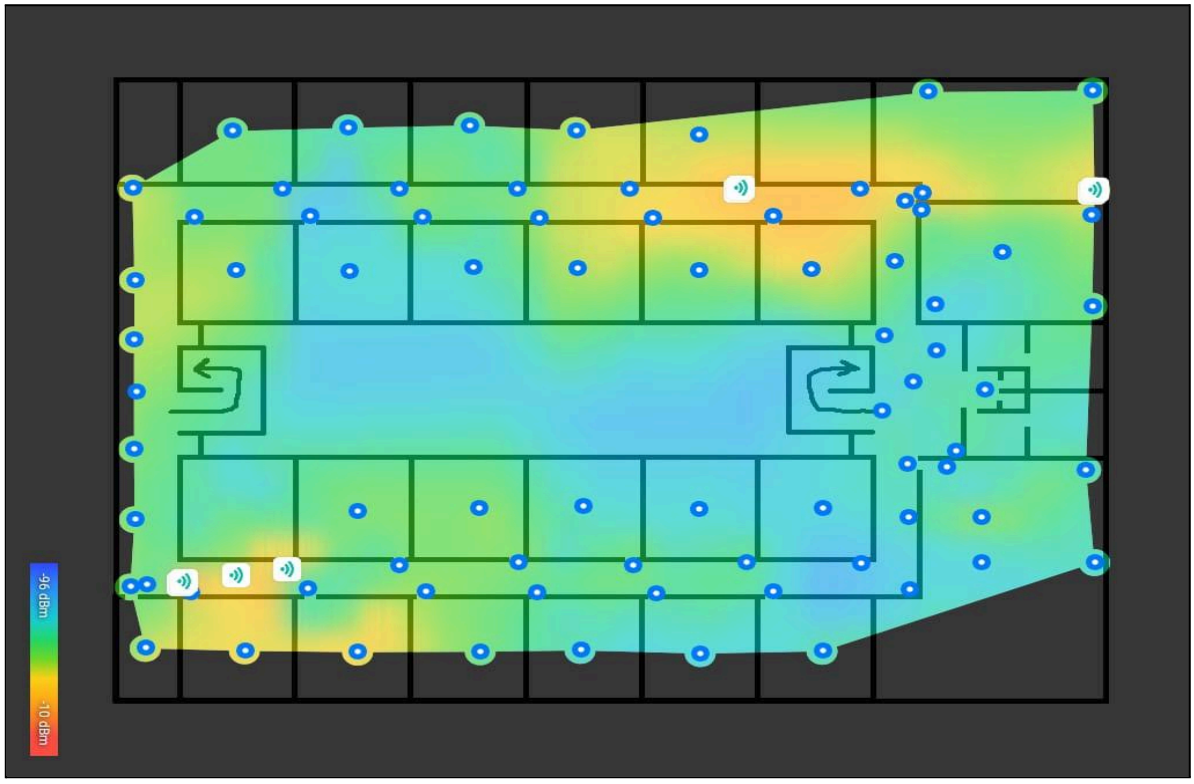
7 ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE RESULTADOS

A análise dos resultados apresentada a seguir baseia-se nos dados brutos obtidos durante o levantamento itinerante realizado nas dependências do Instituto Federal do Amapá (IFAP). O processamento das amostras foi centralizado no motor computacional do software NetSpot, que utilizou algoritmos de interpolação matemática espacial para a renderização da assinatura de radiofrequência e modelagem dos diagramas de cobertura do pavilhão.

7.1 Interpretação Do Mapa De Calor (Heatmap)

O diagnóstico científico da infraestrutura de rádio permitiu o mapeamento geoespacial dos níveis de RSSI (Received Signal Strength Indicator) expressos em decibéis-miliwatt (dBm). O uso dessa métrica em escala logarítmica é uma imposição técnica necessária para mensurar com precisão matemática as variações de potência das ondas eletromagnéticas e suas atenuações no espaço livre.

Figura 5 - Mapa de Calor do Sinal do Bloco B.



Fonte - Elaborados pelos autores entres os horários de 19h e 21h (2026).

Para fins de análise cromática no relatório de engenharia, a escala de coloração gerada pelo software correlaciona diretamente o nível de potência decibélica à eficiência da rede, segmentando-se em quatro quadrantes de dispersão:

- Tons Quentes (Amarelo e Verde): Mapeiam os sinais de alta intensidade física, situados na faixa de -10 dBm a -50 dBm. Estes indicadores comprovam a existência de uma excelente qualidade de modulação e uma elevada relação sinal-ruído (SNR - Signal-to-Noise Ratio), ambiente de espectro limpo que viabiliza o estabelecimento das taxas de transferência (throughput) máximas nominais dos rádios .
- Tons de Transição (Ciano): Compreendem a faixa intermediária localizada entre -50 dBm e -70 dBm. Trata-se do limiar onde a onda eletromagnética começa a manifestar perdas perceptíveis de potência decorrentes da colisão com barreiras físicas, embora a interface de rede do cliente ainda consiga manter a estabilidade da sessão e a decodificação dos quadros sem quedas severas.
- Tons Frios (Azul): Delimitam os níveis críticos de recepção de rádio, compreendidos

no intervalo de -70 dBm até o limiar de sensibilidade de -96 dBm, que representa o ponto de desconexão total. Nestas regiões, a relação sinal-ruído degrada-se a ponto de elevar a latência de tráfego, gerando o descarte constante de pacotes corrompidos e falhas de comunicação .

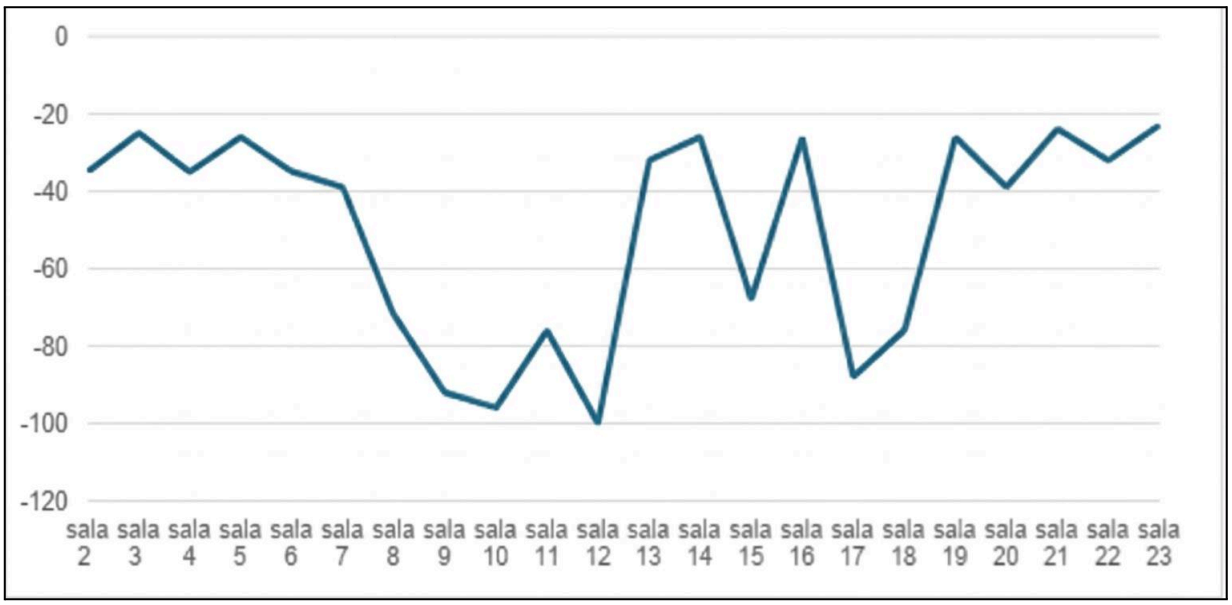
- Zonas Cinzas: Evidenciam os locais físicos onde o algoritmo barrou o preenchimento de cor devido à ausência de pontos de coleta (Data Points). Como detalhado no percurso metodológico, esta ausência de coloração atua como uma trava lógica de segurança para resguardar a integridade científica do documento, impedindo a amostragem de dados fictícios ou estimativas estatísticas imprecisas.
- Pontos azuis: Representam cada ponto de coleta em que foram disparados sinais para fazer o cálculo e consequentemente a geração do mapa de calor.

7.2 Avaliação Da Intensidade De Sinal Por Sala (Rssi)

Para o aprofundamento do diagnóstico técnico, as leituras em dBm indicam que quanto mais perto de zero melhor é o sinal, aplicando-se ao oposto também. O escopo da amostragem cobriu um total de 22 salas de aula ativas (da Sala 2 à Sala 23) distribuídas ao longo da ala longitudinal do Bloco B.

A análise estatística dos dados permitiu identificar áreas de comportamento regular, as salas localizadas nas extremidades físicas do bloco e posicionadas em proximidade geométrica direta com os pontos de acesso centrais (especificamente o conjunto das Salas 2 a 6 e o bloco das Salas 19 a 23) registraram índices de excelência operacional estabelecidos entre -20 e -40 pontos na escala dBm. Nestes quadrantes, os dispositivos operam sob uma linha de visada (LoS) desimpedida e com baixa incidência de obstáculos arquitetônicos intermediários, assegurando comunicações eficientes e livres de retransmissões.

Figura 6 - Gráfico de Intensidade de Sinal das Salas do Bloco B.



Fonte - Elaborados pelos autores (2026).

7.3 Identificação De Zonas Mortas (Salas 8 A 12)

Em contrapartida à estabilidade das extremidades, a auditoria identificou um fenômeno de degradação crítica no setor intermediário da extensão do Bloco B. Os dados numéricos de campo apontam para uma queda acentuada nos níveis de rádio no intervalo compreendido entre as salas 8 e 12, tendo o seu ápice de degradação registrado no interior da Sala 12, local onde a intensidade de sinal decaiu ao valor mínimo de -100 pontos.

Essa área configura-se tecnicamente como uma zona morta de radiofrequência (shadow zone). Sob a ótica da física de propagação, esse comportamento patológico da rede é o resultado direto do efeito de perda por percurso (path loss) associado à atenuação cumulativa por inserção. A onda eletromagnética, ao trafegar pela extensão longitudinal do pavilhão, colide sucessivamente com múltiplas barreiras transversais de alvenaria e concreto armado. A cada barreira transposta, parte significativa da energia do sinal é absorvida e convertida em calor, reduzindo a amplitude da onda a um patamar crítico onde o nível de ruído de fundo supera a potência útil do sinal, inviabilizando por completo o uso pedagógico dos serviços de rede.

7.4 Análise De Instabilidade E Interferência (Sala 16)

Além dos problemas relacionados estritamente à distância e à absorção por barreiras, a varredura espectral detectou anomalias dinâmicas caracterizadas por flutuações abruptas, severas e não lineares de sinal em pontos específicos do pavilhão. O caso de maior relevância técnica manifestou-se no perímetro da Sala 16, ambiente que registrou uma queda súbita e intermitente de desempenho, contrastando de forma anômala com o comportamento da Sala 15 vizinha imediata, que manteve um sinal robusto e estável.

Este padrão de comportamento não linear indica que a perda de qualidade local não decorre do fator distância, mas sim de fatores logísticos e estruturais específicos. O diagnóstico aponta para duas hipóteses técnicas concorrentes:

a) Interferência de Co-canal (Saturação Espectral): Fenômeno gerado pela presença de múltiplos pontos de acesso institucionais operando e transmitindo seus pacotes lógicos (beacons) sob o mesmo canal ou segmento de frequência sem o devido isolamento, provocando colisões de quadros na camada física e obrigando as interfaces dos clientes a entrarem em ciclos constantes de retransmissão.

b) Bloqueio Físico Local da Linha de Visada: Obstrução pontual provocada pela presença de elementos de alta constante dielétrica ou superfícies refletoras no alinhamento direto entre a antena e a sala, como pilares estruturais de sustentação densos ou armários de aço em posições inadequadas, gerando sombras localizadas ou cancelamento de fase por multicaminho (Multipath).

8 PROPOSTAS DE OTIMIZAÇÃO

Com base no diagnóstico técnico e nas criticidades mapeadas no Capítulo 4, este capítulo apresenta o plano de melhorias e engenharia de rádio projetado para sanar as falhas de cobertura do Bloco B do IFAP. As soluções foram categorizadas por níveis de complexidade e investimento, dividindo-se em ações lógicas imediatas, implementação de arquitetura de distribuição em malha e atualização estrutural de hardware.

8.1 Soluções Lógicas E De Baixo Custo (Reposicionamento Estratégico)

Muitas das anomalias e flutuações severas detectadas durante a auditoria — a exemplo das quedas intermitentes registradas no perímetro da Sala 16 — não exigem obrigatoriamente a aquisição imediata de novos ativos de rede . Elas podem ser mitigadas por meio da reengenharia lógica do espectro e de ajustes físicos no posicionamento dos equipamentos atuais:

- Padronização de Canais Ortogonais: Recomenda-se a reconfiguração manual e rigorosa dos planos de frequência dos rádios, adotando exclusivamente a distribuição dos canais 1, 6 e 11 na faixa de 2,4 GHz. Como detalhado na fundamentação teórica, estes são os únicos três canais que operam de forma totalmente independente e sem sobreposição (overlap) no espectro. A imposição desta matriz de canais elimina a interferência adjacente e reduz significativamente as colisões de pacotes geradas por interferência de co-canal em cenários acadêmicos de alta densidade.
- Desobstrução do Meio Físico Local: Identifica-se como vital o afastamento imediato das antenas de superfícies metálicas adjacentes, tais como armários de aço, esquadrias pesadas e vigas estruturais . Essa ação reduz de forma imediata o índice de perda por inserção inicial e mitiga os fenômenos de reflexão destrutiva e multicaminhos (*Multipath*) que corrompem a integridade do sinal.

8.2 Implementação de Pontos de Acesso Gerenciados com Backhaul Cabeado

Para solucionar as "zonas mortas" crônicas identificadas no setor intermediário do pavilhão — especificamente o quadrante de sombra severa localizado entre as salas 8 e 12 —,

propõe-se a implantação de uma arquitetura baseada em Pontos de Acesso (APs) gerenciados centralizadamente e interconectados por backhaul cabeado Ethernet (Categoria 6 com suporte a Power over Ethernet - PoE). Essa abordagem atende às exigências de uma infraestrutura institucional corporativa fundamentando-se nos seguintes pontos:

- Arquitetura com Ethernet Backhaul e Preservação de Capacidade: A interconexão física de cada AP diretamente ao switch via cabo de par trançado Categoria 6 (Cat6) garante banda dedicada Gigabit Ethernet sem atenuação aérea. Caso a solução adote gerenciamento em malha (mesh), fica estabelecido que o sistema operará sob Ethernet backhaul, utilizando a comunicação sem fio apenas para coordenação lógica entre os nós, preservando a largura de banda aérea e evitando a perda de desempenho associada a repetidores sem fio (wireless backhaul).
- Gerenciamento Centralizado e Coordenado de Rádio: A utilização de APs gerenciados permite ajustar dinamicamente os canais e as potências de transmissão, prevenindo sombras de cobertura e reduzindo interferências de co-canal em cenários de alta densidade.
- Mecanismos de Auxílio ao Roaming (IEEE 802.11k, 802.11v e 802.11r): A arquitetura integra o suporte aos padrões IEEE 802.11k (relatório de vizinhança), 802.11v (gerenciamento de transição BSS) e 802.11r (Fast BSS Transition). Esses protocolos orientam a troca de célula e reduzem o tempo de reautenticação nos deslocamentos ao longo do corredor. Ressalta-se que esses mecanismos auxiliam e otimizam o roaming, embora a decisão final de migração dependa das especificações de hardware do dispositivo cliente, não garantindo, por si sós, transições totalmente imunes a microinterrupções.

8.3 Adequação da Infraestrutura Física, Cabeamento e Alimentação Energética

Para garantir o suporte adequado aos novos Pontos de Acesso e assegurar a estabilidade do tráfego corporativo, a infraestrutura física deve ser dimensionada conforme os seguintes tópicos:

- Cabeamento Estruturado Categoria 6 (Cat6): Lançamento de cabos UTP Cat6 ligando cada Ponto de Acesso diretamente aos switches do rack principal. A especificação Cat6 garante largura de banda Gigabit (e suporte a Multi-Gigabit), reduzindo a

diafonia (crosstalk) e a atenuação de sinal ao longo dos lances de cabo no pavilhão.

- Alimentação por Power over Ethernet (PoE / PoE+ — IEEE 802.3af/at): Adição de switches com suporte nativo a PoE/PoE+. Essa tecnologia envia energia elétrica e dados pelo mesmo cabo de rede UTP, eliminando a necessidade de infraestrutura elétrica dedicada (tomadas de energia) junto aos locais de fixação dos APs no teto ou paredes.
- Dimensionamento de Switches e Autonomia Energética (UPS): Utilização de switches gerenciáveis com power budget suficiente para suprir o consumo máximo de todos os APs simultaneamente. Os switches PoE devem estar conectados a sistemas de alimentação ininterrupta (no-breaks / UPS) no rack central, garantindo a continuidade do serviço de rede durante oscilações ou falhas pontuais na rede elétrica local.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal analisar a qualidade da infraestrutura de cobertura de redes locais sem fios (WLAN) do Instituto Federal do Amapá (IFAP), avaliando a qualidade do sinal, alcance e disponibilidade para diagnosticar as causas da instabilidade de conexão enfrentada pelos discentes . A pesquisa demonstrou que, embora a conectividade wireless seja tratada institucionalmente como um pilar essencial para o suporte pedagógico e o ensino moderno, ainda existem lacunas estruturais na distribuição de radiofrequência que impactam diretamente a rotina dos estudantes . Constatou-se que a combinação de uma geometria arquitetônica longitudinal com materiais de alta densidade construtiva, como alvenaria e concreto armado, atua como uma barreira física severa que degrada a propagação das ondas eletromagnéticas.

Os resultados obtidos com a execução do procedimento de Site Survey itinerante e mapeamento térmico mostraram que a infraestrutura atual é insuficiente para garantir uma cobertura homogênea em toda a extensão do pavilhão de salas de aula do Bloco B . O estudo atingiu os seus objetivos específicos ao mapear e identificar criticamente a existência de "zonas mortas" situadas entre as salas 8 e 12, setor onde a intensidade do sinal (RSSI) decai para valores mínimos que inviabilizam qualquer atividade pedagógica digital. Ademais, o diagnóstico pontual na sala 16 evidenciou que as instabilidades de rede nem sempre decorrem do fator distância, mas sim de flutuações severas causadas por problemas de interferência de co-canal ou por bloqueios físicos locais que degradam a relação sinal-ruído .

Mediante estes dados, entende-se que os objetivos da pesquisa foram plenamente alcançados, uma vez que a auditoria técnica possibilitou diagnosticar as falhas de rádio e fornecer um plano detalhado de propostas de otimização lógico-estrutural. Conclui-se que a solução para a conectividade no campus não depende do acréscimo aleatório de novos dispositivos, mas sim de um planejamento estratégico de radiofrequência. Com a implementação das melhorias sugeridas — que abrangem desde ações de custo zero, como a engenharia de canais ortogonais, até investimentos em tecnologias de Redes Mesh e no padrão Wi-Fi 6 —, espera-se que a rede do instituto converta-se em uma ferramenta resiliente de apoio ao ensino. Por fim, este trabalho deixa como legado um mapa técnico preciso que servirá de embasamento e guia para futuras expansões e manutenções na infraestrutura de TI

da instituição.

REFERÊNCIAS

ALURA. **Entendendo os padrões de Wi-Fi:** do 802.11b ao Wi-Fi 6. [S. l.], 2025. Disponível em: https://www.alura.com.br/artigos/entendendo-os-padroes-de-wi-fi. Acesso em: 21 nov. 2025.

BRITO, Samuel Henrique Bucke. **Planejamento de canais em redes Wi-Fi**: como fazer? Medium: Ubiquiti BR, 9 jul. 2018. Disponível em: https://medium.com/ubntbr/planejamento-de-canais-em-wlan-wifi-como-fazer-673233cccc6f. Acesso em: 17 set. 2026.

CIÊNCIA HOJE. **Como funciona o Wi-Fi**. [S. l.]: Instituto Ciência Hoje, 2025. Disponível em: https://cienciahoje.org.br/artigo/como-funciona-o-wi-fi/. Acesso em: 21 nov. 2025.

CISCO SYSTEMS. **Enterprise Mobility 8.5 Design Guide.** San Jose: Cisco Systems, 2020. Disponível em: https://www.cisco.com. Acesso em: 19 set. 2026.

EKAHAU. **Wi-Fi Design: deploying high performance wireless networks**. Reston: Ekahau, 2023.

FENÔMENOS ondulatórios: entenda o que são e quais os tipos existentes. Blog com Ciência (Museu WEG), 19 abr. 2023. Disponível em: https://museuweg.net/blog/fenomenos-ondulatorios-entenda-o-que-sao-e-quais-os-tipos-existentes/. Acesso em: 17 set. 2026.

GAST, Matthew S. 802.11 **Wireless Networks:** the definitive guide. 2. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2013.

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

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física:** eletromagnetismo. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 3.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física:** gravitação, ondas e termodinâmica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 2.

HITRON. **What are network channels and how does it affect my wifi?** [S. l.], 2025. Disponível em: https://us.hitrontech.com/blog/what-are-network-channels-and-how-does-it-affect-my-wifi/. Acesso em: 22 nov. 2025.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. **IEEE Standard for Information Technology**: telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks – specific requirements – part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. New York: IEEE, 2021.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a Internet:** uma abordagem top-down. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2021.

MEDIUM. **Como o sinal wifi é propagado na natureza**. [S. l.], 2025. Disponível em: https://medium.com/ubntbr/como-o-sinal-wifi-%C3%A9-propagado-na-natureza-d87daef39575. Acesso em: 22 nov. 2025.

NETSPOT. **Guia de análise de canais Wi-Fi.** [S. l.], 2025. Disponível em: https://www.netspotapp.com/pt/wifi-channel-scanner/wifi-channels.html. Acesso em: 22 nov. 2025.

ODOM, Wendell. CCNA 200-301 **Official Cert Guide**. Indianapolis: Cisco Press, 2020. v. 1.

PAVANI, Sandro Augusto; SILVA, Murilo de Oliveira C. da. **Antenas e propagação de ondas para comunicações sem fio**. São Paulo: Blucher, 2021. 306 p.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico:** métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAPPAPORT, Theodore S. **Comunicações sem fio:** princípios e práticas**.** 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

STALLINGS, William. **Comunicações de dados e redes de computadores**. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2018.

TANENBAUM, Andrew S.; WETHERALL, David J. **Redes de computadores**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

WI-FI ALLIANCE. **Wi-Fi 6 and Wi-Fi 6E Overview**. Austin: Wi-Fi Alliance, 2024. Disponível em: https://www.wi-fi.org. Acesso em: 4 jun. 2026.