



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

DAVI FREIRE AZEVEDO

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA REDE 4G/LTE NO CAMPUS DA UFC RUSSAS

RUSSAS

2026

DAVI FREIRE AZEVEDO

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA REDE 4G/LTE NO CAMPUS DA UFC RUSSAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciência da Computação do Campus Russas da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Ms. Pitágoras Graça Martins.

RUSSAS

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A986a Azevedo, Davi Freire.

Análise de Desempenho da Rede 4G/LTE no Campus da UFC Russas / Davi Freire Azevedo. – 2026.
35 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas,
Curso de Ciência da Computação, Russas, 2026.

Orientação: Prof. Me. Pitágoras Graça Martins.

1. redes móveis. 2. 4G/LTE. 3. qualidade de serviço. 4. análise de cobertura. I. Título.

CDD 005

DAVI FREIRE AZEVEDO

ANÁLISE DE DESEMPENHO DA REDE 4G/LTE NO CAMPUS DA UFC RUSSAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Ciência da Computação
do Campus Russas da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Ciência da Computação.

Aprovado em: 26/01/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ms. Pitágoras Graça Martins (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Mateus Mosca Viana
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ms. Caio César de Freitas Dantas
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho à minha família que é são meus alicerces. E ao meu grande amor, Larissa, cujo amor e companheirismo deram sentido a cada passo desta conquista.

AGRADECIMENTOS

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

À minha família, base de tudo, pelo apoio incondicional. Em especial ao meu amor, Larissa Maria Melo de Lima, pela paciência nas noites de estudo e pela compreensão nos momentos de ausência. Você foi meu porto seguro e sua presença tornou essa caminhada mais leve e significativa.

Um agradecimento muito especial ao meu grande amigo Carlos Vinicio Dantas Araújo. Obrigado por ter dividido as dores e as alegrias da graduação comigo. Sua ajuda foi fundamental na minha caminhada dentro da universidade. Você é um amigo que levarei para a vida toda.

Ao meu orientador, Prof. Ms. Pitágoras Graça Martins, pela oportunidade, pela confiança depositada em meu trabalho e pelas orientações valiosas que nortearam esta pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Mateus Mosca Viana e Prof. Ms. Caio César de Freitas Dantas, por aceitarem o convite e pelas contribuições enriquecedoras para a melhoria deste trabalho.

Aos demais professores e colegas do curso de Ciência da Computação da UFC - Campus Russas, que de alguma forma contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

“A gente nasce não pronto e vai se gastando; a gente nasce não sabendo e vai aprendendo.”
(Mario Sérgio Cortella, 2005)

RESUMO

A conectividade móvel de alto desempenho tornou-se um requisito fundamental em ambientes acadêmicos; contudo, a Qualidade de Serviço (QoS) percebida pelo usuário frequentemente diverge dos parâmetros nominais da tecnologia 4G/LTE. Fatores como a saturação da célula por densidade de usuários e a atenuação de sinal por barreiras arquitetônicas impõem desafios significativos à infraestrutura de rede. Este trabalho apresenta uma caracterização e análise comparativa do desempenho das operadoras Claro e Vivo no campus da Universidade Federal do Ceará em Russas. Através de uma abordagem metodológica quantitativa e sistemática, foram coletadas e processadas 1152 amostras ao longo de dois meses, cobrindo seis zonas estratégicas e diferentes perfis de carga horária. As métricas de avaliação incluíram RSRP (*Reference Signal Received Power*), RSRQ (*Reference Signal Received Quality*) e *throughput* de download. Os resultados evidenciaram um *trade-off* técnico distinto entre capacidade de pico e resiliência operacional: a operadora Claro apresentou superioridade em velocidade (picos de até 45 Mbps) em cenários de visada direta, mas sofreu degradação crítica em ambientes fechados, registrando 35 desconexões no Bloco 1. Em contrapartida, a operadora Vivo demonstrou maior consistência e facilidade de acesso em áreas internas, mantendo a conectividade estável em todas as zonas, apesar de velocidades máximas mais conservadoras (28 Mbps). A análise temporal confirmou uma alta sensibilidade da Claro à ocupação do campus (correlação $r = -0,72$), indicando saturação em horários de pico, fenômeno menos expressivo na Vivo ($r = -0,31$). O estudo fornece um diagnóstico empírico, oferecendo diretrizes para a gestão de infraestrutura universitária e auxiliando na tomada de decisão dos usuários.

Palavras-chave: redes móveis; 4G/LTE; qualidade de serviço; RSRP; análise de cobertura.

ABSTRACT

High-performance mobile connectivity has become a fundamental requirement in academic environments; however, the Quality of Service (QoS) perceived by end-users often diverges from the nominal parameters of 4G/LTE technology. Factors such as cell saturation due to user density and signal attenuation caused by architectural barriers pose significant challenges to network infrastructure. This work presents a characterization and comparative analysis of the performance of Claro and Vivo mobile carriers at the Federal University of Ceará, Russas campus. Adopting a quantitative and systematic methodological approach, 1152 samples were collected and processed over two months, covering six strategic zones and different network load profiles. Evaluation metrics included RSRP (Reference Signal Received Power), RSRQ (Reference Signal Received Quality), and download throughput. The results revealed a distinct technical trade-off between peak capacity and operational resilience: Claro demonstrated superior speed (peaks up to 45 Mbps) in line-of-sight scenarios but suffered critical degradation in confined environments, recording 35 disconnections in Block 1. In contrast, Vivo showed greater consistency and indoor penetration, maintaining stable connectivity across all zones despite more conservative maximum speeds (28 Mbps). Temporal analysis confirmed Claro's high sensitivity to campus occupancy (correlation $r = -0.72$), indicating saturation during peak hours, a phenomenon less significant for Vivo ($r = -0.31$). This study provides a robust empirical diagnosis, offering guidelines for university infrastructure management and assisting in user decision-making.

Keywords: mobile networks; 4G/LTE; quality of service; RSRP; coverage analysis.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo quantitativo das amostras validadas	24
Tabela 2 – Síntese comparativa do cenário e métricas	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

eNodeB	<i>Evolved Node B</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
KPIs	<i>Key Performance Indicators</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MIMO	<i>Multiple-Input Multiple-Output</i>
NMS	<i>Network Management System</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiple Access</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RSRP	<i>Reference Signal Received Power</i>
RSRQ	<i>Reference Signal Received Quality</i>
SC-FDMA	<i>Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access</i>
SINR	<i>Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio</i>
UE	<i>User Equipment</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1	Tecnologia 4G e <i>Long Term Evolution</i>	15
3.2	A Importância da Conectividade Móvel no Ambiente Acadêmico	15
3.3	Qualidade de Serviço (QoS) e Métricas de Desempenho	16
3.4	Métricas de Rádio-Frequência em Redes LTE	16
3.5	Medição de Performance de Throughput	17
3.6	Variabilidade Espacial e Temporal em Redes Móveis	17
3.7	Ferramentas de Medição e Monitoramento	17
3.8	Análise Estatística de Dados de Rede	18
4	TRABALHOS RELACIONADOS	19
4.1	<i>Performance Analysis of 4G Networks and its Different Quality of Service</i>	19
4.2	<i>Performance Analysis of 4G LTE Mobile Broadband Services in University Campus</i>	19
4.3	<i>A Comparative Study of Network Monitoring Systems</i>	20
4.4	<i>A Methodology for Mobile Network Performance Analysis from Crowdsour- ced Data</i>	20
5	METODOLOGIA	21
5.1	Desenho da Pesquisa e Fluxo de Trabalho	21
5.2	Ambiente e Objeto de Estudo	21
5.3	Coleta de Dados: Abordagem Multicamada	21
5.3.1	<i>Ferramenta de Coleta</i>	22
5.3.2	<i>Planejamento do Processo de Medição</i>	22
5.4	Processamento e Análise dos Dados	22
5.4.1	<i>Análise Estatística e Inferencial</i>	22
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6.1	Caracterização da Amostra e Validação dos Dados	24

6.2	Análise de Potência e Cobertura (RSRP)	24
6.2.1	<i>Estabilidade do Sinal</i>	25
6.3	Dinâmica Temporal e Influência da Carga	25
6.4	Qualidade do Sinal (RSRQ) e Interferência	27
6.5	Impacto na Experiência do Usuário (Throughput)	28
6.6	Síntese Geoespacial	29
7	CONCLUSÃO	30
7.1	Limitações e Trabalhos Futuros	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A conectividade móvel de alta performance tornou-se um pilar fundamental para as atividades da sociedade contemporânea, redefinindo a forma como indivíduos interagem, trabalham e aprendem. Em Instituições de Ensino Superior (IES), essa infraestrutura é ainda mais crítica, funcionando como um alicerce para metodologias de ensino inovadoras, pesquisa colaborativa e o acesso ubíquo à informação (El-saleh *et al.*, 2022). A tecnologia de quarta geração (4G), baseada no padrão de Evolução a Longo Prazo (do inglês *Long Term Evolution (LTE)*), se consolidou como a principal via de acesso à banda larga móvel, sendo essencial para o dia a dia da comunidade acadêmica.

Contudo, existe uma lacuna notável entre o desempenho nominal da tecnologia 4G, divulgado pelas operadoras, e a qualidade de serviço (*Quality of Service (QoS)*) efetivamente experimentada pelos usuários. Essa variação é particularmente acentuada em ambientes complexos como um campus universitário, que combina áreas de alta densidade de usuários (bibliotecas, salas de aula), espaços abertos e estruturas físicas que podem obstruir e atenuar os sinais de rádio-frequência. Fatores como o horário do dia, a carga na rede e as características arquitetônicas dos edifícios podem degradar de forma significativa a performance, afetando diretamente a experiência de aprendizado e a produtividade (Kassim *et al.*, 2022).

No contexto brasileiro, a análise comparativa entre operadoras de telefonia móvel em ambientes acadêmicos permanece limitada, especialmente considerando as particularidades regionais e estruturais de cada campus. A ausência de diagnósticos que correlacionem a qualidade do sinal de rádio com métricas de performance em diferentes condições operacionais impede um planejamento eficaz de infraestrutura e deixa usuários e gestores sem dados concretos para avaliar a adequação dos serviços disponíveis às necessidades acadêmicas (Yan *et al.*, 2023).

Diante desse cenário, o presente trabalho realizou uma análise quantitativa e sistemática do desempenho das redes móveis 4G/LTE das operadoras Claro e Vivo no campus da Universidade Federal do Ceará em Russas. Por meio de uma metodologia de coleta de dados baseada em medições sistemáticas utilizando o aplicativo Network Cell Info Lite, foram analisadas métricas fundamentais como RSRP (*Reference Signal Received Power*), RSRQ (*Reference Signal Received Quality*) e throughput em diferentes localizações e horários ao longo de dois meses.

Para apresentar os resultados obtidos, o trabalho está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os objetivos geral e específicos da pesquisa. A Seção 3 detalha a fundamentação

teórica sobre a tecnologia 4G/LTE e métricas de desempenho utilizadas. A Seção 5 descreve a metodologia de coleta e análise de dados implementada. A Seção 6 apresenta e discute os resultados obtidos durante os dois meses de coleta. Por fim, a Seção 7 sintetiza as principais contribuições e limitações do estudo.

2 OBJETIVOS

Esta seção apresenta o objetivo principal alcançado com este trabalho, junto aos objetivos específicos que guiaram o processo de obtenção dos resultados.

2.1 Objetivo Geral

Analisar comparativamente o desempenho das redes móveis 4G/LTE das operadoras Claro e Vivo no campus da UFC – Russas, correlacionando métricas de qualidade de sinal com indicadores de performance para diagnóstico técnico da infraestrutura de conectividade móvel.

2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Fundamentar o trabalho com a revisão da literatura sobre a tecnologia 4G/LTE e seus principais indicadores de desempenho de rádio-frequência.
- Caracterizar a cobertura e a qualidade do sinal de RF (RSRP e RSRQ) das operadoras Claro e Vivo nos diferentes ambientes do campus através de medições sistemáticas.
- Avaliar as métricas de performance de throughput em pontos estratégicos para ambas as operadoras, correlacionando com as condições de sinal de RF.
- Analisar as variações espaciais e temporais no desempenho das redes, identificando padrões de comportamento diferenciados entre as operadoras.
- Realizar análise estatística comparativa entre as operadoras, verificando a significância das diferenças observadas através de testes de hipótese apropriados.
- Elaborar um diagnóstico técnico comparativo da infraestrutura 4G/LTE disponível no campus e fornecer diretrizes para escolha de operadora baseadas em dados empíricos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta os conceitos teóricos que sustentam a pesquisa. A estrutura parte da tecnologia de rede 4G/LTE, discute a importância da conectividade móvel para o ambiente acadêmico, e define os conceitos de Qualidade de Serviço. Em seguida, detalha os Indicadores-Chave de Desempenho (*Key Performance Indicators* (KPIs)) utilizados na análise e apresenta as ferramentas de medição empregadas na coleta de dados.

3.1 Tecnologia 4G e *Long Term Evolution*

A quarta geração (4G) de redes móveis é representada pelo (LTE), enquanto o *LTE-Advanced* constitui sua evolução, sendo classificado pela ITU como 4G “verdadeiro”, o que causou um marco na evolução das comunicações sem fio, sendo projetada para oferecer uma experiência de banda larga móvel de alta velocidade (Almazroi, 2018). Diferente de suas predecessoras, a arquitetura do 4G é totalmente baseada no *Internet Protocol* (IP), o que simplifica a rede e otimiza a transmissão de dados (Singh, 2024).

A tecnologia LTE utiliza técnicas avançadas de rádio, como o Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência Ortogonal (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access* (OFDMA)) no *downlink* e Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência de Portadora Única (*Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access* (SC-FDMA)) no *uplink*, para melhorar a eficiência espectral. Além disso, o uso de Entrada Múltipla-Saída Múltipla (*Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO)), que emprega múltiplas antenas para transmissão e recepção, permite a criação de múltiplos fluxos de dados simultâneos, aumentando significativamente a taxa de transferência (Dahlman *et al.*, 2020).

3.2 A Importância da Conectividade Móvel no Ambiente Acadêmico

O campus universitário moderno é um ecossistema conectado, onde o acesso contínuo e de alta qualidade à internet deixou de ser um recurso auxiliar para se tornar um pilar fundamental para as atividades de ensino, pesquisa e extensão. A dependência de uma infraestrutura de rede robusta, tanto fixa quanto móvel, é impulsionada pela digitalização dos processos educacionais e pela necessidade de colaboração constante (Yan *et al.*, 2023).

A qualidade da rede impacta diretamente a experiência da comunidade acadêmica. Atividades como a participação em aulas e eventos transmitidos por videoconferência, o acesso a

Ambientes Virtuais de Aprendizagem, o uso de bibliotecas digitais e bases de dados científicas, e a colaboração em projetos de pesquisa são sensíveis a parâmetros de rede como latência e taxa de transferência. Uma conectividade deficiente pode não apenas gerar frustração, mas também limitar o acesso à informação e prejudicar o desempenho acadêmico e a produtividade científica (Sankar *et al.*, 2020).

3.3 Qualidade de Serviço (QoS) e Métricas de Desempenho

A QoS se refere a um conjunto de tecnologias e métricas objetivas que medem o desempenho técnico da rede. Ela descreve a capacidade da infraestrutura de garantir um determinado nível de serviço para diferentes tipos de tráfego (Martinez *et al.*, 2019). No contexto de redes móveis, a avaliação da QoS é fundamental para compreender como características da infraestrutura afetam a experiência do usuário.

3.4 Métricas de Rádio-Frequência em Redes LTE

A avaliação do desempenho de redes móveis 4G/LTE baseia-se em métricas específicas da camada de rádio que indicam a qualidade da conexão entre o dispositivo do usuário (*User Equipment* (UE)) e a estação rádio-base (*Evolved Node B* (eNodeB)). Essas métricas são necessárias para o diagnóstico de problemas de conectividade (Kassim *et al.*, 2022).

O *Reference Signal Received Power* (RSRP) mede a potência média dos sinais de referência transmitidos pela estação base, expressa em decibéis-miliwatt (dBm). Esta métrica indica a força do sinal recebido pelo dispositivo e é considerada o principal indicador de cobertura. Valores típicos variam de -44 dBm (excelente) a -140 dBm (sem sinal), sendo que valores acima de -100 dBm geralmente indicam conectividade inadequada (Taha *et al.*, 2011).

O *Reference Signal Received Quality* (RSRQ) indica a qualidade do sinal, considerando tanto a força quanto a interferência presente no canal. É calculado como a razão entre RSRP e RSSI (Received Signal Strength Indicator), expressa em decibéis (dB). Valores típicos variam de -3 dB (excelente) a -19,5 dB (pobre), sendo crucial para avaliar a capacidade efetiva do canal de comunicação (Holma; Toskala, 2011).

O *Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio* (SINR) representa a relação sinal-ruído-interferência e é um indicador direto da qualidade e capacidade do canal. Valores mais altos indicam melhor qualidade de sinal, com impacto direto na velocidade de transmissão de dados.

É frequentemente utilizado para avaliar a eficiência da modulação e codificação empregadas pela rede (Cox, 2014).

3.5 Medição de Performance de Throughput

A velocidade de transferência de dados, ou *throughput*, é uma métrica fundamental que reflete diretamente a experiência do usuário ao utilizar serviços de dados. Em redes LTE, o throughput é influenciado pelas condições de RF, carga da rede, e capacidade do dispositivo (Ameigeiras *et al.*, 2012).

O desempenho de throughput em redes móveis é determinado por múltiplos fatores que incluem a qualidade do sinal de RF, a carga instantânea da célula, interferências co-canal, e limitações de hardware do dispositivo. A correlação entre métricas de RF (especialmente RSRP e SINR) e throughput permite diagnosticar gargalos na rede e identificar áreas com deficiência de cobertura (Laner *et al.*, 2013).

3.6 Variabilidade Espacial e Temporal em Redes Móveis

O desempenho de redes móveis apresenta variações significativas tanto no espaço quanto no tempo. Fatores como obstáculos físicos, densidade de usuários, e interferências eletromagnéticas contribuem para essa variabilidade (Andrews *et al.*, 2007).

A propagação de sinais de RF em ambientes internos difere significativamente da propagação em áreas externas. Materiais de construção, layout arquitetônico, e densidade de obstáculos afetam diferentemente as diversas bandas de frequência utilizadas pelas operadoras. Essa diferença pode resultar em variações de cobertura entre operadoras no mesmo local físico (Rappaport *et al.*, 2013).

A carga instantânea de uma célula de rede móvel impacta diretamente o desempenho percebido pelos usuários. Em ambientes acadêmicos, variações temporais previsíveis, como horários de aula e intervalos, criam padrões de demanda que podem sobrecarregar a infraestrutura em momentos específicos (Imran; Zoha, 2014).

3.7 Ferramentas de Medição e Monitoramento

A caracterização adequada do desempenho de redes móveis requer ferramentas especializadas capazes de coletar métricas tanto da camada de RF quanto da camada de aplica-

ção. Aplicativos especializados permitem a coleta de métricas de RF em dispositivos móveis, fornecendo dados sobre RSRP, RSRQ, SINR e outras métricas relevantes. O Network Cell Info Lite destaca-se por sua capacidade de medição contínua, suporte a dual SIM, e recursos de georreferenciamento, sendo amplamente utilizado tanto por usuários quanto por profissionais para diagnóstico de rede (M2Catalyst, LLC., 2025).

A avaliação de throughput requer ferramentas que simulem tráfego real de dados entre o dispositivo e servidores de teste distribuídos geograficamente. Essas medições devem considerar variações temporais e espaciais para fornecer uma caracterização abrangente do desempenho da rede (Schmid *et al.*, 2021).

3.8 Análise Estatística de Dados de Rede

A análise de dados coletados em redes móveis necessita de técnicas estatísticas apropriadas para identificar padrões, correlações e diferenças significativas entre diferentes condições operacionais.

A comparação do desempenho entre operadoras ou localizações diferentes requer o uso de testes estatísticos não-paramétricos, especialmente quando os dados não seguem distribuição normal. Esses testes permitem determinar se diferenças observadas são estatisticamente significativas ou resultam de variabilidade natural dos dados (Montgomery; Runger, 2017).

A identificação de correlações entre diferentes métricas (por exemplo, entre RSRP e throughput, ou entre horário e qualidade do sinal) fornece informações sobre os fatores que mais influenciam o desempenho da rede. Coeficientes de correlação de Pearson são utilizados para quantificar essas relações (Field, 2013).

4 TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção apresenta uma análise de estudos anteriores que investigaram o desempenho de redes móveis, com foco em metodologias de medição em campo e análises comparativas. Ao final de cada análise, é destacada a contribuição específica e a diferenciação do presente trabalho em relação ao estudo citado, fornecendo um contexto claro para a pesquisa.

4.1 *Performance Analysis of 4G Networks and its Different Quality of Service*

O trabalho de Almazroi (2018) apresenta uma análise de desempenho da tecnologia 4G, destacando seus parâmetros fundamentais e a melhoria em relação às gerações anteriores. A metodologia do estudo é baseada em uma análise teórica e simulações para demonstrar a performance da rede. O autor destaca que, segundo os critérios da União Internacional de Telecomunicações (*International Telecommunication Union* (ITU)), uma rede 4G “verdadeira” deveria oferecer velocidades de download de 100 Mbit/s para usuários em alta mobilidade e 1 Gbit/s para usuários em baixa mobilidade. O principal resultado do trabalho é a consolidação dos parâmetros que definem o 4G.

Diferentemente do estudo de Almazroi (2018), que se concentra em parâmetros teóricos e nominais, o presente trabalho avança ao realizar uma medição empírica em um ambiente real e complexo (o campus da UFC – Russas). A contribuição está em contrastar o desempenho idealizado com a performance efetivamente entregue, diagnosticando as causas das possíveis discrepâncias através da correlação de múltiplas métricas coletadas em campo.

4.2 *Performance Analysis of 4G LTE Mobile Broadband Services in University Campus*

O estudo de Kassim *et al.* (2022) oferece uma análise empírica diretamente relevante, ao investigar o desempenho de redes 4G LTE em um ambiente de campus universitário na Malásia. A metodologia empregada foi a técnica de *drive test* para coletar dados de KPIs de *Radio Frequency* (RF) (RSRP, RSRQ e SNR) com o aplicativo *G-NetTrack Pro*. Os resultados demonstraram que o desempenho é influenciado por fatores como carga de tráfego e condições climáticas, validando o uso de testes de campo para caracterizar a performance em um ambiente acadêmico.

Embora o trabalho de Kassim *et al.* (2022) seja um precedente metodológico importante, a presente pesquisa propõe uma abordagem mais completa ao complementar os dados de

walk test (coleta pontual de RF) com um sistema de monitoramento contínuo (coleta temporal de performance via Zabbix). Essa combinação permitirá uma análise mais profunda, correlacionando a qualidade do sinal de rádio com métricas de desempenho de aplicação (latência, vazão) ao longo do tempo, uma faceta não explorada no estudo citado.

4.3 A Comparative Study of Network Monitoring Systems

O trabalho de Singh e Kumar (2018) realiza um estudo comparativo entre diferentes Sistemas de Monitoramento de Rede (*Network Management System* (NMS)), incluindo Zabbix, Nagios e Icinga. A metodologia consistiu em uma análise de características, comparando as ferramentas com base em critérios como arquitetura, tipos de monitoramento e escalabilidade. Os resultados destacam a flexibilidade do Zabbix como uma solução versátil para o monitoramento de infraestruturas de TI.

Enquanto o estudo de Singh e Kumar (2018) se limita a uma análise comparativa das funcionalidades dos NMS, o presente trabalho aplica a ferramenta Zabbix de uma maneira inovadora: não para o monitoramento de infraestrutura de TI convencional (servidores, switches), mas como um orquestrador para medições contínuas de performance de uma rede celular. Essa aplicação específica para o diagnóstico de redes móveis representa uma contribuição prática e um caso de uso distinto do abordado na pesquisa comparativa.

4.4 A Methodology for Mobile Network Performance Analysis from Crowdsourced Data

O trabalho de Sousa *et al.* (2025) propõe uma metodologia para analisar dados de performance de redes móveis coletados via *crowdsourcing*. Os autores detalham técnicas para filtragem, processamento, agregação espacial e temporal dos KPIs e o uso de análises estatísticas para comparar o desempenho entre diferentes operadoras.

A abordagem metodológica para o tratamento dos dados é relevante, no entanto, o estudo foca em dados de *crowdsourcing*, que são por natureza heterogêneos e de baixa granularidade. Em contraste, a presente pesquisa aplicará uma metodologia de coleta de dados controlada e localizada. A contribuição reside em gerar um diagnóstico de alta confiabilidade para um microambiente específico (o campus da UFC – Russas), correlacionando dados de performance de rede e de RF, uma análise mais profunda e contextualizada do que a tipicamente possível com dados de *crowdsourcing*.

5 METODOLOGIA

Esta seção detalha os procedimentos metodológicos empregados para coletar e analisar os dados de desempenho da rede móvel 4G no campus da UFC em Russas. A estrutura aborda o desenho da pesquisa, a contextualização da abordagem de coleta de dados, o planejamento detalhado dos procedimentos e as técnicas de análise que foram aplicadas aos dados obtidos.

5.1 Desenho da Pesquisa e Fluxo de Trabalho

A pesquisa seguiu um fluxo de trabalho quantitativo-experimental. O processo consistiu nas seguintes etapas: **1)** definição dos objetivos e métricas; **2)** coleta de dados multicamada (RF e performance); **3)** pré-processamento e estruturação dos dados; **4)** análise estatística, inferencial e geoespacial; **5)** visualização e correlação dos resultados; **6)** discussão e conclusão.

5.2 Ambiente e Objeto de Estudo

O estudo foi realizado na infraestrutura física da Universidade Federal do Ceará (Campus Russas). O campus é composto por uma diversidade de ambientes que representam diferentes cenários de uso e propagação de sinal, incluindo:

- **Áreas internas de alta densidade:** biblioteca, salas de aula dos Blocos 1 e 2, laboratórios de computação;
- **Áreas internas de baixa densidade:** corredores, áreas administrativas, hall principal;
- **Áreas externas:** pátios, áreas de convivência, estacionamento.

O objeto de estudo foram os sinais da rede móvel 4G/LTE das operadoras Claro e Vivo. Para garantir a consistência dos dados, todas as medições foram realizadas utilizando um smartphone **Xiaomi Redmi Note 9**. O dispositivo é equipado com o chipset MediaTek Helio G85, possuindo suporte a LTE Categoria 7 (download até 300 Mbps) e operando nas bandas B1, B3, B5, B7, B8, B20 e B28. O uso de um único hardware neutraliza variáveis de sensibilidade de antena e processamento de banda base.

5.3 Coleta de Dados: Abordagem Multicamada

Para um diagnóstico completo, a coleta foi projetada para capturar dimensões complementares da rede, diferenciando parâmetros de *Quality of Service* (QoS), como RSRP e

RSRQ, de parâmetros de *Quality of Experience* (QoE), como o *throughput*.

5.3.1 Ferramenta de Coleta

Foi utilizado o aplicativo **Network Cell Info Lite**. A escolha justifica-se pelas seguintes características:

- suporte nativo a dual SIM para medição simultânea;
- extração de métricas de nível físico (RSRP, RSRQ, SINR);
- registro de georreferenciamento e identificação da célula (Cell ID).

5.3.2 Planejamento do Processo de Medição

O processo seguiu o planejamento estruturado:

- **Frequência:** duas coletas semanais (terças e quintas-feiras) para capturar a variabilidade típica do calendário acadêmico;
- **Janelas temporais:** coletas distribuídas entre manhã (08:00h - 10:00h), tarde (12:00h - 16:00h) e noite (18:00h - 19:30h);
- **Pontos fixos:** seleção de locais estratégicos (Blocos 1 e 2, Biblioteca e Áreas Externas) para análise de atenuação por barreiras físicas.

Convém destacar que a coleta de dados, realizada entre novembro e dezembro de 2025, coincide com o período de encerramento do semestre letivo. Este intervalo representa o cenário de carga máxima da infraestrutura do campus devido à alta densidade de usuários em atividades de avaliação e fechamento de projetos, permitindo uma análise do desempenho da rede sob condições de estresse que refletem o uso real da instituição.

5.4 Processamento e Análise dos Dados

A análise utilizou Python (Pandas e Scipy). Os dados brutos foram submetidos a limpeza de *outliers* e agregação temporal.

5.4.1 Análise Estatística e Inferencial

Para validar formalmente as conclusões, aplicou-se:

1. **Teste de Mann-Whitney:** teste não paramétrico utilizado para comparar as distribuições de *throughput* entre operadoras, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$);

2. **Identificação de Padrões Temporais:** uso do coeficiente de correlação de Spearman para quantificar a relação entre o horário (carga) e a degradação do sinal;
3. **Análise Espacial:** mapeamento geoespacial para identificação de zonas de atenuação severa.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta a análise detalhada dos dados coletados durante os meses de novembro e dezembro de 2025 no campus da UFC em Russas. A discussão integra as métricas de nível físico (RSRP e RSRQ) com a percepção de qualidade do usuário final (*Throughput*), correlacionando-as com as variações espaciais e temporais definidas na metodologia.

6.1 Caracterização da Amostra e Validação dos Dados

O protocolo de coleta totalizou 1152 medições brutas. Após a etapa de pré-processamento e limpeza, foram validados 541 registros para a operadora Claro e 567 para a Vivo (Tabela 1). A diferença no volume de amostras válidas reflete diretamente os episódios de desconexão total da rede observados predominantemente nas áreas internas do Bloco 1, o que caracteriza um indicador preliminar de baixa disponibilidade do serviço naquele setor.

Tabela 1 – Resumo quantitativo das amostras validadas

Métrica	Claro	Vivo
Total de medições planejadas	576	576
Amostras válidas processadas	541	567
Taxa de perda de sinal	6,1%	1,5%
Locais críticos (perda > 50%)	Bloco 1 (Térreo)	-

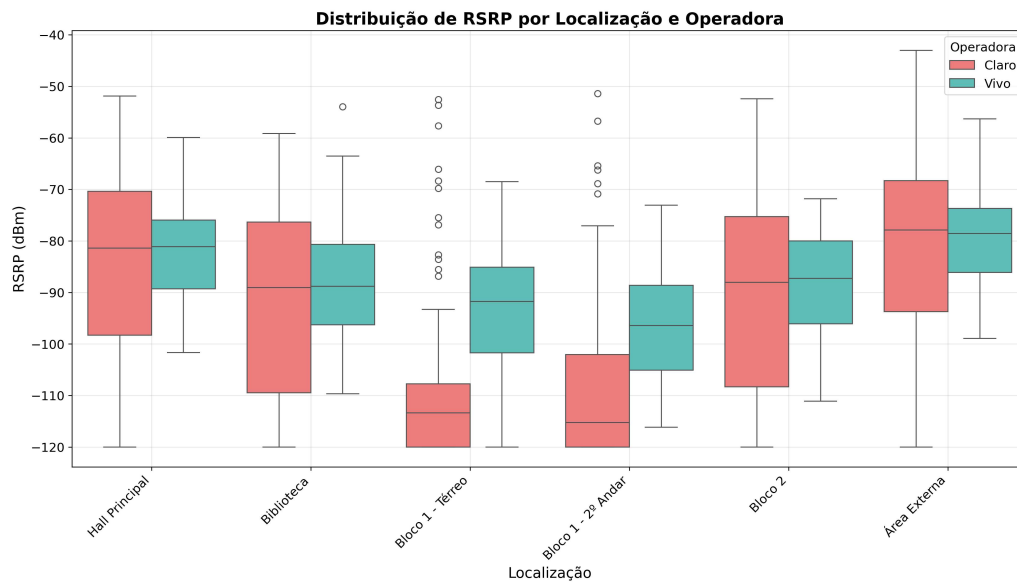
Fonte: elaborada pelo autor.

6.2 Análise de Potência e Cobertura (RSRP)

A intensidade do sinal recebido (RSRP) serviu como indicador primário de cobertura. A análise espacial, ilustrada na Figura 1, revela uma divergência no comportamento das operadoras em função da arquitetura do campus.

Observa-se que a operadora Claro apresenta maior potência de sinal em ambientes abertos, superando a Vivo no Hall Principal e nas Áreas Externas (médias de -68,2 dBm contra -71,5 dBm, respectivamente). No entanto, essa vantagem é mitigada por barreiras físicas: ao analisar a transição para ambientes fechados, nota-se uma degradação significativa no sinal da Claro. No Bloco 1, a operadora atinge níveis de atenuação severa (média de -98,7 dBm no térreo), aproximando-se do limite técnico de desconexão.

Figura 1 – Distribuição de RSRP por localização e operadora



Fonte: elaborada pelo autor.

Em contraste, a Vivo demonstra maior resiliência arquitetural. Embora seus picos de sinal em áreas abertas sejam inferiores aos da concorrente, a penetração do sinal em áreas internas é mais eficiente. No cenário crítico do Bloco 1, a Vivo mantém uma média operacional de -82,4 dBm. Tal comportamento sugere que a infraestrutura da Vivo possui melhores características de propagação através das paredes de alvenaria e concreto armado, possivelmente devido a um melhor posicionamento de ERBs ou ao uso de frequências com menor perda de percurso.

6.2.1 Estabilidade do Sinal

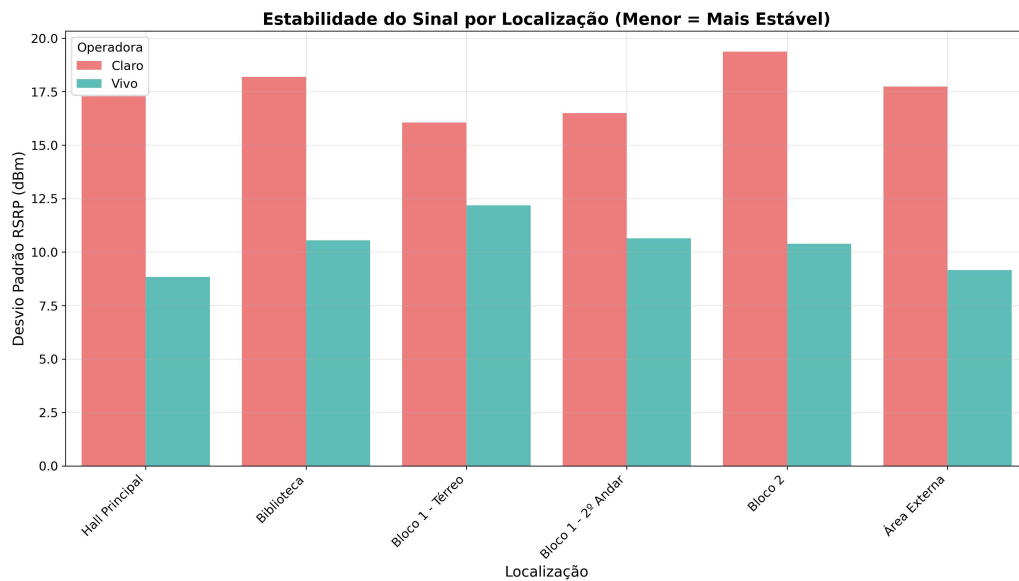
A estabilidade foi avaliada por meio do desvio padrão das medições de RSRP (Figura 2). A análise confirma que a intensidade do sinal não garante a sua estabilidade:

A operadora Claro apresentou índices de instabilidade consistentemente superiores em ambientes internos. No Bloco 1 (2º andar), o desvio padrão da Claro chegou a 21,7, indicando flutuações que resultam em uma experiência de usuário volátil. A Vivo manteve o desvio padrão abaixo de 10 na maioria dos cenários, provendo uma conexão mais previsível.

6.3 Dinâmica Temporal e Influência da Carga

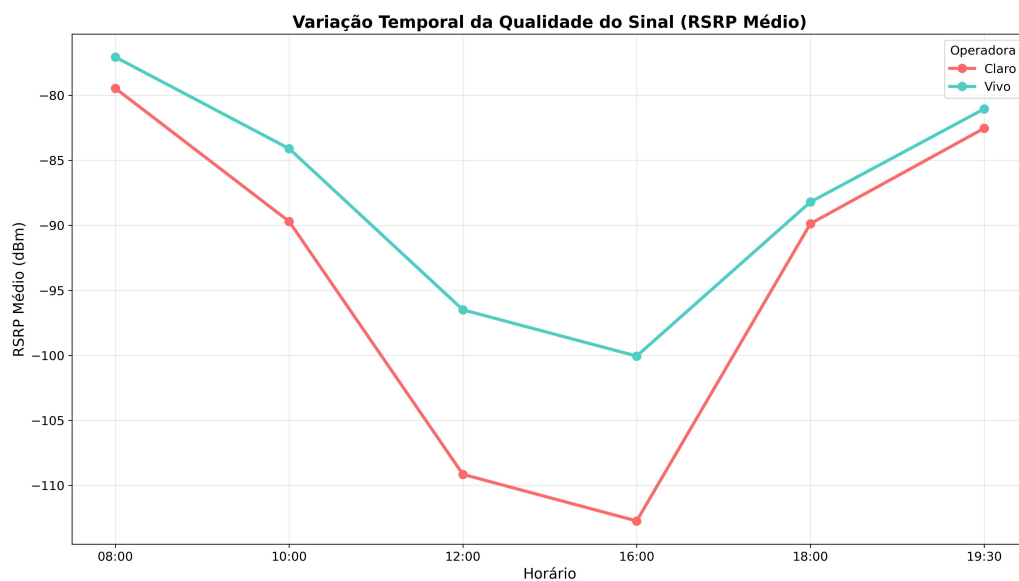
A Figura 3 valida a premissa da influência da carga de usuários sobre a qualidade da rede.

Figura 2 – Estabilidade do sinal (Desvio Padrão do RSRP)



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 3 – Variação temporal do RSRP médio

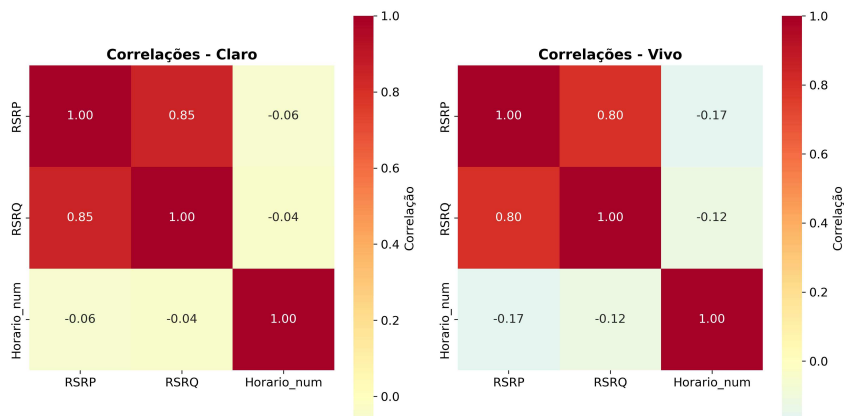


Fonte: elaborada pelo autor.

A correlação entre horários de pico acadêmico e a degradação do sinal é detalhada na Figura 4. A forte correlação negativa ($r = -0,72$) para a Claro indica que o desempenho da operadora é altamente sensível ao aumento de usuários, sugerindo uma possível saturação da célula que atende a região.

Por outro lado, a Vivo apresentou correlação fraca ($r = -0,31$). Estatisticamente, este valor indica que a variação horária exerce impacto reduzido sobre a potência do sinal dessa

Figura 4 – Matrizes de correlação: Variáveis de sinal vs. Horário



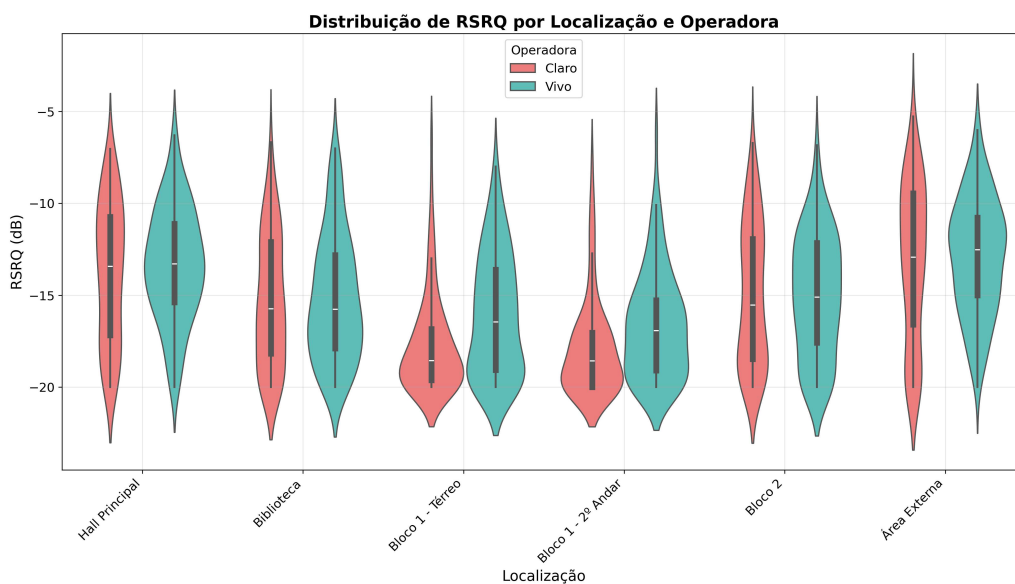
Fonte: elaborada pelo autor.

operadora, sugerindo um controle de recursos de rádio (RRM) mais robusto ou uma infraestrutura menos congestionada no período analisado.

6.4 Qualidade do Sinal (RSRQ) e Interferência

Enquanto o RSRP mede a força, o RSRQ indica a qualidade e a relação sinal-ruído. Os gráficos de violino (Figura 5) permitem visualizar a densidade de probabilidade dessa métrica:

Figura 5 – Distribuição de densidade do RSRQ (Violin Plot)



Fonte: elaborada pelo autor.

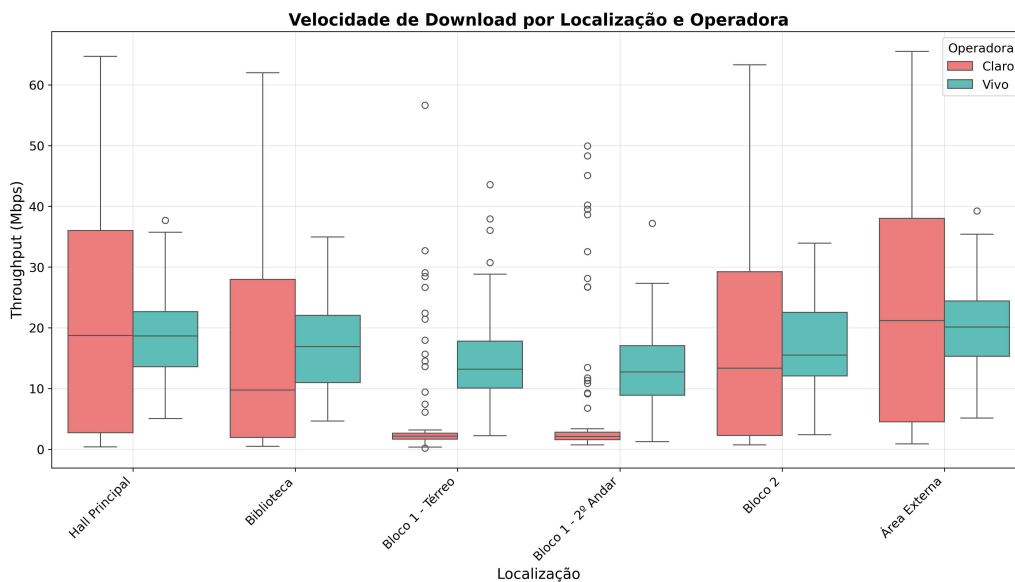
As caudas extensas nos gráficos da Claro demonstram alta variância e presença

frequente de valores inferiores a -15 dB, indicando sinal com alta interferência. Já os gráficos da Vivo são mais concentrados em torno de médias aceitáveis, indicando um *link* mais limpo.

6.5 Impacto na Experiência do Usuário (Throughput)

A consequência prática das métricas de QoS é observada no *Throughput* (Figura 6). Para validar a comparação entre as operadoras, aplicou-se o teste de Mann-Whitney, que confirmou uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os perfis de velocidade.

Figura 6 – Comparativo de *Throughput* de Download



Fonte: elaborada pelo autor.

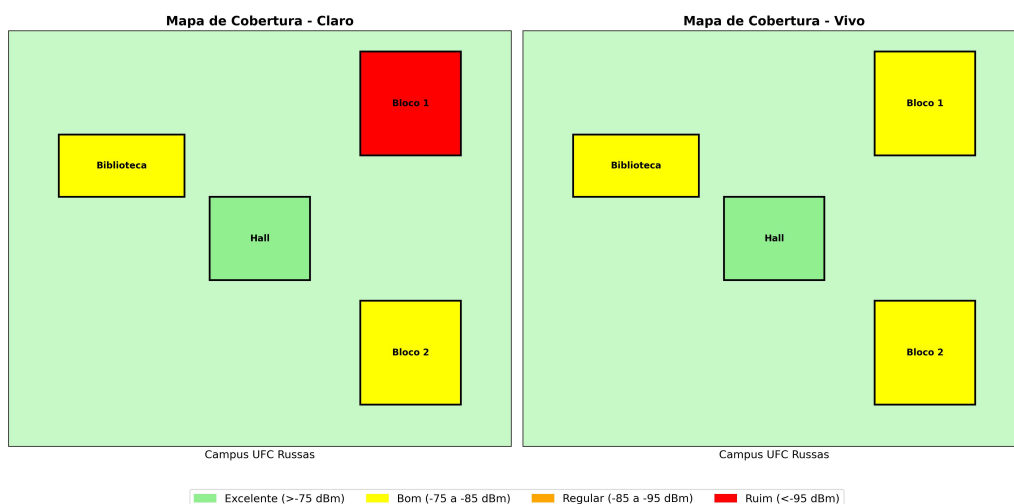
Os resultados evidenciam um *trade-off* entre desempenho de pico e confiabilidade:

1. **Perfil de Velocidade (Claro):** entrega as maiores velocidades em condições ideais, contudo, apresenta degradação severa em ambientes internos, onde a velocidade cai para níveis insuficientes para aplicações de alta demanda;
2. **Perfil de Confiabilidade (Vivo):** não atinge os mesmos picos, mas oferece uma experiência homogênea. No Bloco 1, mantém taxas funcionais (mediana > 10 Mbps), sendo a opção mais adequada para atividades acadêmicas contínuas.

6.6 Síntese Geoespacial

A integração das métricas permitiu a elaboração do Mapa de Cobertura Comparativo (Figura 7). A Tabela 2 consolida os principais achados.

Figura 7 – Mapa de qualidade de cobertura



Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 2 – Síntese comparativa do cenário e métricas

Componente	Descrição/Resultado
Ambiente	Campus UFC Russas (Áreas internas e externas)
Dispositivo	Xiaomi Redmi Note 9 (Helio G85)
Métricas QoS	RSRP, RSRQ, SINR
Métrica QoE	<i>Throughput</i> de download
Claro (Perfil)	Alta velocidade de pico / Baixa penetração interna
Vivo (Perfil)	Velocidade moderada / Alta resiliência estrutural

Fonte: elaborada pelo autor.

O mapa destaca visualmente a área de atenuação severa no Bloco 1 para a Claro, contrastando com a cobertura estável da Vivo. Conclui-se que a infraestrutura no campus apresenta características complementares: para usuários externos que buscam largura de banda, a Claro é superior; para ambientes internos acadêmicos, a Vivo mostra-se mais estável.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo validou a aplicação de uma metodologia de monitoramento multicamada para a caracterização de redes móveis em ambientes universitários, utilizando o campus da UFC em Russas como cenário de prova. A análise dos 1152 registros coletados ao longo de dois meses permitiu não apenas diagnosticar o estado atual da conectividade, mas também correlacionar o desempenho da rede com variáveis arquitetônicas e temporais, oferecendo uma visão sistêmica que transcende a simples medição de velocidade.

A hipótese central do trabalho foi confirmada: as operadoras analisadas adotam estratégias de entrega de serviço diametralmente opostas. Os resultados evidenciaram um *trade-off* técnico claro entre “capacidade de pico” e “resiliência operacional”. A operadora Claro estabeleceu-se como a referência em *throughput*, alcançando taxas de transferência de até 45 Mbps em cenários de visada direta (Hall e Áreas Externas). No entanto, essa performance mostrou-se frágil diante de obstáculos físicos, resultando em uma degradação severa da qualidade (RSRQ) e interrupções de serviço em ambientes confinados, especificamente no Bloco 1.

Em contrapartida, a operadora Vivo demonstrou um perfil de operação focado na consistência. Embora suas velocidades máximas tenham sido mais conservadoras (teto de 28 Mbps), sua infraestrutura apresentou maior capacidade de acesso de rede e estabilidade de sinal. A ausência de desconexões críticas e a manutenção de níveis operacionais de RSRP mesmo nas “zonas de sombra” indicam uma implementação de rede mais robusta para a topologia e os materiais construtivos do campus.

A dimensão temporal da análise trouxe contribuições relevantes sobre o comportamento da rede sob carga. A correlação negativa forte ($r = -0,72$) observada na Claro entre a qualidade do sinal e os horários de pico acadêmico sugere uma saturação da célula que atende a região. Esse dado é crucial para o planejamento do usuário, indicando que a experiência de navegação nessa operadora é altamente volátil e dependente do fluxo de alunos no campus, diferentemente da Vivo, que manteve uma performance mais linear ao longo do dia.

Do ponto de vista prático e gerencial, este diagnóstico oferece subsídios diretos para a administração do campus. A identificação do Bloco 1 como uma zona crítica de exclusão digital móvel para usuários da Claro reforça a necessidade estratégica de reforço da infraestrutura de Wi-Fi institucional ou a instalação de repetidores de sinal celular nessa edificação. Para a comunidade acadêmica, o estudo serve como um guia de decisão: a escolha da operadora deve ser pautada pela necessidade de uso, priorizando a Claro para transferências de arquivos pesados

em áreas abertas, ou a Vivo para comunicação contínua e estável em salas de aula e laboratórios.

7.1 Limitações e Trabalhos Futuros

Apesar da quantidade de dados, este estudo apresenta delimitações inerentes ao seu escopo, como a restrição temporal de dois meses, que impede a análise de sazonalidade anual, e o uso de terminais de usuário final, que, embora garantam validade ecológica (refletem a experiência real), possuem menor precisão que equipamentos dedicados de análise de espectro.

Considerando essas limitações e os achados da pesquisa, sugerem-se as seguintes linhas para trabalhos futuros:

Expansão para Tecnologias 5G e IoT: Com a gradual implementação do 5G (NR) no interior do estado, estudos futuros devem avaliar o impacto das frequências mais altas (3.5 GHz) na qualidade de entrada de rede do campus, antecipando cenários onde a atenuação por barreiras físicas será ainda mais crítica.

Análise Espectral e de Bandas de Frequência: Uma investigação técnica detalhada utilizando analisadores de espectro para identificar em quais bandas específicas (700 MHz, 1800 MHz ou 2600 MHz) cada operadora está operando em cada bloco. Isso poderia explicar fisicamente por que a Claro sofre mais atenuação no Bloco 1 (possível uso exclusivo de frequências altas) em comparação à Vivo.

Crowdsourcing de Dados: O desenvolvimento de uma aplicação colaborativa que permita aos próprios alunos coletarem e enviarem dados de sinal em tempo real, criando um “mapa de calor” vivo e contínuo da qualidade da rede no campus, eliminando a necessidade de coletas manuais pontuais.

Correlação com Infraestrutura Wi-Fi: Realizar um estudo cruzado entre a qualidade da rede móvel e a ocupação da rede Wi-Fi (Eduroam) para entender como a má qualidade do sinal 4G em blocos específicos sobrecarrega a infraestrutura de rede fixa da universidade.

REFERÊNCIAS

- ALMAZROI, A. Performance analysis of 4g broadband cellular networks. **International Journal of Advanced and Applied Sciences**, 2018.
- AMEIGEIRAS, P.; WANG, Y.; NAVARRO-ORTIZ, J.; MOGENSEN, P. E.; LOPEZ-SOLER, J. M. Traffic models impact on ofdma scheduling design. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**, v. 2012, n. 1, dez. 2012.
- ANDREWS, J. G.; GHOSH, A.; MUHAMED, R. **Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking**. [S. l.]: Prentice Hall, 2007.
- COX, C. **An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications**. 2. ed. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd, 2014. ISBN 978-1-118-81803-9.
- DAHLMAN, E.; PARKVALL, S.; SKOLD, J. **5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology**. 2. ed. Elsevier Science, 2020. Disponível em: <https://www.perlego.com/book/1896253/5g-nr-the-next-generation-wireless-access-technology-pdf>.
- EL-SALEH, A. A.; ALHAMMADI, A.; SHAYEA, I.; ALSHARIF, N.; ALZAHIRANI, N. M.; KHALAF, O. I.; ALDHYANI, T. H. H. Measuring and assessing performance of mobile broadband networks and future 5g trends. **Sustainability**, v. 14, n. 2, 2022. ISSN 2071-1050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/2/829>.
- FIELD, A. **Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics: And Sex and Drugs and Rock “N” Roll**. 4. ed. Los Angeles, London, New Delhi: Sage, 2013.
- HOLMA, H.; TOSKALA, A. **LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced**. 2. ed. Chichester, UK: Wiley, 2011. ISBN 978-0470660003.
- IMRAN, M. A.; ZOHA, A. Challenges in 5g: how to empower son with big data for enabling 5g. **IEEE Network**, v. 28, p. 27–33, 2014. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:19008847>.
- KASSIM, M.; HISAM, Z.; ISMAIL, M. Campus quality of services analysis of mobile wireless communications network signal among providers in malaysia. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 13, 01 2022.
- LANER, M.; SVOBODA, P.; NIKAEIN, N.; RUPP, M. Traffic models for machine type communications. In: **International Symposium on Wireless Communication Systems**. [S. n.], 2013. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:17355455>.
- M2Catalyst, LLC. **Network Cell Info Lite & Wifi**. 2025. Android app, Google Play Store. Versão mais recente disponível em Outubro de 2025. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wilysis.cellinfoLite>.
- MARTINEZ, L.; NESSE, P. J.; MARKENDAHL, J. Qoe-based service differentiation: an analysis of the business implications for the mobile services market. **International Journal of Information Technology and Management**, v. 22, n. 1/2, abr. 2019.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2017.

RAPPAPORT, T.; SUN, S.; MAYZUS, R.; ZHAO, H.; AZAR, Y.; WANG, K.; WONG, G.; SCHULZ, J.; SAMIMI, M.; GUTIERREZ, F. Millimeter wave mobile communications for 5g cellular: It will work! **IEEE Access**, v. 1, p. 335–349, 01 2013.

SANKAR, J. P.; ELUMALAI, K.; R, K.; JOHN, J.; MENON, N.; ALQAHTANI, M.; ABUMELHA, M. Factors affecting the quality of e-learning during the covid-19 pandemic from the perspective of higher education students. **Journal of Information Technology Education:Research**, v. 19, p. 731–753, 10 2020.

SCHMID, J.; HöSS, A.; SCHULLER, B. W. A survey on client throughput prediction algorithms in wired and wireless networks. **ACM Comput. Surv.**, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 54, n. 9, out. 2021. ISSN 0360-0300. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3477204>.

SINGH, C. A comparative analysis of 4g, 5g, and 6g: Performance evaluation and statistical insights. v. 53, p. 119–125, 01 2024.

SINGH, R.; KUMAR, S. A comparative study of various wireless network monitoring tools. In: . [S. l.: s. n.], 2018. p. 379–384.

SOUSA, M.; VIEIRA, P.; QUELUZ, M. P.; RODRIGUES, A. Performance analysis of mobile wireless networks through crowdsourcing data clustering. In: **2025 IEEE International Mediterranean Conference on Communications and Networking (MeditCom)**. [S. l.]: IEEE, 2025.

TAHA, A.-E. M.; ALI, N. A.; HASSANEIN, H. S. **LTE, LTE-Advanced and WiMAX: Towards IMT-Advanced Networks**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2011. 352 p. ISBN 978-1-119-97146-7.

YAN, K.; YANG, J.; CHEN, T.; HUANG, P.; FU, H.; ZHANG, M. Research on the construction path of smart campus management platform under big data. In: _____. [S. l.: s. n.], 2023. p. 875–882. ISBN 978-94-6463-191-3.