



Relatório Técnico

DOT-23898.RT.01E

PoC Escolas – 5G FWA - NE

Cliente: Qualcomm do Brasil

Contato: Fransergio Vieira

Fone: 11 996-028-091

E-mail: fvieira@qti.qualcomm.com

SUMÁRIO

1	Resumo	3
2	Glossário.....	4
3	Introdução.....	5
4	Escopo da Prova de Conceito	6
5	Metodologia da PoC	8
6	Resultados	14
6.1	Instalação dos equipamentos ODU CPE 5G FWA e CPE Indoor nas escolas...	14
6.1.1	Escola A – Venha-Ver - 1,6 km - Instalação 12/11/2024	15
6.1.2	Escola B – Coronel João Pessoa - 4,3 km - Instalação 12/11/2024.....	16
6.1.3	Escola C – Encanto - 4,7 km - Instalação 12/11/2024	17
6.2	Monitoramento da rede Wi-Fi	18
6.2.1	Disponibilidade da rede 5G FWA nas escolas.....	21
6.3	Testes de <i>vazão de dados</i> para análise da qualidade do tráfego 5G nas escolas	22
6.3.1	Escola A – Venha-Ver/RN	23
6.3.2	Escola B – Coronel João Pessoa/RN	24
6.3.3	Escola C – Cidade Encanto/RN	25
7	Lições Aprendidas	26
8	Conclusões e considerações finais	27
9	Referência bibliográfica	29
10	Histórico de versões deste documento	30
11	Execução e aprovação	31

1 Resumo

O principal objetivo desta Prova de Conceito (PoC) foi evidenciar os benefícios da tecnologia 5G FWA na melhoria da dinâmica, acessibilidade e eficiência do ambiente educacional nas escolas da região Nordeste, atendidas pela Brisanet. A instalação e os testes ocorreram em três escolas, previamente definidas pela Brisanet localizadas em áreas remotas (rurais). Especificamente, o foco foi avaliar a capacidade do 5G FWA em ambiente outdoor, em oferecer conectividade de alta velocidade para atender atividades de ensino e aprendizagem online. Além disso, buscou-se explorar como a conectividade 5G pode ser aproveitada para aprimorar e simplificar a infraestrutura de rede nas escolas, proporcionando uma conexão de Internet rápida, confiável e de baixa latência.

A instalação dos equipamentos nas escolas participantes foi realizada em 12/11/2024, com início imediato dos testes e avaliações. A coleta dos resultados dos testes foi concluída em 16/12/2024, às 10h, abrangendo um período aproximado de 5 semanas de testes.

2 Glossário

ACS – Servidor de Gerência baseado no protocolo TR-069, do inglês *Auto Configuration Server*

CPE – Equipamento de cliente, do inglês *Customer Premises Equipment*

ERB – Estação Rádio Base

FWA – Acesso Fixo Sem Fio, do inglês *Fixed Wireless Access*

ISP – Provedor de Serviço de Internet, do inglês *Internet Service Provider*

LOS – Linha de Visada, do inglês *Line Of Sight*

MCOM – Ministério das Comunicações

MEC – Ministério da Educação

NOC – Centro de Operações de rede, do inglês *Network Operation Center*

ODU – Unidade Externa, do inglês *Outdoor Unit*

PoC – Prova de Conceito, do inglês *Proof of Concept*

RSRP – Indicador de Potência do Sinal de Referência na Recepção, do inglês *Reference Signal Received Power*

RSSI – Indicador da Intensidade do Sinal Recebido, do inglês *Received Signal Strength Indicator*

SSID – Identificação da rede Wi-Fi, do inglês *Service Set Identifier*

TDD - Duplexação por Divisão de Tempo, do inglês *Time Division Duplex*

3 Introdução

O objetivo deste projeto é avaliar em ambiente relevante a solução de acesso à Internet baseada na tecnologia *Fixed Wireless Access* (FWA) 5G, como alternativa para se levar conectividade a escolas em localidades onde não há infraestrutura de rede cabeada disponível ou adequada, como nas três escolas localizadas em zonas rurais do Rio Grande do Norte (RN).

Conduzida pela Qualcomm do Brasil e pelo Ministério das Comunicações (MCOM), contando com o apoio do CPQD, Intelbras e da prestadora do Serviço Móvel Pessoal (SMP) Brisanet, buscar-se-á avaliar a viabilidade, confiabilidade e os benefícios da implementação da tecnologia 5G FWA em ambientes escolares em áreas remotas.

Para tanto, optou-se por selecionar escolas em áreas rurais do estado Rio Grande do Norte (RN), localizadas a diferentes distâncias das antenas do provedor, variando de aproximadamente 1km até 5km, de modo a se avaliar diferentes cenários que sejam representativos de diversas situações reais.

Após a instalação das três unidades de CPEs ODU GX-5001 (5G FWA) e das três unidades *indoor* GX-3000 (Wi-Fi) em três escolas localizadas em diferentes cidades, em um único dia (12/11/2024), o uso foi iniciado imediatamente. Durante aproximadamente 35 dias, foram realizadas coletas periódicas dos principais indicadores de desempenho da tecnologia, com intervalos de 10 segundos, além de 24 execuções diárias de testes de velocidade em cada escola, com o objetivo de avaliar a qualidade da internet fornecida. O presente documento está organizado da seguinte forma:

- A seção Escopo da Prova de Conceito discorre sobre o objetivo da PoC, que envolve a avaliação do uso da tecnologia 5G FWA outdoor como alternativa para se levar conectividade a escolas em localidades onde não há infraestrutura de rede cabeada disponível.
- A seção Metodologia traz informações sobre as atividades realizadas para implementação da PoC 5G FWA, contemplando a definição das escolas participantes da PoC, a implementação da rede 5G FWA e do ambiente de monitoramento desta rede nas dependências do CPQD.
- A seção Resultados apresenta os principais resultados obtidos na PoC 5G FWA, abrangendo desde a instalação e a configuração física dos equipamentos, o monitoramento das principais métricas de desempenho da rede e a análise dos testes de vazão de dados.
- A seção Lições Aprendidas traz as principais dificuldades encontradas durante a condução da PoC 5G FWA e inclui informações fundamentais para orientar futuras implementações de tecnologia 5G FWA em ambientes educacionais de forma a garantir o sucesso desses projetos.
- A seção Conclusão e considerações finais apresenta as considerações do CPQD sobre a PoC 5G FWA em ambiente outdoor, abordando aspectos sobre a viabilidade da tecnologia *Fixed Wireless Access* (FWA) 5G em ambientes educacionais.

4 Escopo da Prova de Conceito

A Prova de Conceito (PoC) tem como objetivo explorar como a conectividade 5G pode ser aproveitada para aprimorar e simplificar a infraestrutura de rede nas escolas, proporcionando uma conexão de Internet rápida, confiável e de baixa latência.

Com o avanço das redes 5G, a tecnologia FWA pode fornecer velocidades de conexão comparáveis às conexões de fibra óptica, permitindo que os usuários desfrutem de downloads e uploads rápidos, streaming de vídeo em alta definição e jogos online sem interrupções significativas. O processo envolve a utilização de ERBs (Estações rádio base) 5G, que transmitem sinais de rádio para antenas receptoras, neste caso CPE 5G FWA, instaladas em locais estratégicos. Essas antenas recebem o sinal de rádio 5G e o convertem em uma conexão de Internet de alta velocidade, que pode ser distribuída para dispositivos conectados, como computadores, *smartphones* e *tablets*, por meio de redes Wi-Fi ou cabeadas.

A título de ilustração, a Figura 1 mostra a topologia simplificada da rede que se pretende avaliar.

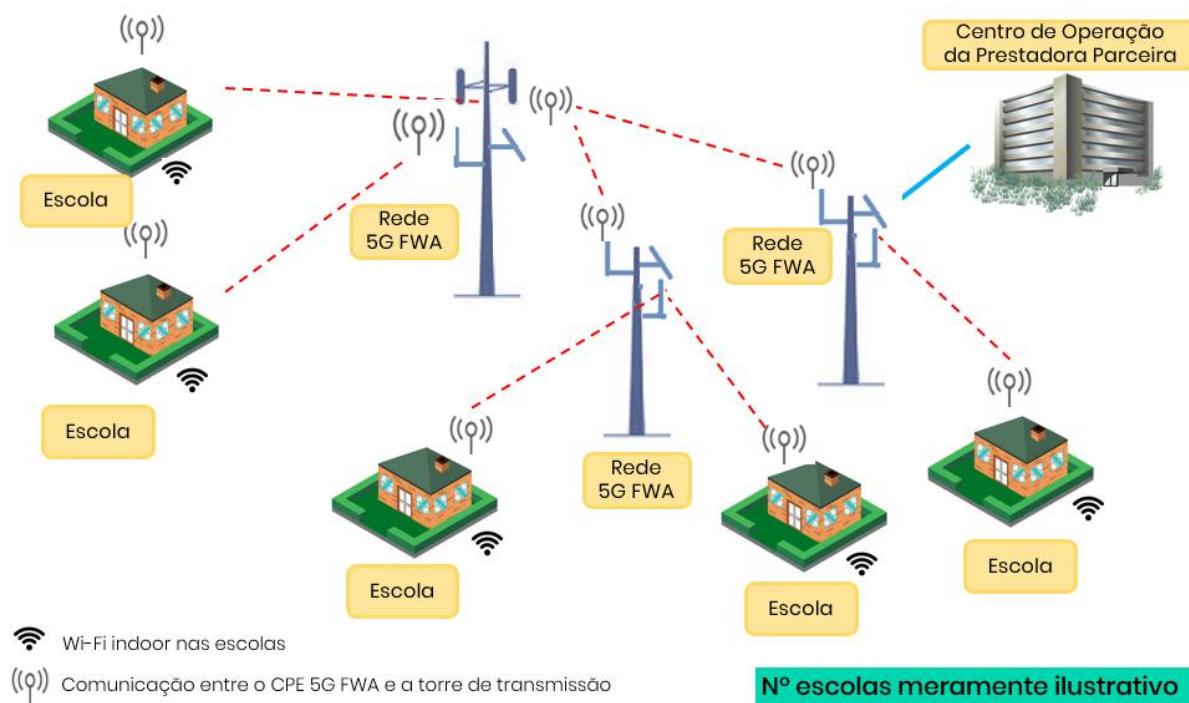


Figura 1 – Topologia simplificada de uma rede FWA.

O FWA representa uma inovação no campo das telecomunicações, oferecendo uma alternativa eficiente para fornecer conectividade de banda larga de alta velocidade em áreas onde as instalações de infraestruturas de rede fixa (coaxial ou fibra óptica) podem ser inviáveis ou economicamente desafiadoras.

Dante desse cenário, órgãos federais (MCOM e MEC) estão investigando essa tecnologia atual e inovadora com o objetivo de otimizar o processo de ensino e aprendizagem, criando um ambiente educacional mais dinâmico, acessível e eficiente. Este relatório analisa os benefícios e as possibilidades que a tecnologia 5G FWA pode trazer para o ambiente escolar, bem como os desafios e considerações importantes para uma implementação bem-sucedida.

Não é escopo desse relatório analisar a utilização da Internet nas escolas. Em outras palavras, não foi avaliado se a Internet foi usada somente para atividades pedagógicas, para acesso a redes sociais ou outras plataformas de entretenimento, o que significa que todos os tipos de uso da Internet foram permitidos durante o período de testes. Além disso, não houve qualquer tipo de controle ou monitoramento do acesso dos usuários à rede, seja por meio de políticas de restrição de conteúdo ou de gestão do uso individual. Buscou-se, mediante a ausência de tais políticas, refletir um cenário de uso irrestrito, que permitisse uma avaliação mais assertiva da capacidade e do desempenho da tecnologia 5G FWA em ambientes escolares.

5 Metodologia da PoC

A Prova de Conceito (PoC) foi conduzida em três escolas localizadas em zonas rurais de três diferentes cidades do interior de Rio Grande do Norte, da região conhecida como Alto Oeste Potiguar, selecionadas com base na proximidade com as torres de transmissão do sinal 5G da provedora Brisanet, também chamadas de ERBs (Estações Rádio Base). Os dados das três escolas e as respectivas distâncias até os sites do provedor são listadas abaixo:

- Escola A - Cidade Venha-Ver/RN. Bairro Formoso do Seu Alberto. Escola Unidade XIII DE Ensino Roberto Leite da Silva. Distância 1,6 km da ERB. Turno Noturno, 19 alunos.
- Escola B - Cidade Coronel João Pessoa/RN. Bairro Sítio Comum Quilombola. Escola Municipal Escolástica Nunes da Silva. Distância 4,3 km da ERB. Turnos Matutino, Vespertino e Noturno, 87 alunos no total.
- Escola C - Cidade Encanto/RN. Bairro Sítio Carnaubinha. Escola Antônio Pereira da Silva. Distância 4,7 km da ERB. Turno Matutino, 40 alunos.

Tabela 1 - Definição das escolas-piloto

Escolas	Distâncias da ERB	Turnos	Alunos
<i>Escola A</i>	1,6 km	Noturno	19
<i>Escola B</i>	4,3 km	Todos	87
<i>Escola C</i>	4,7 km	Matutino	40

A Figura 2 apresenta a distribuição geográfica das escolas participantes da Prova de Conceito (PoC) e dos seus respectivos sites, oferecendo uma visão clara e abrangente da localização dessas instituições. Através dessa representação geográfica é possível observar a dispersão das escolas, fornecendo *insights* sobre as características demográficas e socioeconômicas das escolas atendidas pela PoC.

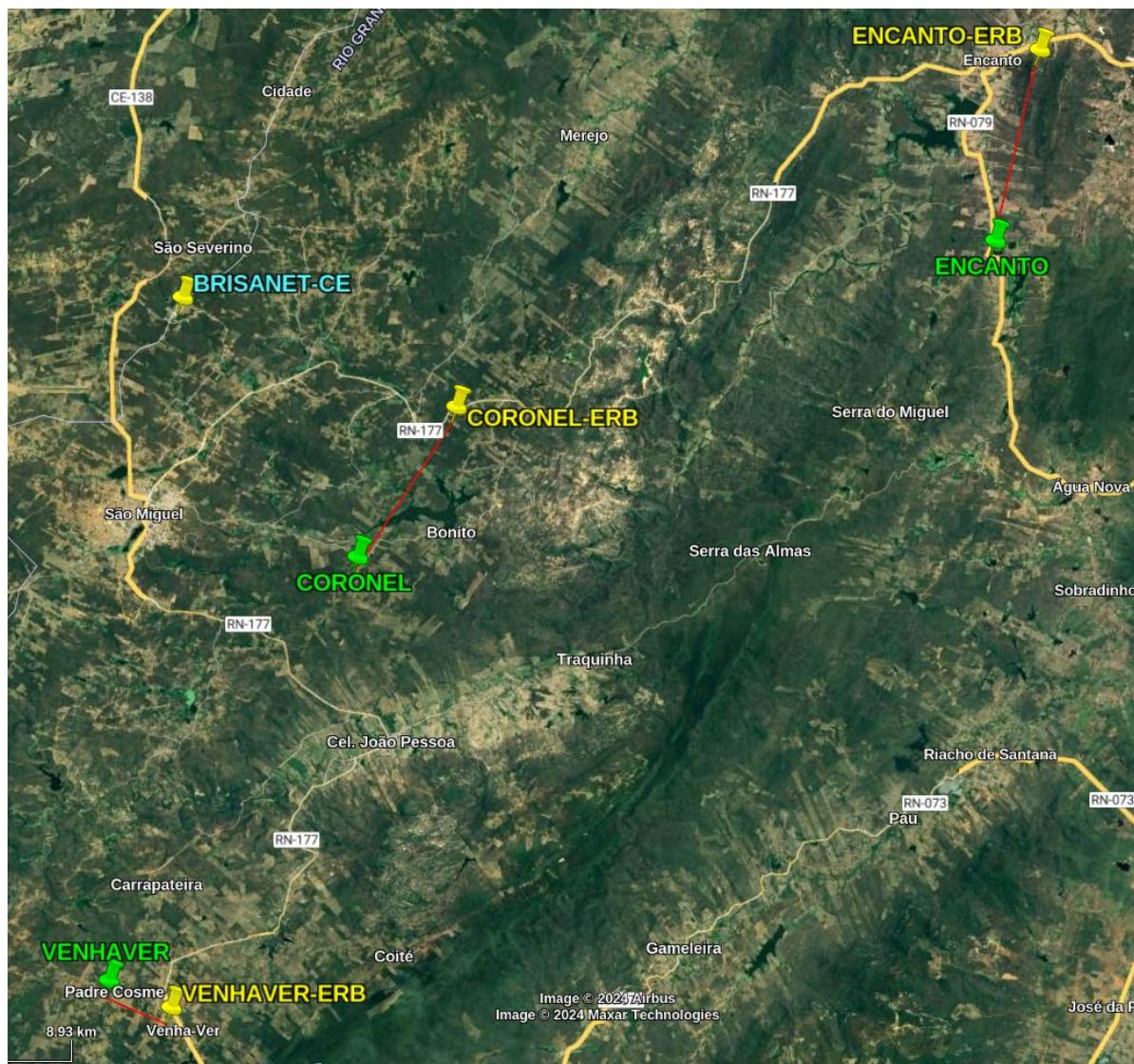


Figura 2 – Distribuição geográfica das escolas na região do Oeste Potiguar no Rio Grande do Norte (RN).

Cada uma das escolas selecionadas é atendida por diferentes Estações Rádio Base (ERBs) da provedora Brisanet. Foi elaborado o perfil de elevação geográfica da linha de visada entre cada escola e seus respectivos sites 5G, com o objetivo de assegurar a existência de condições adequadas de linha de visada entre as localidades. Os perfis de elevação detalhados estão apresentados nas figuras a seguir.



Figura 3 – Perfil de elevação entre ERB e a Escola Venha-Ver

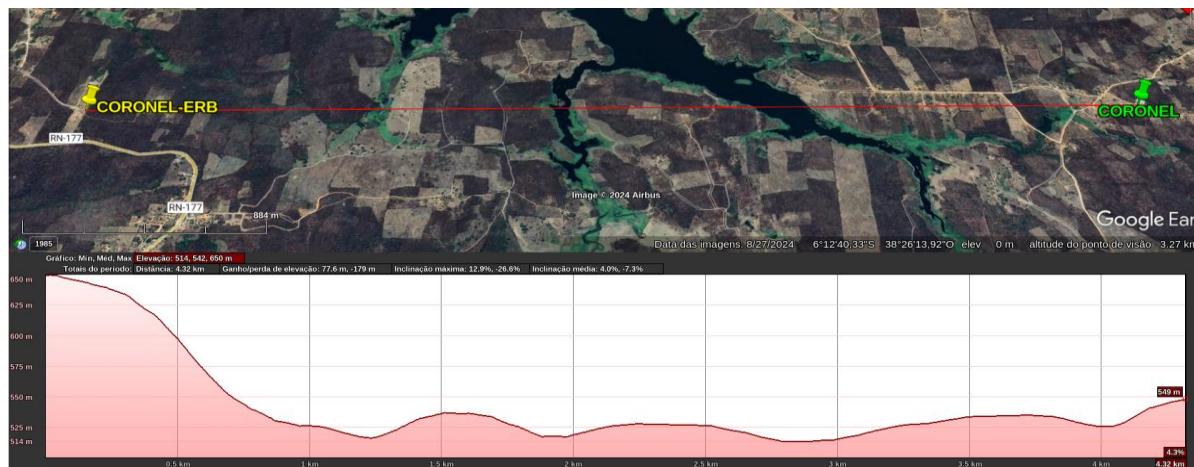


Figura 4 – Perfil de elevação entre ERB e a Escola Coronel

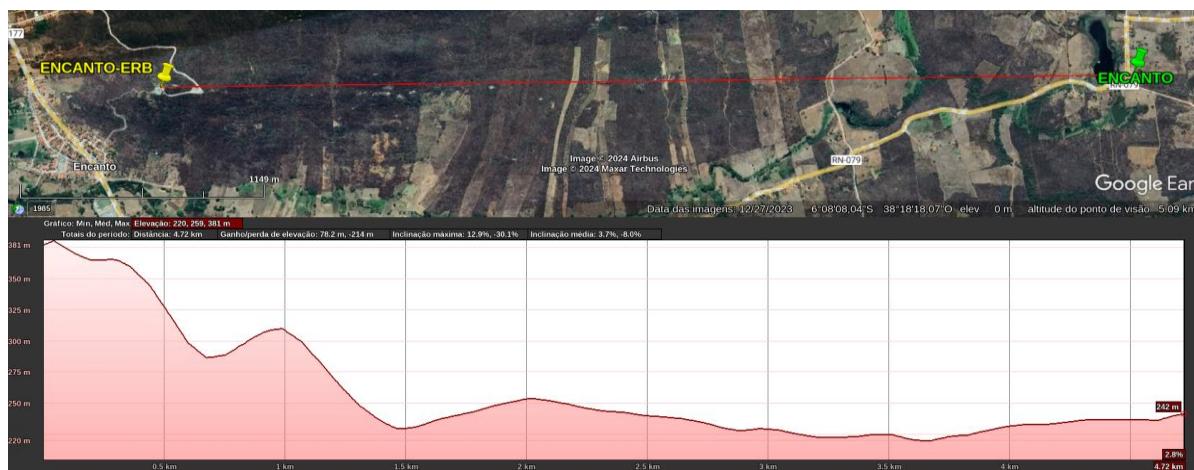


Figura 5 – Perfil de elevação entre ERB e a Escola Encanto

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro

Após uma prévia execução do site survey realizado pela Brisanel nas três escolas, percorrendo diferentes áreas do recinto escolar para mapear o melhor ponto com cobertura do sinal 5G, foram realizados os procedimentos de instalação dos equipamentos ODU (CPE 5G FWA) e posicionados o equipamento indoor (Wi-Fi) em salas ou locais estratégicos para garantir a conectividade ideal à Internet aos usuários da rede na instituição de ensino. Foram conduzidos testes de velocidade de conexão, latência e estabilidade da rede em diferentes áreas da escola, incluindo salas de aula e espaços comuns.

Para acompanhar a utilização e monitorar as principais métricas da rede, o CPQD desenvolveu um ambiente de monitoramento baseado no protocolo de gerenciamento TR-069. Devido à indisponibilidade desse serviço no modelo outdoor GX-5001 (ODU), optamos por realizar o monitoramento utilizando a unidade indoor GX-3000. Embora esse modelo também funcione como uma CPE 5G FWA, estamos utilizando exclusivamente o recurso de Wi-Fi para fornecer cobertura às escolas, garantindo eficiência e aderência às necessidades do projeto.

O protocolo TR-069 [1] é um protocolo padrão definido pelo *Broadband Forum* [2] para gerenciamento remoto de dispositivos de rede, especialmente dispositivos de acesso à Internet, como roteadores, gateways e modems. Ele permite que os provedores de serviços de internet (ISPs) gerenciem e provisionem esses dispositivos de forma remota, facilitando tarefas como configuração, atualização de *firmware*, diagnóstico de problemas e monitoramento de desempenho. O equipamento GX-3000 implementa um agente TR-069 (também denominado cliente ACS), que pode ser acessado através de um servidor ACS que interage com o modelo de dados TR-181 [3] implementado no agente TR-069.

Como mencionado, o ambiente de monitoramento desenvolvido e hospedado pelo CPQD inclui softwares de código aberto, entre eles, destacam-se:

- GenieACS [4]: utilizado para gerenciamento e monitoramento em tempo real de dispositivos com base no protocolo TR-069;
- InfluxDB [5]: um banco de dados de séries temporais, utilizado para armazenar os dados a serem monitorados;
- Grafana [6]: Ferramenta utilizada para visualização e análise dos dados de monitoramento. Permite a criação de *dashboards* personalizados para acompanhar informações e métricas de desempenho da rede em tempo real a partir do tratamento de dados provenientes da base de dados InfluxDB.

Para complementar o ambiente de monitoramento, o CPQD incorporou e disponibilizou um elemento adicional de gerenciamento (mini PC) conectado via porta LAN do GX-3000 para cada uma das três escolas. Estes dispositivos têm a função de conduzir testes de vazão de dados (*Speedtest client* [7]) a cada uma hora e armazenar os resultados localmente, contribuindo para a análise da qualidade do tráfego 5G.

A Figura 6 apresenta de forma simplificada a topologia do cenário da PoC 5G FWA, incluindo os equipamentos de rede nas escolas.

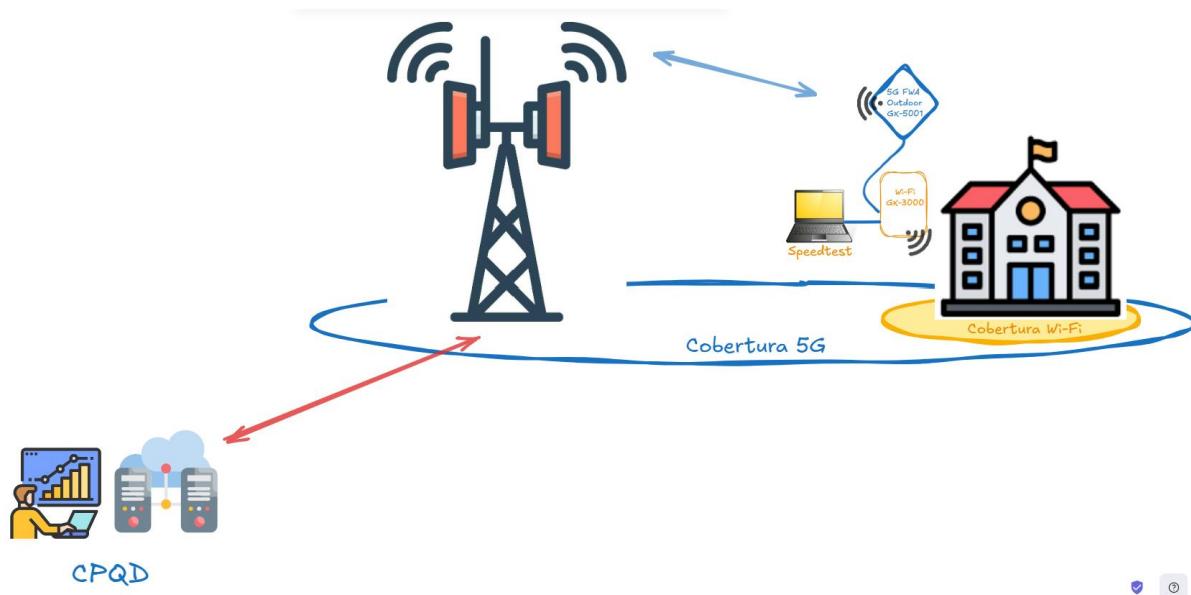


Figura 6 – Topologia simplificada do ambiente de monitoramento no CPQD

As principais informações que estão sendo monitoradas em uma periodicidade de 10 segundos pelo ambiente desenvolvido pelo CPQD são:

- Informações do dispositivo (GX-3000)
 - Fabricante
 - Modelo
 - Número Serial
 - Versão de Software
 - Hosts conectados (total de usuários conectados)
- Informações da rede de acesso Wi-Fi 2,4 GHz
 - Tráfego (Vazão de dados – Upload e Download)
 - Frequência
 - SSID
 - Bytes trafegados (enviados e recebidos)
- Informações da rede de acesso Wi-Fi 5GHz
 - Tráfego Instantâneo (Vazão de dados – Upload e Download)
 - Frequência
 - SSID
 - Bytes trafegados (enviados e recebidos)

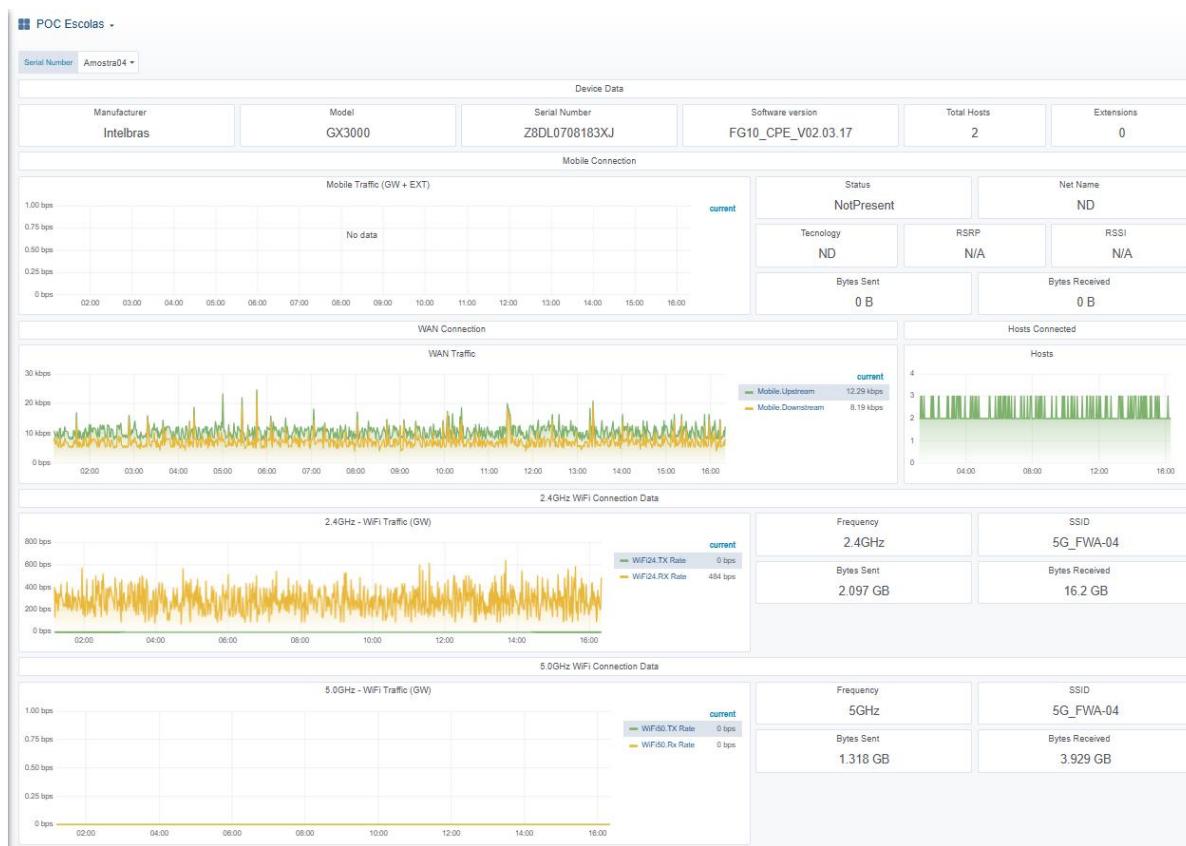


Figura 7 – Exemplo de um *dashboard* de monitoramento em tempo real.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro

6 Resultados

A seguir, são apresentados os principais resultados obtidos na PoC 5G FWA, abrangendo desde a instalação e a configuração física dos equipamentos, o monitoramento das principais métricas de desempenho da rede e a análise dos testes de *vazão de dados*. A avaliação da qualidade do tráfego 5G nas escolas permitiu verificar a capacidade da rede 5G FWA em oferecer conectividade de alta velocidade de forma a atender demandas associadas a atividades de ensino e aprendizagem online nas escolas.

6.1 Instalação dos equipamentos ODU CPE 5G FWA e CPE Indoor nas escolas

Inicialmente, foi realizado um Site Survey em cada escola para identificar os melhores pontos com condições de visada direta (LOS) para a ERB do sinal 5G, operando na banda 3GPP n40 (TDD 2300-2400 MHz). Com base nos resultados desse levantamento, os equipamentos ODU GX-5001 (CPE 5G FWA) foram instalados estratégicamente nos locais com a melhor condição de enlace 5G. Para prover conectividade interna via Wi-Fi no ambiente escolar, cada ODU foi conectada a uma CPE Indoor GX-3000. Adicionalmente, foi integrado um minicomputador na interface LAN, de forma cabeada na CPE Indoor, responsável pela execução periódica e automatizada de testes de velocidade a cada uma hora, durante todo o período de medição desta PoC, que se estendeu por aproximadamente cinco semanas.

Em todas as escolas participantes, foram registradas fotografias dos ambientes e equipamentos físicos internos e externos. Em cada uma das escolas, após a conexão bem-sucedida do enlace 5G, foram executados testes consecutivos de velocidades para registros iniciais. Devido às características específicas deste tipo de CPE (outdoor), com apontamento direutivo, antena de alto ganho e boa condição de visada entre ERB e Escola, o enlace está menos sujeito a interferências eletromagnéticas ou variações na qualidade do enlace.

6.1.1 Escola A – Venha-Ver - 1,6 km - Instalação 12/11/2024



Figura 8 – Vista Lateral da Escola e ODU instalada.



Figura 9 – Sala de aula.



Figura 10 – ODU GX-5001 instalada.



Figura 11 – Equipamentos Internos.

6.1.2 Escola B – Coronel João Pessoa - 4,3 km - Instalação 12/11/2024

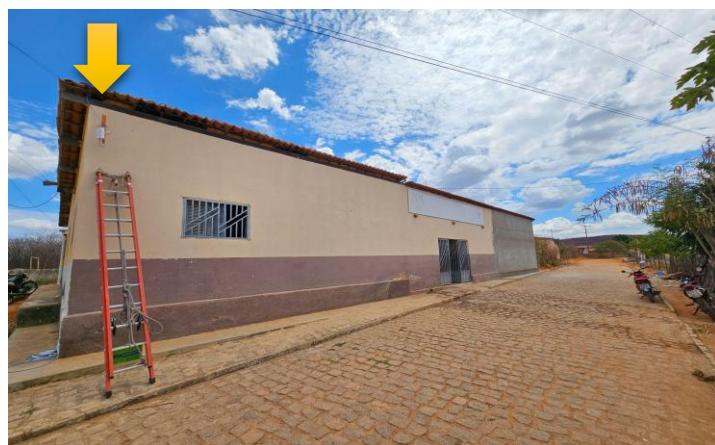


Figura 12 – Vista Lateral da Escola e ODU instalada.



Figura 13 – Imagem panorâmica da escola e a região.



Figura 14 – ODU GX-5001 instalada.



Figura 15 – Equipamentos Internos.

6.1.3 Escola C – Encanto - 4,7 km - Instalação 12/11/2024



Figura 16 – Vista Frontal da Escola.



Figura 17 – Vista Frontal e ODU instalada.



Figura 18 – ODU GX-5001 instalada.

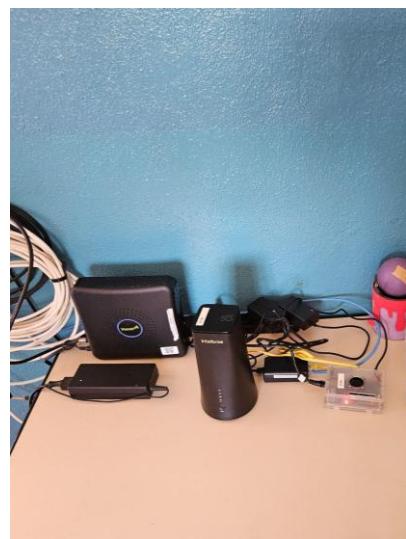


Figura 19 – Equipamentos Internos.

6.2 Monitoramento da rede Wi-Fi

Conforme mencionado no capítulo 5 Metodologia da PoC, para monitorar a utilização e acompanhar as principais métricas da rede, o CPQD desenvolveu um ambiente de monitoração baseado no protocolo de gerência TR-069 o qual é suportado apenas pelo equipamento CPE 5G FWA, modelo GX-3000 da Intelbras.

A plataforma ACS (GenieACS) utilizada pelo CPQD organiza e lista os dispositivos gerenciados de acordo com seus números de série, como demonstrado na Figura 20. Para facilitar a visualização do número serial do equipamento correspondente a cada escola, foi elaborada a Tabela 2.



Serial number	Product class	Software version	IP	SSID	Last inform	Tags
Z8DL0707699BW	GX3000				18/12/2024, 09:05:16	Past 24 hours
Z8DL0708051L9	GX3000				18/12/2024, 09:05:18	Past 24 hours
Z8DL0708183XJ	GX3000				18/12/2024, 09:05:14	Past 24 hours

Figura 20 – Listagem de dispositivos gerenciados pela plataforma ACS.

Tabela 2 – Escolas versus número serial do equipamento gerenciado.

Escolas	Número Serial do Equipamento CPE 5G FWA
Escola A - Cidade Venha-Ver - RN	Z8DL0707699BW
Escola B - Cidade Coronel João Pessoa - RN	Z8DL0708051L9
Escola C - Cidade Encanto - RN	Z8DL0708183XJ

Para uma melhor compreensão do fluxo das informações de gerência, o dispositivo gerenciado CPE 5G FWA envia via Internet dados com uma periodicidade de 10 segundos para o servidor ACS hospedado no CPQD através do agente TR-069 (cliente ACS). Esses dados são posteriormente armazenados em um banco de dados (InfluxDB) e podem ser acessados por meio da ferramenta Grafana para visualização.

As figuras apresentadas a seguir foram processadas para combinar o tráfego das redes Wi-Fi 2,4GHz e 5GHz, visando avaliar o tráfego orgânico de cada escola. Isso foi necessário, pois o tráfego medido na interface LAN inclui tanto o tráfego de Speedtest empregado para monitoramento do enlace 5G quanto o tráfego regular da rede. Adicionalmente, é possível observar o gráfico de usuários conectados ao longo do tempo, juntamente com a informação

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro

do número máximo de usuários conectados durante todo o período de observação apresentado no gráfico.

Na Figura 21, é possível observar que a Escola A - Cidade Venha-Ver apresentou um consumo reduzido de dados, tanto para download quanto para upload. O tráfego máximo registrado alcançou 71 Mbps no download e 3 Mbps no upload, evidenciando uma utilização moderada dos recursos de rede. Esse comportamento reflete um ambiente de baixa demanda, condizente com o número limitado de alunos da escola, atingindo um pico máximo de apenas 7 usuários conectados simultaneamente.



Figura 21 – Métricas de desempenho da Escola A - Cidade Venha-Ver – RN

Na Figura 22, é possível observar que a Escola B - Cidade Coronel João Pessoa - RN apresentou um consumo de dados maior em comparação com a escola anterior. O tráfego máximo registrado atingiu 182 Mbps no download e 59 Mbps no upload, com um pico de apenas 14 usuários conectados simultaneamente. Esse aumento no consumo de dados pode indicar uma maior demanda por recursos de rede, embora o número de usuários simultâneos tenha sido relativamente baixo.

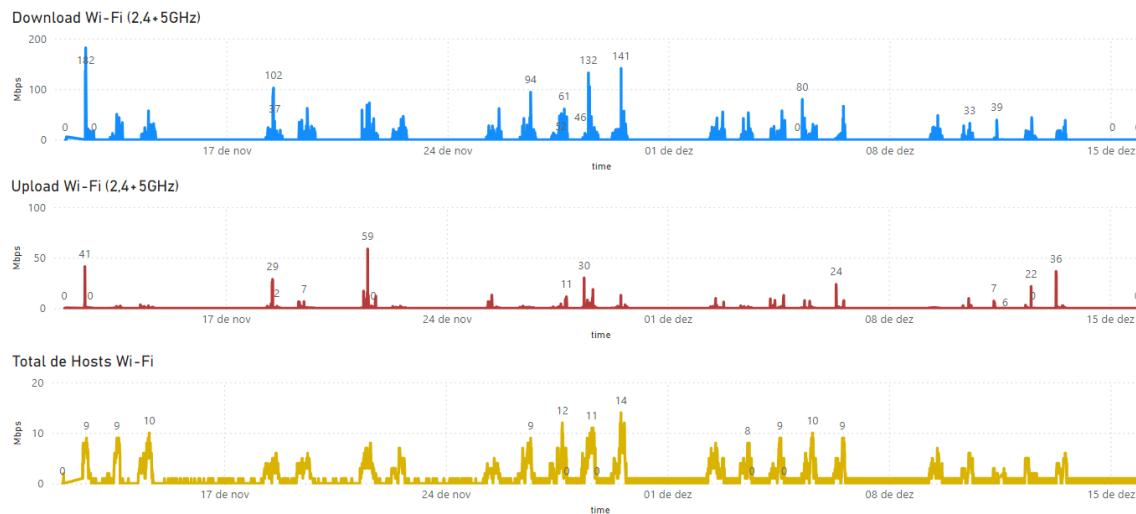


Figura 22 – Métricas de desempenho da Escola B - Cidade Coronel João Pessoa - RN

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro

Na Figura 23, é possível observar que a Escola C - Cidade Encanto - RN apresentou um consumo semelhante em comparação com a escola anterior. O tráfego máximo registrado atingiu 144 Mbps no download e 33 Mbps no upload, com um pico de apenas 9 usuários conectados simultaneamente.



Figura 23 – Métricas de desempenho da Escola C - Cidade Encanto - RN

O consumo de dados, medido em Bytes, das três escolas variou de forma significativa ao longo dos 35 dias de coleta, refletindo padrões distintos de utilização da rede. Essa medida foi baseada exclusivamente no tráfego gerado através da rede Wi-Fi (2,4 e 5GHz) das escolas, não incluindo os dados provenientes de testes de velocidade (Speedtest).

Durante o período de monitoramento, foram observadas flutuações consideráveis tanto no tráfego de *download* quanto no de *upload*, com picos de consumo em alguns dias e momentos de baixa utilização em outros. Essas variações podem estar associadas a fatores como a quantidade de usuários conectados, o tipo de atividades realizadas nas escolas (como aulas *online*, pesquisas, ou uso de ferramentas educacionais) e a intensidade do uso da rede.

Tabela 3 – Consumo de dados (Bytes) nas escolas

	Escola A Cidade Venha-Ver/RN	Escola B Cidade Coronel João Pessoa/RN	Escola C Cidade Encanto/RN
Bytes Recebidos (GB)	6,11	121,75	32,11
Bytes Enviados (GB)	0,40	10,76	5,73

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro

6.3 Disponibilidade da rede 5G FWA nas escolas

Uma das métricas-chave previstas para avaliar o desempenho de uma rede 5G FWA é a sua disponibilidade para os usuários das escolas sem interrupções. Isso significa que a rede está prontamente acessível e operacional para fornecer conectividade confiável e de alta velocidade aos alunos, professores e funcionários das instituições de ensino.

Como forma de monitorar a disponibilidade da rede foi utilizado a própria comunicação entre o CPE 5G FWA e o servidor ACS hospedado no CPQD, permitindo uma supervisão contínua e detalhada do estado da rede com intervalos de análise definidos em 1 minuto.

A Figura 24 apresenta, a indisponibilidade da rede 5G FWA em cada uma das escolas:

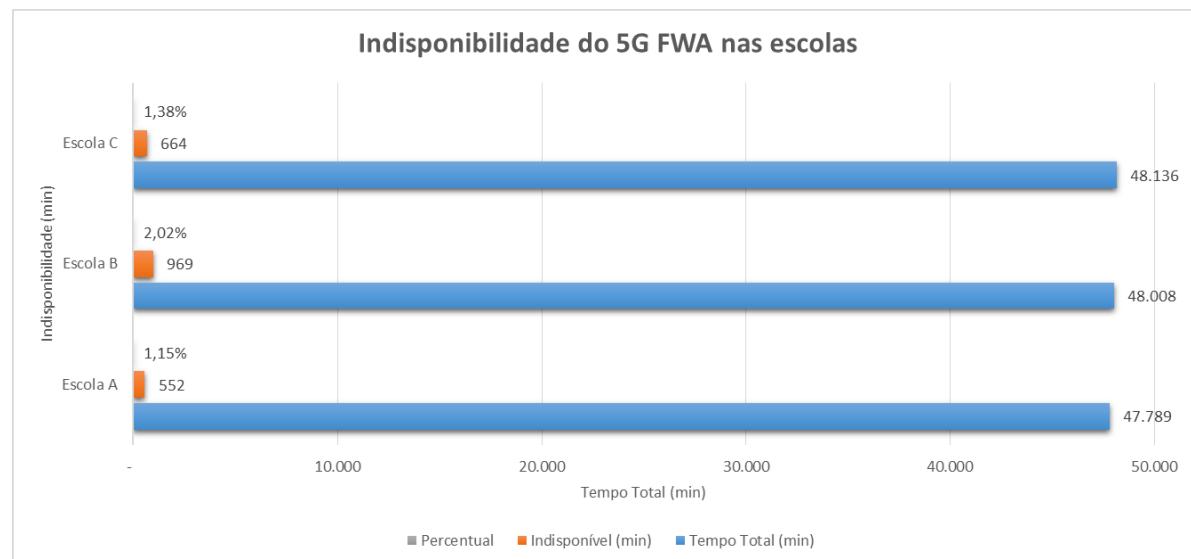


Figura 24 – Indisponibilidade da rede 5G FWA nas escolas.

É importante ressaltar que a maioria dos eventos de indisponibilidade pode estar associada a condições inadequadas da infraestrutura escolar, quedas de energia na região, falhas na rede da operadora e limitações na própria infraestrutura de medição do CPQD. Estudos mais detalhados que permitam a captura dessas ocorrências, e até do efeito de chuvas sobre a qualidade/disponibilidade do sinal, podem trazer mais robustez à análise de intercorrências que prejudicam o nível de serviço.

6.4 Testes de vazão de dados para análise da qualidade do tráfego 5G nas escolas

Conforme mencionado no capítulo 5 Metodologia da PoC, o CPQD complementou o ambiente de monitoramento incorporando mini PCs para gerenciamento remoto e realização de testes de vazão automatizados. Esses dispositivos foram conectados à porta LAN da CPE GX-3000 Indoor, um por escola, e programados para executar, de forma automatizada, testes de vazão de dados (*Speedtest*), latência, *download* e *upload* a cada hora, ao longo das cinco semanas de medições.

Os resultados foram armazenados localmente, proporcionando dados consistentes e detalhados para a análise da qualidade do tráfego 5G.

No início da PoC, em 12/11/2024, todas as ODUs das três escolas participantes foram instaladas com o SIM Card da Brisanet e conectaram-se automaticamente à rede móvel 5G disponível naquele momento. Essa rede operava na banda 3GPP n40 (2300 a 2400 MHz), com largura de banda de 50 MHz, licenciada e de uso exclusivo da Brisanet. Em 11/12/2024, foi realizada uma configuração remota nas ODUs pelo CPQD para ajustar à nova rede móvel 5G disponibilizada para a PoC, operando na banda 3GPP n78 (3500 a 3800 MHz), com largura de banda de 100 MHz, também licenciada para a Brisanet, proporcionando assim, maior capacidade de vazão no *download*, como evidenciado nos resultados apresentados nas próximas seções.

É importante ressaltar que a nova rede, operando na faixa n78 foi ativada nos mesmos sites existentes das ERBs que atendem as escolas desde o início da PoC, sem a necessidade de intervenção física na escola ou troca de CPE ou qualquer outro equipamento do cliente (Escolas), uma vez que a distância e os apontamentos permaneceram inalterados.

A seguir, são apresentados os resultados de cada escola para os testes automatizados de vazão de dados (Mbps) e latência (ms), utilizando a ferramenta *Speedtest*, para análise da qualidade do tráfego 5G nas escolas.

6.4.1 Escola A – Venha-Ver/RN

São apresentados os dados de *throughput* (Mbps) de *download* e *upload*, bem como a latência (ms), abrangendo valores médios, máximos e mínimos, cobrindo todo o período da PoC (de 12/11/2024 a 16/12/2024).

A escola Venha-Ver/RN está situada a 1,6 km da ERB responsável pelo atendimento da região. Destaca-se que o *throughput* registrado na banda n78 mais que dobrou em relação à banda n40, devido à maior largura de banda disponível na banda n78. Adicionalmente, vale notar que os valores de latência foram medidos durante os testes de vazão, sob condições de ocupação máxima do enlace, refletindo o desempenho da rede em cenários de alta demanda.

Tabela 4 – Resultados Speedtest Escola A – Venha-Ver/RN.

	Download Med (Mbps)	Download Max (Mbps)	Download Mín (Mbps)	Latência Med (ms)	Upload Med (Mbps)	Upload Max (Mbps)	Upload Mín (Mbps)	Latência Med (ms)
Banda n40 (50MHz)	307,31	344,54	90,66	163,65	76,85	92,88	17,84	91,51
Banda n78 (100MHz)	754,85	797,12	198,01	201,40	94,25	128,93	71,92	126,63

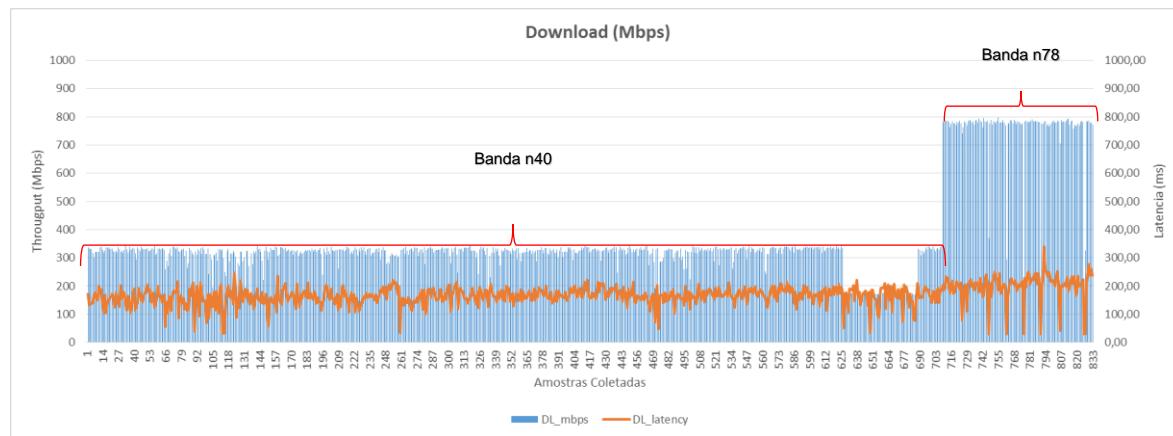


Figura 25 – Throughput de download e latência

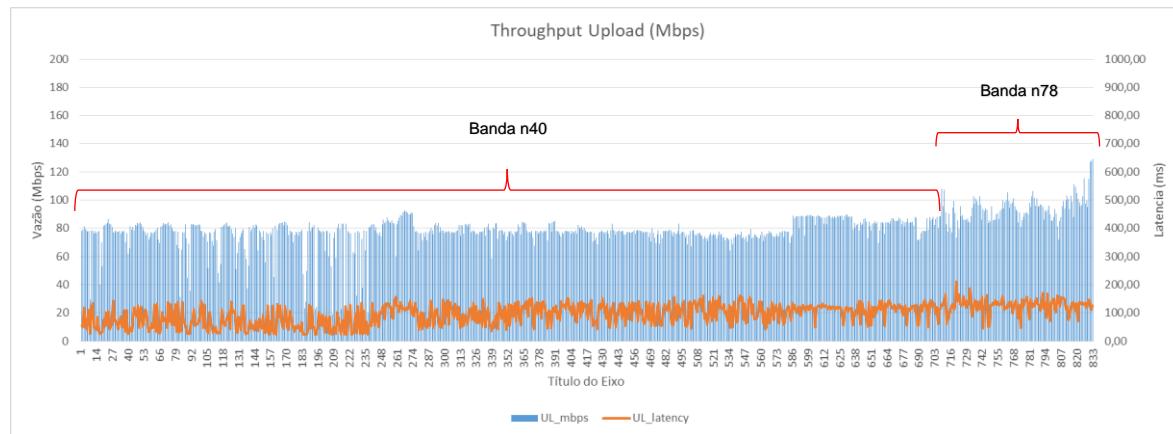


Figura 26 – Throughput de upload e latência

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro

6.4.2 Escola B – Coronel João Pessoa/RN

São apresentados os dados de *throughput* (Mbps) de *download* e *upload*, bem como a latência (ms), abrangendo valores médios, máximos e mínimos, cobrindo todo o período da PoC (de 12/11/2024 a 16/12/2024).

A escola Coronel João Pessoa/RN está situada a 4,3 km da ERB responsável pelo atendimento da região. Destaca-se que o throughput registrado na banda n78 mais que dobrou em relação à banda n40, devido à maior largura de banda disponível na banda n78. Adicionalmente, vale notar que os valores de latência foram medidos durante os testes de vazão, sob condições de ocupação máxima do enlace, refletindo o desempenho da rede em cenários de alta demanda.

Tabela 5 – Resultados Speedtest Escola B - Coronel João Pessoa.

	Download Med (Mbps)	Download Max (Mbps)	Download Mín (Mbps)	Latência Med (ms)	Upload Med (Mbps)	Upload Max (Mbps)	Upload Mín (Mbps)	Latência Med (ms)
Banda n40 (50MHz)	209,94	623,84	82,62	179,35	41,37	54,10	6,27	142,42
Banda n78 (100MHz)	745,48	800,00	149,19	212,83	33,00	55,63	7,66	215,75

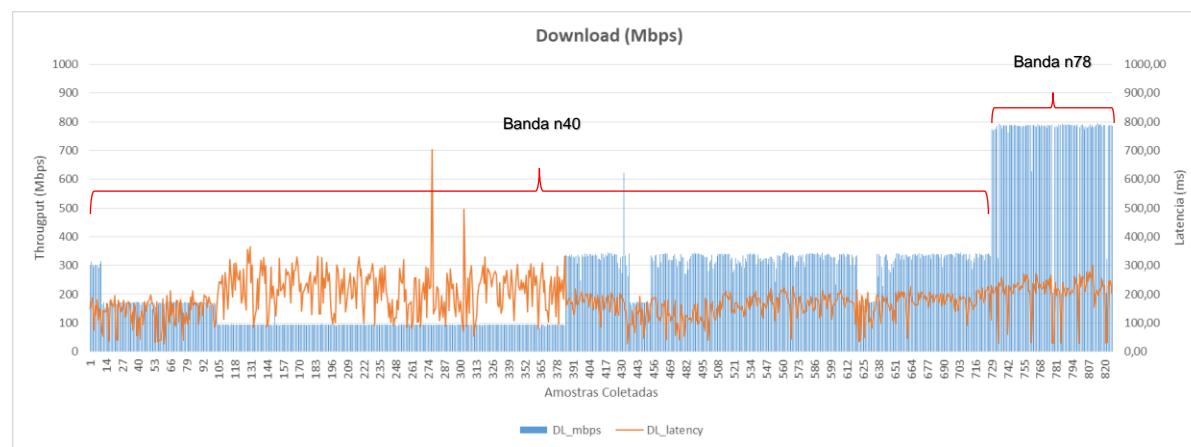


Figura 27 – Throughput de download e latência

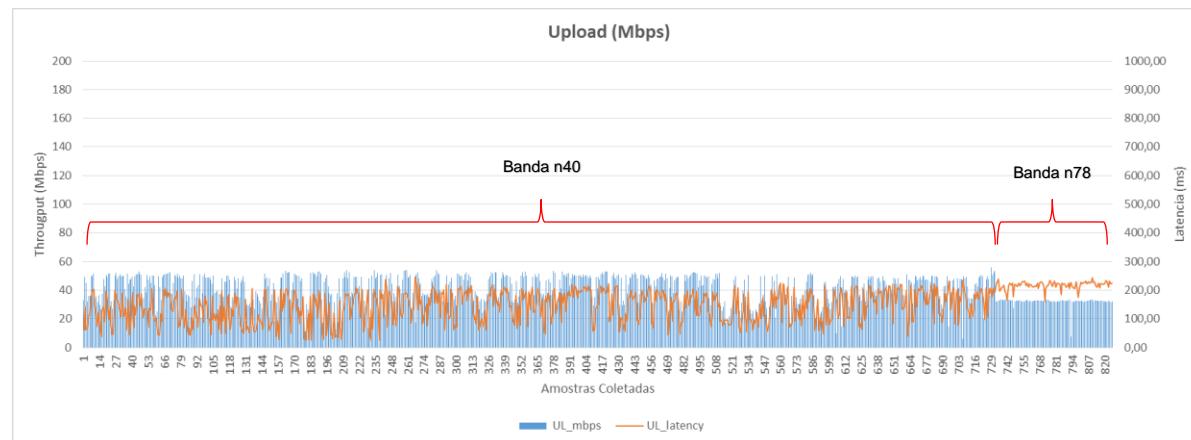


Figura 28 – Throughput de upload e latência

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro

6.4.3 Escola C – Cidade Encanto/RN

São apresentados os dados de *throughput* (Mbps) de *download* e *upload*, bem como a latência (ms), abrangendo valores médios, máximos e mínimos, cobrindo todo o período da PoC (de 12/11/2024 a 16/12/2024).

A escola Cidade Encanto/RN está situada a 4,7 km da ERB responsável pelo atendimento da região. Destaca-se que o throughput registrado na banda n78 mais que dobrou em relação à banda n40, devido à maior largura de banda disponível na banda n78. Adicionalmente, vale notar que os valores de latência foram medidos durante os testes de vazão, sob condições de ocupação máxima do enlace, refletindo o desempenho da rede em cenários de alta demanda.

Tabela 6 – Resultados Speedtest Escola B - Coronel João Pessoa.

	Download Med (Mbps)	Download Max (Mbps)	Download Mín (Mbps)	Latência Med (ms)	Upload Med (Mbps)	Upload Max (Mbps)	Upload Mín (Mbps)	Latência Med (ms)
Banda n40 (50MHz)	237,00	334,21	2,22	136,17	24,45	39,82	10,50	182,27
Banda n78 (100MHz)	759,15	783,01	483,15	194,14	32,97	33,95	26,26	196,51

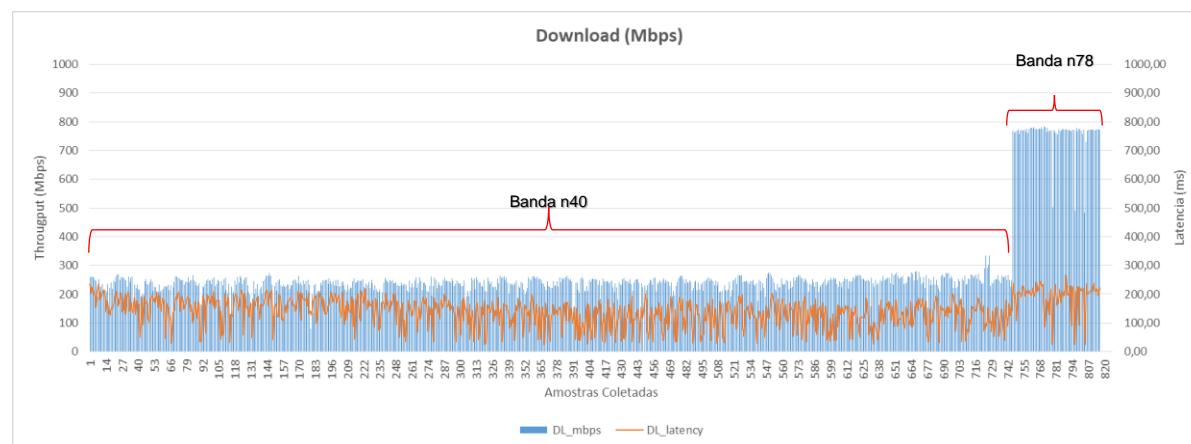


Figura 29 – Throughput de download e latência

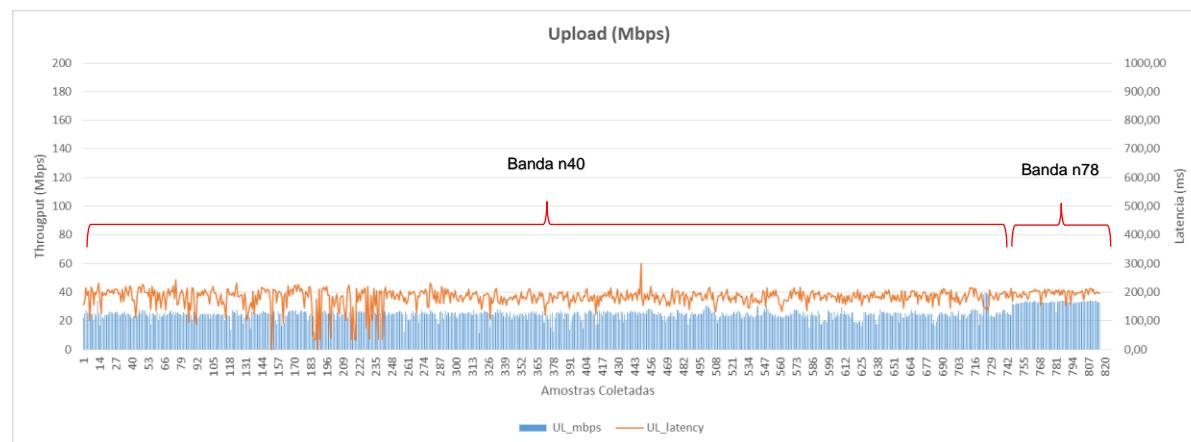


Figura 30 – Throughput de upload e latência

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro

7 Lições Aprendidas

A seguir são apresentadas as principais dificuldades encontradas durante a condução dos testes. Essas experiências podem fornecer informações fundamentais para orientar futuras implementações de tecnologia 5G FWA em ambientes educacionais e ajudar a garantir o sucesso desse projeto.

- a) Potencialidade da tecnologia subutilizada:** As informações iniciais indicam que as escolas não estão aproveitando plenamente o potencial da tecnologia 5G FWA. Isso pode ser atribuído a uma falta de conhecimento sobre as capacidades da tecnologia, ao engajamento dos responsáveis pela gestão escolar ou à falta de treinamento adequado para utilizar os recursos disponíveis.
- b) Condições inadequadas da infraestrutura escolar:** A infraestrutura física das escolas revelou-se inicialmente um desafio para suportar a implementação da tecnologia 5G FWA de forma robusta e resiliente. Locais apropriados para instalação, disponibilidade ininterrupta de energia, intervenções humanas não apropriadas, prejudicam a qualidade e confiabilidade da conectividade, podendo resultar em uma percepção negativa por parte dos usuários.
- c) Necessidade de equipe de suporte local:** A presença de uma equipe de suporte local é necessária para garantir uma resposta rápida a problemas técnicos e para fornecer suporte adequado aos usuários finais. A falta de uma equipe de suporte local pode resultar em atrasos na resolução de problemas e em uma experiência negativa para os usuários.
- d) Necessidade de estabelecimento de um NOC (Centro de Operações de Rede):** Considerando uma implantação em larga escala, a implementação de um NOC (Centro de Operações de Rede) pode proporcionar uma gestão centralizada e proativa da infraestrutura de rede. Um NOC bem estruturado pode monitorar continuamente o desempenho da rede, identificar rapidamente problemas e coordenar ações de resolução de problemas, garantindo assim uma operação eficiente e confiável da rede.

8 Conclusões e considerações finais

O presente relatório teve como desafio avaliar de forma geral a viabilidade da tecnologia *Fixed Wireless Access (FWA) 5G* como uma solução alternativa para fornecer conectividade em escolas situadas em áreas onde a instalação de infraestruturas de rede fixa, como cabos coaxiais ou fibra óptica, pode ser inviável ou economicamente desafiadora. Para isso, foram analisadas três escolas no estado do Rio Grande do Norte, situadas em regiões rurais e com diferentes distâncias das ERBs de atendimento. Os cenários estudados abrangem condições diversas, representativas de situações reais, proporcionando uma visão abrangente sobre a aplicabilidade e o desempenho da tecnologia em ambientes desafiadores.

Os resultados mostram, de modo geral, um consumo baixo em todas as escolas avaliadas, com picos de tráfego variando entre 140 a 180 Mbps. Além disso, foi observado o pico de usuários ao longo do período analisado, que registraram 7 a 14 picos de usuários conectados respectivamente, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Valores picos de usuários conectados.

Escolas	Pico de usuários conectados
Escola A	7
Escola B	14
Escola C	9

Quanto à análise da qualidade do tráfego 5G nas escolas participantes, os resultados obtidos com a ferramenta *Speedtest* ao longo do período analisado e de forma automatizada foram satisfatórios. Vale ressaltar que todas as escolas tiveram uma performance parecida, independente da distância, provavelmente devido às características específicas deste tipo de CPE (outdoor), com apontamento diretivo, antena de alto ganho e boa condição de visada entre ERB e Escola, o enlace fica menos sujeito a interferências eletromagnéticas ou variações na qualidade do enlace.

Tabela 8 – Vazão de dados média e pico (Download/Upload) das escolas participantes.

Escolas	Banda analisada	Distâncias da ERB	Vazão de dados média (Download/Upload)	Vazão de dados pico (Download/Upload)
Escola A	Banda n40 (50MHz)	1,6 km	307 Mbps / 76 Mbps	345 Mbps / 92 Mbps
	Banda n78 (100MHz)		754 Mbps / 94 Mbps	797 Mbps / 129 Mbps
Escola B	Banda n40 (50MHz)	4,3 km	210 Mbps / 41 Mbps	623 Mbps / 54 Mbps
	Banda n78 (100MHz)		745 Mbps / 33 Mbps	800 Mbps / 55 Mbps
Escola C	Banda n40 (50MHz)	4,7 km	237 Mbps / 25 Mbps	334 Mbps / 40 Mbps
	Banda n78 (100MHz)		760 Mbps / 33 Mbps	783 Mbps / 34 Mbps

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro

Considerando RESOLUÇÃO CENEC Nº 2, DE 22 DE FEVEREIRO DE 2024 [8], que estabelece os parâmetros de conectividade para fins pedagógicos nos estabelecimentos de ensino da rede pública de educação básica:

“Art. 2º Na conexão à internet realizada por meio de redes terrestres, a velocidade mínima de download recomendada por estabelecimento de ensino é:

I - para estabelecimento com ensino fundamental ou médio:

- a) de 50 Mbps para estabelecimento com até 50 alunos no turno mais movimentado;
- b) igual à quantidade de alunos no turno mais movimentado para estabelecimento com mais de 50 e até 1.000 alunos no turno mais frequentado; e
- c) de 1 Gbps para estabelecimento com mais de 1.000 alunos no turno mais frequentado.

II - para estabelecimento exclusivamente de educação infantil:

- a) de 50 Mbps para estabelecimento com até 50 profissionais da educação; e
- b) igual à quantidade de profissionais da educação para estabelecimento com mais de 50 profissionais da educação.”

Ao ponderar as informações da resolução CENEC mencionada juntamente com o contexto da PoC 5G FWA realizado estado do Rio Grande do Norte e o número de alunos durante o turno mais movimentado [9], foram compilados os dados na Tabela 9. Nessa tabela, a partir das vazões médias de *download* das escolas obtidos com a ferramenta *Speedtest* em ambas as bandas (n40 e n78), e da quantidade de alunos no turno mais movimentado, foi calculada a velocidade média entregue por aluno. É possível observar que todas as escolas tiveram uma média significativa acima do valor estabelecido pelo CENEC, devido à baixa quantidade de alunos matriculados nas escolas.

Tabela 9 – Velocidade média entregue por aluno no turno mais movimentado.

Escolas	Banda analisada	Distâncias da ERB	Alunos no turno de maior movimento	Vazão de dados média (Download)	Velocidade entregue por aluno (média)
<i>Escola A</i>	Banda n40 (50MHz)	1,6 km	19	307 Mbps	16,15 Mbps
	Banda n78 (100MHz)			754 Mbps	39,68 Mbps
<i>Escola B</i>	Banda n40 (50MHz)	4,3 km	46	210 Mbps	4,56 Mbps
	Banda n78 (100MHz)			745 Mbps	16,20 Mbps
<i>Escola C</i>	Banda n40 (50MHz)	4,7 km	40	237 Mbps	5,93 Mbps
	Banda n78 (100MHz)			760 Mbps	19,00 Mbps

Com base nos resultados obtidos, nota-se que a tecnologia 5G FWA tem potencial de transformar a conectividade nas escolas, oferecendo uma infraestrutura de rede robusta e eficiente para suportar as demandas crescentes por ensino e aprendizagem online.

Um aspecto importante da tecnologia 5G FWA é a rapidez em sua instalação, que supera significativamente as soluções tradicionais, como fibra óptica ou cabos coaxiais. Essa agilidade permite que escolas em áreas remotas ou com infraestrutura limitada tenham acesso a uma conexão de alta qualidade em um curto espaço de tempo, reduzindo os custos e a complexidade logística associados à implantação de redes convencionais. Essa característica torna o FWA uma solução estratégica para atender às necessidades emergentes de conectividade de forma prática e eficiente.

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro

9 Referência bibliográfica

- [1] TR-069 - CPE WAN Management Protocol (CWMP), <https://www.broadband-forum.org/pdfs/tr-069-1-6-1.pdf>. Último acesso em 15 de abril de 2024.
- [2] Broadband Forum - <https://www.broadband-forum.org/>. Último acesso em 15 de abril de 2024-
- [3] TR-181 - Device:2 Data Model for CWMP Endpoints and USP Agents, <https://cwmp-data-models.broadband-forum.org/#sec:current-data-models>. Último acesso em 15 de abril de 2024.
- [4] GenieACS - <https://genieacs.com/>. Último acesso em 15 de abril de 2024.
- [5] InfluxDB - <https://www.influxdata.com/get-influxdb/>. Último acesso em 15 de abril de 2024.
- [6] Grafana - <https://grafana.com/>. Último acesso em 15 de abril de 2024.
- [7] Speedtest - <https://www.Speedtest.net/pt/apps/cli>. Último acesso em 17 de abril de 2024
- [8] RESOLUÇÃO CENEC Nº 2, DE 22 DE FEVEREIRO DE 2024 - <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-cenec-n-2-de-22-de-fevereiro-de-2024-546279176/> Último acesso em 02 de maio de 2024
- [9] Conectividade nas Escolas – Referência 03/2024 <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/infraestrutura/conectividade-nas-escolas/> Último acesso em 02 de maio de 2024

10 Histórico de versões deste documento

Data de emissão	Versão	Descrições das alterações realizadas
20/dez/24	A	Versão final do documento
23/dez/24	B	Versão considerando a revisão da Qualcomm
08/jan/25	C	Versão considerando a revisão da Qualcomm
30/jan/25	D	Versão considerando a revisão do MCOM
14/jul/25	E	Versão considerando a revisão do MCOM

Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro

11 Execução

Executado por:

Ivan Lucio Junqueira

Rodolfo de Sousa Costa