

5G Open Labs BR: Concepção, Aplicação Piloto e Lições Aprendidas

Kelvin Dias¹, Rossana M. C. Andrade^{2*}, Nélio Cacho³, Frederico Lopes³, Leopoldo Teixeira¹, Eduardo Almeida⁴, Cleitianne Silva², Evilasio Costa Junior², Stefano Loss¹, Alison Silva¹, Leonandro Gurgel¹, Anderson Queiroz¹, Igor dos Santos¹, Maria Katarine Barbosa¹, David Cavalcanti¹, Thiago Vaillant⁴, Ricardo Queiroz de Araujo Fernandes⁵

¹Universidade Federal de Pernambuco (UFPE),

²Universidade Federal do Ceará (UFC),

³Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN),

⁴Universidade Federal da Bahia (UFBA),

⁵Centro de Desenvolvimento de Sistemas (CDS)

Abstract. *The 5G technology has the potential to enhance and enable innovative solutions for urban areas, especially by providing support for the implementation of services for smart cities. Thanks to its high data traffic speed, low latency, and nearly unlimited connection capacity, 5G networks make it possible to adopt this technology to solve societal problems. To establish an open laboratory for research utilizing 5G technology in urban centers in Brazil, the OpenLabs 5G project was conceived, an initiative of the Ministry of Development, Industry, Trade and Services (MDIC) in partnership with several federal universities, including UFPE, UFC, UFBA, and UFRN. The project's first pilot was conducted in collaboration with the Ministry of Defense, addressing a specific demand from the Army. This article presents the experience in creating the 5G Open Labs BR and developing the pilot, highlighting lessons learned during project execution.*

Resumo. *A tecnologia 5G tem potencial de melhorar e viabilizar soluções inovadoras para áreas urbanas, especialmente ao oferecer suporte à implementação de serviços para cidades inteligentes. Graças à sua alta velocidade de tráfego de dados, baixa latência e capacidade de conexões quase ilimitada, as redes 5G tornam possível a adoção dessa tecnologia para solucionar problemas da sociedade. Com o objetivo de estabelecer um laboratório aberto para pesquisas que utilizem a tecnologia 5G em centros urbanos no Brasil, foi concebido o projeto OpenLabs 5G, uma iniciativa do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC) em parceria com diversas universidades federais, incluindo UFPE, UFC, UFBA e UFRN. O primeiro piloto do projeto foi realizado em colaboração com o Ministério da Defesa, atendendo a uma demanda específica do Exército. Este artigo apresenta a experiência na criação do 5G Open Labs BR e no desenvolvimento do piloto, destacando as lições aprendidas durante a execução do projeto.*

*Bolsista de Produtividade Desen. Tec. e Extensão Inovadora do CNPq - Nível 1D

1. Introdução

A quinta geração de redes móveis, conhecida como 5G, representa uma revolução nas comunicações móveis. Segundo [Gupta and Jha 2015], o advento do 5G proporcionará acesso ilimitado em qualquer lugar, a qualquer hora, para qualquer pessoa e para qualquer coisa. A tecnologia 5G é definida por sua capacidade de proporcionar velocidades ultra rápidas, uma latência mínima e uma grande capacidade de conexão, facilitando a comunicação entre uma vasta gama de dispositivos inteligentes, bem como entre pessoas [Eluwole et al. 2018]. Esses avanços têm o potencial de transformar a forma como interagimos e impulsionar avanços em diversas áreas, incluindo indústria, entretenimento e saúde [Agiwal et al. 2016]. Além disso, o governo pode se beneficiar significativamente dos avanços da tecnologia 5G, especialmente em áreas como segurança pública, administração pública digital e prestação de serviços públicos inteligentes [Gohar and Nencioni 2021].

O projeto OpenLabs 5G é uma iniciativa do MDIC¹ em conjunto com as universidades UFPE, UFC, UFBA e UFRN sob a coordenação da primeira, cujo objetivo é montar um laboratório aberto para o desenvolvimento de aplicações 5G. O primeiro teste piloto foi conduzido em parceria com o Ministério da Defesa, atendendo a uma demanda específica do Exército.

Este artigo apresenta o relato de experiência no desenvolvimento do piloto bem como as vivências e aprendizados obtidos durante a participação e o desenvolvimento do projeto OpenLabs 5G.

2. Ecossistema de Experimentação 5G

Nessa seção serão apresentados alguns ambientes de experimentação relacionados ao desenvolvimento de soluções aplicadas às redes 5G. A análise desses laboratórios fornece *insights* sobre o estado atual e futuro das redes 5G, bem como sobre as inovações que estão impulsionando seu desenvolvimento. Esses ambientes de experimentação e pesquisa contribuíram para o desenvolvimento do 5G Open Labs BR.

Foram examinados e analisados alguns projetos de *Open Labs* sobre 5G em operação globalmente, incluindo o Open Lab 5G WEG - V2COM², Huawei Open Lab³ e o 5G Open Innovation Lab⁴. Cada um desses laboratórios foi investigado quanto a questões relacionadas à motivação para sua criação, topologias de rede e arquiteturas empregadas, tecnologias utilizadas, parcerias estabelecidas, políticas de funcionamento e as aplicações práticas resultantes de suas atividades no contexto das redes 5G. O diferencial do nosso laboratório reside no fato de que o 5G Open Lab BR é uma aplicação piloto e conta com parceiros da Tríplice Hélice da Inovação: Empresas, Universidades e Governo.

2.1. Open Lab 5G WEG - V2COM

O projeto Open Lab 5G WEG-V2COM é uma iniciativa colaborativa que visa testar e validar soluções tecnológicas relacionadas ao suporte de infraestrutura 5G. Neste projeto,

¹<https://www.gov.br/mdic>

²<https://v2com.com/open-lab-weg-v2com-2/>

³<https://www.huawei.com/minisite/ecossistema-brasil/>

⁴<https://5goilab.com/>

a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, a empresa WEG-V2COM, a Qualcomm (fornecedora de suporte técnico), a Claro (responsável pela implementação da rede privativa mista) e a Nokia (provedora de infraestrutura da rede privativa independente) se unem para testar a conectividade de dispositivos IoT à rede 5G em um ambiente de produção real na fábrica da WEG Drives & Controls, localizada em Jaraguá do Sul-SC.

O projeto possibilitou a realização de testes práticos de diversas tecnologias e dispositivos conectados à rede em um ambiente industrial real. Ele também analisou duas abordagens do 5G: rede privativa mista (integrada) e rede privativa independente.

Em cada uma dessas topologias, foram avaliados três indicadores principais:

i) *Throughput* (velocidade): Testou-se a capacidade de transmissão de dados para aplicações que requerem qualidade comparável à fibra óptica. ii) Densificação de malha de conexões: Comparou-se a capacidade de formação de redes densas de conexões entre o 5G e o Wi-Fi. iii) Confiabilidade de conectividade 5G em ambiente *indoor*: Investigou-se a confiabilidade da conectividade 5G em ambientes internos.

2.2. Huawei Open Lab

O Huawei Open Lab é uma iniciativa global que proporciona uma plataforma para experimentação e testes de tecnologias voltadas para IoT, 5G, Inteligência Artificial (IA), computação em nuvem, entre outros. Seu principal objetivo é oferecer um ambiente físico e virtual para realizar testes, provas de conceito, prototipagem e validação de soluções e produtos. A Huawei disponibiliza esses laboratórios para seus parceiros utilizarem na implementação de suas próprias soluções. Atualmente, a Huawei possui Open Labs em diversas regiões do mundo, incluindo China, Europa, América do Norte e Ásia-Pacífico. Além dos testes e provas de conceito, esses laboratórios oferecem serviços de suporte técnico, treinamento e consultoria para ajudar os clientes a desenvolver soluções inovadoras dentro do ecossistema da Huawei.

Em 2019, a Huawei inaugurou o primeiro OpenLab do Brasil na cidade de São Paulo, com o objetivo de apresentar tecnologias e soluções de IoT aos parceiros locais. Este laboratório permite interações entre parceiros e clientes em cenários reais de implementação. Seguindo a política global de OpenLab, interessados podem se inscrever no site da Huawei para visitar o laboratório, realizar testes e obter certificados. O conceito principal do laboratório é facilitar parcerias nacionais e internacionais para soluções certificadas pela Huawei.

No que tange a infraestrutura, o projeto OpenLab conta com salas de homologação e laboratórios para teste dos equipamentos, além de um espaço para exibição e demonstração de soluções já desenvolvidas para implementação comercial. O OpenLab da Huawei foca em atender grandes empresas dos setores de varejo, manufatura e indústrias, além de disponibilizar ambientes dedicados a verticais específicas. Essas verticais incluem: (i) Segurança Pública, com soluções e tecnologias para reconhecimento facial, videomonitoramento inteligente, processamento de dados e iLTE (um sistema de comunicação crítica que utiliza uma rede 4G privada) destinadas às forças de segurança; (ii) Energia, abrangendo **Smart Grid** e medição inteligente de eletricidade com tecnologia de conexão sem fio; e (iii) sistemas de iluminação inteligente e conectividade sem fio para estradas e rodovias.

2.3. 5G Open Innovation Lab

O 5G Open Innovation Lab tem como objetivo criar e atender a um ecossistema em constante crescimento, onde empreendedores, especialistas técnicos e investidores se reúnem para explorar, experimentar, desenvolver, testar soluções 5G de forma colaborativa e rápida. Dessa forma, traz ao mercado soluções de software revolucionárias para acelerar a transformação digital em diversos setores. Sendo assim, o 5G OI Lab fornece laboratórios de campo com acesso à conectividade e tecnologia computacional, facilitando a colaboração em locais físicos para inovar e resolver problemas reais. O objetivo desse programa, além do ambiente de testes, é possibilitar a conexão entre *startups* e líderes empresariais para impulsionar a inovação para todo o ecossistema. Esse projeto atua em diversas frentes e setores por meio de diferentes laboratórios.

Agriculture Field Labs: Nesse laboratório, os desenvolvedores podem implantar serviços de aplicativos para aplicações sensíveis à latência e com uso intensivo de computação. As primeiras aplicações incluem o uso de sensores de IoT e drones para coletar dados e realizar análises de clima, água, radiação fotossintética e saúde das culturas, resultando em melhorias na distribuição de água e produtos químicos, bem como nos rendimentos das culturas. Além disso, são aplicadas tecnologias como Realidade Aumentada e IA para manutenção remota de equipamentos e tratores autônomos, liberando trabalhadores para outras tarefas. Também há foco no gerenciamento da cadeia de suprimentos e logística, utilizando sensores IoT para rastrear e gerenciar produtos frescos da fazenda até a mesa.

Edge Innovation Cluster: Laboratório tem como parceria o Departamento de Comercio do Estado de *Washington* com objetivo é fomentar o crescimento econômico em todo o estado e maximizar o potencial da computação de borda e 5G e acelerar a transformação digital para setores prioritários, como por exemplo Manufatura, Assistência médica, Agricultura, Energia, Transporte e Logística. Esse laboratório fornecem às *startups* e outros acesso a instalações de teste, investimento do setor público, expertise do setor privado, recursos e escala geralmente mantidos atrás de portas corporativas ou acadêmicas fechadas.

3. Concepção do 5G Open Labs BR

O projeto 5G Open Labs Brasil representa uma colaboração inovadora entre cinco instituições de ensino superior de excelência no Nordeste, UFPE, UFBA, UFC, UFPE e UFRN, sendo o CIn-UFPE a sede central e também responsável pela coordenação do projeto. Seu principal propósito é estabelecer um ambiente colaborativo para pesquisa e desenvolvimento de soluções de software baseadas na tecnologia 5G. A abordagem do projeto envolve a distribuição da infraestrutura do 5G OpenLabs entre essas universidades, permitindo acesso federado. Além das instituições acadêmicas, o projeto inclui laboratórios de parceiros da indústria e operadoras, abrangendo todo o ecossistema 5G.

O papel fundamental do CIn-UFPE é coordenar com operadoras e fornecedores para estabelecer a infraestrutura necessária para o desenvolvimento e teste de aplicações 5G. Cada universidade participante, incluindo o CIn-UFPE, busca parcerias locais para garantir suporte adequado ao desenvolvimento das aplicações. A proposta inicial é que cada universidade implemente uma infraestrutura mínima, conforme a arquitetura definida, para atender às demandas dos usuários potenciais.

A implementação dessa infraestrutura depende de parcerias estratégicas com provedores de rede 5G e empresas de tecnologia, assegurando acesso aos equipamentos necessários. O financiamento é outro aspecto crucial para o sucesso do projeto, podendo provir de fontes governamentais ou privadas. As instituições participantes têm a opção de lançar editais para aquisição de equipamentos e plataformas, visando a implantação total ou parcial de uma rede privativa 5G.

Assim sendo, o 5G Open Labs Brasil representa uma colaboração inovadora entre instituições acadêmicas, indústria e operadoras, visando impulsionar o desenvolvimento da tecnologia 5G no país. A infraestrutura necessária para este projeto será alcançada por meio de parcerias estratégicas e financiamento adequado, garantindo assim um ambiente propício para pesquisa, experimentação e inovação no campo das comunicações sem fio.

Nesta primeira edição do TED, o projeto 5G Open Labs Brasil não foi contemplado com uma infraestrutura 5G privativa *indoor* ou equipamentos de fornecedores, uma vez que não houve aporte de recursos financeiros para tais aquisições. Assim, o projeto utilizou a infraestrutura própria de servidores e recursos de redes disponibilizados temporariamente pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Além disso, tivemos como parceiros a Motorola, a TIM e a Claro Brasil.

A Motorola disponibilizou *smartphones* para a execução dos testes das aplicações. As operadoras TIM e a Claro Brasil, por sua vez, forneceram SIM Cards e conectividade 5G por meio de suas infraestruturas públicas, para serem utilizados nos testes. Um destaque adicional é o apoio da TIM, que forneceu ao projeto uma fatia de rede privada para a realização dos testes 5G SA (Stand Alone).

Para utilizar o ambiente do 5G OpenLabs foi necessário compreender as seguintes categorias de usuários do projeto: "Pesquisadores", "Parceiros" e "Utilizadores", de modo que usuários pesquisadores acessam o laboratório para desenvolver e aprimorar o ambiente, os parceiros objetivam avaliar tecnologias e aplicações e os usuários utilizadores irão operar testes no ambiente por prazos e recursos limitados conforme cada solicitação aprovada. Após a expiração do referido período, a conta atribuída a um utilizador será desativada e os recursos associados liberados.

Os pesquisadores, parceiros ou utilizadores se inscreveram por meio do formulário específico para cada categoria. Durante o processo, foi necessário descrever seus objetivos e soluções e como se dará o uso dos recursos do projeto 5G OpenLabs. Os utilizadores receberam recursos padrões iniciais e tiveram acesso a este por um período determinado. Caso os recursos oferecidos e individualizados para os utilizadores forem esgotados, novos usuários somente poderiam ser atendidos à medida que estes recursos forem sendo liberados. A definição dos ambientes aos usuários podiam sofrer limitações conforme o perfil de uso definido para cada conta e a infraestrutura disponível do projeto.

4. Aplicação Desenvolvida

Para tornar viável a implantação do laboratório, o projeto também contemplava o desenvolvimento de uma solução computacional que utiliza tecnologia 5G para o Ministério. Dessa forma, foram realizadas consultas e entrevistas com representantes de diferentes órgãos públicos, visando entender as necessidades e demandas específicas de cada setor. O objetivo era identificar áreas onde o uso do 5G poderia trazer benefícios significativos, impulsionando a eficiência operacional e a qualidade dos serviços prestados à população.

4.1. Visão Geral

A aplicação desenvolvida pelo projeto consiste em um sistema que envolve computação em nuvem, névoa e borda por meio da utilização de *smartphones* se comunicando via tecnologia 5G com serviço de *dashboard* na névoa e na nuvem. Essa aplicação tem como objetivo melhorar a "Consciência Situacional" durante operações de campo. Esse termo se refere à capacidade de perceber, entender e antecipar movimentos estratégicos. Ao contrário de soluções que está sendo testada pelo exército dos EUA que usam óculos de realidade misturada, essa iniciativa foca em dispositivos móveis comuns, reduzindo o custo da adoção.

Um exemplo de cenário de uso desta aplicação é em operações de cerco envolvendo diversos agentes em campo. O cerco é um método de estratégia militar onde unidades militares cercam o local de abrigo de um inimigo com o objetivo de isolá-lo e evitar a sua evasão. O cerco muitas vezes ocorre em áreas desconhecidas, onde é crucial conhecer a localização de cada agente e coordenar sua movimentação para evitar surpresas por parte dos inimigos.

Uma das formas de se ter a localização em tempo real é utilizar dispositivos eletrônicos para compartilhar a localização de cada agente no campo. Porém, muitas vezes esse cerco é feito em locais remotos com pouca ou quase nenhuma conexão com rede móvel. Dessa forma, a tecnologia 5G é essencial para melhorar a qualidade da conexão dos dispositivos móveis dos agentes e facilitar a troca de informação entre os dispositivos móveis. A proposta é utilizar dispositivos de *edge* 5G, instalados nos veículos militares, como roteador para prover conexão em locais sem acesso à telefonia móvel. Também pode-se utilizar do poder computacional da *edge* para fazer o processamento das imagens capturadas pelos militares em campo.

A aplicação enfrenta desafios como evitar o manuseio excessivo do dispositivo móvel em campo, o que pode distrair o militar e revelar sua posição durante operações noturnas ou em locais com pouca luminosidade. Além disso, precisa lidar com a falta de conexão em locais remotos. Assim, a proposta de solução para esse cenário de uso é a utilização de *smartphones* operados por comando de voz e a utilização da tecnologia 5G com processamento em diferentes níveis para auxiliar na consciência situacional visando perceber, entender e antecipar ação estratégica envolvendo diversos agentes em campo, sem necessariamente envolver o manuseio de dispositivos tecnológicos e sem interrupções de rede.

4.2. Design e Implementação da Aplicação

A arquitetura da solução conta com cinco componentes principais conforme a Figura 1, a saber: i) Aplicativo móvel; ii) *Backend - Edge*; iii) *Backend - Centro de Comando*; iv) *Dashboard WEB* remoto; v) *Dashboard WEB - Centro de comando*.

O **aplicativo móvel** para celular, desenvolvido para dispositivos *Android*, é responsável por diversas funcionalidades essenciais. Isso inclui a capacidade de realizar leitura de placas e reconhecimento facial, que são implementados como pacotes ou bibliotecas adicionais. Além disso, oferece um sistema de login que permite a gestão de usuários, incluindo operações relacionadas a essa gestão. O aplicativo também suporta um chat de *streaming*, permitindo a persistência de conversas na borda.

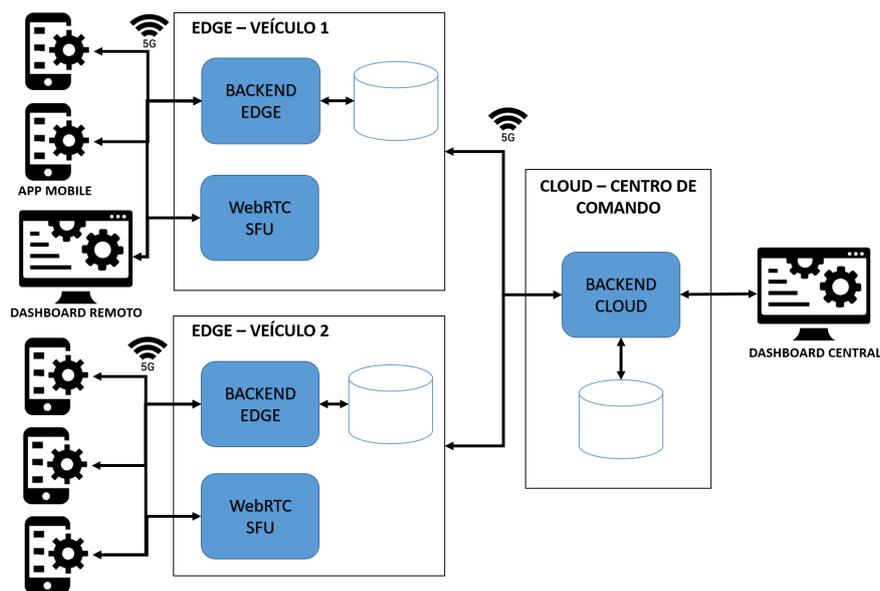


Figura 1. Arquitetura da solução proposta.

O **backend da edge**, localizado na borda ou no veículo, lida com funções específicas. Ele recebe e armazena dados de latitude e longitude no banco de dados em tempo quase real. Além disso, oferece suporte para *streaming* de vídeo e envia esse *streaming* para o Centro de Comando, garantindo a transmissão eficiente de dados relevantes. Já o **backend no Centro de Comando** é responsável por receber informações da borda sempre que houver conexão disponível. Isso permite a sincronização eficiente de dados entre os componentes, garantindo que o Centro de Comando esteja sempre atualizado com as informações mais recentes.

O **Dashboard WEB remoto** fornece uma interface intuitiva para monitoramento e controle referente a uma determinada equipe. Ele exibe um mapa com a localização dos membros da equipe em tempo real ao acessar os dados de um determinado *backend da edge*. Além disso, suporta comunicação via voz e mensagem, oferecendo um meio eficaz de comando e controle sobre as operações em andamento de dentro do veículo *in loco*.

O **Dashboard WEB do centro de comando**, bastante semelhante ao *dashboard WEB* remoto. Também exibe um mapa com a localização dos agentes em tempo real caso haja conexão no local da operação. Além disso, suporta comunicação via voz e mensagem, oferecendo um meio eficaz de comando e controle sobre as operações em andamento a partir do centro de comando.

4.3. Aplicativo Android

Para o desenvolvimento da aplicação foram utilizadas as seguintes tecnologias: Java Android⁵, Android.speech⁶, WebRTC⁷ através de Webview. A Figura 2 destaca as principais funcionalidades da aplicação. Para acessar o aplicativo é necessário inserir as credenciais de acesso. A partir disso, poderá ser observado as principais informações de cada

⁵<https://www.android.com>

⁶<https://developer.android.com/reference/android/speech/>

⁷<https://webrtc.org>

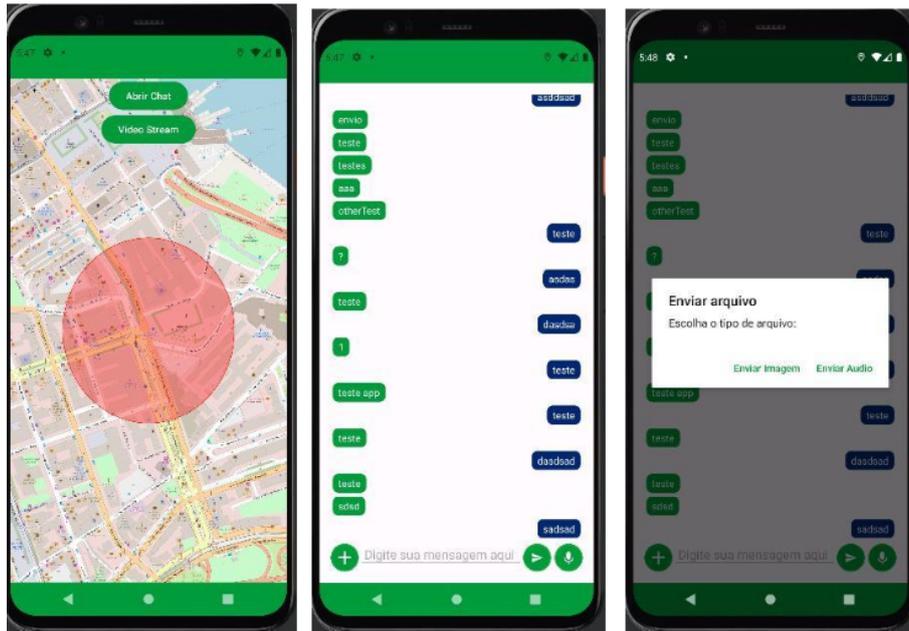


Figura 2. Telas do Aplicativo

operação. A aplicação em questão permite a visualização das áreas de *geofencing* pertinentes ao local em que a operação será realizada, além de prover dados precisos sobre a localização da equipe envolvida na operação. No aplicativo, é possível observar a área da operação, a posição dos outros membros da equipe e ainda realizar transmissões de vídeo para o *dashboard*, possibilitando que a câmera traseira do dispositivo móvel envie imagens ao servidor WebRTC.

O aplicativo também integra um recurso de chat de texto, com o intuito de viabilizar a comunicação em tempo real entre os agentes participantes da operação. Esse chat oferece suporte para o envio de imagens e áudios pelos agentes em campo, sendo acessível pelo centro de comando. Além disso, é possível executar ações dentro do aplicativo e enviar mensagens no chat da operação mediante comandos de voz, utilizando a biblioteca de reconhecimento de voz *android.speech*. Esta funcionalidade visa simplificar a interação dos agentes com o aplicativo, permitindo-lhes realizar outras tarefas sem a necessidade de utilizar as mãos. O aplicativo também disponibiliza de um modo noturno, facilitando usabilidade em ambientes com pouca visibilidade, de modo a evitar revelar a posição dos usuários utilizando o aplicativo naquele momento.

4.4. Aplicação WEB - Dashboard

O principal objetivo do *dashboard* é fornecer informações e visualizações rápidas sobre as operações em andamento e outros indicadores relevantes, como localização e pessoas envolvidas. Ainda, deve auxiliar os agentes, permitindo o contato direto através do chat disponível.

É necessário ressaltar que nessa versão inicial, tanto o *dashboard* da *edge* (para acompanhamento da operação em campo dentro do veículo) quanto o do centro de comando possuem a mesma interface gráfica. No entanto, somente será possível executar a criação e cadastro de novos membros, times e operações somente pelo dashboard do

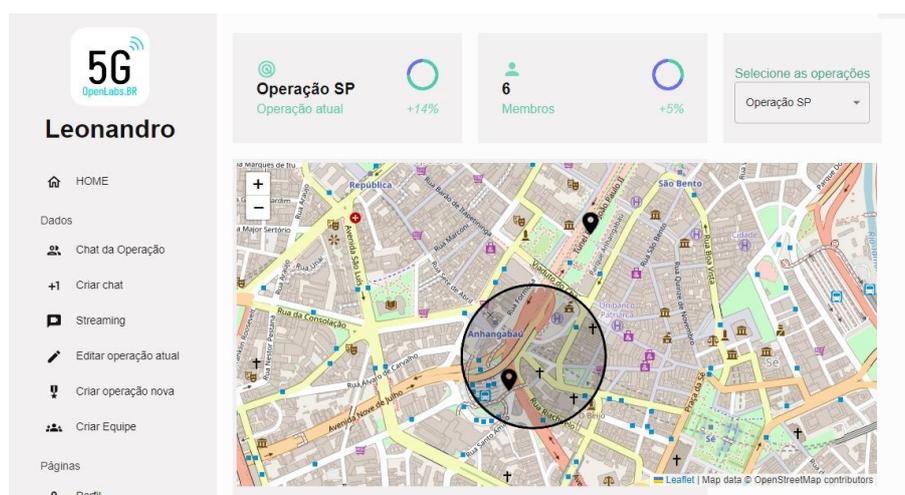


Figura 3. Tela principal com mapa de operações

centro de comando. As tecnologias utilizadas na implementação do *dashboard* foram: JavaScript⁸, CSS⁹, React¹⁰, webRTC, OpenStreetMap¹¹.

A Figura 3 apresenta a tela principal do *dashboard*. Essa tela é composta por um mapa como foco central, além de permitir a visualização dos detalhes da operação em curso e a localidade das operações na parte superior da tela. A lateral esquerda é composta de um menu com a possibilidade da criação de chats e operações, ao passo que na lateral direita são apresentados os chats já abertos anteriormente.

4.5. Backend - API Edge e WebRTC Selective Forwarding Unit

Para a camada de edge foi desenvolvido o serviço responsável pelas funcionalidades de: (i) CRUD de operações, membros e equipes; (ii) geolocalização em tempo real; (iii) Chat.

A fim de contemplar as 3 funcionalidades supracitadas, foi desenvolvido um serviço com a linguagem Java¹² com o JDK 17, utilizando o framework SpringBoot¹³ com Spring Web Flux¹⁴. Esse serviço é uma API Rest que disponibiliza endpoints HTTP versão 1.1 para criação, leitura, edição e deleção de dados além da geolocalização em tempo real. O serviço também utiliza o padrão Server Sent Events (SSE) para o chat. O banco de dados utilizado foi o mobilitydb¹⁵.

Para viabilizar o *multistreaming*, foi escolhido o protocolo WebRTC¹⁶, pois se destaca pela sua baixa latência e alto nível de adaptabilidade. Entretanto, O WebRTC abre conexões de ponta a ponta, o que poderia levar a um menor desempenho em cenários de muitas conexões abertas ao mesmo tempo. Para solucionar esse desafio, foi desenvolvido

⁸<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript>

⁹<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS>

¹⁰<https://react.dev>

¹¹<https://www.openstreetmap.org>

¹²<https://www.java.com>

¹³<https://spring.io>

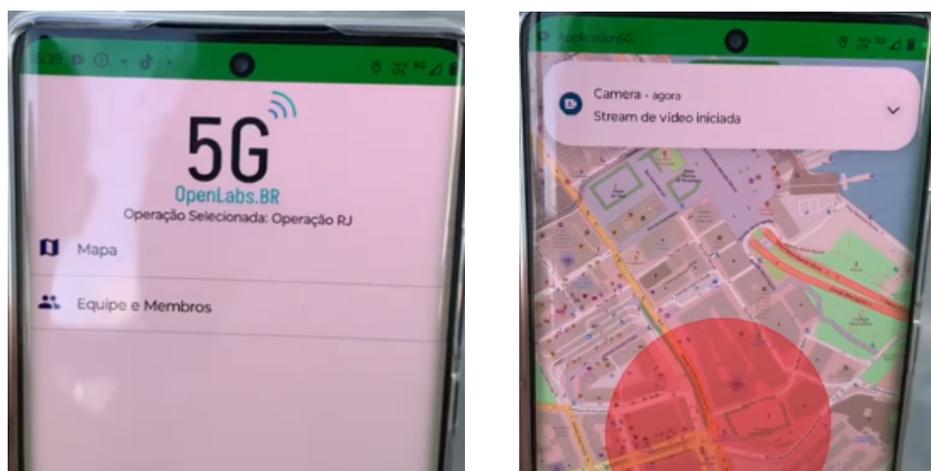
¹⁴<https://docs.spring.io/spring-framework/reference/web/webflux.html>

¹⁵<https://mobilitydb.com>

¹⁶<https://mobilitydb.com>

um servidor utilizando `nodejs`¹⁷ com `express`¹⁸ que atua como um servidor de *Selective Forwarding Unit* (SFU), ou seja, ele atua como uma unidade centralizadora que se conecta com os usuários que transmitem o vídeo e disponibiliza para uma retransmissão via WebRTC. Vale ressaltar que esse servidor de SFU também fica na *edge*.

4.6. Usabilidade da Aplicação



(a) Aplicação do usuário 1 utilizando 5G SA.

(b) Transmissão do Vídeo *Stream*.

Figura 4. Aplicação Android

A análise de usabilidade visa demonstrar o desempenho da solução em funcionamento, bem como a interação dos usuários com suas funcionalidades. A realização dos testes de usabilidade ocorreu envolvendo dois participantes representando uma hipotética missão ou operação em campo. Os participantes utilizaram o aplicativo *Android* desenvolvido como parte do projeto, o qual foi implantado em dispositivos da Motorola. Todos os testes foram conduzidos utilizando cartões SIM da operadora TIM. Além disso, um terceiro usuário foi designado para monitorar e analisar todas as informações através do painel de controle da operação. Os usuários acessaram o aplicativo utilizando suas credenciais individuais de login e senha, e em seguida, selecionaram a missão desejada.

Na Figura 4(a), é possível observar que ao selecionar uma missão, o usuário pode acessar as informações em tempo real, incluindo a identidade dos demais participantes envolvidos naquela operação e a área de abrangência da missão. Além disso, pode ser visualizado a delimitação geográfica da missão bem como iniciar a transmissão *streaming* de vídeo em tempo real. Na Figura 4(b), observamos que os usuários deram início à transmissão de vídeo relacionada à respectiva missão.

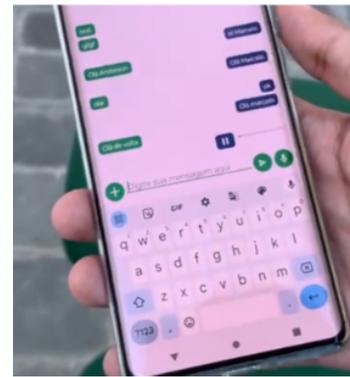
A visualização das transmissões de vídeo dos usuários no *dashboard* pode ser observada na Figura 5(a). No *dashboard* é monitorado o progresso da missão e também a visualização dos vídeos provenientes de ambos os participantes. Na Figura 5(b), destaca-se a utilização do recurso do chat da missão, tanto por meio de mensagens de texto quanto por meio de comunicação de áudio.

¹⁷<https://nodejs.org/en>

¹⁸<https://expressjs.com/>



(a) Visualização das transmissões de vídeo no *dashboard*.



(b) Usuário utilizando o chat da operação.

Figura 5. Visualização dos dados

4.7. Análise de Desempenho da Aplicação 5G

A análise de desempenho da aplicação tem como objetivo avaliar o protótipo no ambiente de comunicação 5G da operadora TIM, uma parceira no projeto. Nesse contexto, o objetivo é avaliar o desempenho do aplicativo Android quando operado sobre a infraestrutura pública 5G SA.

Todos os experimentos relacionados à avaliação de desempenho foram conduzidos utilizando os recursos do 5G OpenLabs, com o apoio de parceiros. O aplicativo 5G OpenLabs foi executado em dois *smartphones* fornecidos pela empresa de tecnologia Motorola, especificamente os dispositivos do modelo Edge 30 Ultra, equipados com um processador Octa-Core de 3,2 GHz e 12 GB de RAM, executando o sistema operacional *Android* Versão 12. Além disso, os cartões SIM necessários para os testes foram fornecidos e configurados pela operadora TIM.

No âmbito do servidor, três computadores foram empregados, equipados com processadores CPU Xeon(R) E5 de 2,30 GHz X86-64, dotados de 32 GB de RAM e executando o sistema operacional Linux Ubuntu com a versão 20.04 LTS. Esses sistemas foram destinados a hospedar os servidores de aplicações (*front-end* e *back-end*), bem como os recursos de mapas e vídeos. Tais equipamentos foram adquiridos tanto com recursos próprios quanto por meio de doações dos membros da equipe de infraestrutura dos 5G OpenLabs.

Ademais, os testes foram conduzidos nas instalações do campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), localizadas na região metropolitana do Recife. A infraestrutura de comunicação pública provida pela operadora TIM foi utilizada durante os experimentos. Por fim, para cada um dos modos de operação, os testes foram repetidos 30 vezes. Importa salientar que os resultados iniciais apresentados adiante foram obtidos a partir de uma única localização específica no Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco.

Em todos os experimentos foram adotadas duas métricas para a avaliação de desempenho: o *download*, que mensura a quantidade de dados transmitidos do servidor para o aplicativo móvel em um intervalo de tempo; e o *upload*, que indica o envio de dados do aplicativo móvel para o servidor em um intervalo de tempo. Na avaliação de usa-

bilidade foram executadas todas as funcionalidades: autenticação, localização, missão, mensagens, áudio e vídeos.

5. Avaliação de Desempenho da Aplicação

A avaliação do desempenho da aplicação no 5G OpenLabs foi concentrada em mostrar as métricas de *download* e *upload* da rede ao utilizar a aplicação. Conforme dito anteriormente, para coletar tais métricas foi utilizada a *Network Inspector*, uma ferramenta do próprio ambiente de desenvolvimento de aplicações móveis (Android Studio), que mostra a atividade de rede em tempo real em uma linha do tempo, mostrando dados enviados e recebidos.

A Figura 6 mostra o gráfico de *download* e *upload*, no tempo, utilizando a rede 5G SA. O início da linha amarela do gráfico corresponde ao primeiro byte da solicitação enviada. O início da linha azul do gráfico corresponde ao primeiro byte da resposta recebida. O final da linha azul do gráfico corresponde ao byte final da resposta que está sendo recebida. É importante ressaltar que a aplicação móvel é predominantemente baseada em *upload* de conteúdo já que fica enviando os dados de *Streaming* de Vídeo para a aplicação no Servidor posicionada localmente na mesma rede dos serviços do *front-end* da aplicação. Nesse sentido, podemos observar que a taxa de *download* (*receiving*) está em cerca de 4,1 KB/s, enquanto a taxa de *upload* (*sending*) está em 312,2 KB/s.

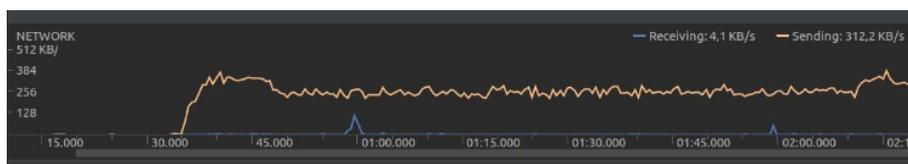


Figura 6. Gráfico de Download e Upload do APP 5G Open Labs utilizando a rede 5G SA da TIM.

A Figura 7 exibe a relação de arquivos enviados ou recebidos durante o intervalo selecionado da linha do tempo. Para cada requisição, é possível analisar detalhes como o tamanho, o tipo, o status e a duração da transmissão. Notavelmente, no intervalo de tempo especificado, o maior arquivo, com 23,6 KB, foi transmitido em aproximadamente 133 ms, enquanto o menor, com 914 B, foi transferido em 140 ms.

Name	Size	Type	Status	Time	Timeline
74105.png	23.6 KB	png	200	133 ms	
1.png	11.2 KB	png	200	92 ms	
2.png	9.3 KB	png	200	509 ms	
1.png	7.8 KB	png	200	106 ms	
0.png	7.2 KB	png	200	90 ms	
0.png	5.1 KB	png	200	87 ms	
2.png	5.1 KB	png	200	476 ms	
1.png	5.0 KB	png	200	98 ms	
2.png	4.8 KB	png	200	506 ms	
0.png	4.7 KB	png	200	99 ms	
2.png	4.0 KB	png	200	90 ms	
2.png	3.0 KB	png	200	89 ms	
2.png	2.8 KB	png	200	87 ms	
2.png	2.1 KB	png	200	456 ms	
3.png	1.4 KB	png	200	325 ms	
1	913 B	json	200	139 ms	
1	913 B	json	200	140 ms	
1	913 B	json	200	140 ms	
1	913 B	json	200	140 ms	

Figura 7. Tabela de Download e Upload do APP 5G Open Labs utilizando a rede 5G SA da TIM.

6. Lições aprendidas

É importante ressaltar que a implementação dessa solução não está isenta de desafios. Muitos dos desafios enfrentados pelo time do projeto geraram lições valiosas para trabalhos futuros e destacamos nessa seção as principais lições aprendidas pelo time ao implementar a aplicação 5G. Estas lições são descritas apresentando um problema que enfrentamos, seguido da situação vivenciada e da lição aprendida durante o nosso trabalho.

LA01: Uso do WebRTC para streaming de dados em aplicativos Android com algumas limitações

- **Problema:** Como prover um serviço de *streaming* em tempo real nas aplicações Android e Web para múltiplos usuários de maneira a prover economia de energia e se aproveitar das vantagens da tecnologia 5G.
- **Experiência:** Várias tecnologia foram avaliadas, dentre as quais o uso de diferentes modelos de *streaming* P2P. A alternativa que melhor funcionou para nosso app foi o uso de um servidor WebRTC [Santos-González et al. 2017]. Porém, foi necessário muito trabalho para viabilizar essa estratégia, devido a escassez de bibliotecas especializadas para trabalhar com essa tecnologia.
- **Lição:** O uso do *streaming* e aplicativos Android via WebRTC é viável para aplicações 5G, mas necessita ser feito com muito cuidado devido a escassez de bibliotecas especializadas.

LA02: O consumo energético do 5G pode ser muito alto

- **Problema:** O consumo energético da rede 5G foi maior que o esperado.
- **Experiência:** Ao analisarmos o uso das redes sem fio Wifi, 4G e 5G para prover as funcionalidade da aplicação. Observamos que apesar do ganho em velocidade, em relação principalmente ao 4G, o consumo da rede 5G ocasionou um desgaste maior na bateria dos dispositivos testados. Como isso, o uso do 5G foi limitado, principalmente para função de *streaming* que exigia maior velocidade e tempo de reposta. Ainda cabe mais investigações no futuro, sobre como otimizar o consumo energético da rede 5G
- **Lição:** O consumo energético demandado pelo uso da rede 5G deve ser bem avaliado e se preciso limitado para algumas funcionalidades ao implementar a aplicação.

LA03: É necessário o uso de servidores SFU para suportar as muitas conexões de streaming 5G

- **Problema:** Ao prover comunicação entre os diversos usuários da aplicação em diferentes dispositivos foi necessário a abertura de muitas conexões e mesmo usando 5G a rede foi exaurida
- **Experiência:** Observamos que mesmo em redes 5G a abertura de muitas conexões ponta a ponta acabou levando a rede a exaustão. Por isso se fez necessário um servidor *Selective Forwarding Unit* (SFU) [Kirmiziloglu and Tekalp 2019] que permitisse controlar e limitar as conexões 5G na rede WebRTC.
- **Lição:** Mesmo as redes 5G necessitam de servidor de controle de conexões *streaming* para não exaurir a rede e uma boa alternativa é o uso de um servidor SFU.

7. Conclusão

Este artigo apresentou o desenvolvimento de uma aplicação de comando e controle para uso tanto civil quanto militar, focada nas necessidades do Ministério da Defesa e do Exército Brasileiro. A aplicação incorpora tecnologias inovadoras como 5G e *edge computing*. A utilização do 5G oferece vantagens como transmissão de dados mais rápida, menor latência e a capacidade para mais conexões simultâneas. Quando combinado com *edge computing*, que permite o processamento de dados próximo ao local onde são gerados, há um potencial significativo para melhorar a coordenação e eficácia de operações civis e militares.

A aplicação escolhida destaca-se pela sua importância estratégica, já que operações civis e militares demandam alta confiabilidade, segurança e agilidade. A utilização do 5G e do *edge computing* nesse contexto proporciona vantagens como transmissão de dados em tempo real, melhor monitoramento e controle de equipamentos e maior capacidade de tomada de decisões informadas. Além do contexto militar, as aplicações 5G e *edge computing* têm potencial para impactar positivamente outros setores, como saúde, transporte, indústria, entre outros. A pesquisa realizada e a aplicação escolhida para este estudo são apenas exemplos do vasto campo de possibilidades que se abrem com o avanço dessas tecnologias.

Como próximos passos, o projeto avança para sua versão INCT INES 2.0 (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Engenharia de Software), com o objetivo de expandir sua abrangência e avaliar o impacto da tecnologia 5G em aplicações voltadas para cidades inteligentes.

Por fim, agradecemos pelo apoio recebido durante a realização deste trabalho, em especial, ao projeto 5G *Open Labs*, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao projeto INCT INES 2.0 por proporcionarem suporte financeiro para a condução desta pesquisa.

Referências

- Agiwal, M., Roy, A., and Saxena, N. (2016). Next generation 5g wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, 18(3):1617–1655.
- Eluwole, O. T., Udoh, N., Ojo, M., Okoro, C., and Akinyoade, A. J. (2018). From 1g to 5g, what next? *IAENG International Journal of Computer Science*, 45(3).
- Gohar, A. and Nencioni, G. (2021). The role of 5g technologies in a smart city: The case for intelligent transportation system. *Sustainability*, 13(9).
- Gupta, A. and Jha, R. K. (2015). A survey of 5g network: Architecture and emerging technologies. *IEEE Access*, 3:1206–1232.
- Kirmiziloglu, R. A. and Tekalp, A. M. (2019). Multi-party webrtc services using delay and bandwidth aware sdn-assisted ip multicasting of scalable video over 5g networks. *IEEE Transactions on Multimedia*, 22(4):1005–1015.
- Santos-González, I., Rivero-García, A., Molina-Gil, J., and Caballero-Gil, P. (2017). Implementation and analysis of real-time streaming protocols. *Sensors*, 17(4):846.