

Brasil 6G

Projeto Brasil 6G

Aplicações para Redes 6G e Integração (atividades 6.1 e 6.2)

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO DE JANEIRO



08/05/2024

Histórico de Atualizações:

Versão	Data	Autor(es)	Notas
1	08/05/2024	Aldebaro Klautau (UFPA) Anderson Reis Rufino Marins (Inatel) Arismar Cerqueira Sodré Júnior (Inatel) Daniely Gomes Silva (Inatel) Diego Gabriel Soares Pivoto (Inatel) Egídio Raimundo Neto (Inatel) Felipe A. P. de Figueiredo (Inatel) Gustavo Dias de Oliveira (UFG) João Borges (UFPA) Juliano Silveira Ferreira (Inatel) Luan Gonçalves (UFPA) Matheus Sêda Borsato Cunha (Inatel) Rafaella L. Dias (Inatel) Sand Correa (UFG) Samuel Baraldi Mafra (Inatel)	Elaboração de conteúdo
2	08/05/2024	Diego Gabriel Soares Pivoto (Inatel) Matheus Sêda Borsato Cunha (Inatel) Juliano Silveira Ferreira (Inatel)	Revisão de texto

Lista de Figuras

1	Visão da arquitetura 6G proposta com possíveis aplicações candidatas a serem integradas à plataforma, incluindo rede de acesso e núcleo da rede (Diego Pivoto).	9
2	Diagrama do processo de transmissão de vídeo em tempo real para app 1 e app 2.	13
3	Captura de tela mostrando o resultado da produção de uma ortoimagem com fotos obtidas da área da fazenda disponibilizada para testes.	15
4	Ambiente virtual de plantação feito no <i>software</i> Unreal Engine.	16
5	<i>Drone</i> sobre a plantação durante um voo simulado.	16
6	Comparação entre capturas de imagens utilizando as câmeras RGB e de segmentação disponíveis no <i>drone</i> simulado.	17
7	Amostra de padrão de infestação utilizado no treino e teste da rede de segmentação semântica.	18
8	Comparação entre área infestada e saída da rede.	18
9	Número de objetos por classe.	20
10	Detecções feitas pelo modelo YOLOv8x.	21
11	Matriz de confusão.	21
12	Curva de Precisão-Recall.	22
13	Gráficos de perdas e métricas de classificação.	22
14	Arquitetura básica para aplicações AR/MR.	24
15	Fluxo de funcionamento do MR-Leo.	26
16	Aplicação de Realidade Mista em operação no servidor.	27
17	Interface do App MRLeo.	27
18	Funções de Distribuição Acumulada para o FRTT e para o tempo de processamento do ORB-SALM2.	28
19	Análise detalhada do tempo médio de processamento de um quadro de vídeo.	29
20	Aplicação de Realidade Mista rodando no <i>smartphone</i>	30
21	Diagrama em Blocos da Arquitetura do Sistema Proposto.	32
22	Dados dos sensores LiDAR combinados para o caso de 16 quadrantes.	33
23	Dados dos sensores LiDAR combinados para o caso de 64 quadrantes.	34
24	Laboratório didático utilizado, os sensores LiDAR e suas posições no espaço.	34
25	Diagrama do cenário de integração da arquitetura <i>NovaGenesis</i> (NG) com <i>Internet of Things</i> (IoT) para monitoramento de sensores de campo.	37
26	Resultados obtidos sobre análise de perda de mensagens com NG usando tecnologia <i>Long Range</i> (LoRa).	39
27	Resultados obtidos sobre análise de recebimento de mensagens fora de ordem.	40
28	Resultados obtidos sobre análise de <i>Round Trip Time</i> (RTT) no cenário proposto, medido na aplicação <i>IoTTestApp</i> quando subscrevendo uma amostra de temperatura do <i>Publish/Subscribe Service</i> (PSS) no <i>laptop</i>	41
29	Cenário de integração entre NG com suporte à LoRa e plataforma proposta pelo Projeto Brasil 6G.	42
30	Diagrama da App 12: Aplicações Prioritárias para o Agronegócio.	45
31	<i>Setup</i> de testes das aplicações prioritárias para o agronegócio.	47
32	Configuração do <i>gateway</i> LoRa WISE 6610.	48
33	<i>Dashboard</i> com a visualização das informações coletadas dos dispositivos.	49
34	Alternativas de dispositivos e meios de acesso ao metaverso proposto.	50

35	Apresentação da visão geral do ambiente de metaverso proposto e passo-a-passo para o usuário acessar o espaço virtual via <i>web</i>	52
36	Ambiente do laboratório do CRR no metaverso.	53
37	Set-up de teste de acesso ao ambiente do laboratório do CRR no metaverso. . .	53
38	Diagrama de blocos da solução de controle de pragas	56
39	Detalhes da armadilha inteligente	56
40	Equipamentos para experimentos de campo	57
41	Mapa de calor como resultado de transmissão de dados	58
42	Vista aérea da plantação escolhida para validação da plataforma	62
43	Pontos de medida de RSSI na plantação	62
44	Detecção das doenças encontradas na plantação durante a validação	63
45	Arquitetura do sistema de monitoramento de vacas usando IoT.	64
46	Case impresso em 3D para colar de monitoramento de gado.	65
47	Pontos de medição de <i>Received Signal Strength Indication</i> (RSSI) em área rural. .	67
48	Visão do <i>dashboard</i> de monitoramento de informações do gado.	67

Lista de Tabelas

1	Frequências inicialmente consideradas para testes da rede de acesso Brasil 6G. . .	4
2	Frequências de operação das principais rede de comunicação complementares. . .	5
3	Relação entre aplicações candidatas à integração com a plataforma do projeto, a rede de acesso, e o núcleo da rede para a arquitetura 6G proposta.	10
4	Tempo médio de pré-processamento e inferência do YOLOv8x.	22
5	Pontuação de cada classe presente na base de dados de forma individual.	61
6	Os valores de RSSI apresentados e seus respectivos pontos.	61
7	Medidas de distância versus RSSI.	66

Acrônimos

2D bidimensionais

3D tridimensionais

3GPP *3rd Generation Partnership Project*

6G Sexta Geração de Rede Móvel Celular

AMD *Advanced Micro Devices*

AP *Access Point*

API *Application Programming Interfaces*

AR *Augmented Reality*

AVR *Augmented Virtuality*

AR/VR *Augmented and Virtual Realities*

AWS *Amazon Web Services*

BNDES Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BS *Base Station*

CBB *Coffee Berry Borer*

CDF *Cumulative Distribution Function*

CPU *Central Process Unit*

CRR *Centro de Referência em Radiocomunicações*

CV *Computational Vision*

DFL *Dual Focal Loss*

DL *Deep Learning*

EPGS *Embedded Proxy Gateway Service*

FIA *Future Internet Architecture*

FRTT *Fixed Round-Trip Time*

GIRS *Generic Indirection Resolution Service*

GNSS *Global Navigation Satellite Systems*

GPS *Global Positioning System*

GPU *Graphics Processing Unit*

HTS *Hash Table Service*

IA *Inteligencia Artificial*

ICT Lab *Information and Communications Technologies Laboratory*

Inatel Instituto Nacional de Telecomunicações

IoT *Internet of Things*

IoT RG *Internet of Things Research Group*

IP *Internet Protocol*

JSON *JavaScript Object Notation*
LiDAR *Light Detection and Ranging*
LoRa *Long Range*
LPWAN *Low-Power Wide-Area Network*
mAP *mean Average Precision*
MCTIC *Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações*
ML *Machine Learning*
MQTT *Message Queuing Telemetry Transport*
MR *Mixed Reality*
MR-Leo *Mixed Reality Linköping Edge Offloading*
MS COCO *Microsoft Common Objects in Context*
MVE *Multi-View Environment*
N3IWF *Non-3GPP Interworking Function*
NG *NovaGenesis*
NRNCS *Name Resolution and Network Cache Service*
ORB *oriented FAST and Rotated BRIEF*
PGCS *Proxy/Gateway/Controller Service*
PIB *Produto Interno Bruto*
PLA *Poliácido Láctico*
PSS *Publish/Subscribe Service*
RAM *Random Access Memory*
RF *Radio Frequency*
RIS *Reconfigurable Intelligent Surface*
RNA *Rede Neural Artificial*
RSSF *Redes de Sensores Sem Fio*
RSSI *Received Signal Strength Indication*
RTMP *Real Time Messaging Protocol*
RTT *Round Trip Time*
SDR *Software Defined Radio*
SEFICE *Serviço Especial para Fins Científicos e Experimentais*
SfM *Structure from Motion*
SLAM *Simultaneous Localization And Mapping*
SSD *Solid State Drive*
THz *Terahertz*
TTN *The Things Network*

TVWS *TV White Space*

UAV *Unmanned Aerial Vehicle*

UE *User Equipment*

UHF *Ultra High Frequency*

UPF *User Plane Function*

VM *Virtual Machine*

VR *Virtual Reality*

Wi-Fi *Wireless Fidelity*

WOCA *Wireless and Optical Convergent Access*

YOLO *You Only Look Once*

Sumário

1	Introdução	1
2	Frequências de operação da rede de acesso e redes complementares	3
2.1	Transceptor Brasil 6G	3
2.2	Redes de comunicação complementares	4
3	Aplicações para Redes 6G com foco em Casos de Uso de Interesse Nacional	6
4	Exemplos de Aplicações Candidatas para o Projeto Brasil 6G: Concepção, Desenvolvimento, Testes e Meios de Integração	11
4.1	Aplicações Envolvendo a Transmissão de Vídeo Provenientes de <i>Drones</i> (Aplicações 1 e 2)	11
4.1.1	Técnica para Transmissão de vídeo via <i>Drone</i>	12
4.2	Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 1: Sensoriamento remoto baseado em UAV	13
4.2.1	Geração de ortoimagens por meio de imagens obtidas com <i>drone</i> conectado à rede	13
4.2.2	Identificação de áreas com infestação de ervas daninhas por meio de imagens aéreas geradas em ambiente virtual	14
4.2.3	Definição de <i>Workflow</i> de Geração de Dados Sintéticos para Treino de Modelos de <i>IA</i> Assumindo uma Plantação de Cana-de-açúcar	16
4.3	Desenvolvimento e Experimentação da Aplicação 2: <i>IA</i> para Identificação de Elementos em Áreas Rurais	17
4.3.1	Modelo de detecção de objetos em tempo real	19
4.3.2	Base de dados	19
4.3.3	Resultados do treinamento do modelo de detecção de objetos	19
4.3.4	Pré-requisitos e Preparação para Experimentações Futuras da Aplicação 2	23
4.4	Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 3: Realidade Mista	23
4.4.1	Aplicações potenciais com uso de Realidade Mista	24
4.4.2	Protótipo do MR-Leo	25
4.4.3	Pré-requisitos, Instalação do Cenário e Configuração	25
4.4.4	Caderno de Experimentação	26
4.4.5	Experimentos de Validação, Resultados e Análise	27
4.4.6	Avaliação de Desempenho do ORB-SLAM2	28
4.4.7	Testes com a aplicação MR-Leo	29
4.4.8	Experimentos para Demonstração	30
4.5	Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 4: Aplicações de Tecnologias de Posicionamento e Sensoriamento para Redes 6G utilizando LiDAR	30
4.5.1	Aplicações de Posicionamento e Sensoriamento com uso de LiDAR	30
4.5.2	Experimentos realizados	32
4.6	Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 5: NovaGenesis para IoT	35
4.7	Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 6: Aplicações Prioritárias para o Agronegócio	41
4.7.1	Monitoramento de condições climáticas e meteorológicas	42
4.7.2	Monitoramentos de parâmetros do solo	43
4.7.3	Monitoramento e rastreamento de rebanho	43

4.7.4	Dispositivos de IoT para sensoriamento, monitoramento e controle remoto	44
4.7.5	Detalhes da implementação prática das aplicações prioritárias para o agronegócio	44
4.8	Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 7: Metaverso para Áreas Remotas	48
4.9	Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 8: Armadilha inteligente usando IoT para controle de peste em plantações de café	54
4.9.1	Arquitetura da solução	55
4.9.2	Testes e validações	56
4.10	Experimentação com a Aplicação 9: Plantação de morango inteligente usando IoT	58
4.10.1	Testes e validação	59
4.10.2	Conclusões sobre a Aplicação em Campo	63
4.11	Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 10: Coleira de monitoramento de vacas usando IoT	63
4.11.1	Arquitetura da aplicação de coleira de monitoramento de vacas usando IoT	64
4.11.2	Testes e validações	66
5	Conclusão	68

1 Introdução

Diego Gabriel Soares Pivoto, Juliano Silveira Ferreira

O Projeto Brasil 6G tem como meta principal conceber e desenvolver uma plataforma para a realização de experimentações e testes envolvendo diferentes tecnologias candidatas a compôr a futura rede de comunicação, a Sexta Geração de Rede Móvel Celular (6G), assim como avaliar aplicações e demandas associadas a esta. A arquitetura inicialmente proposta para a plataforma Brasil 6G e a rede de acesso Brasil 6G foram apresentadas no relatório [1], enquanto possíveis aplicações candidatas para a futura rede foram apresentadas e discutidas nos relatórios [2] e [3].

O presente relatório integra os conteúdos inicialmente previstos nas atividades 6.1 e 6.2. Esta integração foi realizada a fim de facilitar a organização e apresentação das informações e resultados inicialmente previstos pelas duas atividades. A atividade 6.1 foi prevista para avaliar e apresentar um conjunto de aplicações que possam explorar as funcionalidades das redes 6G para a oferta de serviços inovadores, com um foco especial em casos de uso mais significativos para o cenário brasileiro. Já o relatório 6.2 foi inicialmente previsto para mostrar detalhes da integração, estudos e testes de diferentes algoritmos e soluções considerados nas metas 3, 4 e 5 do projeto. Desta forma, o presente relatório apresenta as principais aplicações mapeadas e concebidas ao longo da execução do Projeto Brasil 6G, assim como os principais testes e resultados alcançados em cada uma delas. Porém, é importante ressaltar que cada aplicação tem seu propósito específico, bem como ambiente de implementação e de testes e que encontram-se em diferentes estágios de integração e maturidade.

É importante salientar que a rede de acesso Brasil 6G, um dos elementos principais que integra a plataforma Brasil 6G, foi concebida tendo como prioridade atender a uma demanda de comunicação nacional, também existente em diversos outros países, visando prover conectividade para áreas remotas e rurais. Dentro deste contexto, diversas aplicações podem ser viabilizadas e alavancadas a partir da disponibilização de conectividade, destacando-se, por exemplo, aquelas associadas à agropecuária e ao agronegócio. Para o cenário nacional, a agropecuária tem uma grande importância socioeconômica, sendo responsável por 24,8% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil no ano de 2022 [4]. Desta forma, potencializar aplicações que permitam a melhoria da produtividade e redução de custos na agropecuária tem um grande potencial de impacto socioeconômico para o país. Portanto, o grande foco das aplicações avaliadas e testadas ao longo do Projeto Brasil 6G refere-se à aplicações em áreas remotas ou rurais, envolvendo diversas tecnologias emergentes, como IoT, Inteligência Artificial (IA), e metaverso.

Embora as principais aplicações consideradas se apliquem ao agronegócio, requisitos similares de conectividade podem ser aplicados à outros cenários, onde aplicações de diferentes contextos também podem ser compatíveis e conseqüentemente suportados pela plataforma Brasil 6G. Dentre os mais diversos cenários possivelmente suportados, podem-se destacar aplicações relacionadas à, por exemplo, inclusão digital, educação, sensoriamento e controle remoto aplicado à indústria, cidades e fazendas inteligentes, aplicações de segurança, monitoramento de barragens e linhas férreas, dentre outras.

Visando atingir seus objetivos, o presente relatório foi organizado da seguinte maneira: a Seção 2 mostra uma visão das frequências previstas para a rede de acesso Brasil 6G, bem como das redes sem fio complementares previstas para suportar as aplicações da plataforma Brasil 6G. A Seção 3 apresenta sucintamente possíveis cenários de aplicações para as redes 6G, destacando as aplicações mapeadas como possíveis candidatas à serem implementadas na plataforma do Projeto Brasil 6G e que estão alinhadas aos casos de uso de interesse nacional. Já a Seção 4,

descreve detalhadamente as aplicações candidatas para a integração à plataforma Brasil 6G, destacando seus objetivos, ambiente de desenvolvimento, principais tecnologias e algoritmos implementados, cenários de integração com a plataforma, além de testes e resultados obtidos. Por fim, a Seção 5 apresenta as considerações e conclusões finais do presente relatório.

2 Frequências de operação da rede de acesso e redes complementares

Juliano Silveira Ferreira

A realização de testes funcionais da rede de acesso Brasil 6G considera inicialmente que a mesma será integrada com dispositivos que operam com outros padrões de comunicação sem fio, como por exemplo, Wi-Fi, LoRa, e Sigfox. Esta integração permite que a plataforma ofereça compatibilidade com soluções e padrões comerciais, além de evidenciar as diversas aplicações que podem ser viabilizadas a partir da rede de acesso desenvolvida.

A seguir, estão apresentados detalhes sobre a faixa de frequência de operação inicialmente selecionada para a rede de acesso Brasil 6G, bem como das demais tecnologias e padrões de comunicação sem fio considerados para a integração com tal rede, formando uma rede de comunicação complementar.

2.1 Transceptor Brasil 6G

A rede de acesso Brasil 6G foi concebida visando estabelecer enlaces de comunicação de longas distâncias e atender, assim, a demanda nacional relativa à falta de conectividade em áreas remotas e rurais. Devido a isso, optou-se pelo emprego da faixa de frequências de *Ultra High Frequency* (UHF) para a rede de acesso. Esta faixa de frequência é inferior à adotada pelos padrões de comunicação móveis atuais, assim como as faixas elencadas como candidatas à compôr a futura rede de comunicação móvel, o 6G, que considera o uso de frequências da ordem de Terahertz (THz). A faixa de UHF foi selecionada por favorecer a comunicação em longas distâncias, uma vez que sofre menor atenuação devido à propagação do sinal no espaço livre em relação às frequências mais elevadas. Além disso, um fator adicional e favorável à adoção desta faixa se refere ao fato de haver, normalmente, muitas frequências livres ou desocupadas nas áreas remotas e rurais. Sendo assim, o sistema pode operar otimizando o uso do espectro da faixa de UHF, o que caracteriza a solução da rede de acesso Brasil 6G também como um sistema pioneiro e inovador de *TV White Space* (TVWS).

Visando propiciar a realização de testes práticos da rede de acesso Brasil 6G na cidade de Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, foi solicitado à Anatel uma licença do tipo Serviço Especial para Fins Científicos e Experimentais (SEFICE). Neste processo, foram solicitados 4 canais de TV para cada enlace de comunicação (*downlink* e *uplink*), totalizando a largura máxima de 24 MHz por enlace. As frequências específicas solicitadas foram definidas a partir da análise do espectro desocupado na cidade citada, bem como da análise da estimativa de cobertura do sinal considerando a estação rádio base instalada em um abrigo com torre localizado em uma serra do mesmo município. As frequências solicitadas para cada enlace de comunicação que foram inicialmente consideradas para testes práticos da rede de acesso Brasil 6G e solicitadas à Anatel encontram-se apresentadas na Tabela 1.

Vale ressaltar que a etapa de geração e recepção do sinal de *Radio Frequency* (RF) do transceptor Brasil 6G, que utiliza o conceito de *Software Defined Radio* (SDR) para a sua implementação, pode ser configurado para uma ampla gama de faixas de frequências, desde 10 MHz até 6 GHz. Porém, as etapas de RF complementares ao transceptor, como *duplexers*, isoladores e amplificadores, foram especificados para a operação na faixa de UHF, conforme detalhado nos relatórios [1] e [5].

Tabela 1: Frequências inicialmente consideradas para testes da rede de acesso Brasil 6G.

Enlace	Canal UHF	Faixa de frequências MHZ
<i>Downlink</i>	27	548 a 554
	28	554 a 560
	29	560 a 566
	30	566 a 572
<i>Uplink</i>	47	668 a 674
	48	674 a 680
	49	680 a 686
	50	686 a 692

2.2 Redes de comunicação complementares

Conforme mencionado anteriormente, considera-se a integração do transceptor Brasil 6G com diversos dispositivos comerciais que operam com diferentes padrões de comunicação, formando, por sua vez, uma rede de comunicação complementar à rede de acesso Brasil 6G. Esta integração demonstra a compatibilidade da rede concebida com diferentes padrões e soluções comerciais, possibilitando que diferentes aplicações possam ser viabilizadas a partir da rede de acesso Brasil 6G. Considera-se que diversos roteadores e *gateways* comerciais serão integrados ao transceptor Brasil 6G, dentre os quais pode-se destacar: roteador Wi-Fi, *gateways* LoRa e Sigfox, além de concentradores de padrões proprietários, como aqueles considerados pela empresa Davis *Instruments*, fabricante de estações meteorológicas e estações de monitoramento de condições de solo, de forma a atender aplicações integradas à rede de acesso. A Tabela 2 apresenta um resumo das principais redes de comunicação complementares inicialmente consideradas, suas frequências de operação e alguns exemplos de possíveis aplicações ou uso associados à tal rede.

Uma vez que os concentradores e *gateways* estão integrados à rede de acesso Brasil 6G, é possível que outros dispositivos comerciais que operam com estes mesmos padrões possam ser integrados ao sistema, viabilizando, assim, diferentes aplicações emergentes. Além da possibilidade de integração via redes sem fio previamente mencionadas, o transceptor Brasil 6G considera também sua integração via rede cabada, por meio de um *switch* Ethernet.

Tabela 2: Frequências de operação das principais rede de comunicação complementares.

Padrão	Frequência de operação	Exemplos de aplicação
Wi-Fi	2,4 GHz IEEE 802.11 n/b/g	Acesso à internet, integração com drones, IoT e sensoriamentos diversos (umidade, temperatura, tensão, etc).
LoRa	923 MHz	Monitoramento de maquinário agrícola, detecção de pragas, IoT e sensoriamentos diversos (umidade, temperatura, tensão, etc.)
Sigfox	902 MHz	Monitoramento de rebanho.
Padrão proprietário (Ex. Davis <i>Instruments</i>)	868 MHz	Comunicação com estação meteorológica e estação de solo.

3 Aplicações para Redes 6G com foco em Casos de Uso de Interesse Nacional

Diego Gabriel Soares Pivoto, Juliano Silveira Ferreira

As redes de comunicação 6G, em fase de pesquisa e concepção, prometem proporcionar avanços significativos em relação às capacidades das redes 5G, oferecendo maior qualidade de serviço e experiência aos usuários. Tem-se a expectativa de que a rede 6G impacte e potencialize aplicações em diversos setores, como por exemplo, entretenimento, transporte, indústria, educação, cidades inteligentes, dentre outras.

No setor da saúde, as redes 6G prometem revolucionar a telemedicina, oferecendo suporte para consultas virtuais tridimensionais (3D) e cirurgias assistidas por robôs, possibilitando procedimentos médicos à distância com precisão e eficácia sem precedentes. Além disso, o monitoramento remoto de pacientes será amplamente beneficiado com dispositivos vestíveis e implantáveis, transmitindo dados de saúde em tempo real, permitindo uma resposta rápida à emergências médicas e um acompanhamento contínuo do bem-estar dos pacientes. A capacidade de realizar diagnósticos assistidos por IA, analisando grandes conjuntos de dados de saúde de forma rápida e eficiente, também será uma realidade, prometendo e tratamentos personalizados e precisos.

Na área de transporte e mobilidade, as redes 6G facilitarão a comunicação entre veículos autônomos e a infraestrutura de trânsito, melhorando significativamente a segurança e eficiência do transporte. A logística inteligente se beneficiará da otimização de rotas em tempo real, reduzindo custos e impactos ambientais com a ajuda de sistemas avançados de gerenciamento de frota.

A indústria e manufatura experimentarão um salto com as fábricas inteligentes, onde robôs e máquinas conectadas poderão comunicar-se instantaneamente para otimizar processos de produção. A manutenção preditiva, utilizando sensores IoT para prever falhas em equipamentos, minimizará interrupções e maximizará a eficiência produtiva.

No âmbito da educação, a *Augmented and Virtual Realities* (AR/VR) e ambientes de metaverso viabilizarão novas possibilidades para o aprendizado, com salas de aula virtuais imersivas oferecendo experiências educacionais ricas e personalizadas. O acesso universal à educação se tornará uma realidade mais próxima, com conexões de alta velocidade disponibilizando recursos educacionais de qualidade a estudantes de qualquer lugar do mundo.

O setor de entretenimento e mídia verá a realização de eventos virtuais imersivos, como concertos e competições esportivas em realidade virtual, alcançando audiências globais. Os jogos na nuvem e os esportes eletrônicos serão beneficiados por uma jogabilidade com latência mínima, permitindo experiências mais ricas e competitivas.

As cidades inteligentes utilizarão as redes 6G para transformar a gestão urbana, implementando soluções avançadas para tráfego, energia, segurança e gestão de recursos naturais. A segurança pública e os serviços de emergência serão aprimorados com comunicações mais confiáveis e análise de dados em tempo real, assegurando respostas rápidas a incidentes e emergências.

Considerando o contexto nacional, com seu vasto território, o Brasil apresenta uma grande disparidade na distribuição de acesso à Internet, deixando muitas áreas rurais e remotas sem a infraestrutura necessária para se conectar. Esta lacuna na conectividade não apenas isola essas regiões, mas também limita seu potencial de desenvolvimento e contribuição para a economia nacional.

A implementação de conectividade em áreas remotas pode permitir a integração dessas localidades à Indústria 4.0, por meio de um avançado sensoriamento e monitoramento em tempo real, e também elevar significativamente os padrões de segurança e sustentabilidade ambiental. Por exemplo, o controle de barragens e o acompanhamento preciso de maquinários pesados, como escavadeiras, crucialmente importantes para o contexto nacional, tornam-se plenamente viáveis, mesmo nos locais mais inacessíveis. Isso resulta em uma gestão mais eficiente dos recursos naturais, minimização dos riscos de desastres ambientais e promoção de práticas responsáveis. Em essência, a expansão da conectividade inteligente em áreas até então negligenciadas pavimenta o caminho para um desenvolvimento mais inclusivo e ambientalmente consciente.

Além disso, dado que o Brasil é reconhecido como um dos principais produtores e exportadores agrícolas, o investimento de conectividade e aplicações voltadas ao setor agropecuário, que muitas vezes estão localizados em áreas rurais remotas e sem acesso à Internet, é extremamente importante para a criação das chamadas fazendas inteligentes e para o crescimento econômico do país.

Fornecer conectividade para áreas remotas e rurais no Brasil é um desafio significativo, mas também uma oportunidade crucial para impulsionar o desenvolvimento socioeconômico e a inclusão digital nacional. A importância de expandir a conectividade nessas áreas transcende várias dimensões, desde a melhoria da qualidade de vida dos habitantes até o impulso na competitividade dos setores agrícola e industrial.

Além disso, para o setor agrícola, que desempenha um papel crucial na economia brasileira, a conectividade pode significar a adoção de práticas de agricultura inteligente. Isso inclui monitoramento de culturas em tempo real, gestão eficiente de recursos e otimização de processos, que podem aumentar significativamente a produção e a sustentabilidade. A tecnologia digital, portanto, tem o potencial de transformar a agricultura tradicional em uma atividade mais produtiva e menos impactante ao meio ambiente.

A inclusão digital também desempenha um papel fundamental na democratização do acesso à informação, permitindo que indivíduos em áreas remotas participem da economia digital. Isso não só abre novas oportunidades de emprego e renda, mas também fomenta o empreendedorismo local e a inovação. A conectividade pode habilitar pequenos produtores e empresários a acessar novos mercados, gerenciar melhor suas atividades e integrar cadeias de valor mais amplas.

Baseado nas informações previamente mencionadas e visando os casos de uso de impacto e interesse mais significativos para o cenário brasileiro, a Figura 1 ilustra uma proposta inicial de integração à plataforma Brasil 6G, apresentando o mapeamento de alguns exemplos de possíveis aplicações eleitas como estratégicas para atender às demandas nacionais no contexto de áreas remotas e rurais. Desta forma, na parte direita da figura citada, pode-se verificar que no Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) está instalado o núcleo da rede, denominado de *Proto 6G Core*, responsável por permitir a autenticação e acesso à rede de cada terminal de usuário ou *User Equipment (UE)*, bem como viabilizar o acesso à Internet. Além disso, a estrutura do Inatel prevê servidores para a implementação de diversos *softwares* e tecnologias para prover suporte à diferentes aplicações, podendo ser executados em *Virtual Machines (VMs)*. Na parte central da figura, tem-se a estação rádio base da rede de acesso Brasil 6G, ou *Base Station (BS)*, identificado na figura como BS-T6G, responsável por prover conectividade às UEs, representados na parte esquerda da ilustração como UE-T6G. A BS deve ser instalada em um local estratégico, como em um local de grande altitude, de modo a permitir a comunicação com as UEs. Por outro lado, as UEs podem ser instaladas em localidades remotas, como por exemplo em fazendas, viabilizando o desenvolvimento de aplicações relacionadas aos casos

de uso de interesse nacional, conforme previamente discutido. Por fim, a parte esquerda da Figura 1 também mostra a integração de diversos exemplos de aplicações em uma fazenda a partir de diferentes UEs. Estas aplicações foram agrupadas considerando a tecnologia de acesso disponível na área rural, a UE cadastrada no núcleo da rede, e principalmente o destino dos dados coletados para o seu posterior processamento.

A Tabela 3 apresenta a identificação e detalhes de cada aplicação mapeada como possível candidata a ser integrada à plataforma proposta. É importante destacar que a integração das aplicações à plataforma Brasil 6G dependerá de fases seguintes do projeto, bem como da evolução individual de cada aplicação e dos respectivos meios de integração. Também deve-se considerar que novas aplicações podem ser inclusas como candidatas à integração na plataforma Brasil 6G. A tabela mostra, para cada aplicação, o tipo de tecnologia ou rede de comunicação empregada, de modo que a mesma possa ser integrada à rede de acesso Brasil 6G. A tabela também propõe uma proposta inicial relacionada a qual terminal UE a aplicação seria instalada e qual seria a interface *User Plane Function* (UPF) do núcleo da rede associada à mesma. Também é evidenciado na tabela, para cada aplicação, qual seria o destino dos dados coletados, ou seja, qual servidor ou *dashboard* seriam destinados os dados coletados de cada aplicação para seu posterior processamento e análise.

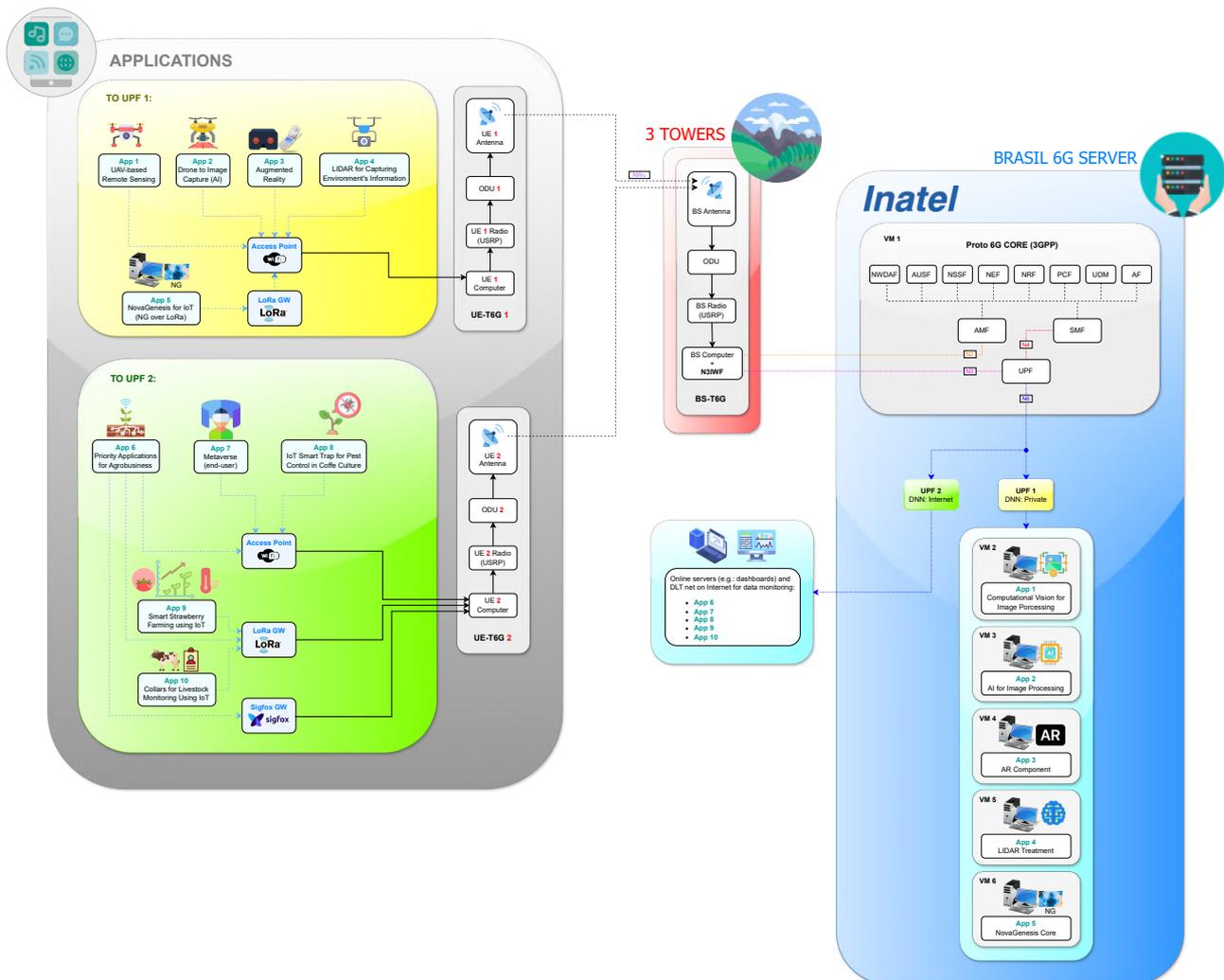


Figura 1: Visão da arquitetura 6G proposta com possíveis aplicações candidatas a serem integradas à plataforma, incluindo rede de acesso e núcleo da rede (Diego Pivoto).

Tabela 3: Relação entre aplicações candidatas à integração com a plataforma do projeto, a rede de acesso, e o núcleo da rede para a arquitetura 6G proposta.

Aplicação	Descrição	Tecnologia de Acesso na Fazenda para UE	UE Cadastrada no Núcleo	Conectividade via Núcleo	End-Node da Aplicação
App 1	Sensoriamento remoto baseado em UAV	Wi-Fi	UE 1	Rede privada (UPF 1)	Servidor privado (VM 2)*
App 2	<i>Drone</i> para captura de imagem/vídeo para detecção de objetos	Wi-Fi	UE 1	Rede privada (UPF 1)	Servidor privado (VM 3)*
App 3	Realidade mista	Wi-Fi	UE 1	Rede privada (UPF 1)	Servidor privado (VM 4)*
App 4	LiDAR para captura de informações do ambiente	Wi-Fi	UE 1	Rede privada (UPF 1)	Servidor privado (VM 5)*
App 5	NovaGenesis para IoT	LoRa/ Wi-Fi	UE 1	Rede privada (UPF 1)	Servidor privado (VM 6)*
App 6	Aplicações prioritárias para o agronegócio	Wi-Fi, LoRa, Sigfox, e Protocolo Proprietário	UE 2	Rede Internet (UPF 2)	<i>Dashboard</i> para monitoramento
App 7	Aplicação de Metaverso na fazenda para áreas remotas (<i>end-user</i>)	Wi-Fi ou Cabo Ethernet	UE 2	Rede Internet (UPF 2)	Servidor <i>online</i> com ambiente de Metaverso
App 8	Armadilha inteligente usando IoT para controle de peste em plantações de café	Wi-Fi	UE 2	Rede Internet (UPF 2)	<i>Dashboard</i> para monitoramento
App 9	Plantação de morango inteligente usando IoT	LoRa	UE 2	Rede Internet (UPF 2)	<i>Dashboard</i> para monitoramento
App 10	Coleira para monitoramento de vacas usando IoT	LoRa	UE 2	Rede Internet (UPF 2)	<i>Dashboard</i> para monitoramento

* *Virtual Machines (VMs) executadas dentro do Servidor Brasil 6G, que contém o núcleo da rede na VM 1. As VMs 2, 3, 4, 5, e 6, são conectadas ao núcleo (VM 1) através da UPF 1.*

A Figura 1 e Tabela 3 contemplam ao todo 10 aplicações, identificadas como App 1 à App 10, e que foram concebidas ao longo do projeto Brasil 6G e evidenciadas como possíveis candidatas para integrarem a plataforma proposta. Conforme mencionado, são aplicações que visam atender demandas e interesses nacionais, principalmente associadas ao cenário de áreas remotas e rurais.

O conjunto de aplicações foi classificado em dois blocos ou grupos distintos de acordo com o direcionamento de tráfego de dados gerado pelas mesmas. Em resumo, App 1 à App 5 referem-se à aplicações conectadas em uma UE cujo plano de usuário é direcionado à uma UPF que se comunica com uma rede de dados privada. Essa rede privada é definida através de diferentes VMs que são capazes de realizar o processamento demandado pelas aplicações (*end-node*).

As aplicações entre App 6 e App 10 correspondem às aplicações cujo destino dos dados gerados e coletados é a Internet. Para tal, a Internet é a rede selecionada como direcionamento da UPF para atender à UE que conecta este conjunto de aplicações.

A seção a seguir apresenta em detalhes a concepção, testes e resultados obtidos das aplicações previamente mapeadas como possíveis candidatas para a integração na plataforma proposta do Projeto Brasil 6G.

4 Exemplos de Aplicações Candidatas para o Projeto Brasil 6G: Concepção, Desenvolvimento, Testes e Meios de Integração

Esta seção apresenta detalhes da concepção, desenvolvimento, integração e testes realizados nas principais aplicações eleitas como estratégicas para atender às demandas nacionais no cenário de áreas remotas e rurais. É importante destacar que cada aplicação mapeada para o Projeto Brasil 6G está em um estado particular de desenvolvimento. Conseqüentemente, os avanços em experimentações e testes realizados para cada aplicação estão diretamente relacionados ao seu respectivo grau de maturidade até o presente momento deste relatório. Além disso, também é imprescindível ressaltar que a definição das aplicações que serão integradas à plataforma Brasil 6G dependerá de fases seguintes do projeto, bem como da evolução particular de cada aplicação e sua compatibilidade de suporte à arquitetura proposta. Desta forma, é válido enfatizar que durante o desenvolvimento de possíveis novas fases do projeto, outras aplicações podem ser avaliadas e adicionadas como candidatas ao processo de integração à plataforma Brasil 6G.

Sendo assim, serão abordadas nas sub-seções seguintes as aplicações ilustradas na Figura 1 e mapeadas na Tabela 3, cujos detalhes apresentados estão diretamente relacionados ao grau de desenvolvimento e maturidade atingidos até o momento capazes de viabilizar a realização de testes práticos, incluindo testes realizados de forma isolada, assim como integrados à rede de acesso ou ao núcleo da rede propostos na arquitetura Brasil 6G.

4.1 Aplicações Envolvendo a Transmissão de Vídeo Provenientes de Drones (Aplicações 1 e 2)

João Borges (UFPA), Luan Gonçalves (UFPA), Ailton Oliveira (UFPA), Aldebaro Klautau (UFPA)

O uso de imagens aéreas de áreas rurais é capaz de viabilizar diversas aplicações dentro do contexto de monitoramento e gerenciamento de fazendas. Por exemplo, a transmissão de

imagens com alta qualidade e/ou baixa latência permite que estratégias para detecção de elementos de interesse, como áreas de plantações, veículos e edificações diversas, sejam executadas em tempo real por meio de análises geradas com IA.

Outro ponto interessante viabilizado pela melhoria do tráfego de dados é a possibilidade de realizar de maneira mais rápida a análise de uma área sobre a qual foi efetuado um sobrevoo, através de sensoriamento remoto baseado em ortoimagens. Esse tipo de dado é composto por imagens visualmente corrigidas para uso em mapeamento. Além disso, uma vez confeccionadas, dependendo do tipo de sensor utilizado na sua obtenção, elas podem permitir uma variedade de aplicações, dentre as quais pode-se citar:

- cálculo de perímetro;
- cálculo de área;
- cálculo de volume;
- geração de modelos de elevação.

É importante destacar que o armazenamento limitado de um *drone* exige a realização de diversos voos a fim de cobrir áreas extensas e/ou de obter uma grande quantidade de dados.

Assim, dada a disponibilidade de *drone* e câmera, além do potencial de melhor conectividade proporcionados pelo projeto, foram propostas demonstrações envolvendo a transmissão de vídeos do *drone* para uma base terrestre, cujo objetivo é a realização de aplicações voltadas para a detecção de elementos em áreas rurais por meio de IA, além de sensoriamento remoto.

4.1.1 Técnica para Transmissão de vídeo via *Drone*

Matheus Sêda Borsato Cunha

As aplicações de sensoriamento remoto baseado em *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) ou *drone* para captura de imagem/vídeo para detecção de objetos dependem da transmissão e análises do vídeo em tempo real. Tais aplicações podem ser consideradas em ambientes do agronegócio, onde o uso de UAVs tem se tornado cada vez mais frequente. As imagens aéreas capturadas pelos *drones* fornecem uma inspeção rápida e eficiente de terrenos e culturas. Desta forma, as imagens podem ser transmitidas a um técnico para análise, evitando a presença deste profissional no local da colheita. Além disso, o processamento dessas imagens pode possibilitar a contagem e classificação de plantas. As câmeras multi-espectrais especiais e *softwares* podem ser empregados para, por exemplo, identificar doenças em plantas, insetos, pragas e porções de terra com estresse hídrico. Um outro exemplo de aplicação empregando-se *drones* no cenário agropecuário é a análise do perfil topográfico de fazendas.

A Figura 2 mostra o diagrama de aplicação implantado na rede de acesso Brasil 6G. O *drone* usado para capturar imagens é um modelo Mavic 2 Zoom do fabricante DJI. O vídeo capturado pelo *drone* é enviado em tempo real através da rede de acesso Brasil 6G para um servidor usando *Real Time Messaging Protocol* (RTMP). O fluxo de vídeo em tempo real pode ser acessado por qualquer dispositivo conectado à Internet que tenha acesso ao servidor de aplicações Brasil 6G. Este modelo de transmissão de dados via *drones* viabilizará as aplicações 1 e 2, que necessitam da captura de vídeo coletada no ambiente rural como base para realizar técnicas de IA relacionadas à sensoriamento remoto e detecção de objetos.

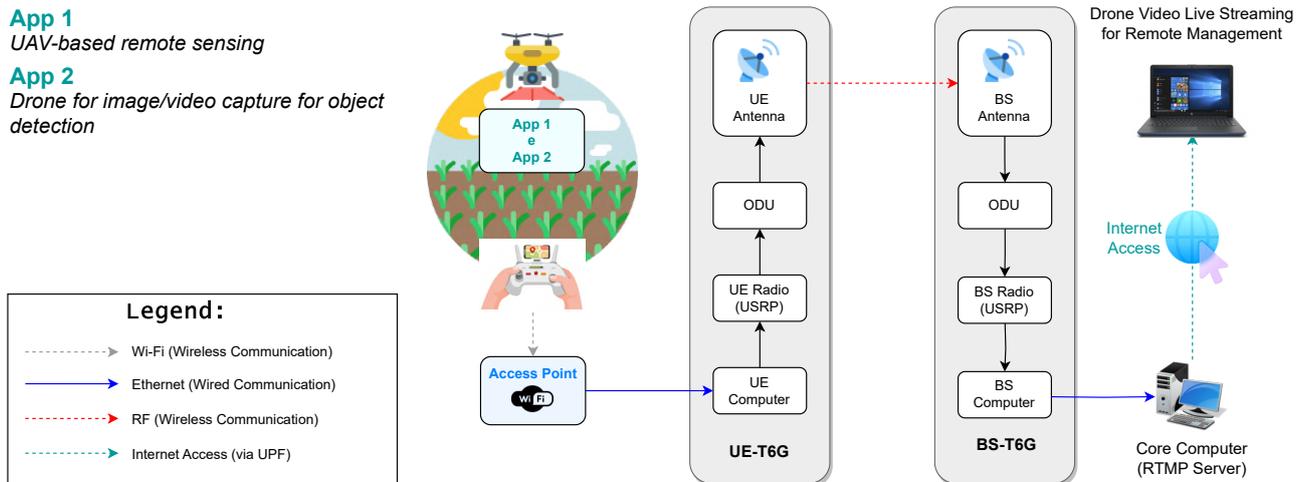


Figura 2: Diagrama do processo de transmissão de vídeo em tempo real para app 1 e app 2.

4.2 Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 1: Sensoriamento remoto baseado em UAV

João Borges (UFPA), Luan Gonçalves (UFPA), Ailton Oliveira (UFPA), Aldebaro Klautau (UFPA)

A seguir, estão apresentados detalhes envolvendo a concepção, desenvolvimento, e testes da aplicação de sensoriamento remoto baseado em UAV.

4.2.1 Geração de ortoimagens por meio de imagens obtidas com *drone* conectado à rede

Dada a disponibilidade do *setup* para a realização de *streaming* de vídeo da câmera do *drone* para uma estação terrestre durante o voo, iniciaram-se estudos relacionados à virtualização da área sobrevoada em uma modalidade *on-the-fly*, ou seja, durante a execução da missão. Tal processo é tradicionalmente realizado por meio da transferência *offline* de dados capturados pelo *drone* para uma estação terrestre, sendo uma primeira etapa dedicada ao voo e uma segunda etapa ao processamento das imagens.

Em tais missões, também é eventualmente necessária a execução de novos voos, seja para cobrir uma maior extensão da área desejada ou para corrigir imperfeições na captura de imagens de áreas já cobertas. O objetivo de realizar tal processo *on-the-fly* é usufruir da melhor conectividade para dispensar a necessidade de realizar diversos voos para a geração dessa virtualização, de modo a permitir que os dados não sejam limitados pela capacidade de armazenamento do *drone*, além de possibilitar gerar avaliações parciais dos resultados da virtualização durante a execução do voo.

Assim, nessa atividade, foram integradas ferramentas de *software* para permitir a geração de uma ortoimagem da área desejada em uma modalidade *on-the-fly*. Para isso, foi usado o *software open-source* OpenDroneMap com sua versão gráfica na *web*, o WebODM. Esse *software* provê ferramentas para a geração de ortoimagens, que tratam de imagens que passaram por processos de correção visual, de modo que possam ser usadas com o propósito de mapear uma determinada área, permitindo cálculos como medidas de perímetro e volume, além da geração de modelos de elevação, entre outras aplicações relacionadas ao sensoriamento remoto.

Para gerar uma ortoimagem a partir de um conjunto de fotos aéreas, primeiramente o OpenDroneMap faz uso de técnicas de *Structure from Motion* (SfM) para transformá-las em uma nuvem esparsa de pontos. Após isso, outra técnica chamada *Multi-View Environment* (MVE) é usada a fim de densificar essa nuvem esparsa, que é então transformada em um modelo 3D. Por fim, esse modelo resultante, que também pode ser visualizado separadamente, é utilizado para a geração da ortoimagem por meio de capturas de imagens sobre o modelo. Adicionalmente, além do OpenDroneMap, o *setup* preparado também faz uso do *software* FFmpeg, que realiza a captura de *frames* do *streaming* durante o voo. O objetivo é permitir que o computador que atua como estação terrestre possa receber imagens extraídas do *streaming* de vídeo ao longo da missão com uma determinada taxa de amostragem em segundos, para uso na geração de uma ortoimagem. Desse modo, é obtido um resultado parcial da missão, que segue sendo incrementado até o término do voo.

Para isso, o *software* desenvolvido segue uma série de passos. Primeiramente, o computador que opera como estação terrestre começa a consumir o *streaming* de vídeo gerado pelo *drone* conectado à rede. Após isso, é realizada a captura de *keyframes* do vídeo, seguindo a taxa de amostragem designada, sendo em seguida transferidos para o OpenDroneMap. Este *software*, por sua vez, realiza a geração da ortoimagem parcial, que neste ponto já pode ser visualizada na interface *web* gerada pelo WebODM. Esse conjunto de passos se repete até que a missão seja finalizada. Ao final da missão, é possível visualizar a ortoimagem completa, como mostrado na Figura 3.

4.2.2 Identificação de áreas com infestação de ervas daninhas por meio de imagens aéreas geradas em ambiente virtual

A utilização de dados gerados em ambiente virtual traz diversos benefícios, como a possibilidade de acrescentar maior quantidade e variedade de dados com menor esforço em relação ao que seria necessário ao usar dados reais. Nessa atividade, foram gerados dados sintéticos para uso na identificação de ervas daninhas.

Sendo assim, um ambiente virtual foi desenvolvido em uma ferramenta para jogos em ambientes 3D, denominado Unreal Engine 4. O *software* permite a geração de terreno por meio de ferramentas próprias, assim como a importação de modelos 3D provenientes de outros programas, incluindo ervas daninhas, cana-de-açúcar e tratores, criados no *software* Blender. O ambiente é demonstrado na Figura 4.

O *software* Unreal Engine 4 apresenta uma ferramenta de programação visual denominada *blueprint*, fundamentada na linguagem C++. Por meio dela, foi elaborado um algoritmo capaz de modificar de forma aleatória a disposição das ervas daninhas e da cana-de-açúcar, proporcionando diversidade de disposição de elementos no cenário. Já o programa AirSim possibilita a simulação de um voo autêntico com *drone*, reproduzindo aspectos mecânicos e ambientais inerentes à essa experiência real. Adicionalmente, o programa oferece a capacidade de simular câmeras, as quais foram configuradas para capturar duas imagens distintas: uma representando a visão real e outra exclusivamente com as ervas daninhas sobre fundo preto.

A criação do *dataset* utilizou um código implementado em linguagem Python que emprega os *softwares* AirSim e Unreal Engine. O referido código foi projetado para enviar comandos de ativação ao *drone*, conduzindo-o por trajetórias randômicas no ambiente mapeado. A geração ocorre em duas etapas: primeiramente, o *drone* executa um voo, no qual realiza a captura de imagens a cada intervalo de 10 segundos, sendo armazenadas em um diretório predefinido. Posteriormente, o código coordena a ativação de uma *blueprint*, responsável por reorganizar de



(a) Visão de cima.



(b) Visão lateral.

Figura 3: Captura de tela mostrando o resultado da produção de uma ortoimagem com fotos obtidas da área da fazenda disponibilizada para testes.

forma aleatória as ervas daninhas no cenário, gerando assim um padrão de infestação diferente e permitindo que uma nova amostra possa ser obtida durante o próximo sobrevoo. Ao mesmo tempo, a *blueprint* também ajusta levemente a posição da cana-de-açúcar, de maneira a preservar a ordenação em fila característica dessas plantações. A Figura 5 demonstra o *drone* sobre a plantação durante o início de um sobrevoo.

Com a ferramenta desenvolvida, é possível gerar os dados e realizar o treinamento de redes de segmentação semântica para a detecção da taxa de infestação em determinada área de análise. A metodologia para a geração de dados segue a seguinte lógica: inicialmente, é realizada a captura das imagens aéreas, obtidas com duas câmeras, sendo uma comum, apresentada na Figura 6(a), e uma especial, disponibilizada pelo AirSim e mostrada na Figura 6(b), onde os objetos de classes diferentes são coloridos artificialmente com colorações distintas.

As imagens obtidas com a câmera da Figura 6(a) são utilizadas como dados de entrada da rede, enquanto que as obtidas com a câmera da Figura 6(b) são usadas como rótulo após passarem por um processo de conversão para tons monocromáticos, onde as ervas daninhas são coloridas com a cor preta e todo o resto é convertido para a cor branca. Assim, obtém-se uma amostra de área com um determinado padrão de infestação, conforme ilustrado na Figura 7.

As amostras obtidas são passadas para uma rede U-Net, que é treinada para realizar uma tentativa de classificação de cada pixel da imagem como: (i) área infestada, ou (ii) área livre



Figura 4: Ambiente virtual de plantação feito no *software* Unreal Engine.

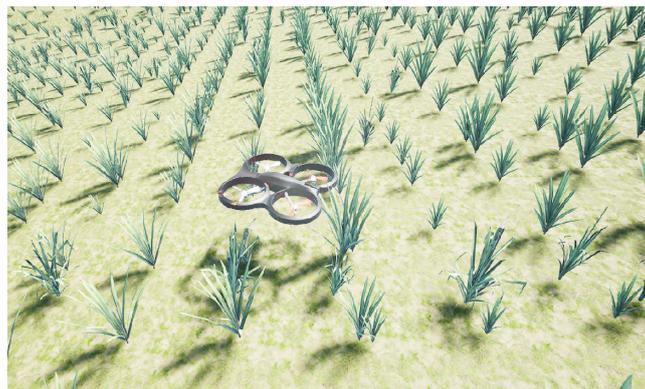


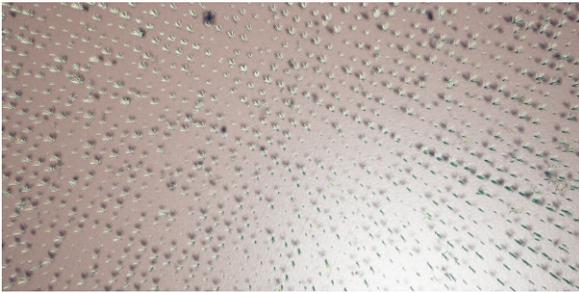
Figura 5: *Drone* sobre a plantação durante um voo simulado.

de infestação. Ao final do treinamento, a rede é usada em um conjunto de testes a fim de avaliar o seu desempenho dentro da aplicação de detecção de grau de infestação, utilizando uma medida de similaridade. Em cada imagem, a porcentagem de área infestada é obtida ao dividir o número total de *pixels* contendo daninhas pelo número total de *pixels* da imagem. Para uma predição ser considerada, foi determinado que ela apresente um valor mínimo de 50% de similaridade com o *ground-truth*, processo de geração de rótulos para as amostras, além de uma média de erro menor que 25 *pixels*, obtida ao calcular a média de todas as distâncias mínimas entre *pixel* na máscara predita e no *ground-truth*. A Figura 8 exemplifica uma amostra de área infestada e uma correspondente estimativa de área infestada.

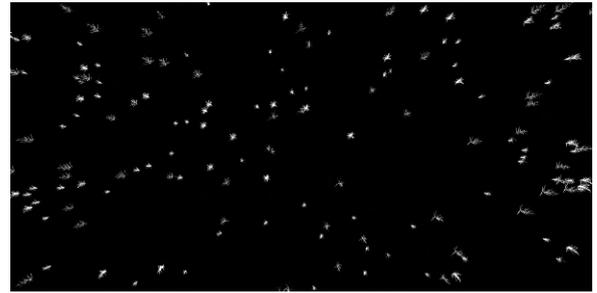
4.2.3 Definição de *Workflow* de Geração de Dados Sintéticos para Treino de Modelos de IA Assumindo uma Plantação de Cana-de-açúcar

A utilização de dados sintéticos favorece o treinamento de abordagens de IA, atuando no aumento da quantidade e da diversidade de dados disponíveis para a composição de um *dataset*. Isso se dá por meio da possibilidade de geração de novas amostras, tanto com conteúdo semelhante ao encontrado no ambiente real, quanto com a adição de novos elementos artificialmente.

Sendo assim, ao viabilizar a virtualização de uma determinada região, é possível gerar imagens que auxiliam em tarefas como a de detectar plantas invasoras dentro de uma determinada área de cultivo. Isso é possível devido ao ambiente virtual permitir adicionar uma quantidade variável de ervas daninhas à uma determinada plantação. Assim, durante o sobrevoo de um *drone* em um ambiente virtual, é possível obter conjuntos de dados para o cálculo da porcentagem de infestação de determinadas áreas, fazendo uso de técnicas como a segmentação semântica para a separação de plantas desejadas das indesejadas, permitindo a inferência do grau de ocupação de cada uma dentro das áreas analisadas.



(a) Captura de imagem obtida com a câmera RGB do *drone*. Estas imagens são entregues a uma *IA* para inferência de área infestada.



(b) Captura de imagem obtida com a câmera de segmentação do *drone*. Como estas imagens destacam em tons distintos os objetos de classes diferentes, elas são utilizadas na geração de rótulos para o treinamento da rede de segmentação semântica, visto que facilitam a identificação da localização de ervas daninhas.

Figura 6: Comparação entre capturas de imagens utilizando as câmeras RGB e de segmentação disponíveis no *drone* simulado.

Como vantagem, é válido ressaltar que em ambientes gerados virtualmente, o processo de geração de rótulos para as amostras denominado como *ground-truth* se torna mais simples, já que essa abordagem permite saber de antemão a localização de ervas daninhas. Outro ponto é que, caso essa área virtualizada esteja devidamente georreferenciada, também é possível realizar testes de voos inteligentes para o uso otimizado de produtos químicos para controle de pragas, de modo que bons resultados em ambiente virtual tenham maior potencial de manter sua performance quando usados no ambiente real.

4.3 Desenvolvimento e Experimentação da Aplicação 2: *IA* para Identificação de Elementos em Áreas Rurais

Rafaella L. Dias (INATEL), Felipe A. P. de Figueiredo (INATEL), João Borges (UFPA), Aldebaro Klautau (UFPA)

A evolução das tecnologias de sensores ópticos, como câmeras, e de algoritmos de *IA*, mais especificamente de visão computacional e aprendizado de máquina, juntamente com melhorias nas tecnologias das futuras redes de comunicação sem fio (i.e., 5G e 6G) e de dispositivos de UAVs, têm possibilitado a criação de uma ampla gama de aplicações que se beneficiam da sinergia criada pela união de tais tecnologias e alavancam o agronegócio no país [6, 7, 8].

A capacidade de identificar objetos de interesse, como culturas agrícolas, animais, e elementos ambientais, é crucial para melhorar a eficiência, produtividade, e sustentabilidade nas áreas rurais. Além disso, a detecção precisa de objetos em tempo real pode contribuir significativamente para a tomada de decisões realizadas em setores do agronegócio que dependem de informações visuais em constante evolução [9]. Alguns dos possíveis usos de aplicações assistidas por *IA* e *drones* no segmento do agronegócio incluem:

- Detecção das condições de saúde dos animais;
- Detecção, localização, e contagem de animais em pastagens;
- Detecção das condições e saúde das culturas;

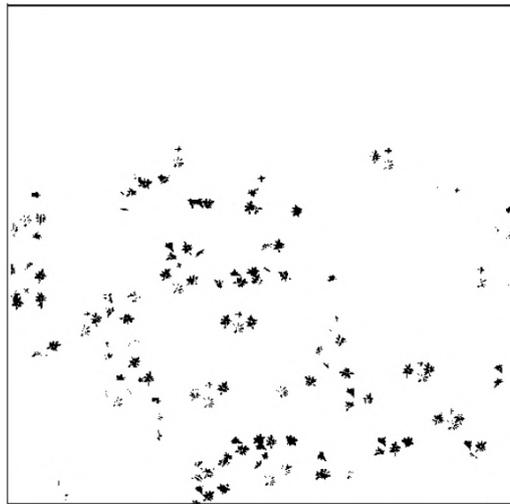
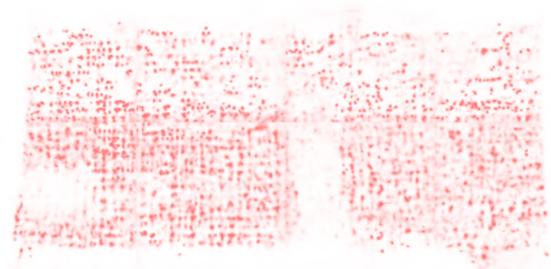


Figura 7: Amostra de padrão de infestação utilizado no treino e teste da rede de segmentação semântica.



(a) Amostra de área infestada.



(b) Estimação de área infestada.

Figura 8: Comparação entre área infestada e saída da rede.

- Detecção e contagem de frutos;
- Monitoramento das condições do solo;
- Mapeamento das terras de acordo com a área de cultivo;
- Detecção de anormalidades.

A viabilidade deste tipo de abordagem para análise e monitoramento de culturas agrícolas de precisão e animais, identificação precoce de pragas, rastreamento de animais, entre outras, em áreas rurais através do fornecimento de vídeo por *drones*, tem sido demonstrada por diversos estudos [6, 7, 8], mas o uso prático ainda é desafiador devido às características particulares desta aplicação, como a necessidade de identificar e rastrear alvos móveis em tempo real e as extensas áreas que precisam ser cobertas na maioria dos casos [7, 8]. Além disso, outro importante desafio é a obtenção de grandes bases de dados rotuladas para o treinamento eficiente dos modelos que compõem essas aplicações.

Baseado nessa premissa, o objetivo dessas aplicações auxiliadas por IA é identificar, em tempo real, diferentes tipos de objetos/elementos em áreas rurais por meio do fornecimento de vídeo realizado via *drones*.

4.3.1 Modelo de detecção de objetos em tempo real

O modelo de detecção de objetos em tempo real é muito importante no contexto de aplicações de detecção de objetos. O modelo escolhido para esta aplicação é a oitava iteração da ferramenta *You Only Look Once* (YOLO), chamado de YOLOv8. Os modelos YOLO são detectores de objetos de estágio único que se destacam como abordagens de vanguarda na detecção de objetos em tempo real devido à sua notável precisão e eficiência [10]. Eles têm demonstrado um bom desempenho com relação a precisão e a velocidade de detecção, tornando-os ideais para aplicações que requerem respostas rápidas e precisas, como no caso de aplicações agropecuárias [11].

O YOLOv8 disponibiliza 5 versões de modelos pré-treinados na base de dados denominada *Microsoft Common Objects in Context* (MS COCO) [12], contendo cerca de 2 milhões de imagens de 80 classes diferentes de objetos [11]. As versões pré-treinadas têm nomes associados ao seu tamanho: *nano*, *small*, *medium*, *large* e *extra large*. Para esta aplicação, foi usada a versão YOLOv8x (*extra large*) como ponto de partida, devido à sua maior precisão.

O YOLOv8x pré-treinado na base de dados MS COCO é utilizado como ponto de partida para obter uma versão do modelo que possa ser aplicada à tarefa de detecção de objetos em áreas rurais em tempo real. A estratégia de se iniciar o treinamento do modelo a partir de uma versão pré-treinada em uma tarefa similar é chamada de transferência de aprendizado e tem como objetivo melhorar o desempenho e acelerar o desenvolvimento de modelos em novas tarefas, especialmente quando há limitações de dados e recursos computacionais [13].

4.3.2 Base de dados

Para criar um conjunto de dados representativo no contexto de áreas rurais, foram usados vídeos gravados por *drones*. Esses vídeos foram posteriormente divididos em imagens, rotulados e pré-processados. Após estas três etapas, a base de dados passa por um processo de aumento sintético da quantidade de imagens conhecido como *data augmentation* e, na sequência, é dividida em três subconjuntos: treinamento, validação e teste.

Em cada imagem, a rotulagem cria retângulos ao redor dos objetos de interesse e define a qual classe eles pertencem. A partir da análise dos vídeos coletados, as seguintes classes foram definidas para a aplicação: cafezal, milharal, soja, estrada, casa, carro, e pasto. A Figura 9 mostra a quantidade de objetos por classe¹.

O pré-processamento envolve a orientação automática e o redimensionamento das imagens. Após o pré-processamento, a base de dados passa por um processo de aumento artificial, onde novas imagens são criadas aplicando-se, por exemplo, rotações, níveis de ruído, e brilho aleatórios às imagens originais da base de dados.

Por fim, o conjunto total de imagens é dividido para o treinamento e a avaliação adequada do desempenho do modelo de detecção da seguinte forma: (i) conjunto de treinamento, com 960 imagens; (ii) conjunto de validação, com 95 imagens; e (iii) conjunto de teste, com 45 imagens.

4.3.3 Resultados do treinamento do modelo de detecção de objetos

O treinamento do YOLOv8x foi realizado em um computador com a seguinte configuração: *Central Process Unit* (CPU) *Advanced Micro Devices* (AMD) Ryzen 9 5950X 3, 4 GHz (4, 9 GHz Turbo), 16-Cores, 32-Threads, 64 GB de memória *Random Access Memory* (RAM), 2 TB de *Solid State Drive* (SSD) e *Graphics Processing Unit* (GPU) NVIDIA RTX3090. O treinamento pode

¹<https://app.roboflow.com/instituto-nacional-de-telecomunicaes/novo-dataset-area-rural/8>

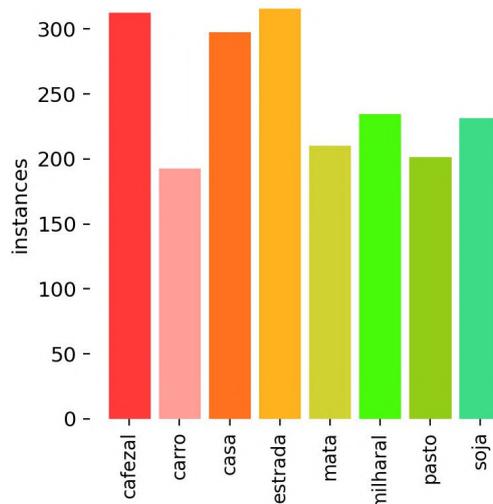


Figura 9: Número de objetos por classe.

ser realizado em qualquer máquina, bastando apenas que se salve os pesos para que sejam carregados no servidor do projeto Brasil 6G.

Devido às restrições computacionais e ao conjunto de dados, o ajuste fino dos pesos do modelo YOLOv8x foi realizado por 50 épocas. O modelo levou cerca de 25 minutos para ajustar seus pesos por 50 épocas. Os resultados alcançados com este modelo são apresentados nas Figuras 10, 11, 12, e 13.

A Figura 10 mostra imagens do conjunto de dados de teste com os objetos detectados (i.e., as classes), as caixas delimitadoras, e a confiança de cada detecção. Como pode ser visto, o YOLOv8x é eficaz na localização e classificação dos objetos do conjunto de dados de imagens rurais.

Já a Figura 11 apresenta a matriz de confusão do modelo. Conforme pode ser visto, as classes “mata” e “casa” foram as classes mais difíceis para o modelo detectar. Isto se deve, provavelmente, ao fato de que estas classes apresentarem mais detalhes como curvas, pontas e maior quantidade de ângulos em suas delimitações.

A curva de precisão-*recall* é mostrada na Figura 12. Conforme pode ser observado, o YOLOv8x atingiu um *mean Average Precision* (mAP) de 0,767, atestando ser bastante preciso na detecção de objetos.

Por fim, a Figura 13 ilustra gráficos com as perdas de caixas delimitadoras, objeto, classes e *Dual Focal Loss* (DFL) e métricas de qualidade (precisão, *recall*, e mAP) do YOLOv8x através das épocas de treinamento para os conjuntos de treinamento e validação. Conforme esperado, as métricas de desempenho com as épocas e as perdas decaem com as épocas.

Além da realização de testes para obtenção das métricas de desempenho, realizou-se testes para mensurar o tempo médio de pré-processamento e inferência (detecção dos objetos em cada imagem) do modelo. Para estas medidas, utilizou-se as 45 imagens do conjunto de teste. O resultado alcançado é apresentado na Tabela 4. Conforme pode ser visto, o modelo YOLOv8x apresenta um tempo de inferência médio de 15,9 ms, e um tempo de pré-processamento de 0,6 ms.



Figura 10: Detecções feitas pelo modelo YOLOv8x.

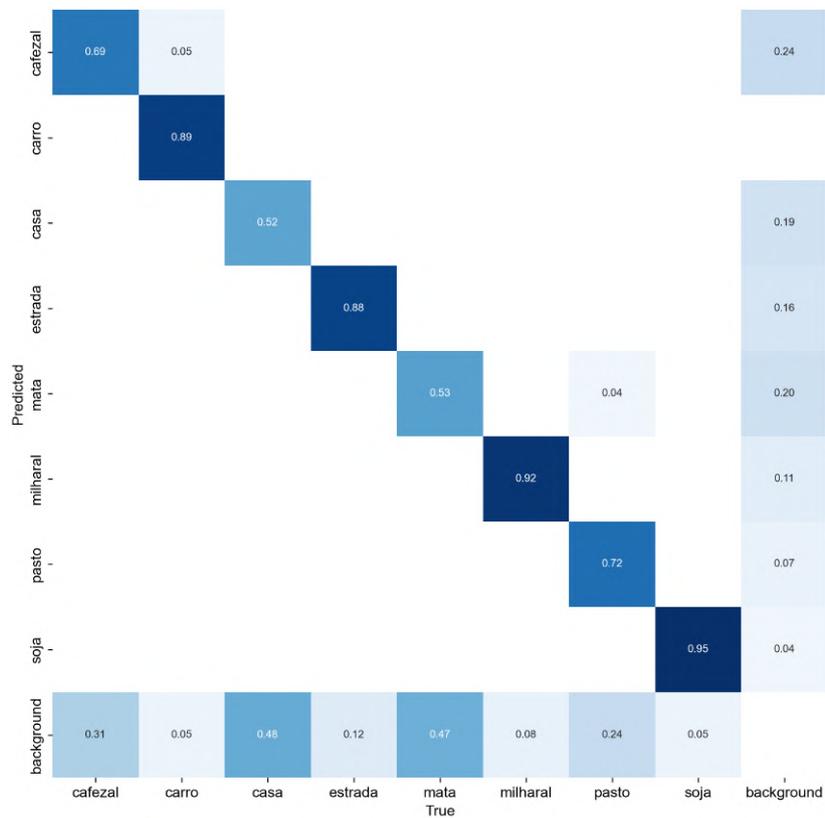


Figura 11: Matriz de confusão.

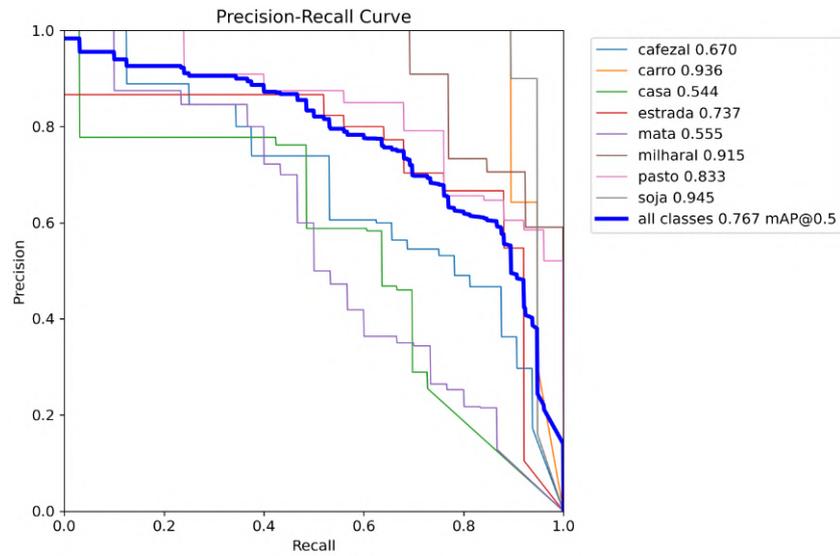


Figura 12: Curva de Precisão-Recall.

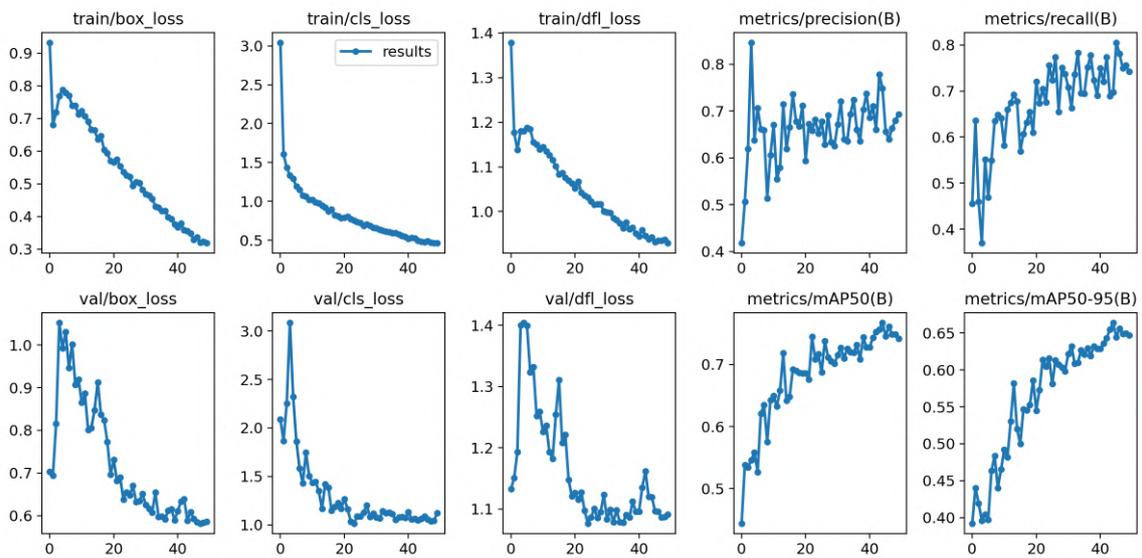


Figura 13: Gráficos de perdas e métricas de classificação.

Tabela 4: Tempo médio de pré-processamento e inferência do YOLOv8x.

Modelo	Pré-processamento	Inferência	Total
YOLOv8x	0,6 ms	15,9 ms	16,5 ms

4.3.4 Pré-requisitos e Preparação para Experimentações Futuras da Aplicação 2

Os pré-requisitos necessários para a execução desta aplicação são: a presença do gerenciador de *containers docker* no servidor, conexão com o *drone* através do protocolo RTMP, e pelo menos uma GPU com alto poder computacional para realizar inferência, i.e., detecção de objetos, em tempo real.

Esta aplicação é composta pelo modelo de detecção de objetos Yolov8 treinado com a base de dados descrita na subseção 4.3. A preparação para experimentações futuras desta aplicação depende de um *stream* de vídeo sendo transmitido pelo *drone* através do protocolo RTMP, conforme descrito na subseção 4.1.1, para detectar diferentes tipos de elementos de áreas rurais, tais como plantações, construções, veículos, pasto, etc. A aplicação será executada a partir de um *container docker*, que por sua vez pode instalado e hospedado no servidor do projeto Brasil 6G. Este servidor possui duas GPUs modelo A2, viabilizando um rápido processamento para permitir que os elementos/objetos sejam detectados em tempo real pela aplicação.

4.4 Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 3: Realidade Mista

Sand Luz Corrêa (UFG), Gustavo Dias de Oliveira (UFG)

O aumento crescente do poder de computação nos últimos anos trouxe de volta o interesse pelo *continuum* realidade-virtualidade [14]. Este *continuum* compreende um conjunto de conceitos envolvendo, de um lado, a realidade do mundo físico e, de outro, a Realidade Virtual (*Virtual Reality* (VR)). Denomina-se VR, um ambiente gerado por recursos computacionais que reúne e apresenta elementos como espaços, objetos e seres que simulam o que existe na realidade vivenciada pelos cinco sentidos físicos. Entre os dois extremos desse *continuum*, encontram-se a Realidade Aumentada (*Augmented Reality* (AR)) e a Virtualidade Aumentada (*Augmented Virtuality* (AVR)). A AR consiste em sobrepor elementos visuais e sonoros que existem apenas virtualmente sobre a percepção que se tem do mundo real, ou seja, elementos que são gerados e apresentados usando o computador. A AVR consiste em incluir, em um ambiente de realidade virtual, imagens e sons que advém do mundo real. O termo realidade mista (*Mixed Reality* (MR)) designa, de forma genérica, qualquer tecnologia de AR ou AVR.

Com os avanços recentes nas tecnologias de comunicação, uma nova tendência é o consumo de aplicações MR em dispositivos móveis como os *smartphones*. Na navegação, por exemplo, *smartphones* podem executar algoritmos para reconhecer objetos no ambiente e sobrepor instruções de navegação para o usuário. No entanto, executar aplicações dessa natureza em tempo real ainda representa grandes desafios, uma vez que tais aplicações exigem grande poder de processamento e baixa latência para evitar enjoos cibernéticos. Neste contexto, a computação de borda se torna uma alternativa promissora para implementar aplicações MR em dispositivos móveis. Assim, o dispositivo móvel tem a função de desempenhar atividades menos exigentes, ao passo que tarefas de maior complexidade são encaminhadas para execução em servidores na borda da rede. Esta transferência de operações do dispositivo móvel para um servidor de borda é mais comumente referida como *offloading* [15].

Entender os componentes de uma aplicação de realidade mista é crucial para que o *offloading* seja implementado de forma efetiva. Como ilustrado na Figura 14, o processo inicia com a captura de vídeo em tempo real por dispositivos como *smartphones*, óculos inteligentes, entre outros, além da coleta de dados por sensores (profundidade, movimento, orientação). Um pré-processamento destes dados é realizado (correções, ajustes de escala, etc.), que segue depois para

a detecção de objetos e a extração de pontos de interesse. Estes últimos passos são essenciais em aplicações de AR/MR para identificar objetos na cena e pontos-chave para alinhamento. Estes também são os processos que, geralmente, consomem mais recursos computacionais e tem sua execução descarregada em servidores de borda.

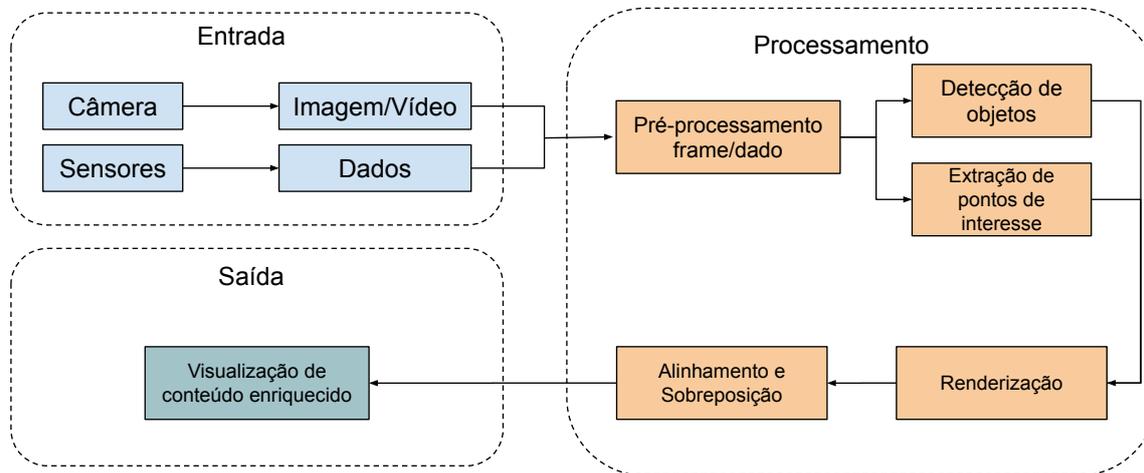


Figura 14: Arquitetura básica para aplicações AR/MR.

A identificação de pontos de interesse é um processo genérico que engloba a utilização de diversas ferramentas e algoritmos que ajudam em funções como rastreamento, ancoragem, reconhecimento de padrões, entre outros [16]. Dentre este conjunto de aparatos existe os algoritmos de localização e mapeamento simultâneos (*Simultaneous Localization And Mapping* (SLAM)). O SLAM funciona combinando dados de sensores para localizar o dispositivo no espaço e construir um mapa do ambiente ao mesmo tempo [17]. Enquanto o dispositivo se move, o SLAM continuamente atualiza sua posição e refina o mapa do ambiente, identificando pontos de referência e ajustando a localização do dispositivo em relação a esses pontos.

4.4.1 Aplicações potenciais com uso de Realidade Mista

Há uma ampla variedade de aplicações e serviços de Realidade Mista disponíveis abrangendo mais de 20 casos de uso distintos, como identificado pelo grupo de especificação técnica do *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) de aspectos de serviço e sistema [18]. Esses casos de uso variam desde entretenimento até saúde e educação, podendo utilizar realidade aumentada, virtual ou uma combinação de ambas. No entanto, devido à diversidade dessas configurações, a avaliação de desempenho das soluções sem fio de Realidade Mista representa um desafio significativo. Como forma de abordar essa complexidade, propõe-se em [19] agrupar esses casos de uso em três grandes categorias. A seguir, fornecemos uma breve introdução a cada uma delas.

1. Realidade virtual com transmissão dependente da área de visualização: a VR cria um ambiente virtual imersivo que proporciona uma sensação de presença física ao usuário. Os serviços de VR modernos utilizam o *streaming* que dependente da área de visualização do usuário. Essa transmissão dependente do campo de visualização do usuário ajusta a qualidade do vídeo 3D com base na rede e na sua posição. A cena 3D é dividida em diversos blocos independentes e o servidor oferece múltiplas representações desses blocos

em diferentes qualidades. A transmissão de novos conteúdos pode ser desencadeada pelos movimentos do usuário.

2. Realidade aumentada com mapeamento e localização simultâneos: a AR mescla objetos virtuais com a vista tridimensional ao vivo do mundo real, criando assim um ambiente personalizado realista com o qual o usuário interage. Portanto, é importante estimar a localização do usuário e o campo de visão. No entanto, as soluções modernas de AR não dependem exclusivamente de sensores caros para detecção de movimento, mas sim os complementam com câmeras. Por isso, a AR é frequentemente caracterizada por uma transmissão de vídeo. O vídeo é continuamente transmitido para o servidor de realidade mista, que realiza o rastreamento de pose para estimar a posição e orientação do usuário por meio da SLAM.
3. Jogos em nuvem com 6 graus de liberdade: jogos em nuvem se referem a uma aplicação de jogos interativos executada em um servidor na nuvem. Isso permite que parte do processamento sejam transferidos para o dispositivo na nuvem, reduzindo os requisitos do equipamento do usuário. Em um cenário típico, o servidor gera uma sequência de cenas bidimensionais (2D) e 3D como um fluxo de vídeo em resposta a comandos de controle enviados pelo equipamento do usuário. Esses comandos de controle podem incluir entradas de controladores portáteis e amostras de movimento de 3 ou 6 graus de liberdade. Aqui, 3 graus se refere aos dados de rotação (rolamento, arremesso e guinada), enquanto 6 graus também inclui informações sobre o deslocamento do usuário nas dimensões X, Y e Z. Vários jogadores podem participar da mesma sessão de jogo.

4.4.2 Protótipo do MR-Leo

O *Mixed Reality Linköping Edge Offloading* (MR-Leo) [20] é um *framework* de realidade mista que enriquece um fluxo de vídeo utilizando um algoritmo de SLAM chamado *oriented FAST and Rotated BRIEF* (ORB)-SLAM2. O MR-Leo realiza um *offloading* estático, onde as funções de transmissão/recepção de vídeo e renderização são realizados pelo dispositivo móvel e o restante dos processos são executados por um servidor de borda.

Na Figura 15, observamos que a ferramenta inicia seu processo com a captura de vídeo pelo dispositivo do usuário, encaminhando-o ao servidor. Uma vez no servidor, o vídeo capturado é redirecionado para o módulo de realidade mista, onde o ORB-SLAM2 constrói um mapa 3D do ambiente. Este mapa serve como base para a subsequente sobreposição gráfica, permitindo posicionar o objeto virtual no quadro de vídeo. Finalmente, a cena enriquecida é retransmitida ao cliente e renderizada no dispositivo do usuário.

4.4.3 Pré-requisitos, Instalação do Cenário e Configuração

O MR-Leo, aplicação de realidade mista escolhida para os testes na demonstração do projeto Brasil 6G, funciona em um ambiente cliente-servidor. O servidor reside na infraestrutura da *Data Network*, sendo hospedado em uma máquina virtual dedicada para esse fim, conforme ilustrado na Figura 1. Enquanto isso, o cliente é representado por um dispositivo UE, consistindo em um *smartphone* que executa a aplicação cliente em um dispositivo Android convencional.

O servidor, que pode ser uma máquina virtual ou um sistema *bare-metal*, executa um sistema operacional Linux Ubuntu 18.04. As dependências e pacotes necessários no Ubuntu incluem: `qt5-default`, `libgstreamer1.0-dev`, `libgstreamer-plugins-base1.0-dev`, `gstreamer1.0-plugins-bad`, `libopencv-dev`, `libeigen3-dev`, `libglew-dev`, `libglu1-mesa-dev` e `libosmesa6-dev`.

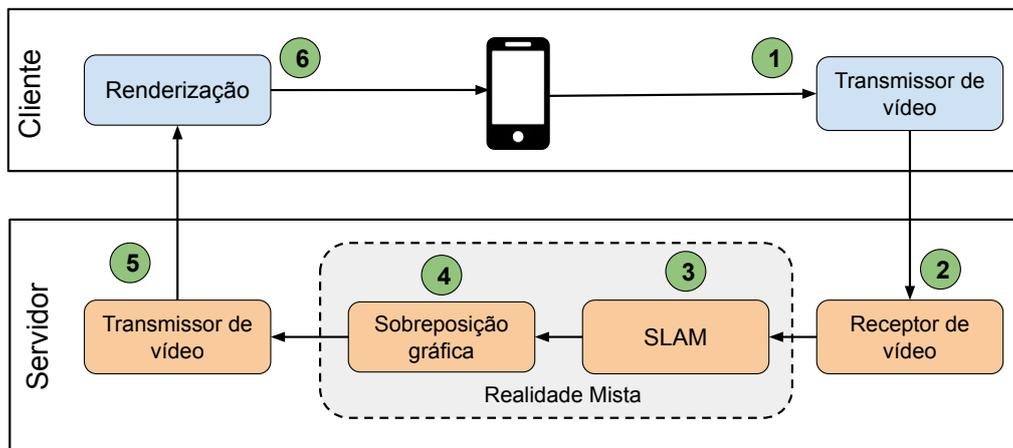


Figura 15: Fluxo de funcionamento do MR-Leo.

Após a instalação do servidor e a configuração do aplicativo cliente em um *smartphone*, ambos conectados em uma rede com acesso entre si, inicia-se o servidor. Em seguida, o cliente estabelece a conexão utilizando o respectivo endereço *Internet Protocol* (IP) correspondente.

4.4.4 Caderno de Experimentação

O primeiro passo do experimento é acessar o servidor que contém a aplicação. O servidor estará pronto para receber a conexão do cliente após o início da aplicação. Na Figura 16 observamos o servidor da aplicação em operação e destacamos alguns itens importantes para verificação que são:

1. O servidor da aplicação foi iniciado.
2. Identificamos o IP no qual o servidor está escutando.
3. O mapeamento do ORB-SLAM2 foi carregado.
4. Neste momento, o servidor está aguardando conexões.
5. Foi observada a conexão bem-sucedida de um cliente.

Do lado do cliente, no aplicativo do *smartphone*, deve ser informado o IP do servidor e clicar em "*Start EDGE MR*" para transmitir o vídeo do *smartphone* ou em "*Start VIDEO MR*" para transmitir um vídeo previamente gravado. A Figura 17 mostra a interface para conexão do aplicativo do celular ao servidor.

```

dti@dti-lenovo1:~/Downloads/MRLEOpangolin/2019_mrleo_server-master$ ./MR-Leo-server
-----
MR-Leo
-----
IP: 192.168.0.5
-----
mrserver.cpp : Loading ORB-SLAM2's BoW vocabulary...
mrserver.cpp : Loading text file from /home/dti/Downloads/MRLEOpangolin/2019_mrleo_server-master/ORBvoc.t
mrserver.cpp : Vocabulary object added to the pool.
-----
|
|      Port (TCP): 39200
|      Port (UDP): 39585
|
-----
mrserver.cpp : Waiting for clients to connect.
tcpconnection.cpp : New connection: Sender ip: ::ffff:192.168.0.2, sender port 60760
tcpconnection.cpp : New session id: 476707713
mrserver.cpp : MRServer::newSession: ::ffff:192.168.0.2:60760
mrserver.cpp : 476707713 : Connection JSON: {
  "SessionId": 476707713,
  "UdpPort": 39585
}
mrserver.cpp : 476707713 : JSON: {"TransportProtocol":"UDP"}
mrserver.cpp : 476707713 : TransportProtocol: UDP
mrserver.cpp : 476707713 : JSON: {"JpegStream":true}
mrserver.cpp : 476707713 : JpegStream: true
mrserver.cpp : 476707713 : JSON: {"PacketSize":2000}
mrserver.cpp : 476707713 : PacketSize: 2000
mrserver.cpp : 476707713 : JSON: {"VideoBitrate":20000}
mrserver.cpp : 476707713 : VideoBitrate: 20000
mrserver.cpp : 476707713 : JSON: {"JpegQuality":100}
mrserver.cpp : 476707713 : JSON: {"UserInteractionConfiguration":true,"3DObjectType":"CUBE_A"}
mrserver.cpp : 476707713 : UserInteractionConfiguration received
mrserver.cpp : 476707713 : JSON: {"Camera.width":640,"Camera.height":480}
mrserver.cpp : 476707713 : Camera.width: 640
mrserver.cpp : 476707713 : Camera.height: 480
orb slam processor.cpp : Wldth: 640
orb slam processor.cpp : Height: 480

ORB-SLAM2 Copyright (C) 2014-2016 Raul Mur-Artal, University of Zaragoza.
This program comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY;
This is free software, and you are welcome to redistribute it
under certain conditions. See LICENSE.txt.

Input sensor was set to: Monocular
  
```

Figura 16: Aplicação de Realidade Mista em operação no servidor.

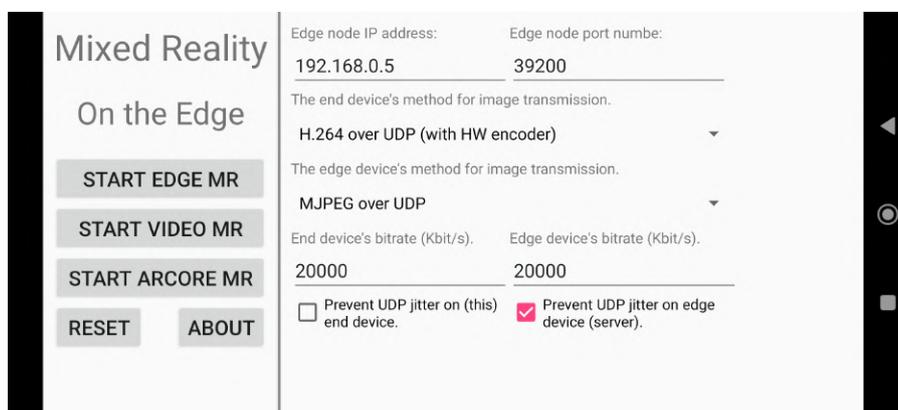


Figura 17: Interface do App MRLeo.

A Figura 20 exibe a interface visual que o usuário tem acesso após o início da aplicação, mostrando o vídeo em tempo real que está sendo transmitido, o vídeo que está sendo recebido e os botões de interação disponíveis.

4.4.5 Experimentos de Validação, Resultados e Análise

Foram conduzidos experimentos utilizando uma rede local e simulações em um cenário baseado na plataforma proposta pelo Projeto Brasil 6G. No primeiro caso, o desempenho do ORB-SLAM2 foi avaliado, enquanto no segundo caso, o desempenho de toda a aplicação de realidade mista foi analisado.

4.4.6 Avaliação de Desempenho do ORB-SLAM2

Para aprimorar nossa compreensão sobre o impacto do ORB-SLAM2 no desempenho do MR-Leo, conduzimos experimentos específicos. O cenário de teste envolveu o uso de um *smartphone* para capturar um vídeo, que é então transmitido ao servidor do MR-Leo. O vídeo é processado e os quadros enriquecidos com uma nuvem de pontos gerada pelo ORB-SLAM2 e depois são reenviados ao usuário.

Nos testes conduzidos, utilizamos uma configuração onde o dispositivo do usuário é um *smartphone* Samsung Galaxy A21s, operando com a versão 12 do Android e equipado com um processador Exynos 850. Já o servidor de borda utilizado foi um *notebook* Lenovo Legion, executando o sistema operacional Ubuntu 20.04, com 32 GB de memória RAM e um processador Intel Core i7-12700H da 12^a geração, contando com 14 núcleos e 20 *threads*.

A Figura 18(a) mostra a *Cumulative Distribution Function* (CDF) para os valores de *Fixed Round-Trip Time* (FRTT) para o experimento executado com o ORB-SLAM2. É possível notar que o percentil 90 está baixo de 100 ms, ou seja, é necessário menos de 100 ms para que o quadro enriquecido retorne ao dispositivo de usuário em 90% dos casos. A característica do vídeo processado também pode ter influenciado nos valores obtidos. Como o vídeo é estático, ele não apresenta movimentos bruscos ou mudanças repentinas de perspectivas, por isso a nuvem de pontos não é refeita por diversas vezes, o que justifica a estabilidade nos valores da função acumulada.

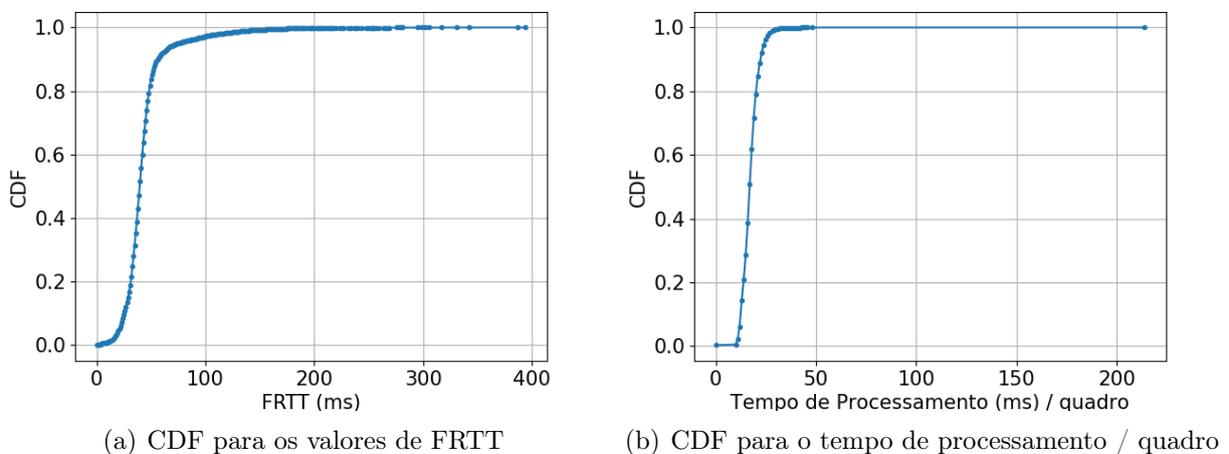


Figura 18: Funções de Distribuição Acumulada para o FRTT e para o tempo de processamento do ORB-SALM2.

Já a Figura 18(b) mostra a CDF do período de tempo que o ORB-SLAM2 gasta para processar um quadro de vídeo. Vemos que o ORB-SLAM2 gasta menos de 50 ms para processar os quadros em mais de 90% dos casos. O valor alto, com 214 ms, se deve ao quadro inicial, onde o algoritmo leva um período a mais de tempo para inicializar seu processamento, pois ainda não reconhece o ambiente planar de captura e nem possui valores estáveis de posicionamento [17].

Realizamos uma análise detalhada dos dados coletados para ampliar nossa compreensão sobre a distribuição do tempo de processamento. O tempo total necessário para se processar um quadro é dividido em duas categorias principais: tempo de enriquecimento e tempo geral. O tempo geral engloba operações fundamentais como comunicação, escrita em memória, e tarefas

de entrada/saída. Por outro lado, o tempo de enriquecimento, que é de maior relevância, refere-se ao período exigido para fornecer ao usuário um quadro de vídeo enriquecido com informações adicionais. No contexto do ORB-SLAM2, o tempo de enriquecimento é calculado somando-se os períodos gastos para realizar cálculos geométricos, extrair pontos de características do ambiente, estimar movimentos, gerar o mapa tridimensional do local e renderizar a nuvem de pontos [21].

A análise da Figura 19 mostra um tempo médio total de 17,3 ms para o ORB-SLAM2, sendo desse total, 16,2 ms destinado somente ao enriquecimento. É um tempo consideravelmente pequeno para processamento de um quadro de vídeo o que mostra que o ORB-SLAM2 tem um bom desempenho sendo executado em CPU. Algoritmos de SLAM são projetados em termos de arquitetura para serem executados em CPU [22] e por isso, geralmente, irão se comportar de uma maneira aceitável nesse tipo de infraestrutura.

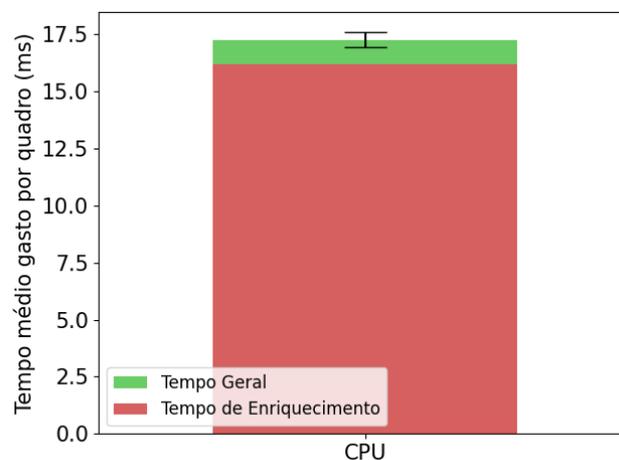


Figura 19: Análise detalhada do tempo médio de processamento de um quadro de vídeo.

4.4.7 Testes com a aplicação MR-Leo

A Figura 20 oferece uma visão do comportamento esperado da aplicação. À direita, é apresentada a imagem capturada e enviada pelo UE. Essa transmissão é então direcionada ao servidor, onde são adicionadas informações de Realidade Mista, contexto ou objetos virtuais. É crucial garantir que a imagem resultante retorne ao usuário sem interrupções ou travamentos, dada a transmissão contínua dos quadros de vídeo. Os marcadores verdes na imagem representam os *point clouds* gerados pelo algoritmo de SLAM.

Quando a comunicação sofre atrasos significativos ou tem baixa capacidade de resposta, os *point clouds* podem não ser formados, resultando na impossibilidade de adicionar objetos virtuais à cena.

Os botões de adição e remoção representam a inclusão de objetos virtuais e servem como indicadores primários do tempo de comunicação entre o cliente e o servidor. Quando um objeto é adicionado, o tempo necessário para o envio, processamento do vídeo e retorno ao usuário é calculado.

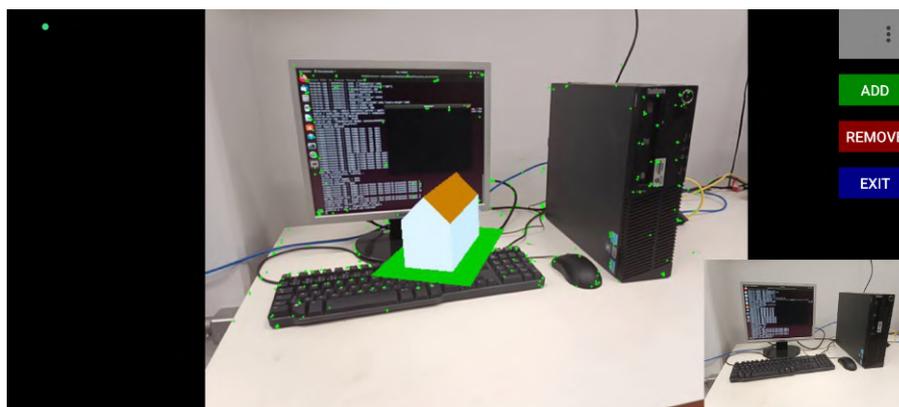


Figura 20: Aplicação de Realidade Mista rodando no *smartphone*.

A avaliação tanto da aplicação quanto da comunicação demonstrou ser promissora ao executar o processamento de vídeo no servidor de borda. Observou-se que, na ausência de atrasos na comunicação, os *point clouds* e o mapeamento ocorrem de forma normal e eficiente, e o objeto virtual adicionado acompanha o movimento do usuário e se posiciona corretamente na superfície desejada.

4.4.8 Experimentos para Demonstração

Atualmente, tem sido executada a aplicação em um ambiente do Proto 6G e está em processo de validação do desempenho e comportamento dentro do contexto do Projeto Brasil 6G. O vídeo da apresentação encontra-se disponível no repositório das demonstrações do projeto.

4.5 Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 4: Aplicações de Tecnologias de Posicionamento e Sensoriamento para Redes 6G utilizando LiDAR

Egídio Raimundo Neto, Arismar Cerqueira Sodré Júnior

Esta subseção tem como objetivo apresentar de forma resumida as aplicações potenciais com a utilização de *Light Detection and Ranging* (LiDAR) para Posicionamento e Sensoriamento em redes 6G, e também descrever de forma resumida os resultados experimentais obtidos durante o desenvolvimento das atividades do Projeto Brasil 6G e que estão apresentados de forma detalhada no relatório da Meta 4, intitulado Contribuições em Tecnologias de Posicionamento e Sensoriamento para Redes 6G utilizando LiDAR [23].

4.5.1 Aplicações de Posicionamento e Sensoriamento com uso de LiDAR

A tecnologia LiDAR possui uma ampla gama de aplicações em diversos campos devido à sua capacidade de medir distâncias com precisão, iluminando um alvo com luz de um laser e medindo a reflexão com um sensor. Desta forma, existe uma gama de aplicações que podem ser desenvolvidas combinando o uso de LiDAR com outras tecnologias e também IA. Algumas destas aplicações estão listadas a seguir.

1. Veículos Autônomos: Os sensores LiDAR são cruciais para o desenvolvimento de veículos autônomos. Eles fornecem informações em 3D e alta resolução sobre o ambiente ao redor

do veículo, permitindo que o veículo tome decisões informadas sobre navegação e evitação de obstáculos. O campo da mobilidade autônoma tem visto avanços significativos através de pesquisas inovadoras focadas na interpretação e manipulação de dados LiDAR para veículos autônomos.

2. Geografia e Mapeamento: O LiDAR é amplamente utilizado em geografia para mapeamento e levantamentos topográficos. Ele pode penetrar copas de árvores para medir o solo abaixo, tornando-se inestimável para a criação de mapas topográficos detalhados e para entender as mudanças no terreno. A aplicação de tecnologias de sensoriamento remoto, incluindo LiDAR, tem revolucionado diversas áreas de estudo, desde a arqueologia até as ciências da Terra, proporcionando novas oportunidades para pesquisa, análise e interpretação.
3. Florestas e Agricultura: Na silvicultura, o LiDAR é usado para medir alturas de árvores, estrutura de copas e biomassa. Essas informações são cruciais para o manejo de florestas, avaliação de estoques de carbono e planejamento de colheitas. O LiDAR ajuda na agricultura de precisão mapeando topografias de campos, otimizando a irrigação e monitorando o *status* das culturas. A agricultura de precisão tem se beneficiado enormemente dos avanços na aplicação da tecnologia LiDAR, permitindo uma gestão agrícola mais eficiente e sustentável.
4. Ciência Ambiental e Conservação: As pesquisas destacadas abordam inovações significativas no uso de dados LiDAR para aplicações florestais, demonstrando a versatilidade e eficácia dessa tecnologia em diferentes contextos.
5. Aplicações Costeiras e Marinhas: Em zonas costeiras, o LiDAR é usado para mapeamento de linhas de costa, monitoramento de erosão costeira e mapeamento do leito marinho. Apóia a gestão de recursos costeiros e o planejamento de estruturas de defesa costeira. Trabalhos ilustram a aplicação inovadora de dados LiDAR na engenharia costeira e no monitoramento costeiro, destacando a eficácia dessa tecnologia em fornecer soluções detalhadas para desafios ambientais e de engenharia.
6. SLAM: Um progresso significativo no desenvolvimento de algoritmos de SLAM baseados em imagens e LiDAR eficientes, consistentes e robustos, que emergiram como as principais abordagens tem sido apresentado nos últimos anos. Esses métodos utilizam uma combinação de sensores de câmera e LiDAR para criar mapas de alta qualidade dos ambientes, combinados com estimadores de pose precisos. Com o uso de técnicas de *Deep Learning* (DL) para extração de características e localização, a precisão e robustez desses algoritmos melhoraram significativamente. Além disso, avanços recentes em métodos de otimização, como a otimização de grafos de pose não linear, aprimoraram a consistência e eficiência dos algoritmos. No geral, esses desenvolvimentos levaram à adoção crescente de algoritmos de SLAM baseados em imagem e LiDAR em várias aplicações do mundo real dentro das comunidades de robótica e veículos autônomos. Mais importante ainda, a capacidade de reconhecimento de cena é um aspecto importante de qualquer algoritmo de SLAM, pois informações precisas de localização relacionadas a marcos detectados podem ser aproveitadas como referências absolutas.
7. Sistemas de Sensoriamento e Posicionamento de Robôs e Veículos Não Tripulados: A estimativa da posição de uma plataforma móvel é uma parte importante de muitos sistemas

autônomos, sendo especificamente apontada como um desafio para a indústria de mineração subterrânea. Em uma mina subterrânea, não há cobertura dos *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) e o ambiente dinâmico e severo exige o mínimo de infraestrutura possível. Portanto, um sistema de localização autossuficiente é preferido.

4.5.2 Experimentos realizados

A presente aplicação prática visa abordar os desafios associados ao posicionamento e detecção em ambientes internos e posteriormente aplicar o mesmo princípio em ambientes externos, como por exemplo áreas rurais. Ao desenvolver um sistema robusto que integra os dados coletados de sensores LiDAR, este trabalho tem como objetivo aumentar a precisão e confiabilidade do posicionamento e sensoriamento em ambientes internos. A arquitetura do sistema proposto de detecção e posicionamento é apresentada na Figura 21. Sensores LiDAR são estrategicamente implantados pelo ambiente alvo para a detecção de pedestres. Os dados coletados desses sensores LiDAR são transmitidos em tempo real para uma estação base 6G através de uma rede de acesso sem fio. Posteriormente, esses dados são enviados para o núcleo 6G, onde são utilizados para determinar a localização dos pedestres dentro do ambiente.

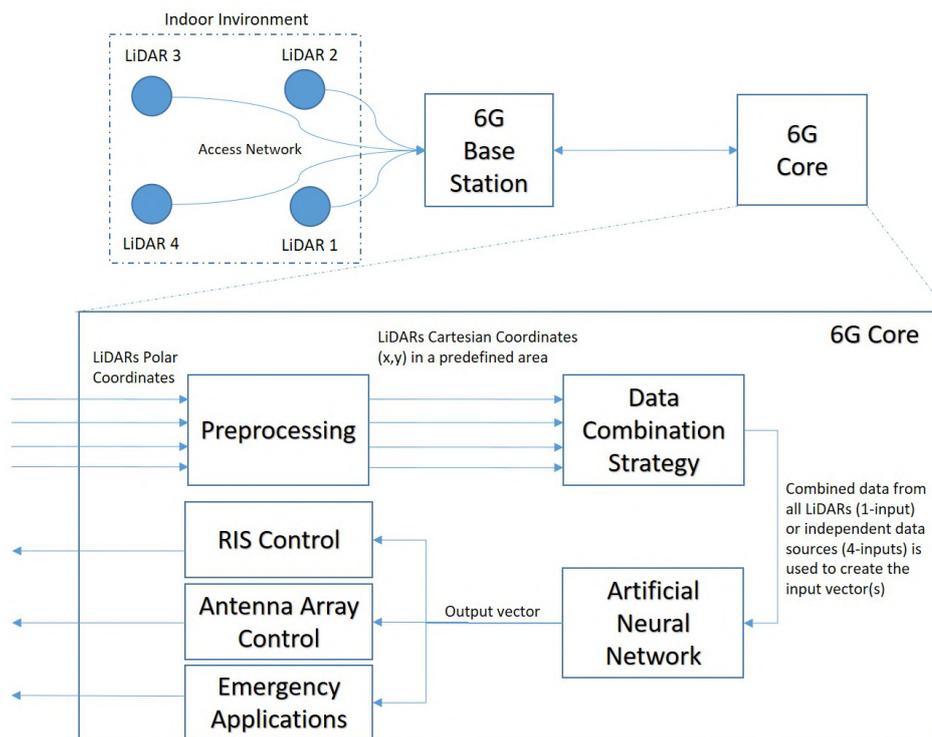


Figura 21: Diagrama em Blocos da Arquitetura do Sistema Proposto.

Inicialmente, os dados brutos do sensor passam por um processo de transformação, no qual coordenadas polares são convertidas em coordenadas cartesianas dentro de uma área de interesse pré-definida. Após esta fase de pré-processamento, uma estratégia de fusão de dados é estabelecida. Esta estratégia determina se os dados de múltiplos sensores devem ser combinados ou processados como entradas separadas para a Rede Neural Artificial (RNA). Baseado na configuração de entrada definida para a RNA, as coordenadas cartesianas dos pontos detectados são usadas para determinar a presença de objetos em cada quadrante e esses vetores são

usados como entrada da RNA. A saída da RNA é um vetor de mesma dimensão dos vetores de entrada, indicando a presença detectada de pedestres em vários quadrantes da área de interesse pré-definida. Esses dados posicionais dos indivíduos estão então disponíveis para outros componentes do núcleo 6G, para realizar o Controle de *Reconfigurable Intelligent Surface* (RIS), Controle de Arranjo de Antenas e Aplicações de Emergência, como por exemplo ações com equipes de resgate durante cenários de desastre.

Para a operacionalização do sistema proposto, foi estabelecido um ambiente de teste baseado em laboratório. Esse ambiente envolveu o posicionamento estratégico de quatro sensores LiDAR, cada um localizado em um vértice de uma grade quadrada de 4x4 metros. Apesar da capacidade de alcance de 30 metros de cada sensor, o foco foi restrito a esta grade. A grade foi subdividida em 16 ou 64 quadrantes respectivamente de 1x1 metro e 0,5x0,5 metro, numerados sequencialmente de zero a 15 ou de zero a 63. A aquisição de dados dos LiDARs, apresentada em pares de coordenadas, passou por uma fase de pré-processamento. Esta fase garantiu a utilização apenas daquelas amostras que estavam dentro da área pré-definida e converteu cada ponto de interesse para o treinamento da RNA em procedimentos experimentais subsequentes. Após o pré-processamento, o conjunto de dados é refinado para incluir apenas os pontos que estão localizados dentro da área de interesse pré-definida, aumentando assim a eficiência do sistema.

A Figura 22 e 23 demonstram o formato de apresentação dos dados LiDAR combinados após o processamento. É crucial destacar que a eficácia do sistema foi sistematicamente avaliada em uma variedade de cenários, empregando dados combinados ou não combinados de 1 a 4 LiDARs e considerando a divisão da área de interesse em 16 ou 64 quadrantes.

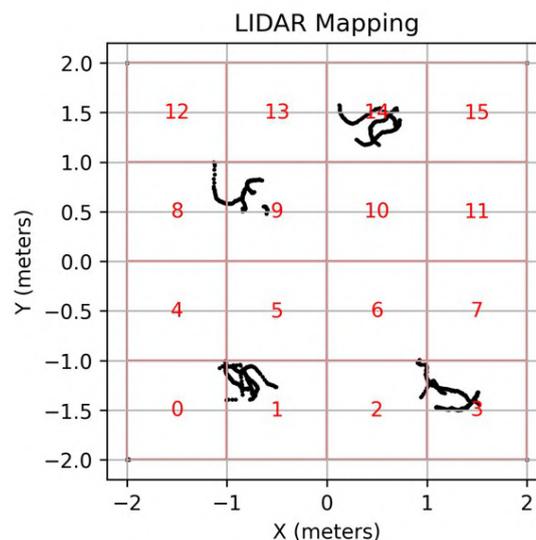


Figura 22: Dados dos sensores LiDAR combinados para o caso de 16 quadrantes.

Os experimentos e análises de desempenho foram conduzidos em um laboratório de ensino do Inatel, conforme mostrado na Figura 24, incluindo as localizações precisas de cada sensor LiDAR no ambiente. Durante a coleta de dados, 2000 amostras foram coletadas de forma sincronizada de cada sensor LiDAR. Quatro pedestres alteraram aleatoriamente suas posições a cada 20 amostras com o objetivo de emular variadas condições ambientais.

O desenvolvimento do sistema contou com o uso de quatro sensores 2D-LiDAR sincronizados, coletando um conjunto de dados de 2000 amostras, divididas em 80% para treinamento e

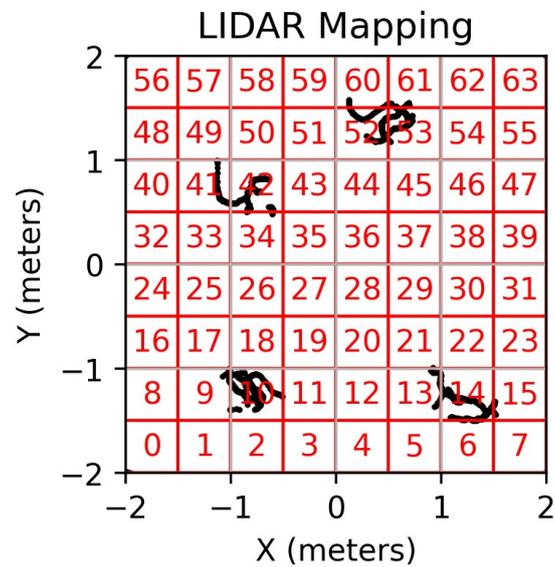


Figura 23: Dados dos sensores LiDAR combinados para o caso de 64 quadrantes.

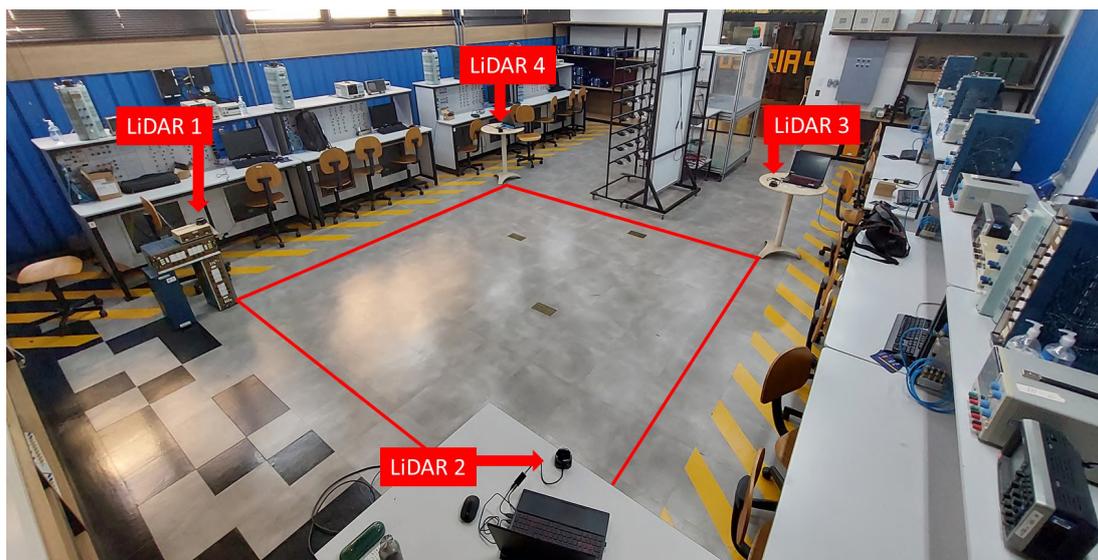


Figura 24: Laboratório didático utilizado, os sensores LiDAR e suas posições no espaço.

20% para testes de desempenho. Avaliações experimentais consideraram tanto dados de sensores combinados quanto entradas de dados de sensores independentes para avaliar o desempenho em diferentes cenários, focando em precisão, *recall* e *F1 Score*. Os dados combinados de todos os quatro sensores LiDAR como uma única entrada superaram as entradas de dados de sensores individuais.

Para o Cenário de Testes 1, considerando a divisão da área de interesse em 16 quadrantes o sistema com dados combinados mostrou 99,12% de precisão, 99,03% de *recall* e 99,05% de *F1 Score*, enquanto o sistema com dados não combinados teve um desempenho inferior com 96,21% de precisão, 95,45% de *recall* e 95,66% de *F1 Score*. Já para o Cenário de testes 2, considerando a divisão do sistema em 64 quadrantes, o sistema com dados combinados mostrou 99,96% de precisão, 99,86% de *recall* e 99,90% de *F1 Score*, enquanto o sistema com dados não combinados teve um desempenho inferior com 96,21% de precisão, 95,45% de *recall* e 95,66% de *F1 Score*.

Portanto, a partir das comparações apresentadas, pode-se concluir que a utilização de dados combinados de múltiplos sensores, associada à divisão da área de interesse em 64 quadrantes, apresentou a melhor configuração para o sistema, visto que nesta condição o sistema apresentou resultados expressivos em relação à precisão, *recall* e *F1 Score*. Além disso, o uso de múltiplos sensores reduz a possibilidade de que obstruções em algum sensor impactem de forma drástica no desempenho do sistema.

Por fim, é possível concluir que o uso de sensores 2D-LiDAR e RNAs em conjunto para sensoriamento e posicionamento em ambientes internos apresenta-se como uma potencial solução, sem violar a privacidade das pessoas nos ambientes, livre de interferências eletromagnéticas e com menor custo quando comparado com aplicações que utilizam sensores 2D-LiDAR. Trabalhos futuros dependem da melhoria das metodologias de teste e análise de desempenho do sistema, como o uso de dados de ambientes maiores, ambientes externos, ambientes com obstáculos e obstruções aleatórias, diferentes estruturas de RNA, bem como sensores 3D-LiDAR [23].

4.6 Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 5: NovaGenesis para IoT

Diego Gabriel Soares Pivoto

Esta aplicação tem como objetivo realizar a integração da arquitetura NG com a tecnologia LoRa, visando avançar nas soluções de IoT para ambientes *Low-Power Wide-Area Network* (LPWAN). A NG é uma *Future Internet Architecture* (FIA) que oferece um sistema distribuído e orientado a serviços, abordando limitações conhecidas das atuais pilhas de protocolos da Internet atual e de IoT, como nomeação, rastreabilidade de proveniência, identificação, localização, flexibilidade, programabilidade, heterogeneidade, auto-organização, e formação de confiança entre dispositivos, *middleware* e serviços.

A integração com LoRa visa aprimorar a cobertura de longo alcance e o suporte a redes de baixa potência, essenciais para aplicações como cidades inteligentes, agricultura de precisão e redes de monitoramento inteligente. Em resumo, a arquitetura NG pode contribuir significativamente para a melhoria de sistemas IoT de várias maneiras, endereçando limitações das abordagens atuais e fornecendo soluções inovadoras para desafios emergentes. Dentre essas contribuições, podem-se destacar:

- Abordagem orientada a serviços e contratos: ao contrário de arquiteturas tradicionais, a NG adota uma abordagem orientada a serviços, onde tudo, desde dispositivos físicos a

funções lógicas, é tratado como um serviço. Isso permite uma interação mais dinâmica e flexível entre dispositivos, serviços e aplicativos IoT, promovendo a composição dinâmica de serviços e a execução de contratos de serviço automatizados.

- Nomes auto-verificáveis e resolução de nomes: a arquitetura emprega um sistema avançado de nomes auto-verificáveis e serviços de resolução de nomes, possibilitando uma identificação única e segura de dispositivos, serviços e dados. Isso melhora a rastreabilidade, a segurança e a interoperabilidade em ambientes IoT, abordando desafios críticos como autenticação e autorização.
- Auto-organização e orquestração semântica rica: a NG facilita a auto-organização e a orquestração semântica rica dos recursos IoT, permitindo que dispositivos e serviços descubram uns aos outros de maneira autônoma e formem redes colaborativas sem a necessidade de configuração manual ou intervenção centralizada. Isso é crucial para escalar soluções IoT e gerenciar de forma eficiente grandes conjuntos de dispositivos interconectados.
- Flexibilidade e programabilidade: a arquitetura oferece uma plataforma altamente flexível e programável, permitindo o desenvolvimento e a implantação rápidos de novos serviços e aplicações IoT. A capacidade de adaptar e reconfigurar serviços dinamicamente em resposta a mudanças de contexto ou requisitos operacionais torna a NG particularmente adequada para ambientes IoT em constante evolução.
- Integração de diferentes tecnologias de rede: ao oferecer suporte à integração de diferentes tecnologias de rede, como LoRa e Wi-Fi, dentro da mesma arquitetura, a NG pode abordar uma ampla gama de cenários de aplicação IoT, desde conexões de curto alcance até soluções de LPWAN de longo alcance.
- Eficiência e escalabilidade: com a implementação de serviços de cache de rede e mecanismos eficientes de comunicação, a arquitetura é projetada para ser tanto eficiente em termos de recursos quanto escalável, capaz de suportar o crescimento exponencial do número de dispositivos IoT e o volume de dados gerados.
- Segurança e privacidade: a utilização de nomes auto-verificáveis e a orquestração baseada em contratos fornecem uma base sólida para a segurança e a privacidade, essenciais para a confiança e a adoção generalizada de soluções IoT.

Considerando um cenário de integração de uma FIA com IoT, esta aplicação propõe o uso da arquitetura NG para o monitoramento de dados provenientes de sensores existentes em uma rede LoRa, que podem estar localizados, por exemplo, em uma área rural para sensoriamento na agropecuária. A Figura 25 ilustra este cenário proposto que inclui um nó remoto equipado com um sensor de temperatura, onde o *Embedded Proxy Gateway Service* (EPGS) pode publicar medições que serão consumidas por um aplicativo denominado *IoTTestApp* no núcleo da NG. Os principais componentes NG ilustrados são: *Proxy/Gateway/Controller Service* (PGCS), EPGS, *Hash Table Service* (HTS), PSS, *Generic Indirection Resolution Service* (GIRS), e *Name Resolution and Network Cache Service* (NRNCS).

O PGCS é um componente central da arquitetura NG que atua como: *gateway*, encapsulando e extraindo mensagens NG sobre uma tecnologia de camada de enlace; *proxy*, para representar outros serviços NG dentro de um sistema operacional; e controlador, iniciando o

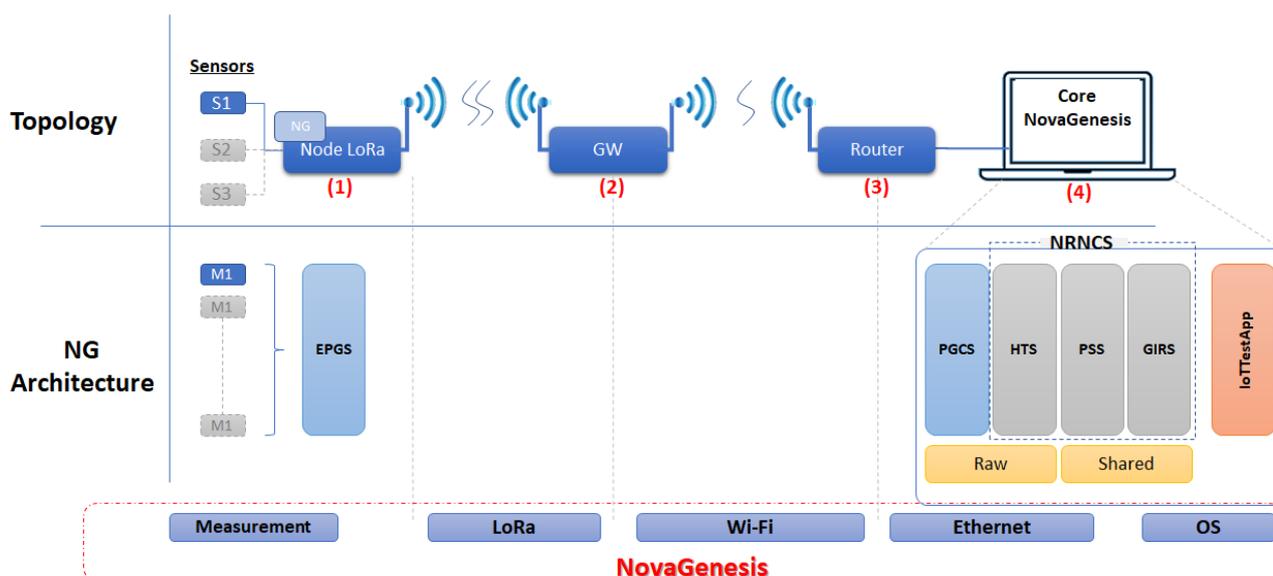


Figura 25: Diagrama do cenário de integração da arquitetura NG com IoT para monitoramento de sensores de campo.

domínio e configurando dispositivos físicos quando necessário. O EPGS é uma versão compacta do PGCS destinada a dispositivos IoT, permitindo a integração de capacidades de rede e serviços NG em dispositivos com recursos limitados. Desenvolvida como uma versão reduzida do PGCS, mantém todas as características, operando sob contratos de serviço assinados entre entidades publicadoras e assinantes. O HTS armazena ligações de nomes e conteúdos associados em uma estrutura de tabela de *hash*, facilitando a gestão e recuperação de informações. O PSS permite a criação de pontos de encontro entre publicadores e assinantes para a troca de informações baseada em eventos. O GIRS atua como um serviço intermediário para encaminhar ligações de nomes e dados entre PSSs e HTSs, melhorando a eficiência da resolução de nomes e da entrega de conteúdo. Finalmente, o NRNCs combina funções de HTS, PSS, e GIRS, proporcionando um serviço unificado para resolução de nomes e cache de rede, otimizando o desempenho e a escalabilidade da arquitetura NG em aplicações IoT.

Juntos, esses componentes formam a espinha dorsal da NG, promovendo uma interação rica, segura e eficiente entre dispositivos e serviços. O PGCS, atuando como um núcleo central, facilita a integração e gerenciamento dos outros serviços (HTS, PSS, GIRS) e aplicações (como o *IoTTestApp*) através da memória compartilhada, promovendo uma arquitetura de comunicação eficiente, extensível e adaptável para aplicações IoT em LPWAN.

Além destes componentes, dentre os dispositivos necessários para o desenvolvimento do cenário ilustrado na Figura 25, bem como os fluxos de dados representados, tem-se:

- Dispositivo IoT (microcontrolador ESP32 com conectividade LoRa): um dispositivo equipado com capacidade LoRa e executando o EPGS. Este dispositivo coleta medições de temperatura e utiliza a tecnologia LoRa para transmitir esses dados.
- *Gateway* LoRa/Wi-Fi: uma peça fundamental no cenário, funcionando como uma ponte entre o dispositivo IoT LoRa e a rede Wi-Fi. Este *gateway* traduz os pacotes da tecnologia LoRa para Wi-Fi, permitindo a comunicação entre o dispositivo IoT remoto e o núcleo da NG.

- Núcleo da NG: localizado em um computador portátil, representa o coração da arquitetura NG, onde os serviços de processamento, armazenamento e análise de dados são executados. Este núcleo está conectado a uma rede Ethernet, facilitando o acesso à Internet e permitindo comunicação com a nuvem ou outros serviços online.
- *IoTTestApp*: uma aplicação que consome os dados publicados pelo EPGS. Esta aplicação faz parte do núcleo da NG e utiliza os dados recebidos para execução de tarefas específicas, como monitoramento de temperatura, análise de dados, etc.
- Fluxo de dados: o fluxo de dados começa no dispositivo IoT, passando pelo *gateway* LoRa/Wi-Fi, até chegar ao núcleo da NG, onde os dados são consumidos pelo *IoTTestApp*. Este fluxo demonstra a capacidade da arquitetura NG de integrar diferentes tecnologias de comunicação e dispositivos IoT em um sistema coeso e funcional.

Em resumo, a Figura 25 destaca a flexibilidade e a interoperabilidade da arquitetura NG, demonstrando sua capacidade de incorporar tecnologias de comunicação LPWAN como LoRa, além de suportar cenários de aplicativos IoT variados e complexos.

Para a metodologia de testes da Aplicação 5, foi proposto um cenário experimental similar à Figura 25, onde um dispositivo IoT equipado com LoRa, executando o EPGS, publica medições de temperatura que são consumidas por uma aplicação (*IoTTestApp*) no núcleo da NG. Este cenário inclui o uso de um *gateway* LoRa/Wi-Fi para facilitar a comunicação entre o dispositivo IoT e a rede Wi-Fi/Ethernet, permitindo a transmissão de dados para o núcleo da NG executado em um *laptop*.

A metodologia envolveu a configuração do cenário descrito, seguido pela realização de testes para medir a perda de mensagens NG, a ordem das mensagens, e o tempo de ida e volta (RTT) para subscrições de medição de temperatura pelo *IoTTestApp*. Os testes foram realizados com uma cadência de publicação de dados de dois segundos e utilizaram o *software Wireshark* para capturar e analisar o tráfego de rede no segmento Ethernet. Além disso, foram coletados *logs* de diferentes componentes do sistema (EPGS, *gateway* LoRa/Wi-Fi, *IoTTestApp*) para uma análise detalhada.

A Figura 26 ilustra os resultados obtidos em relação às mensagens NG recebidas e perdidas, além dos fragmentos dessas mensagens, durante um dos ensaios. Neste gráfico específico, é possível observar a relação entre o número total de fragmentos de mensagens enviados, o número de mensagens completas recebidas e o número de mensagens perdidas devido à perda de um ou mais fragmentos.

De acordo com a Figura 26, os *Fragmentos NG* representam o número total de fragmentos de mensagens NG que foram transmitidos durante o teste, visto que cada mensagem NG foi dividida em três fragmentos para acomodar as limitações de tamanho do *payload* impostas pela tecnologia LoRa. As colunas denominadas como *Mensagem Perdida* indica o número de mensagens NG que foram consideradas perdidas porque pelo menos um de seus fragmentos não chegou ao destino. A perda de qualquer fragmento da mensagem resulta na perda da mensagem completa devido à necessidade de ter todos os fragmentos para a reconstituição da mensagem original. Por fim, as colunas denominadas como *Mensagens Recebidas* indicam o número de mensagens NG que foram recebidas completas pelo *IoTTestApp*, ou seja, todas as mensagens cujos três fragmentos chegaram sem perdas.

Os resultados mostraram uma taxa de perda de mensagens NG muito baixa considerando o número de mensagens recebidas em relação às mensagens perdidas. Além disso, foi verificado

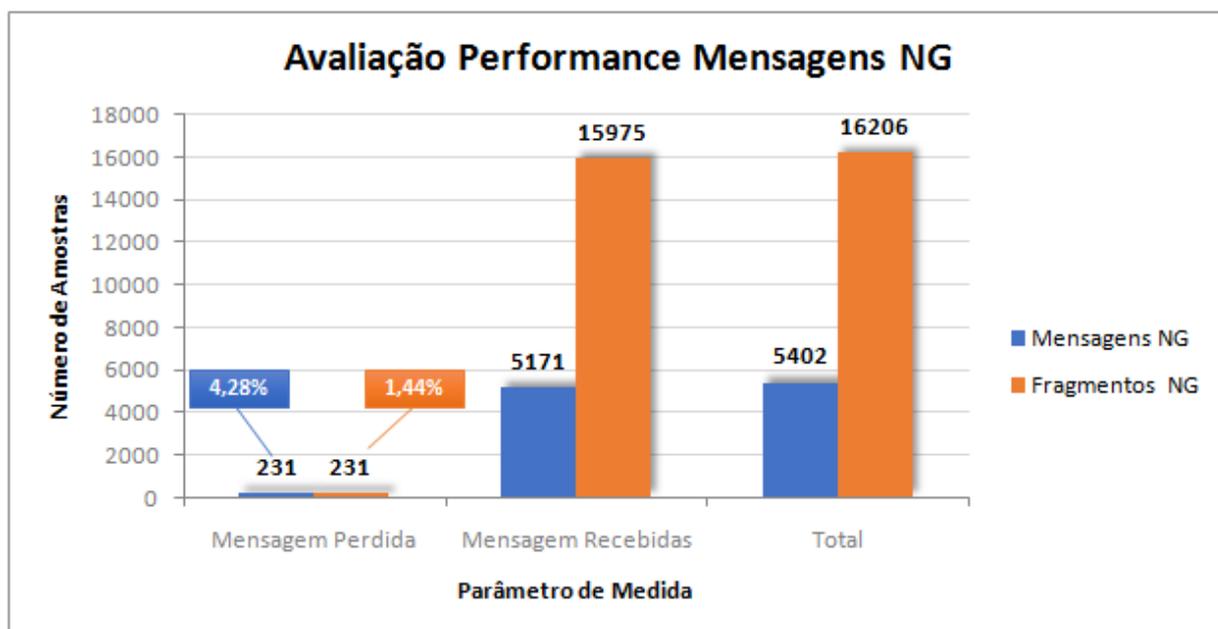


Figura 26: Resultados obtidos sobre análise de perda de mensagens com NG usando tecnologia LoRa.

que a maior parte das perdas ocorreram no segmento Wi-Fi da rede, indicando que a interferência RF e as limitações de banda, como limitações de capacidade dessa tecnologia em um ambiente densamente povoado por dispositivos sem fio, podem ter sido fatores contribuintes. Não houve registro de perdas diretamente atribuíveis ao EPGS ou ao dispositivo IoT, indicando que o processo de coleta e transmissão inicial dos dados era confiável.

Já a Figura 27 ilustra um gráfico de análise do recebimento de mensagens fora de ordem no cenário proposto. Os resultados obtidos revelaram que, considerando um grande número de mensagens NG enviadas (5402 mensagens) uma pequena porcentagem de mensagens chegou ao destino em uma sequência diferente da enviada (apenas 31 mensagens), embora isso não tenha afetado significativamente a funcionalidade do sistema, devido à capacidade da arquitetura NG de reordenar as mensagens.

Por fim, a Figura 28 ilustra os gráficos referentes à análise de RTT do cenário proposto, medidos na aplicação *IoTTestApp* ao subscrever uma amostra de temperatura do PSS no *laptop*. Nesta análise foi utilizado o arquivo *IoTTestApp core SubRTT.dat*, que registra o tempo de RTT para cada subscrição de medição de temperatura realizada pela aplicação *IoTTestApp*. A medição do RTT foi feita desde o momento em que uma medição de temperatura era publicada pelo dispositivo IoT (usando EPGS e LoRa) até o momento em que a medição era efetivamente recebida e processada pelo *IoTTestApp* no núcleo da NG.

Conforme ilustrado na Figura 28, os resultados mostraram que o tempo médio de RTT para as subscrições de medição de temperatura ficou em torno de 38,02 ms. Este valor é representativo do tempo que leva para os dados coletados pelo sensor serem transmitidos através da rede LoRa, processados pelo *gateway* LoRa/Wi-Fi, enviados através da rede Wi-Fi e Ethernet, e finalmente consumidos pela aplicação *IoTTestApp*.

Analisando este resultado, o tempo RTT médio de 38,02 ms pode ser considerado adequado para muitas aplicações IoT, especialmente em ambientes LPWAN onde as expectativas de latência são geralmente mais flexíveis devido às limitações inerentes a essas tecnologias de rede

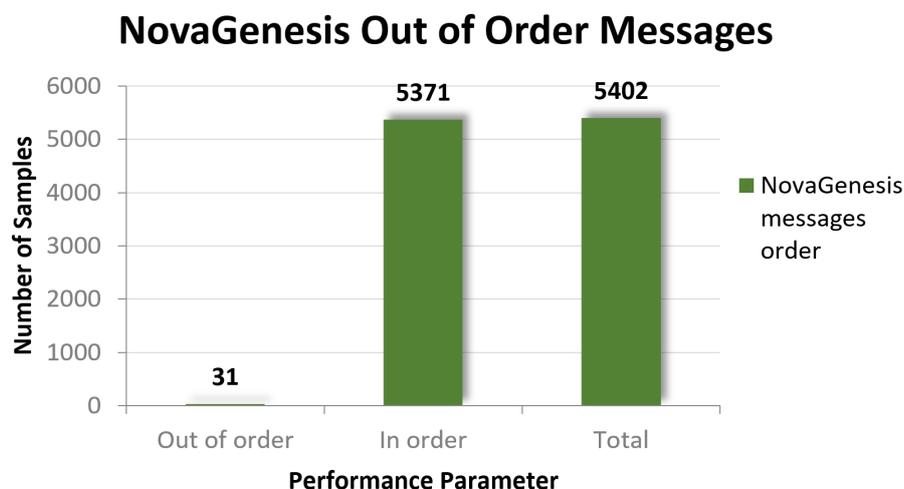


Figura 27: Resultados obtidos sobre análise de recebimento de mensagens fora de ordem.

de baixa potência e longo alcance.

Além disso, pode ser observado que, durante os testes, a execução simultânea de softwares como NG, *Wireshark*, e outras ferramentas de monitoramento no mesmo *laptop* resultou em alta utilização de CPU (atingindo 100% em alguns pontos), o que pode ter influenciado os tempos de RTT registrados. Isso sugere que, em um ambiente operacional normal, com menos carga no sistema, os tempos de RTT poderiam ser potencialmente mais baixos.

Em relação à confiabilidade e eficiência, os resultados indicam que, apesar das potenciais interferências e desafios associados à comunicação LoRa e Wi-Fi em ambientes densamente povoados por dispositivos sem fio, a arquitetura NG conseguiu manter um RTT relativamente baixo. Isso demonstra a confiabilidade e a eficiência da arquitetura em facilitar a comunicação e o processamento de dados em tempo real ou quase real em redes IoT.

Em resumo, a análise de RTT confirmou que a arquitetura NG, integrada com a tecnologia LoRa, é capaz de oferecer tempos de resposta adequados para aplicações IoT, mesmo em cenários desafiadores, reforçando seu potencial para suportar uma ampla gama de casos de uso IoT em ambientes LPWAN.

Os resultados obtidos e previamente detalhados demonstram a viabilidade e eficácia da arquitetura NG em ambientes LPWAN utilizando a tecnologia LoRa, apesar dos desafios inerentes a redes de baixa potência. A capacidade da NG de lidar com perdas de mensagens, mensagens fora de ordem e manter baixos tempos de RTT em um cenário experimental complexo e sujeito a interferências ressalta seu potencial para aplicativos IoT que requerem confiabilidade e eficiência em ambientes desafiadores.

Para uma possível integração entre a arquitetura FIA NG com suporte à tecnologia LoRa e a plataforma proposta pelo projeto Brasil 6G, a Figura 29 ilustra a estrutura necessária do cenário. Conforme ilustrado, a ideia é que o dispositivo IoT composto por um microcontrolador com suporte ao EPGS da NG esteja localizado na área remota rural, coletando informações de sensores (por exemplo, temperatura) através da tecnologia LoRa, e com a ajuda de um *gateway*, enviando os dados coletados via Wi-Fi à um transceptor UE. Esta UE, por sua vez, deve transmitir os dados coletados para o núcleo da rede localizado no Inatel, passando pelo transceptor BS da rede de acesso *Untrusted Non-3GPP* com a ajuda do componente *Non-*

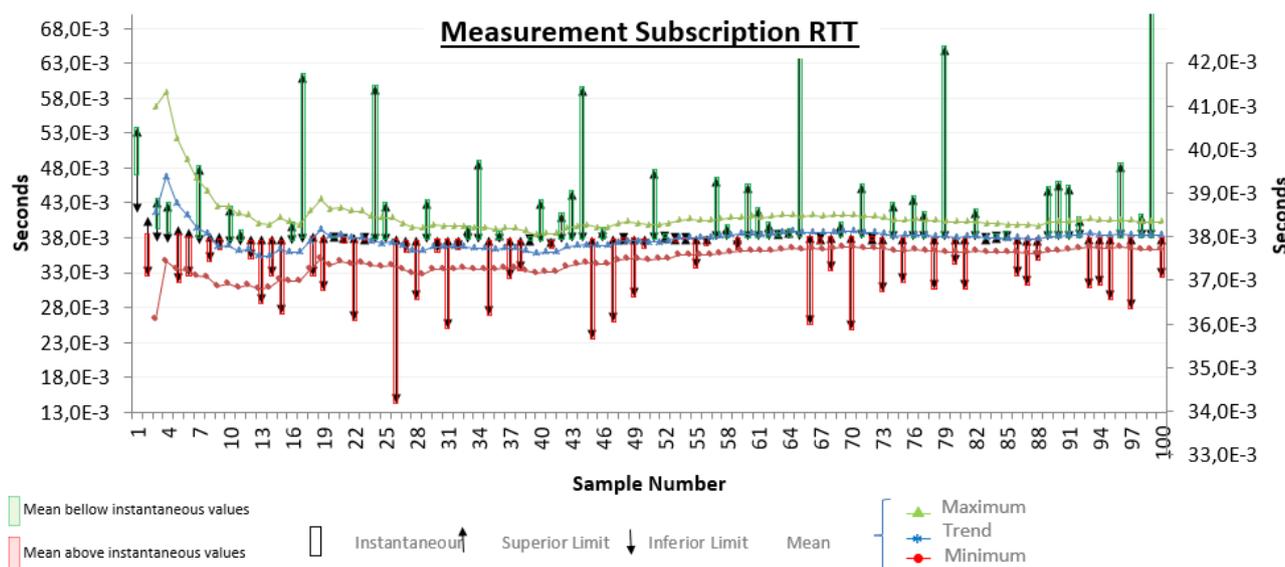


Figura 28: Resultados obtidos sobre análise de RTT no cenário proposto, medido na aplicação *IoTTestApp* quando subscrevendo uma amostra de temperatura do PSS no *laptop*.

3GPP Interworking Function (N3IWF). Por fim, o núcleo da rede deve direcionar o tráfego de dados para o servidor de núcleo da NG, que abriga, dentre os serviços de processamento, armazenamento, e análise de dados, a aplicação *IoTTestApp*, para realizar o monitoramento remoto dos sensores de campo.

4.7 Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 6: Aplicações Prioritárias para o Agronegócio

Anderson Reis Rufino Marins, Diego Gabriel Soares Pivoto, Juliano Silveira Ferreira

O projeto Brasil 6G selecionou algumas aplicações classificadas como prioritárias para o agronegócio a fim de demonstrar sua compatibilidade e viabilização a partir da rede de acesso Brasil 6G. Dentre as aplicações selecionadas pode-se destacar: o monitoramento de condições climáticas e meteorológicas, monitoramentos de parâmetros do solo, gerenciamento da localização, comportamento e saúde animal, gerenciamento de maquinários agrícolas. Vale destacar que estas aplicações selecionadas foram classificadas como sendo de "alto impacto" para as áreas rurais de acordo com as pesquisas e conclusões do projeto intitulado de "Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil". Este projeto que foi executado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTIC) [24][25]. Além destas aplicações, foi considerado também o sensoriamento e monitoramento de diferentes parâmetros, associados ao acionamento e controle remoto de cargas, uma vez que estes podem ser utilizados como base para uma ampla gama de aplicações tanto no agronegócio, quanto para outras áreas como, cidades inteligentes, indústria, segurança e aplicações de IoT de maneira geral.

Com intuito de demonstrar a compatibilidade de integração da rede de acesso Brasil 6G com soluções comerciais que empregam diferentes padrões de comunicação, considerou-se que as aplicações prioritárias do agronegócio empregariam diferentes redes de comunicação. Diversas aplicações de sensoriamento e monitoramento de IoT voltadas ao agronegócio consideram o

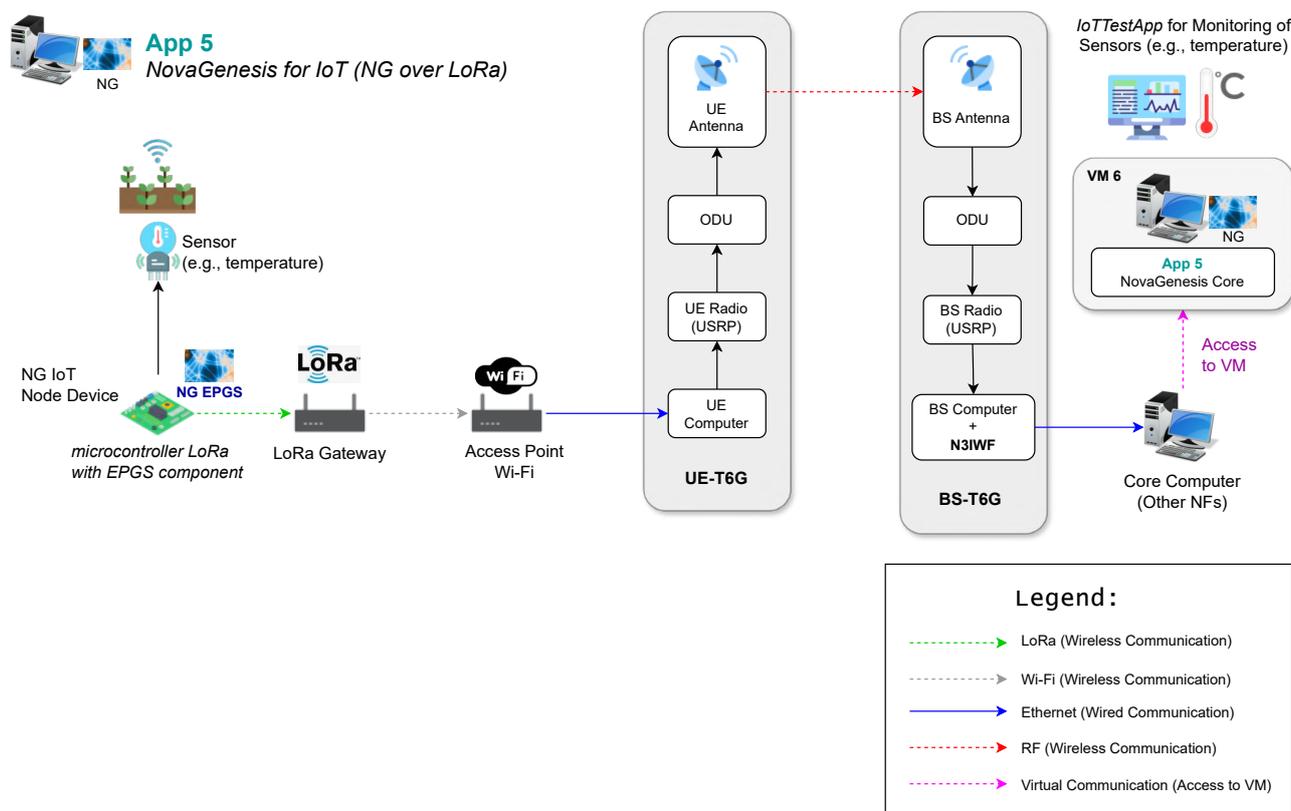


Figura 29: Cenário de integração entre NG com suporte à LoRa e plataforma proposta pelo Projeto Brasil 6G.

emprego de redes de comunicação LPWAN, que são redes de comunicação associadas ao baixo consumo energético e longo alcance, dentre as quais pode-se destacar Sigfox e LoRa. Sendo assim, estas redes foram consideradas no desenvolvimento das soluções proprietárias para o agronegócio, além do *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) e algumas redes proprietárias.

Vale destacar que a transmissão das informações coletadas em cada aplicação para servidores externos e para a internet, viabilizados pela rede de acesso Brasil 6G, permitem a análise, processamento e monitoramento das informações de forma que o gerenciamento das atividades e dos manejos envolvidos, bem como das tomadas de decisão, possam ser realizados de forma remota. Além disso, viabiliza-se também o uso de algoritmos de inteligência artificial associados à uma ampla base de dados, que pode ser atualizada constantemente com informações coletadas de diferentes localidades, culturas e/ou rebanhos, pode propiciar a melhoria contínua de cada aplicação.

A seguir, estão apresentados maiores detalhes sobre cada um das aplicações eleitas como prioritárias, assim como de sua implementação prática e integração com a rede de acesso Brasil 6G.

4.7.1 Monitoramento de condições climáticas e meteorológicas

As condições climáticas e meteorológicas podem impactar diretamente na execução de diferentes atividades agrícolas associadas ao plantio, manejo e colheita. O monitoramento de tais condições de forma regionalizada permite que tomadas de decisões possam ser feitas de forma assertiva, viabilizando a redução do consumo de insumos, como água e pesticidas, implicando

em uma maior eficiência de produção.

O desenvolvimento de uma aplicação desta natureza pode ser desenvolvida de maneira prática utilizando um dispositivo comercial como uma estação meteorológica. Uma estação meteorológica profissional integra sensores diversos como anemômetro, sensor de precipitação de chuva, sensores de temperatura, umidade, radiação solar, dentre outros. A coleta de tais parâmetros e transmissão para servidores remotos viabiliza o uso de aplicações que podem suportar adequadamente diferentes tipos de cultura, manejos e condições climáticas. Sendo assim, a integração da rede de acesso Brasil 6G com uma estação meteorológica permite demonstrar a compatibilidade e capacidade da rede em suportar tais aplicações.

4.7.2 Monitoramentos de parâmetros do solo

O monitoramento de parâmetros associados às condições de solo pode servir de base para a implementação de diversas aplicações que impactam no gerenciamento e tomadas de decisão em diferentes culturas agrícolas. Parâmetros como umidade e temperatura do solo podem ser utilizadas, por exemplo, no controle inteligente de sistemas de irrigação, assim como para atividades relacionadas ao manejo de insumos na lavoura. O monitoramento das condições em diferentes pontos de uma lavoura permite a identificação de necessidades hídricas específicas de cada talhão de terra, e viabiliza o manejo da irrigação e da aplicação de insumos de maneira mais efetiva. Este tipo de aplicação permite otimizar o consumo e uso da água, que é um recurso essencial para atividade agrícola e também para a sobrevivência humana, aumentar a efetividade de certos insumos, impactando, por sua vez, no aumento da produtividade e na redução de custos de produção.

Desta forma, o monitoramento de parâmetros das condições de solo pode ser considerado de alto impacto para atividades agrícolas. Devido a isso, a integração da rede de acesso Brasil 6G como uma estação de monitoramento de condições de solo permite demonstrar que aplicações que utilizem tais parâmetros podem ser viabilizadas com a disponibilização de uma rede de acesso, como a rede Brasil 6G, em localidades remotas e rurais.

4.7.3 Monitoramento e rastreamento de rebanho

O monitoramento e rastreamento de rebanhos pode ser utilizado para a melhoria da efetividade dos processos de manejo de animais, impactando não somente na saúde e bem estar do rebanho, mas, também no aumento de produtividade. O monitoramento e rastreamento do rebanho pode ser realizado a partir de diferentes dispositivos como colares, brincos, microchips implantados, dentre outros. As informações que podem ser coletadas e analisadas através destes dispositivos são diversas. O monitoramento de parâmetros da saúde e comportamento animal, por exemplo, podem ser utilizados para a detecção de animais doentes ou permitir a detecção preventiva de certas doenças, além da identificação de períodos de cio, de trabalho de parto e condições de estresse do animal. O monitoramento da localização dos animais pode ser utilizado tanto para fins de análise complementar do comportamento dos animais e também para questões logísticas e de segurança.

Sendo assim, o monitoramento de rebanho pode ser utilizado para diferentes finalidades impactando diretamente em diferentes manejos e nos resultados alcançados em diferentes rebanhos possibilitando melhoria da saúde animal, assim como da produtividade. A integração da rede de acesso Brasil 6G com um colar comercial de monitoramento de gado, por exemplo, permite demonstrar que aplicações que utilizem informações de saúde, comportamento e localização de rebanhos podem ser viabilizadas a partir da rede de acesso Brasil 6G.

4.7.4 Dispositivos de IoT para sensoriamento, monitoramento e controle remoto

O emprego de dispositivos de IoT que realizam o sensoriamento de grandezas analógicas, como nível de tensão e corrente elétrica, e de grandezas digitais, bem como de posicionamento (*Global Positioning System* (GPS)), podem ser utilizadas como base para as mais diferentes aplicações e finalidades incluindo o agronegócio, indústria, automação, cidades inteligentes, monitoramentos de maquinários, dentre outros. A possibilidade da realização de acionamentos remotos, por sua vez, permita ligar e desligar diferentes tipos de dispositivos e cargas, como sistemas de irrigação, refrigeração, motores, aquecedores, lâmpadas, sirenes, dentre outras. A capacidade do fornecimento de informações de GPS, por sua vez, viabiliza a localização de equipamentos e maquinários. Vale destacar que os dispositivos de sensoriamento e monitoramento de IoT demandam normalmente o emprego de um concentrador de dados ou *gateway* que se comunica com o dispositivo utilizando um padrão de comunicação, como é o caso, por exemplo, dos dispositivos LoRa, e de um roteador, como é o caso de dispositivos Wi-Fi.

Desta forma, a integração de *gateways* de IoT e de dispositivos de IoT para sensoriamento, monitoramento e controle remoto na rede de acesso Brasil 6G evidenciaria que a rede permite que novas e diferentes aplicações com diferentes áreas e finalidades possam ser viabilizadas em áreas remotas.

4.7.5 Detalhes da implementação prática das aplicações prioritárias para o agronegócio

A implementação prática das aplicações prioritárias para o agronegócio, denominadas como App 6 na Tabela 3, e sua integração com a rede de acesso Brasil 6G encontram-se ilustradas no diagrama da Figura 30. Conforme mencionado anteriormente, a App 6 prevê a conectividade de diferentes tecnologias de acesso dentro da área rural, de modo a permitir a comunicação entre os dispositivos de monitoramento e sensoriamento do agronegócio com a UE da rede de acesso *Untrusted Non-3GPP* de forma flexível. Como exemplo, tem-se em uso as tecnologias LoRa, Wi-Fi, Sigfox, e comunicações via protocolos privados através de rádios proprietários.

Para o controle e monitoramento da área rural ilustrados na Figura 30, os seguintes equipamentos comerciais foram utilizados:

- (i) *Weather Station* (Vantage Pro 2): Este equipamento consiste de uma estação meteorológica que inclui uma ampla variedade de sensores capazes de realizar o monitoramento das condições climáticas do ambiente com alto desempenho, como por exemplo, sensores de temperatura e umidade, além de direção e velocidade do vento. A estação meteorológica comercial utilizada foi o modelo Vantage Pro 2, desenvolvido pela Davis Instruments, que se comunica com um rádio privado da empresa através de um protocolo proprietário;
- (ii) *Soil Station*: Similar à estação meteorológica, este equipamento é produzido pela Davis Instruments e oferece uma gama de sensores para monitoramento do solo. Os dados coletados pela estação de solo também são transmitidos para um rádio e por um protocolo proprietário;
- (iii) Rádios proprietários: Os rádios proprietários são transceptores que se comunicam com dispositivos específicos através de um protocolo também proprietário, garantindo segurança e privacidade dos dados. Para a App 6, esses rádios tem como objetivo receber os dados coletados pelas estações meteorológica e de solo, e conseqüentemente enviar à um *switch*;

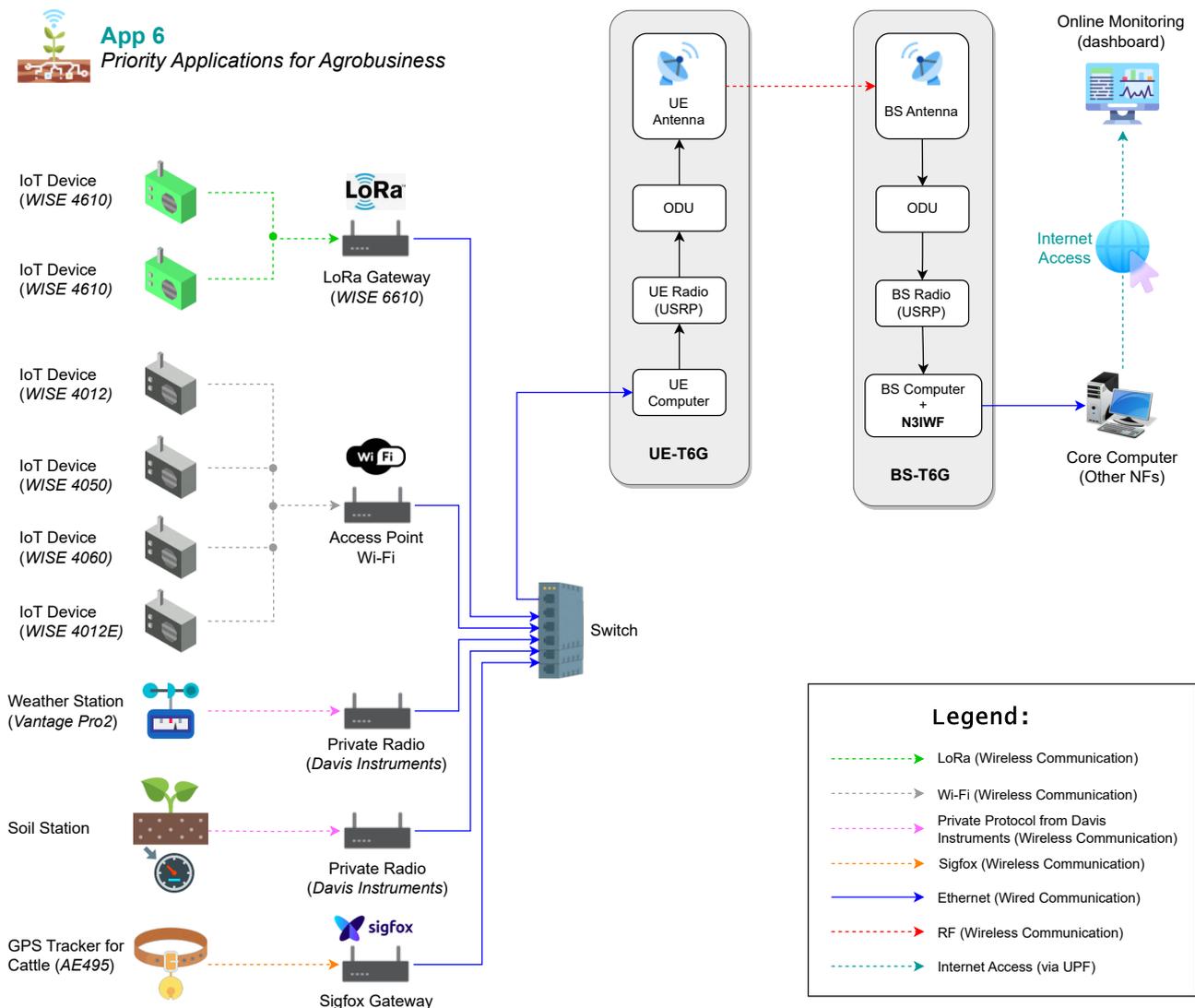


Figura 30: Diagrama da App 12: Aplicações Prioritárias para o Agronegócio.

- (iv) Rastreador GPS para gado (AE495): produzido pela empresa Digitanimal, o dispositivo de rastreador GPS trata-se de um equipamento acoplado à uma coleira de gado, cujo objetivo é coletar informações à respeito do animal, como por exemplo a sua localização e comportamento dentro da área rural monitorada. As informações obtidas são transmitidas para um *gateway* através da tecnologia Sigfox;
- (v) *Gateway* Sigfox: este equipamento realiza a função de *gateway* do rastreador GPS para gado, coletando os dados recebidos do dispositivo e transmitindo-os para um *switch* Ethernet;
- (vi) Dispositivos IoT *Node* LoRa (WISE 4610): estes equipamentos são produzidos pela empresa Advantech e possui uma variedade de entradas e saídas digitais e analógicas para a integração de diferentes sensores à rede IoT, de forma a oferecer flexibilidade à aplicação. A comunicação destes dispositivos é feita através do *Gateway* LoRa WISE 6610;
- (vii) *Gateway* LoRa (WISE 6610): o *gateway* WISE 6610, produzido pela empresa Advantech, realiza a comunicação com os dispositivos IoT LoRa em campo (dispositivos WISE 4610),

e transmite os dados coletados para o *switch* da rede;

- (viii) Dispositivos IoT com comunicação Wi-Fi (WISE 4012, WISE 4012E, WISE 4050, e WISE 4060): similar ao WISE 4610, este conjunto de dispositivos desenvolvidos pela empresa Advantech também oferece uma gama de possibilidades de monitoramento e controle através de diversas entradas e saídas analógicas e digitais para acoplamento de diferentes sensores e atuadores. A diferença entre os modelos mencionados está na quantidade de entradas e saídas, e a comunicação com estes dispositivos é realizada via tecnologia Wi-Fi;
- (ix) Ponto de acesso Wi-Fi: O *Access Point* (AP) é usado para receber os dados obtidos em campo pelos dispositivos IoT com comunicação Wi-Fi e transmiti-los ao *switch* da rede;
- (x) *Switch* da rede: o *switch* tem como objetivo centralizar todas as informações coletadas pelos diferentes dispositivos IoT usando diferentes tecnologias e enviá-las à UE-T6G da rede de acesso *Untrusted Non-3GPP*.
- (xi) Rede de Acesso (UE-T6G e BS-T6G) e Núcleo: o transceptor UE-T6G é o equipamento de usuário da rede de acesso a ser cadastrado pelo núcleo. Visto que a rede de acesso trata-se de uma rede *Untrusted Non-3GPP*, é necessária a comunicação com a função de rede N3IWF, que neste cenário foi acoplado na estação rádio-base BS-T6G. Uma vez que todos os dispositivos usados para o controle e monitoramento do agronegócio estão acoplados à uma única UE, conseqüentemente, o núcleo a observa como uma aplicação única e direciona seu tráfego para uma UPF específica. Para a App 6, o objetivo principal é enviar os dados coletados em campo para servidores de monitoramento e controle. Como os dispositivos usados nesta aplicação e acoplados à UE se comunicam com servidores *online* previamente configurados, o requisito funcional para o monitoramento é o acesso à Internet. Sendo assim, a UPF adotada para o direcionamento do plano de dados deve ser a rede de dados da Internet. Desta forma, qualquer dado coletado pelos dispositivos IoT na zona rural será transmitido para um servidor *online* através do suporte à conectividade fornecido pelos transceptores da rede de acesso de longa distância *Untrusted Non-3GPP*, e do gerenciamento de tráfego eficiente dos planos de controle e usuário definidos pelo núcleo, permitindo assim o monitoramento e controle em áreas remotas.

A Figura 31, mostra um dos *setups* empregados para a realização de testes durante a execução do projeto envolvendo aplicações prioritárias para o agronegócio. A referida figura identifica por legendas numéricas os seguintes dispositivos usados para a experimentação prática:

- 1 - Rádio proprietário para comunicação com a com a estação meteorológica;
- 2 - Rádio proprietário para comunicação com a com a estação de solo;
- 3 - *Gateway* Sigfox;
- 4 - *Gateway* LoRa;
- 5 - Roteador Wi-Fi;
- 6 - Switch Ethernet;
- 7 - Rastreador GPS para gado (Coleira para gado);

- 8 - Dispositivos IoT Nodes LoRa;
- 9 - Dispositivos IoT Wi-Fi;
- 10 - *Front-End* de RF do transceptor Brasil 6G;



Figura 31: *Setup* de testes das aplicações prioritárias para o agronegócio.

Para a fase de experimentação envolvendo os dispositivos das aplicações proprietárias e o núcleo da rede, foram realizados testes considerando o monitoramento do dispositivo IoT WISE 4610 da empresa Advantech, cuja comunicação é estabelecida através da tecnologia LoRa. Conseqüentemente, também foi usado o *Gateway* LoRa WISE 6610 para a transmissão dos dados à Internet fornecido pela rede de acesso *Untrusted Non-3GPP* e núcleo.

Inicialmente, o dispositivo IoT WISE 4610 foi cadastrado e configurado para estabelecer uma comunicação LoRa com o seu respectivo *gateway* WISE 6610. Para a configuração do *gateway* LoRa, foi necessário definir o seu endereço IP como pertencente à mesma rede da UE. A interface de rede usada na UE para conectar ao *gateway* LoRa foi configurada com o endereço IP 172.16.10.11/24. Desta forma, o *gateway* LoRa foi configurado com um endereço IP dentro da rede 172.16.10.0/24 para realizar a conexão com a rede de acesso. A Figura 32 ilustra a configuração do *gateway* LoRa para estabelecer a conexão com a UE da rede de acesso.

WISE-6610-A500-A

Status		
General		
Network		
DHCP		
IPsec		
DynDNS		
System Log		
Configuration	IPv4	IPv6
DHCP Client	<input type="text" value="disabled"/>	<input type="text" value="enabled"/>
IP Address	<input type="text" value="172.16.10.30"/>	<input type="text"/>
Subnet Mask / Prefix	<input type="text" value="255.255.255.0"/>	<input type="text"/>
Default Gateway	<input type="text" value="172.16.10.11"/>	<input type="text"/>
DNS Server	<input type="text" value="8.8.8.8"/>	<input type="text"/>
Bridged	<input type="text" value="no"/>	
Media Type	<input type="text" value="auto-negotiation"/>	

Figura 32: Configuração do *gateway* LoRa WISE 6610.

Conforme ilustrado na Figura 32, o endereço IP adotado para o dispositivo *gateway* LoRa foi 172.16.10.30/24, sendo pertencente à mesma rede do endereço IP da UE (172.16.10.11/24), permitindo a comunicação entre dispositivo LoRa e rede de acesso. Sendo assim, todo o fluxo de dados proveniente do dispositivo de campo é enviado para o *gateway* LoRa e conseqüentemente encaminhado para a UE via rede 172.16.10.0/24. Uma vez que a UE é identificada, autenticada e autorizada pelo núcleo da rede e a sua respectiva UPF é definida como a rede de dados Internet, os planos de controle e de usuário são estabelecidos entre rede de acesso e núcleo, e o tráfego de dados pode ser direcionado ao servidor *online* de destino para monitoramento remoto das informações coletadas na área rural. Para este cenário, a plataforma adotada foi a TagoIO, a qual disponibiliza um servidor com um *dashboard* para o monitoramento e controle das entradas e saídas dos dispositivos conectados. A Figura 33 ilustra o monitoramento remoto do dispositivo LoRa.

4.8 Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 7: Metaverso para Áreas Remotas

Daniely Gomes Silva, Diego Gabriel Soares Pivoto

As redes móveis 6G prometem ser um divisor de águas no campo das telecomunicações, apresentando velocidades ultra-rápidas e conectividade quase instantânea que poderão suportar tecnologias emergentes como o metaverso. Este último, uma coleção de espaços virtuais interconectados onde as pessoas podem interagir com um ambiente tridimensional através de avatares, depende de uma infraestrutura de rede robusta para oferecer experiências imersivas sem precedentes. À medida que o 6G começa a tomar forma, com previsões de implementação na próxima década, especialistas antecipam que ele não apenas facilitará uma imersão mais profunda e interativa no metaverso, mas também transformará radicalmente a maneira como interagimos com o mundo digital, permitindo novas formas de comunicação, comércio e interação social em uma escala até então inimaginável.

Os espaços virtuais presentes no metaverso são acessíveis através de dispositivos de VR, AR e plataformas *online*. O conceito baseia-se na ideia de uma extensão digital do mundo físico, onde as fronteiras entre realidade virtual e realidade aumentada se misturam, criando uma experiência imersiva e contínua. No metaverso, os usuários podem interagir com ambientes digitais tridimensionais e com outros usuários em tempo real, participando de uma ampla gama de atividades que replicam ou vão além das possibilidades do mundo físico.

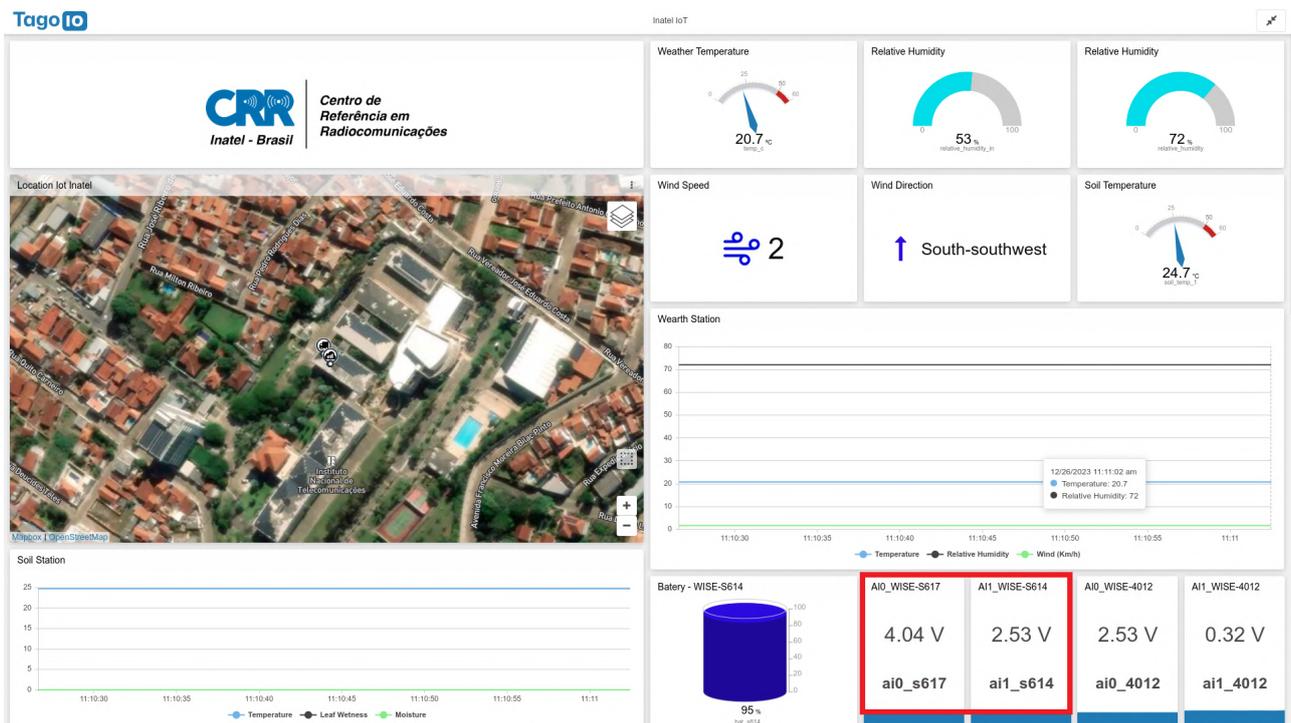


Figura 33: *Dashboard* com a visualização das informações coletadas dos dispositivos.

No contexto de áreas remotas, as aplicações do metaverso apresentam cenários promissores, especialmente em termos de educação, saúde e inclusão digital. Na educação o metaverso pode, por exemplo, oferecer salas de aula virtuais onde estudantes de regiões isoladas têm acesso a recursos educacionais de alta qualidade e a oportunidade de interagir com professores e colegas de todo o mundo, superando barreiras geográficas. No campo da saúde, consultas médicas virtuais podem ser realizadas no metaverso, permitindo que especialistas forneçam diagnósticos e tratamentos para pacientes em áreas onde o acesso a serviços de saúde é limitado. Além disso, o metaverso pode facilitar a inclusão digital, proporcionando às comunidades remotas uma plataforma para participar de eventos globais, acessar serviços governamentais e engajar-se em oportunidades econômicas, reduzindo assim o isolamento e promovendo a igualdade de acesso a informações e recursos.

Além disso, pode-se destacar os benefícios de uso do metaverso em *Smart Farming*, especialmente em fazendas localizadas em áreas remotas, cuja aplicação pode oferecer benefícios significativos ao permitir uma gestão agrícola mais eficiente e inovadora. Através do metaverso, os agricultores podem acessar uma representação virtual de suas fazendas, permitindo-lhes monitorar e gerenciar as operações em tempo real, sem a necessidade de estar fisicamente presentes no local. Isso inclui o monitoramento de condições climáticas, a saúde das plantações e do gado, além da gestão de recursos hídricos e de insumos agrícolas. Essa abordagem não só economiza tempo e recursos, mas também possibilita a implementação de técnicas de agricultura de precisão, otimizando a produtividade e a sustentabilidade.

Tendo em vista esta grande variedade de possíveis cenários de aplicações de metaverso para atender áreas remotas e os benefícios oferecidos pelo uso desta tecnologia, o Projeto Brasil 6G tem como objetivo mostrar algumas destas funcionalidades através da criação de um ambiente imersivo constituído pelo Inatel e por um ambiente de *Smart Farming*. A proposta do cenário de metaverso é replicar o ambiente geral do instituto, especialmente os laboratórios envolvidos

no Projeto Brasil 6G responsáveis por auxiliar no desenvolvimento das demais aplicações e tecnologias consideradas, além do cenário rural composto pela fazenda e algumas das aplicações que serão demonstradas na área remota.

Desta forma, o objetivo principal desta aplicação é oferecer um cenário promissor para a inclusão social e ambientes de *Smart Farming*. No contexto de inclusão social, um usuário localizado em uma área remota será capaz de conhecer o campus do Inatel, e participar de palestras e *workshops* em tempo real através de um avatar pessoal imerso no metaverso. Além disso, o usuário também terá acesso à uma réplica de um ambiente rural com aplicações voltadas ao agronegócio, e experienciar virtualmente como será o cenário de *Smart Farming* proposto para o Projeto Brasil 6G. A Figura 34 ilustra algumas alternativas de dispositivos e meios de acesso usados para a conectividade de um usuário ao ambiente do metaverso proposto. Conforme pode ser observado na Figura 34, o acesso do usuário ao ambiente de metaverso é realizado via *web*. Portanto, diversos dispositivos podem ser usados, como por exemplo, computadores, aparelhos celulares, ou até mesmo óculos AR/VR. Porém, a experiência do usuário ao ambiente virtual no metaverso é melhor com recursos computacionais mais avançados, pois isso permite gráficos de maior qualidade, tempos de carregamento mais rápidos, e uma interação mais suave e responsiva dentro do ambiente virtual, melhorando significativamente a imersão.

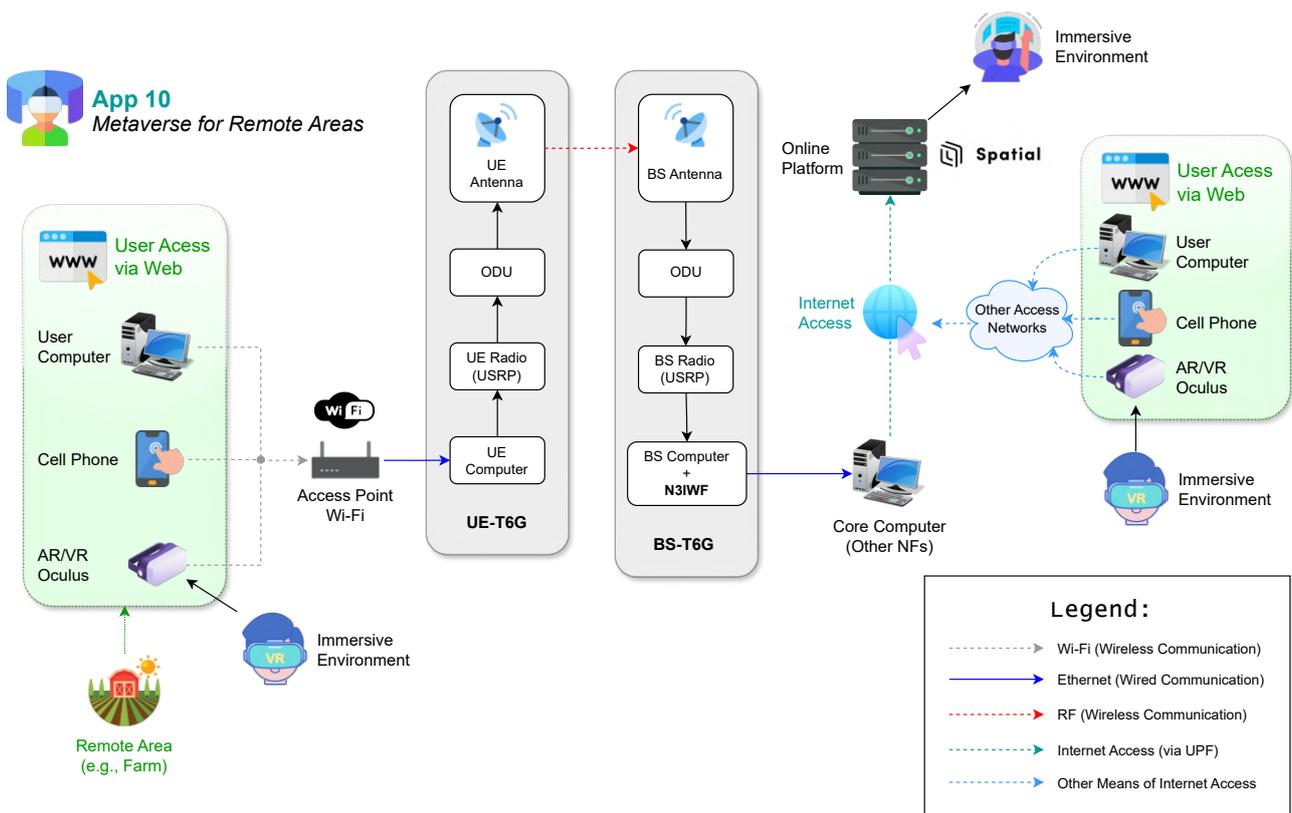


Figura 34: Alternativas de dispositivos e meios de acesso ao metaverso proposto.

É importante destacar que o uso de óculos AR/VR em um metaverso proporciona uma experiência ainda mais imersiva, visto que ele simula um ambiente tridimensional ao redor do usuário, permitindo interações naturais e percepções visuais e auditivas mais profundas, ao contrário da visão bidimensional limitada em telas de celulares ou computadores.

Para áreas remotas, o dispositivo do usuário deve ser conectado a um ponto de acesso Wi-Fi

que se comunica com o transceptor UE-T6G. Desta forma, os dados são transmitidos da UE para o núcleo através da rede de acesso *Untrusted Non-3GPP*, cujo componente N3IWF se localiza na BS. Através do processo de registro e autenticação da UE, o núcleo direciona o tráfego de dados para a rede de dados Internet através da componente UPF. Conseqüentemente, o núcleo oferecerá conectividade para que o usuário acesse o servidor *online* com o ambiente imersivo do metaverso disponível na plataforma Spatial[®] [26].

Vale destacar que qualquer usuário que possua um dispositivo conectado à Internet com recursos computacionais suficientes é capaz de se conectar ao ambiente imersivo do metaverso criado para o Projeto Brasil 6G.

Em relação ao cenário imersivo, o objetivo foi propor uma réplica da estrutura do Inatel, com o foco e permissão de acesso a pontos estratégicos do instituto, que são laboratórios colaboradores do Projeto Brasil 6G (*Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR)*, *Wireless and Optical Convergent Access (WOCA)*, *Internet of Things Research Group (IoT RG)* e *Information and Communications Technologies Laboratory (ICT Lab)*) e o teatro. A apresentação do ambiente virtual dos laboratórios tem como objetivo permitir que os usuários possam conhecer as pesquisas realizadas e os projetos desenvolvidos em cada área de pesquisa. Já o teatro tem o intuito de preparar um ambiente para apresentações e *workshops* em tempo-real.

Além da estrutura do Inatel, também foi implementado um ambiente de *Smart Farming*, onde alguns dos projetos desenvolvidos em laboratório são explorados dentro do contexto de aplicações do agronegócio, de modo que o usuário possa observar como será o futuro através de implementações práticas em um cenário imersivo. A Figura 35 ilustra uma visão geral do ambiente de metaverso a ser desenvolvido pelo Projeto Brasil 6G e como o usuário pode acessá-lo via *web*.

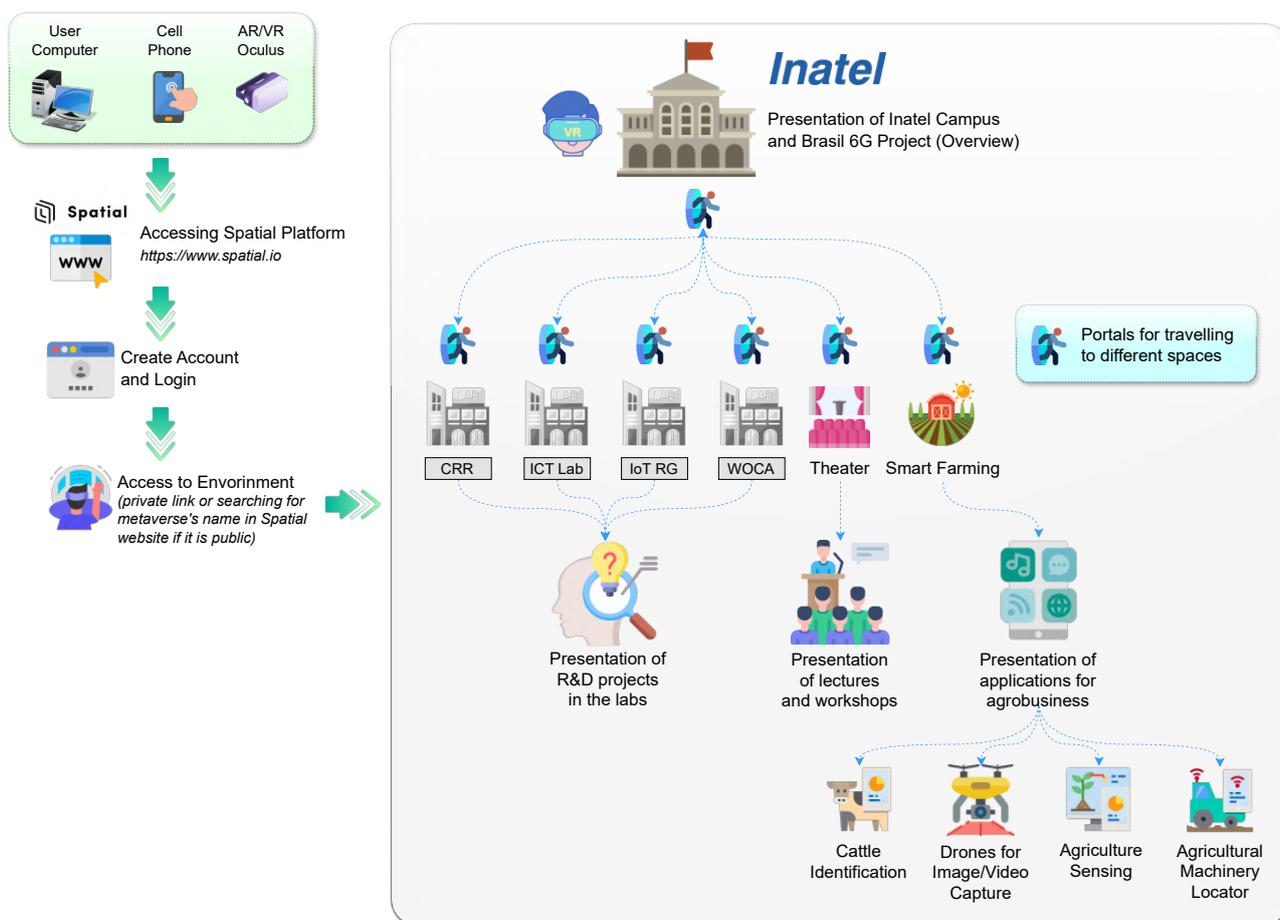


Figura 35: Apresentação da visão geral do ambiente de metaverso proposto e passo-a-passo para o usuário acessar o espaço virtual via *web*.

Conforme ilustrado na Figura 35, ao obter acesso à Internet independente do dispositivo (computador, celular, óculos AR/VR), o usuário pode se conectar com a plataforma Spatial[®] através de seu *website* oficial (<http://www.spatial.io>). Na plataforma, o usuário é capaz de criar um *login* e um avatar que o permitirá adentrar nos ambientes imersivos disponíveis. Além disso, caso o ambiente escolhido para navegar seja público, é possível pesquisar o espaço virtual no *website* da Spatial[®] através de seu respectivo nome, que por sua vez é escolhido pelo criador do metaverso. Em contrapartida, caso o ambiente seja privado, o desenvolvedor do espaço virtual criado deve oferecer ao usuário um *link* para permissão do acesso.

O espaço virtual proposto, conforme ilustrado na Figura 35 e previamente comentado, é composto pela estrutura do Inatel, onde o usuário pode conhecer o campus e também um pouco mais do Projeto Brasil 6G. Além disso, através de portais, o usuário também pode conhecer os laboratórios colaboradores do projeto (CRR, ICT Lab, WOCA e IoT RG), o teatro do instituto, e um ambiente de *Smart Farming*. Dentro de cada laboratório, é feita uma apresentação geral, bem como dos projetos em desenvolvimento e linhas de pesquisa atuantes. Já no teatro, é possível realizar apresentações, palestras e *workshops* em tempo real, permitindo que usuários possam participar à distância.

Por fim, o cenário de *Smart Farming* apresenta através de um ambiente virtual imersivo algumas das aplicações voltadas para o agronegócio que estão sendo desenvolvidas no Projeto Brasil 6G. Dentre essas aplicações, tem-se como por exemplo: identificação e análise com-

portamental de gado; *drones* para captura de imagem e vídeo para identificação de objetos; monitoramento e sensoriamento na agricultura; e localizadores de maquinários agrícolas.

A iteração do usuário com o metaverso desenvolvido em conjunto com a rede de acesso à longa-distância traz como benefícios a inclusão social, onde é possível que pessoas localizadas em áreas remotas e até então sem conectividade à Internet possam usufruir da tecnologia e até mesmo conhecer virtualmente o campus do Inatel, bem como os trabalhos em desenvolvimento, além de participar de palestras e *workshops* em tempo real. Além disso, o cenário virtual de *Smart Farming* permite aproximar a sociedade das novas tecnologias e entender melhor como será o nosso futuro e os benefícios que estes recursos podem nos oferecer através de exemplos de aplicações voltadas para o agronegócio, que podem ser vistos na prática dentro do mundo virtual.

A Figura 36 mostra uma versão inicial do ambiente virtual do laboratório do CRR no metaverso. A Figura 37, por sua vez, mostra um dos *set-ups* de teste de acesso à tal ambiente.



Figura 36: Ambiente do laboratório do CRR no metaverso.



Figura 37: Set-up de teste de acesso ao ambiente do laboratório do CRR no metaverso.

4.9 Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 8: Armadilha inteligente usando IoT para controle de peste em plantações de café

Samuel Baraldi Mafra

A agricultura provê uma base que sustenta a vida humana no planeta Terra, uma vez que é através da dela que grande parte dos alimentos são produzidos, além de ser a base da economia de diversos países. Vale destacar que na agricultura, as condições locais de plantio são variáveis decisivas no desenvolvimento e produção das plantas. Porém, a rápida expansão das cidades e a necessária redução do desmatamento tornam extremamente importante o processo de escolha e utilização de um local para plantio.

Um dos grandes desafios da humanidade é o aumento populacional. Projeta-se para 2050 uma população mundial de 9,8 bilhões, o que vai obrigar que a produção de alimentos cresça em 70%. Para atender a essa demanda será necessária uma produção mais eficiente em uma mesma área física. Neste contexto, entra em cena o IoT para dar suporte às chamadas Fazendas Inteligentes, cujo propósito é elevar a produtividade através de tecnologia de ponta. Sensores, atuadores, *rovers* são exemplos de equipamentos usados nas etapas de produção.

O aumento da produção alimentar está relacionado com o aumento da produtividade por área e com a expansão das áreas cultiváveis. Porém, à medida que a fronteira agrícola se expande, inimigos indesejados (denominados por “pragas”) são atraídos pela abundância de alimentos, causando graves danos às culturas (grãos, frutos e folhas) e diminuindo a produção da colheita e os ganhos financeiros.

Para combater as pragas, os pesticidas químicos são mais utilizados, dentre eles, inseticidas, herbicidas e fungicidas. Mesmo representando uma solução para o combate às pragas, estes produtos acabam por causar novos problemas: pessoas e animais têm sido constantemente envenenados e o ambiente natural tem sido danificado. Os resíduos de pesticidas contaminam o solo, os rios, os lagos e as águas subterrâneas. No Brasil, por exemplo, o número de pessoas intoxicadas por agrotóxicos tem aumentado ano após ano. Além disso, com o uso frequente as pragas adquirem naturalmente resistência ao princípio ativo do insumo utilizado. Portanto, a cada ano novas fórmulas químicas e novos produtos são lançados, o que tem aumentado os custos de manutenção das plantações para os agricultores e, conseqüentemente, diminuindo seus lucros. Portanto, o desenvolvimento de abordagens de controle de pragas econômicas e ecologicamente sustentáveis torna-se um desafio significativo. Ao mesmo tempo, representa uma excelente oportunidade para garantir a segurança alimentar, incluindo alimentos de alta qualidade, saudáveis e isentos de venenos.

Por exemplo, os cafeicultores de todo o mundo têm lutado para controlar uma praga conhecida como Broca do Café (do inglês, *Coffee Berry Borer* (CBB)), um pequeno besouro que se alimenta do fruto do café, causando enormes perdas qualitativas e quantitativas. Para esta praga, o controle por defensivos químicos tem ficado mais caro a cada colheita e a eficiência tem se tornado cada vez mais baixa. Portanto, a cultura do café exige novas alternativas de controle de pragas com boa relação custo-benefício e alta eficiência. Recentemente, a abordagem de identificação de insetos por análise de imagens usando o paradigma de Visão Computacional e IoT tem ganhado destaque, com o uso de armadilhas inteligentes. É neste contexto, que se encaixa a aplicação 8. O principal objetivo da aplicação 8 proposta é apresentar uma solução baseada em IoT para controle de pragas direcionada à cultura do café. A solução atende aos requisitos para construir uma agricultura mais sustentável e representa uma abordagem alternativa avançada de controle de pragas em relação às atuais. Além disso, a solução deverá ser

capaz de erradicar a praga CBB a um custo-benefício competitivo e sem qualquer impacto ambiental. Como as plantações de café ocupam grandes espaços, a armadilha inteligente deve se movimentar por toda a área, e foi agregado um recurso de monitoramento posicional em tempo real. Este recurso usa sensor de GPS integrado para ler pontos de localização de captura e um aplicativo (interface *web*) para visualização de dados suportado por uma biblioteca de mapas interativos. Como ponte entre a armadilha inteligente e a aplicação, foi colocada uma camada de *middleware* para armazenar os dados provenientes da armadilha inteligente e fornecê-los à aplicação. As condições restritas de conectividade nas áreas rurais também foram consideradas e foi implementado um mecanismo de armazenamento local para períodos *offline*.

O manejo da cafeicultura utilizando abordagens tecnológicas sustentáveis proporcionará benefícios significativos: a) apoio completo à produção de café de alta qualidade e livre de venenos; b) aumentar a produtividade à medida que frutos menores são danificados ou consumidos; c) alavancar o lucro financeiro pela maior qualidade e maior quantidade; d) impacto ambiental mínimo, preservando solo, água, ar, animais e plantas; e) evitar o envenenamento dos trabalhadores agrícolas, dos consumidores finais ou de quaisquer outras pessoas. Por fim, uma vez que esta solução alternativa funcione perfeitamente nas plantações de café, ela poderá ser adaptada e reutilizada em outras culturas ajudando a transformar a agricultura tradicional na desejada agricultura sustentável e apoiando a Agenda 2030 no Brasil e no mundo.

4.9.1 Arquitetura da solução

A solução de controle de pragas proposta é um sistema integrado que consiste em três blocos estruturais, como visto na Figura 38. O primeiro e mais importante bloco é denominado armadilha inteligente e é onde o inseto de interesse (CBB) é atraído, identificado e capturado. A armadilha inteligente precisa estar em movimento para se aproximar do enxame de insetos, já que o CBB tem voos curtos. Analisando a Ordem Entomológica da CBB, as abordagens de identificação de insetos baseadas em acústica ou óptica não seriam adequadas. Assim, a identificação do inseto é realizada por meio de imagem adquirida por sensores de câmeras, através do seu estudo morfológico, o CBB possui corpo arredondado e asas encapsuladas. Assim seu corpo poderia ser considerado um círculo regular, o que tornaria a identificação mais precisa. A câmera é posicionada contra um fundo branco para contrastar com a cor do corpo do CBB (cinza escuro). As imagens adquiridas puderam ser processadas utilizando apenas recursos básicos de Visão Computacional, o que demanda baixo poder de processamento. Através da biblioteca OpenCV, foram desenvolvidos os componentes de *software* para executar o fluxo de trabalho da Visão Computacional. Além disso, a armadilha inteligente possui um mecanismo ativo baseado em ventilador para captura/expulsão. A armadilha inteligente inclui um sensor GPS para publicar sua localização em eventos de captura. De acordo com o modelo de referência da arquitetura IoT, o segundo bloco representa a camada de *middleware*, cuja responsabilidade é armazenar e fornecer dados. Por fim, um aplicativo visualizador de dados representa o terceiro bloco que irá consultar os dados armazenados no IoT Middleware e apresentá-los aos usuários finais que poderão monitorar a operação de campo em tempo real e realizar todo tipo de análise de dados.

A armadilha para insetos é considerada inteligente porque sua estrutura é equipada com sensores e uma placa programável capaz de rodar *softwares* customizados habilitados para processamento de dados e comunicação em rede. A armadilha inteligente projetada nesta solução é composta por uma microcâmera que tira fotos constantemente dos insetos atraídos para seu interior (uma determinada substância é colocada dentro da armadilha inteligente para atrair

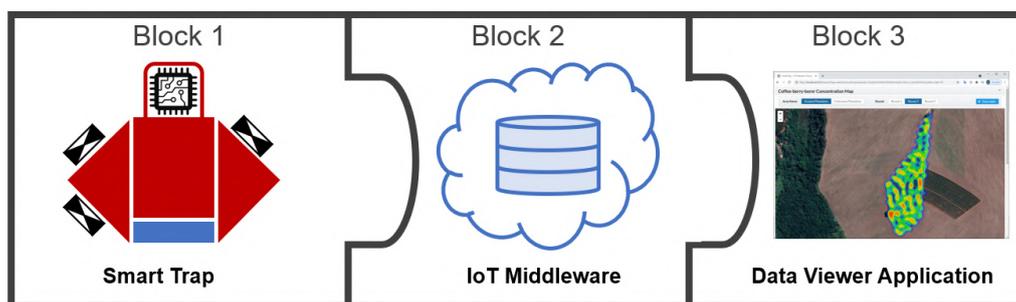


Figura 38: Diagrama de blocos da solução de controle de pragas.

o inseto de interesse). As fotos são enviadas para a placa microprocessada, onde um *software* especializado realiza uma análise minuciosa das imagens em busca de padrões relevantes para identificar o inseto de interesse. Quando a identificação é negativa, três ventiladores específicos são acionados, gerando o fluxo de ar de dentro para fora e expulsando todo(s) inseto(s) desconhecido(s). Caso contrário, quando a identificação é positiva, o inseto é capturado acionando o ventilador apropriado que produz o fluxo de ar que empurra o inseto para um reservatório de água com líquido viscoso, onde o mesmo acaba morto. Além disso, a geoposicionamento da armadilha é recuperada do módulo GPS. Em seguida, é montada uma mensagem textual contendo latitude, longitude, total de insetos capturados e carimbo de data/hora atual. A mensagem é enviada para o *middleware* IoT, onde é armazenada em seu banco de dados interno. A Figura 39 ilustra as partes detalhadas explicadas acima.

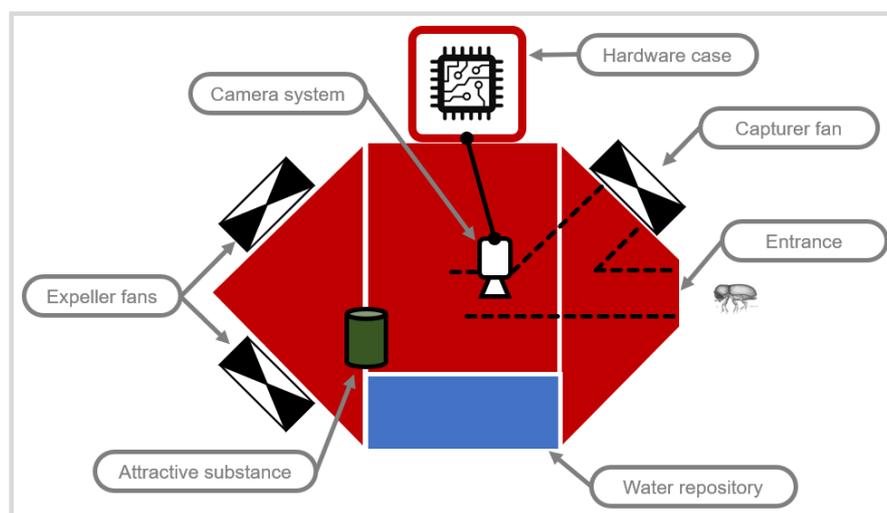


Figura 39: Detalhes da armadilha inteligente.

4.9.2 Testes e validações

Os experimentos de validação consistiram em capturas de CBB em um cafezal real denominado Cultivares localizado na Fazenda Coqueiros em Santana da Vargem, estado de Minas Gerais. Tais experimentos foram organizados em rodadas representando a cobertura completa da área de plantio e, em cada rodada, foi diferenciado o espaçamento entre as posições de captura, representando a erradicação da população de CBBs.

Para transportar a estrutura da armadilha inteligente, também chamada de *Smart Trap*, pela plantação, a mesma foi instalada em um *rover* de transporte, conforme mostra na Figura 40. A metodologia para obtenção dos resultados consistiu em movimentar toda a armadilha pela plantação, parando a cada 3 metros durante 30 minutos. A capacidade de transmitir

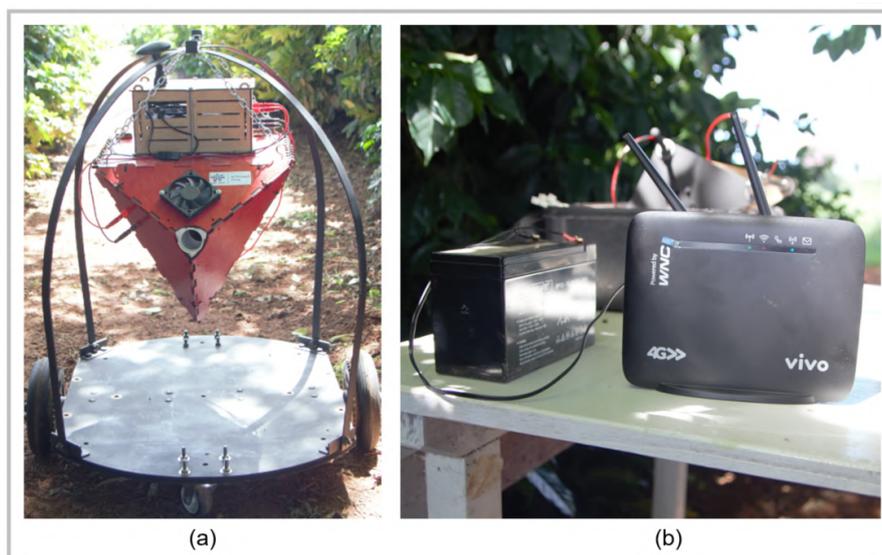


Figura 40: Equipamentos para experimentos de campo: a) *rover* de transporte; b) Modem Wi-Fi/4G e sua bateria.

os dados coletados em campo de um dispositivo embarcado para um navegador *web* do usuário final, passando por um *middleware* IoT baseado em computação em nuvem, é entendida como transmissão integrada de dados. Portanto, o recurso IoT mais relevante desta solução está relacionado a esta capacidade. Para fornecer a conexão à Internet em campo, o modem Wi-Fi/4G, alimentado por bateria, foi acomodado à beira da plantação.

Neste contexto de trabalho o meio rural tem seus desafios onde a conexão com a internet pode sofrer constantes instabilidades. Portanto, o mecanismo de transmissão de dados deve estar preparado para superar tais situações, como gerenciar um armazenamento local durante o período *offline*. Por esse motivo, durante os experimentos de transmissão de dados de campo, foram validados cenários *online* e *offline*.

Em cada evento de captura, a informação de geoposicionamento foi identificada e foi adicionada à mensagem construída e transmitida ao usuário final. À medida que os dados coletados da rodada de testes chegam ao *middleware* IoT, o aplicativo visualizador de dados era habilitado para consultá-los e renderizá-los como mapa de calor representando o mapa de concentração de CBBs. A Figura 41 mostra os respectivos mapas de calor para as três rodadas de testes, começando com espaçamentos menores e progredindo para espaçamentos maiores.

Como as rodadas de testes usaram espaçamentos diferentes, os mapas de calor foram renderizados com concentrações diferentes conforme esperado. Os experimentos realizados conseguiram validar a transmissão integrada de dados, mesmo em momentos de conexão *offline* com armazenamento local de mensagens e retransmissão automática assim que a conexão era restabelecida. Como resultado esperado em operações reais de captura realizadas frequentemente, espera-se que o mapa de concentração seja gradualmente diluído a cada rodada, indicando que a população de CBBs está sendo reduzida.

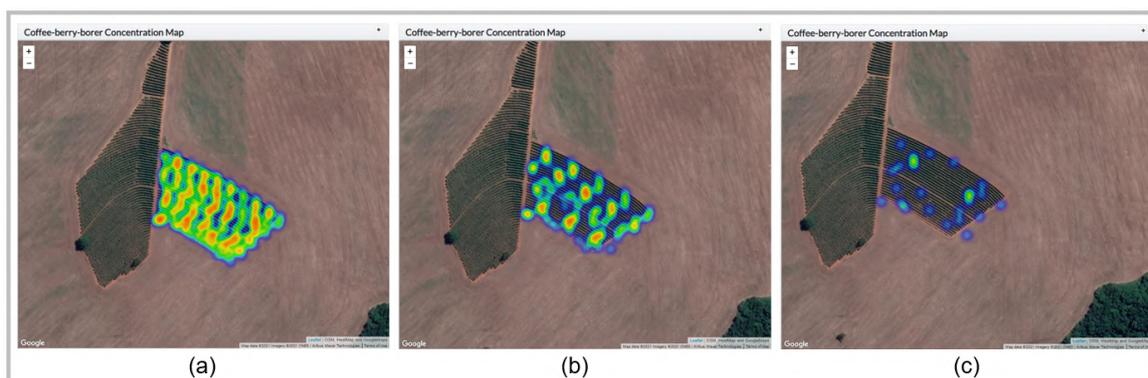


Figura 41: Mapa de calor como resultado da transmissão de dados: a) primeira rodada; b) segundo rodada; c) terceira rodada.

4.10 Experimentação com a Aplicação 9: Plantação de morango inteligente usando IoT

Samuel Baraldi Mafra

Os morangos são frutos delicados e altamente valorizados na agricultura devido ao seu sabor distintivo e versatilidade culinária. A região de Minas Gerais possui um alto índice de produção da fruta, tendo como principal polo a cidade de Pouso Alegre. No entanto, o cultivo de morangos enfrenta uma série de desafios que podem comprometer sua qualidade e produtividade. Entre esses desafios estão a susceptibilidade a pragas, doenças e condições ambientais adversas, que podem afetar significativamente o crescimento e o rendimento das plantações. As práticas agrícolas tradicionais frequentemente dependem da aplicação extensiva de agroquímicos e pesticidas para combater esses problemas. No entanto, o uso excessivo desses produtos levanta preocupações sérias em relação à sustentabilidade ambiental e à segurança alimentar, uma vez que podem deixar resíduos químicos nos morangos e no meio ambiente, além de representarem riscos para a saúde dos agricultores e consumidores.

Diante dessas preocupações, os pesquisadores do Inatel têm buscado soluções inovadoras que possam revolucionar as práticas de cultivo de morangos. Uma abordagem promissora tem sido a integração da computação na borda e tecnologia IoT para desenvolver sistemas de monitoramento e controle mais eficazes e sustentáveis. Um dos principais desafios enfrentados pelos agricultores de morangos é a gestão de doenças, como a antracnose, que podem causar sérios danos às plantações. Essas doenças muitas vezes são difíceis de detectar e controlar a tempo, resultando em perdas significativas de colheita. Além disso, o controle de pragas também é uma preocupação importante, pois insetos como ácaros e besouros podem causar danos graves às plantas de morango. A tecnologia IoT oferece uma solução inovadora para esses problemas, permitindo aos agricultores monitorar as condições ambientais em tempo real e detectar rapidamente a presença de pragas e doenças. Sensores de temperatura, umidade e luminosidade podem fornecer informações valiosas sobre o ambiente de cultivo, permitindo aos agricultores tomar medidas preventivas para proteger suas plantações.

Além disso, sistemas de monitoramento IoT podem ser integrados com algoritmos de aprendizado de máquina e análise de dados para prever surtos de doenças e pragas com base em padrões históricos e condições ambientais atuais. Isso permite uma resposta mais rápida e eficaz aos problemas de saúde das plantas, reduzindo a necessidade de aplicação indiscriminada de pesticidas.

Nesta aplicação é proposto o uso da tecnologia IoT aplicada ao cultivo de morangos através de uma plataforma inteligente que utiliza dispositivos como Raspberry Pi, Arduino e sensores especializados para coletar dados sobre as condições de crescimento das plantas. Esses dados são então analisados em tempo real para identificar padrões e tendências que possam indicar a presença de doenças ou pragas. Além disso, a plataforma pode ser integrada com sistemas de irrigação e fertilização automatizados para otimizar o uso de recursos e maximizar o rendimento das plantações. Além dos benefícios diretos para os agricultores, a adoção destas tecnologias no cultivo de morangos também podem ter importantes implicações para a sustentabilidade ambiental e a segurança alimentar. Reduzir o uso de pesticidas e agroquímicos pode ajudar a minimizar a contaminação ambiental e os riscos para a saúde humana associados a esses produtos. Além disso, ao aumentar a eficiência e a produtividade das plantações, as tecnologias IoT podem contribuir para garantir um fornecimento estável e confiável de morangos de alta qualidade para os consumidores.

A integração da computação na borda e tecnologia IoT oferece um potencial significativo para melhorar as práticas de cultivo de morangos e enfrentar os desafios críticos enfrentados pelos agricultores. Ao fornecer monitoramento em tempo real, detecção precoce de doenças e pragas, e otimização de recursos, essas tecnologias podem ajudar a promover uma agricultura mais sustentável e eficiente. A plataforma IoT desenvolvida oferece todas estas capacidades aliada a um ótimo custo-benefício. Não apenas, a arquitetura desenvolvida possibilita o desenvolvimento e implementação de outras tecnologias de forma fácil e rápida, bem como outros modelos de *Machine Learning* (ML) e *Computational Vision* (CV). Além disso, ao reduzir a dependência de pesticidas e agroquímicos, a solução proposta pode contribuir para uma produção agrícola mais segura e ambientalmente responsável.

4.10.1 Testes e validação

Para validar um algoritmo de inteligência artificial é necessário avaliar a eficiência do algoritmo em um conjunto de dados reais. O algoritmo deve ser capaz de identificar corretamente as classes em que as novas observações são pertencentes. Além disso, é necessário verificar se o algoritmo consegue gerar um bom resultado mesmo quando os dados não estão completos ou são inconsistentes e/ou incorretos. Porém, no último caso, um outro modelo de ML pode ser implementado para identificar os valores atípicos apresentados pelos nós sensores.

O desempenho do modelo desenvolvido foi validado através das seguintes métricas: (I) Precisão, (II) *Recall* e (III) *F1-Score*. As métricas de Precisão e *Recall* são construídas a partir de variáveis que mensuram o grau de assertividade do modelo. Estas variáveis são denominadas (I) Verdadeiro Positivo (VP), Verdadeiro Negativo (VN), Falso Positivo (FP) e Falso Negativo (FN). Os verdadeiros positivos são amostras que são corretamente identificadas como melhor local para plantio. Os falsos positivos são amostras que são incorretamente identificadas de mesmo modo. Os verdadeiros negativos são amostras que são corretamente identificadas e falsos negativos são amostras que são incorretamente identificadas como melhor local para plantio.

A precisão é uma medida de qualidade de um algoritmo de ML e apresenta o grau de conformidade do mesmo com relação aos dados de entrada, ou seja, é a quantidade de erros cometidos em relação à quantidade de dados corretos. Portanto, calcula a taxa de acerto de um modelo de sendo calculada dividindo o número de vezes que o modelo acertou o resultado pelo número de tentativas, como o cálculo:

$$Precisão = \frac{VerdadeirosPositivos(VP)}{VerdadeirosPositivos(VP) + FalsosPositivos(FP)}$$

O *Recall* em sistemas de IA é uma métrica usada para medir a precisão da capacidade de um sistema de detectar e identificar um objeto ou classe de objetos desejada. É calculada dividindo o número de objetos corretamente identificados pelo número verdadeiros positivos somados ao número de falsos negativos apresentado, conforme mostrado a seguir:

$$Recall = \frac{VerdadeirosPositivos(VP)}{VerdadeirosPositivos(VP) + FalsosNegativos(FN)}$$

O *F1-Score* é uma métrica usada em IA para medir a precisão de um sistema de classificação. É uma média ponderada da precisão e do *Recall* apresentados pelo sistema, onde os pesos são o inverso das taxas de falsos positivos e falsos negativos, conforme fórmula dada a seguir:

$$F1\ Score = \frac{2 * Precisão * Recall}{Precisão + Recall}$$

As métricas foram utilizadas para demonstrar como que o modelo classificava cada uma das 22 classes presentes na base de dados. A Tabela 5 apresenta o desempenho do modelo em relação as classes. Afim de auxiliar a visualização do resultado pelo leitor, as métricas acima de 80% foram destacadas.

A etapa de implementação no campo tem como objetivo a validação de diversos aspectos operacionais das ferramentas e aspectos de conectividade dos nós. Esta etapa se torna necessário visto que o intuito é levar ao campo diversas ferramentas de ML e CV. Ademais, todas as ferramentas foram desenvolvidas e testadas em um ambiente controlado, devendo ser posteriormente testadas em campo para resultados mais fidedignos. Os principais testes buscam avaliar a disponibilidade de conexão da rede LoRa em ambientes externos e não controlados, a execução local do modelo de CV treinado e integridade dos dados enviados pelos nós sensores. Os componentes presentes na plataforma são modulares, desta forma não há interação entre os modelos de ML e CV. Os únicos componentes que se integram são referentes ao banco de dados e *dashboard* com as demais ferramentas de IA.

A validação foi realizada a partir de uma plantação real de morangos com uma área de 18.896 m², constituindo aproximadamente 104.000 espécies de morangos San Andreas plantados ao longo de sua extensão. O morangal está localizado em bairro rural da cidade de Cachoeira de Minas em Minas Gerais, Brasil. A Figura 42 apresenta uma visão aérea da área de plantação.

O primeiro passo para implantação da plataforma é a escolha correta dos locais para o posicionamento dos nós sensores e o nó coletor. A escolha destes locais deve considerar a qualidade da conexão entre os nós e também a área da plantação coberta. Devido ao tamanho pequeno da área de plantação escolhida, dois nós sensores e um nó coletor foram suficiente para a cobertura total. Neste caso, não ocorreram problemas de conexão e transmissão de dados entre os dispositivos devido à distância entre os mesmos. O RSSI foi a métrica utilizada para verificação da qualidade do sinal na plantação. Para isso, foi configurado que um nó sensor transmitisse periodicamente o RSSI para o nó coletor. Foram feitas 4 medições em pontos extremos da plantação de modo a verificar o alcance total da rede e a capacidade de cobertura da aplicação na plantação real. Os pontos de medição do RSSI estão ilustrados na Figura 43, enquanto os valores apresentados são exibidos na Tabela 6.

Três variáveis foram constantemente monitoradas durante todo o teste, sendo elas: umidade relativa do ar, temperatura ambiente e umidade do solo, devido ao fato do morango ser uma

Tabela 5: Pontuação de cada classe presente na base de dados de forma individual.

	Precision	Recall	F1-Score
Arroz	0,67	0,91	0,77
Milho	0,29	0,28	0,29
Grão-de-Bico	0,76	0,86	0,81
Feijão roxo	0,88	1,00	0,94
Guandu	0,80	0,67	0,73
Vigna aconitifolia	0,43	0,53	0,47
Vigna radiata	0,50	0,45	0,48
Vigna mungo	1,00	0,59	0,74
Lentilha	0,46	0,24	0,32
Romã	1,00	0,90	0,95
Banana	0,38	0,56	0,45
Manga	0,50	0,30	0,37
Uva	0,50	0,94	0,65
Melancia	0,75	0,38	0,50
Melão	0,83	0,79	0,81
Maçã	0,78	0,96	0,86
Laranja	0,78	0,47	0,58
Papaia	0,67	0,57	0,62
Coco	1,00	0,21	0,35
Algodão	0,75	0,52	0,62
Juta	0,17	0,46	0,25
Café	0,35	0,63	0,45

Tabela 6: Os valores de RSSI apresentados e seus respectivos pontos.

	Medida 1	Medida 2	Medida 3
Ponto 1	-67 dB	-67 dB	-67 dB
Ponto 2	-75 dB	-74 dB	-75 dB
Ponto 3	-59 dB	-59 dB	-60 dB
Ponto 4	-52 dB	-51 dB	-52 dB



Figura 42: Vista aérea da plantação escolhida para validação da plataforma.



Figura 43: Pontos de medida de RSSI na plantação.

fruta frágil às mudanças climáticas rápidas e condições extremas de temperatura e umidade. Os sensores DHT11 e higrômetro foram os responsáveis por captar tais variáveis durante a validação. O teste da aplicação de CV consiste na apresentação de espécimes doentes de morangos em campo. A validação do modelo de CV foi desempenhada através da busca manual por sinais de doenças na plantação. Quando encontrados espécimes de morango San Andreas com algum indício de doença, era apontado a câmera presente no nó coletor para detecção das doenças. Diversas doenças foram encontradas e detectadas na plantação, entre elas *Angular Leafspot* e *Leaf Spot*. A Figura 44 exhibe as detecções prontamente realizadas pela aplicação de CV.

O modelo conseguiu detectar diversas doenças presentes na plantação durante o teste executado, mesmo em diferentes condições de iluminação. Vale destacar que o método de plantio adotado na plantação é distinto daquele considerado na plantação escolhida para criação do banco de imagens que foi empregado durante o treinamento do modelo. Por exemplo, a presença da lona branca de fundo ou o posicionamento dos espécimes de morango não foram problemas para a generalização do modelo. Sendo assim, a aplicação conseguiu de maneira satisfatória

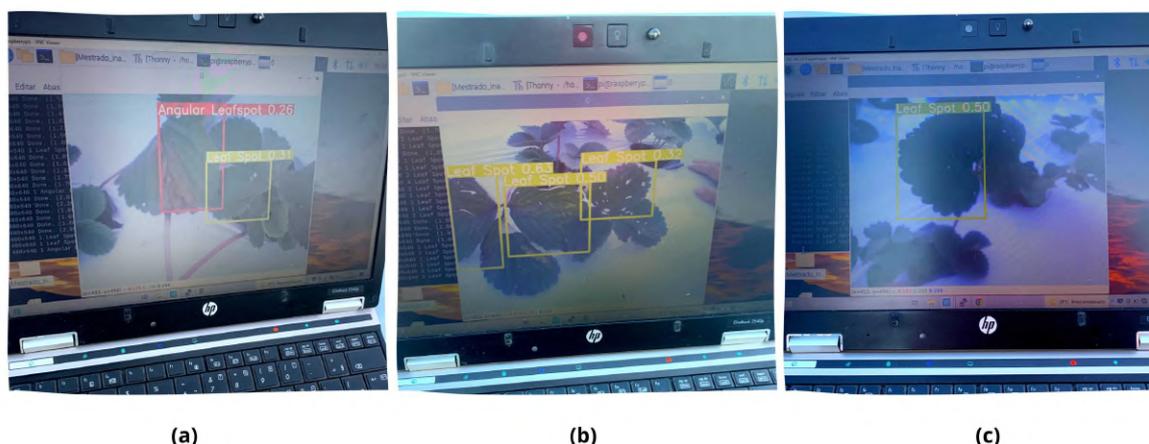


Figura 44: Detecção das doenças encontradas na plantação durante a validação.

detectar as doenças presentes na plantação.

4.10.2 Conclusões sobre a Aplicação em Campo

A plataforma IoT concebida e desenvolvida se mostrou capaz de executar todas as aplicações propostas de maneira satisfatória. Portanto, foi desenvolvida uma ferramenta para otimização da gestão do sistema de irrigação, uma vez que o sistema conseguiu apontar de maneira razoável os melhores locais e horários para serem irrigados. A avaliação do local de plantio também se torna uma ferramenta adicional para o usuário avaliar as diversas plantações e assim gerenciar de maneira ótima os locais para cada cultura. Ademais, os dados capturados localmente pelos nós são processados de maneira isolada, oferecendo maior confiabilidade sobre as classificações feitas. O processamento em tempo-real e local dos dados também possibilita a análise e acompanhamento das mudanças ao longo do tempo.

Quanto a aplicação de CV executada na borda, a aplicação provou ser possível a execução de detecção de doenças localmente, mesmo que em paralelo à execução de diversas outras tarefas. Apesar dos dispositivos de processamento utilizados terem baixa capacidade e o local de plantio oferecer condições adversas de operação, o modelo conseguiu detectar uma quantidade ótima de doenças existentes no local. A mudança contínua de luz, cor e sombra faz com que o desempenho do modelo durante sua classificação seja mitigado, porém, o modelo conseguiu detectar e classificar grande parte das doenças apresentadas.

4.11 Desenvolvimento e Experimentação com a Aplicação 10: Coleira de monitoramento de vacas usando IoT

Samuel Baraldi Mafra

O monitoramento da saúde animal e a detecção precisa do cio são cruciais para melhorar a produção de leite e a eficiência reprodutiva na indústria de laticínios e carne bovina. As fazendas leiteiras precisam monitorar com precisão o período de fertilidade das vacas e completar o processo de acasalamento ou inseminação artificial durante o curto período de cio. Os métodos tradicionais de detecção de cio incluem observação visual, palpação retal, medições vaginais, etc. No entanto, os métodos de detecção manual muitas vezes diagnosticam erroneamente o

período de interesse, o que leva a uma diminuição na taxa de gravidez, perdas com inseminação artificial em momento errado e redução na produção de leite. Algumas soluções tentam resolver o problema da falha na identificação do cio injetando hormônios para induzi-lo. Esta solução dispendiosa é prejudicial à qualidade do leite e às vacas leiteiras. Existem diversas tecnologias disponíveis no mercado que auxiliam nessa tarefa, como sensores de atividade, sistemas de detecção de muco cervical e dispositivos de detecção de movimento. Com o advento da tecnologia IoT em larga escala, aplicações foram recentemente desenvolvidas e introduzidas na agricultura. Soluções IoT estão sendo propostas para estufas, pecuária e monitoramento de culturas. Essas aplicações usam Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) para conectar dispositivos e trocar dados em tempo real. Para comunicação com ampla cobertura em áreas rurais, o LoRa foi proposto como a solução ideal.

O objetivo principal desta aplicação é realizar monitoramento de saúde, detectar o período de cio e gerar alertas de segurança relativo a possível roubo de vacas leiteiras, utilizando dispositivos de baixo custo, baixo consumo de energia e escaláveis de acordo com as premissas do sistema IoT. A solução propõe o desenho de uma aplicação RSSF capaz de oferecer dados precisos do rebanho leiteiro em tempo real ao agricultor, fazendo uso da rede LoRaO desenvolvimento desta aplicação visa reduzir horas de trabalho manual, custos com inseminação artificial e aumentar a capacidade de produção de leite, especialmente para atender a demanda do agronegócio no Brasil, que além de exigir cobertura de rede de telecomunicações em fazendas com grandes áreas de pastagem, enfrenta o problema do roubo de rebanho.

4.11.1 Arquitetura da aplicação de coleira de monitoramento de vacas usando IoT

A aplicação de coleira de monitoramento de vacas consiste nos componentes principais mostrados na Figura 45.

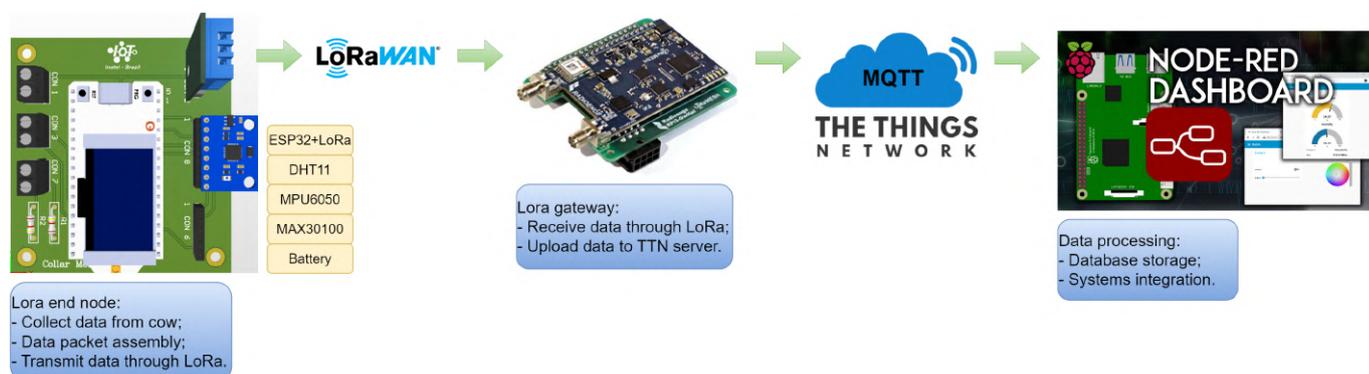


Figura 45: Arquitetura do sistema de monitoramento de vacas usando IoT.

A plataforma de sensoriamento captura dados de movimento através de giroscópio e acelerômetro 3D (modelo MPU6050), dados de temperatura e umidade (sensor modelo DHT11), dados de frequência cardíaca (módulo sensor modelo MAX30100), monitorando a presença do animal dentro de um perímetro pré-determinado e monitorando a presença de uma coleira no pescoço do animal. Um *case* impresso em 3D foi desenvolvido para proteger o *hardware* RSSF das condições climáticas e da aplicação do rebanho leiteiro, mostrado na Figura 46. O material da caixa é o Poliacido Láctico (PLA), um monômero termoplástico derivado de energia renovável, além da solução ser de baixo custo e escalável. O estojo é preso à coleira, que fica presa ao pescoço de cada vaca leiteira. Cada animal com coleira passa a ser um nó final da rede LoRa

que envia os dados coletados periodicamente, cujo tempo de envio é programável visando atender diferentes necessidades de acordo com a aplicação. O nó final utiliza um microcontrolador da família ESP32, que oferece uma plataforma de desenvolvimento ideal para sistemas IoT, que contempla conectividade sem fio através de interfaces LoRa, Wi-Fi e Bluetooth. Possui baixo custo, baixo consumo de energia e integração com sistema de gerenciamento de carga de bateria. Além de realizar leituras periódicas, o nó final desenvolvido é responsável por montar e transmitir o pacote de dados com as informações pela rede LoRa.



Figura 46: Case impresso em 3D para colar de monitoramento de gado.

Os pacotes de dados transmitidos pelo nó final são recebidos pelo *gateway* LoRa, cuja principal função é receber os dados dos sensores e enviá-los ao servidor. O *gateway* LoRa é composto pelo módulo LoRaMESH Radioenge, que opera com uma placa de desenvolvimento Raspberry Pi 3. Este conjunto oferece oito canais simultâneos de comunicação LoRa com os nós finais, interfaces Ethernet e Wi-Fi para comunicação com o servidor *The Things Network* (TTN).

O sistema TTN é um ecossistema colaborativo global de IoT que cria redes, dispositivos e soluções usando LoRa. Ele oferece diversas interfaces de integração para o desenvolvimento de aplicativos e serviços de IoT em nuvem, como *Amazon Web Services* (AWS) IoT, *Azure IoT* e protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Nesta aplicação optou-se pela integração com o protocolo MQTT que é um protocolo leve, eficiente e escalável amplamente utilizado em aplicações IoT. O TTN recebe pacotes do *Gateway* LoRa e disponibiliza os dados dos nós finais para a interface do aplicativo no formato *JavaScript Object Notation* (JSON). Os dados são transmitidos do sistema TTN para a próxima etapa através do protocolo MQTT. O destino final da mensagem é o NodeRED, que é uma ferramenta de programação para conectar dispositivos de *hardware*, *Application Programming Interfaces* (APIs) e serviços *online*. O NodeRED é utilizado em uma placa de desenvolvimento Raspberry Pi 3, onde é realizado todo o processamento dos dados recebidos. Neste cenário, o processamento mencionado contempla quatro funções principais: (I) Receber dados do sistema TTN através da interface MQTT, (II) Armazenar os dados recebidos através do Banco de Dados, (III) Realizar processamento de dados e (IV) Apresentação dos resultados em Painel.

Os dados recebidos periodicamente pela interface MQTT são armazenados em um banco de dados MongoDB, que é um banco de dados de documentos não relacional com escalabilidade e flexibilidade com alto desempenho no processo de consulta e indexação, ideal para aplicações IoT. Os dados do rebanho leiteiro são armazenados para viabilizar posteriores processamentos que incluem a identificação do histórico de comportamento do rebanho, e o desenvolvimento de futuras aplicações de acordo com a necessidade de cada produtor. Uma vez armazenadas as informações, são feitas leituras periódicas no banco de dados e os resultados são apresentados em

um *dashboard* através da API disponível no NodeRED. A aplicação desenvolvida em NodeRED envia os dados para serem apresentados no *dashboard* local e publica para o *broker* HiveMQ em tópicos específicos. Qualquer aplicação remota que queira receber os dados e apresentá-los em um *dashboard* poderá se inscrever no tópico requerido.

4.11.2 Testes e validações

Foram realizados testes com o protótipo da coleira de monitoramento de vacas com objetivo de avaliar a captura e envio de dados pelos nós finais, para validar o sistema proposto, incluindo análise da comunicação LoRa com o *gateway*, o armazenamento de banco de dados e a apresentação das informações no *dashboard*.

Para estabelecer um raio de atuação da RSSF desenvolvida, foram realizadas medições em uma área rural, levando em consideração o valor mínimo de RSSI que ainda é possível para o *gateway* receber dados do nó final. O RSSI é a potência do sinal recebido em miliwatts e é medido em dBm. As medições são usadas para verificar quão bem o receptor recebe o sinal do remetente. Um sinal mais forte fica em torno de -30 dBm, e um sinal fraco, por outro lado, fica em torno de -120 dBm. A tabela 7 apresenta as medições realizadas em uma fazenda localizada no município de Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil. Neste cenário de teste, foram utilizados um *gateway* LoRa localizado no ponto P0 e quatro nós finais localizados nos pontos P1 a P4, conforme mostrado na Figura 47. Neste caso, a área de cobertura alcançada é de aproximadamente $39,860$ km². Alguns pontos possuem valores de RSSI diferentes para a mesma distância do *gateway*, isso é explicado pela diferença de elevação do terreno e obstáculos como árvores. Para a fazenda em análise foi possível estabelecer uma área segura menor que a área máxima de cobertura identificada e, assim, gerar alertas de roubo a partir da identificação de valores fora dos limites de RSSI definidos para tal área.

Tabela 7: Medidas de distância versus RSSI.

	Distância [km]	RSSI [dBm]
P1	3,68	-108
P2	3,24	-110
P3	3,57	-103
P4	3,76	-107

Os dados dos sensores, coletados e processados a cada minuto pelo microcontrolador ESP32 e são transmitidos ao *gateway* LoRa por meio de um pacote de dados de 19 bytes. O *gateway* recebe cada pacote de dados e, através de um sistema de análise desenvolvido no servidor TTN, o converte para o formato JSON. Os dados recebidos periodicamente são armazenados no banco de dados MongoDB através de um sistema desenvolvido utilizando a ferramenta NodeRED.

Empregando-se esta mesma ferramenta, foi desenvolvida a integração com MQTT para receber dados gerados pelo servidor TTN, além de um *dashboard* para apresentação dos dados de sensoriamento. A Figura 48 apresenta uma visão do referido *dashboard*, através do qual é possível visualizar informações como a temperatura e humidade sensoriadas.



Figura 47: Pontos de medição de RSSI em área rural.

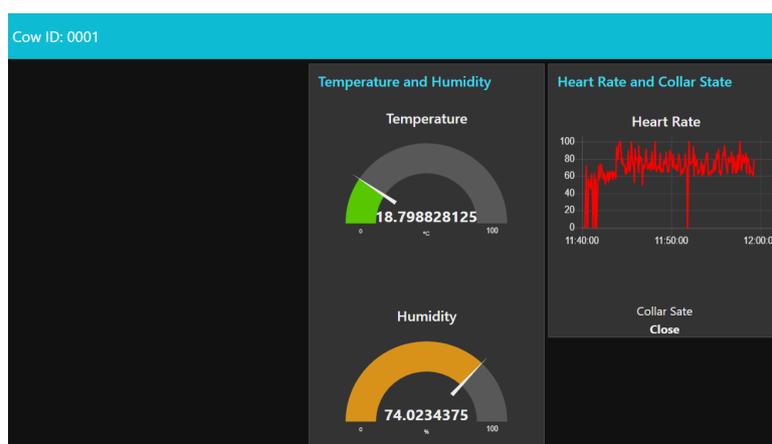


Figura 48: Visão do *dashboard* de monitoramento de informações do gado.

5 Conclusão

A futura rede de comunicação deve suportar uma grande variedade de aplicações e cenários de uso. O presente relatório apresentou aplicações para as Redes 6G, que atendem casos de usos de interesse nacional com foco no cenário de áreas remotas e rurais. Este documento evidencia as pesquisas, implementações e testes envolvendo diferentes aplicações consideradas durante a execução do projeto Brasil 6G. Foram apresentadas as tecnologias e ferramentas empregadas na implementação de diferentes aplicações envolvendo IoT, inteligência artificial e, até mesmo, metaverso. Também foram apresentadas as metodologias, *set-up* e resultados obtidos em testes e avaliações de cada aplicação, bem como possíveis meios de integração para viabilizá-la à plataforma do Projeto Brasil 6G proposta.

A partir dos resultados evidenciados, pode-se concluir que o projeto permite que diferentes tecnologias e ferramentas possam ser avaliadas, e que soluções inovadoras possam ser propostas e desenvolvidas visando atender à diferentes demandas e requisitos. Pode-se evidenciar também que a plataforma Brasil 6G possui compatibilidade e capacidade de suportar e viabilizar as diferentes aplicações mediante os transceptores da rede de acesso *Untrusted Non-3GPP* implementada e o núcleo com a componente N3IWF.

Vale ressaltar que, embora as principais aplicações apresentadas sejam direcionadas ao contexto do agronegócio, diversas outras aplicações em diferentes contextos e cenários que envolvam requisitos similares de conectividade também são compatíveis e podem ser suportados e viabilizados pela plataforma Brasil 6G. Dentre essas aplicações e cenários, podem-se destacar àquelas voltadas à saúde, transporte e mobilidade, educação, inclusão social, segurança, indústria, entretenimento e mídia, cidades e fazendas inteligentes, além de sustentabilidade e segurança ambiental.

Sendo assim, pode-se concluir que a execução da fase 2 do projeto Brasil 6G pôde viabilizar a concepção e desenvolvimento do protótipo funcional de uma plataforma que integra diferentes tecnologias e provê suporte à diferentes aplicações. Além disso, esta fase possibilitou que aplicações inovadoras pudessem ser concebidas e desenvolvidas visando atender à diferentes demandas de interesse nacional e sendo suportadas pela plataforma proposta pelo Projeto Brasil 6G.

Referências

- [1] Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) Inatel, “Atividade 2.1 - Definição das arquiteturas física e lógica da rede protótipo,” *Projeto Brasil 6G*, Jul. 2022.
- [2] A. V. Bastos, A. M. Alberti, C. E. B. Duarte, C. C. Erazzo, C. B. Both, D. R. de Oliveira, D. G. S. Pivoto, F. A. P. de Figueiredo, F. Farias, F. O. Silva, G. Araújo, J. S. Ferreira, K. V. Cardoso, L. L. Mendes, M. A. Gonçalves, M. S. P. Facina, N. V. S. Neto, R. Moreira, R. S. Silva, S. B. Mafra, S. L. Correa, e T. T. Rezende, “Relatório Técnico das Atividades 5.1 e 5.2 - Projeto e Seleção de Componentes, Plataformas, Ferramentas e Especificação,” Instituto Nacional de Telecomunicações, Relatório Técnico, December 2022, projeto Brasil 6G.
- [3] A. M. Alberti, C. E. B. Duarte, C. B. Both, C. J. A. Macedo, D. G. S. Pivoto, F. d. O. Silva, G. Araújo, K. V. Cardoso, L. L. Mendes, M. A. Gonçalves, M. S. P. Facina, N. V. S. Neto, R. Moreira, R. S. Silva, S. L. Correa, e T. T. Rezende, “Relatório Técnico da Atividade 5.3 - Integração de Componentes, Ferramentas, Plataformas e Novas Implementações,” Instituto Nacional de Telecomunicações, Relatório Técnico, December 2023, projeto Brasil 6G.
- [4] Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea) e Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), “PIB do Agronegócio 2022,” 2022, [Online]. Disponível em: [http://https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/PIB-DO-AGRONEGOCIO-2022.17MAR2023\(1\).pdf](http://https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/PIB-DO-AGRONEGOCIO-2022.17MAR2023(1).pdf). Acessado em: 15 de Janeiro de 2024.
- [5] Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) Inatel, “Atividade 2.2 - Definição dos componentes de hardware da plataforma,” *Projeto Brasil 6G*, Jul. 2022.
- [6] J. G. A. Barbedo, L. V. Koenigkan, e P. M. Santos, “Cattle detection using oblique uav images,” *Drones*, v. 4, n. 4, p. 75, 2020.
- [7] D. Buscombe e A. C. Ritchie, “Landscape classification with deep neural networks,” *Geosciences*, v. 8, n. 7, p. 244, 2018.
- [8] A. Nowakowski, J. Mrziglod, D. Spiller, R. Bonifacio, I. Ferrari, P. P. Mathieu, M. Garcia-Herranz, e D.-H. Kim, “Crop type mapping by using transfer learning,” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 98, p. 102313, 2021.
- [9] T. T. Santos, J. G. A. Barbedo, S. Ternes, J. Camargo Neto, L. V. Koenigkan, e K. X. S. de Souza, “Visão computacional aplicada na agricultura.” *Agricultura Digital: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação nas Cadeias Produtivas*, 2020.
- [10] G. Jocher, A. Chaurasia, e J. Qiu. (2023) Ultralytics yolov8. [Online]. Disponível em: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- [11] Ultralytics. Ultralytics YOLOv8 Docs. [Online]. Disponível em: <https://docs.ultralytics.com/>
- [12] T.-Y. Lin, M. Maire, S. Belongie, L. Bourdev, R. Girshick, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, C. L. Zitnick, e P. Dollár, “Microsoft coco: Common objects in context,” 2015.

- [13] Udemy. Visão Computacional: O Guia Completo. [Online]. Disponível em: <https://www.udemy.com/course/visao-computacional-o-guia-completo/>
- [14] M. K. Bekele, R. Pierdicca, E. Frontoni, E. S. Malinverni, e J. Gain, “A survey of augmented, virtual, and mixed reality for cultural heritage,” *J. Comput. Cult. Herit.*, v. 11, n. 2, 2018.
- [15] P. Mach e Z. Becvar, “Mobile edge computing: A survey on architecture and computation offloading,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, v. 19, n. 3, p. 1628–1656, 2017.
- [16] J. Ma, X. Jiang, A. Fan, J. Jiang, e J. Yan, “Image matching from handcrafted to deep features: A survey,” *International Journal of Computer Vision*, v. 129, p. 23–79, 2021.
- [17] G. Younes, D. Asmar, E. Shamma, e J. Zelek, “Keyframe-based monocular slam: design, survey, and future directions,” *Robotics and Autonomous Systems*, v. 98, p. 67–88, 2017. [Online]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889017300647>
- [18] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), “Extended Reality (XR) in 5G,” 3GPP, Tech. Rep. TR 26.928, December 2020.
- [19] —, “Study on XR (Extended Reality) evaluations for NR,” 3GPP, Tech. Rep. TR 38.838, January 2022.
- [20] J. Lindqvist, “Edge computing for mixed reality,” Master’s thesis, Linköping University, 2019.
- [21] A. Macario Barros, M. Michel, Y. Moline, G. Corre, e F. Carrel, “A comprehensive survey of visual slam algorithms,” *Robotics*, v. 11, n. 1, 2022. [Online]. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2218-6581/11/1/24>
- [22] J. Song, J. Wang, L. Zhao, S. Huang, e G. Dissanayake, “Mis-slam: Real-time large-scale dense deformable slam system in minimal invasive surgery based on heterogeneous computing,” *IEEE Robotics and Automation Letters*, v. 3, n. 4, p. 4068–4075, 2018.
- [23] E. R. Neto, M. F. Silva, e A. C. S. Júnior, “Contribuições em Tecnologias de Posicionamento e Sensoriamento para Redes 6G Utilizando LiDAR - Meta 4,” Instituto Nacional de Telecomunicações, Relatório Técnico, february 2024, projeto Brasil 6G.
- [24] Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), “Internet das coisas: um plano de ação para o brasil, produto 8:relatório do plano de ação,” *BNDES e MCTIC*, Nov 2017.
- [25] “BNDES e MCTIC, Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil.” [Online]. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil>
- [26] Spatial, “Spatial,” 2024, [Online]. Disponível em: <https://www.spatial.io/> Acessado em: 30 de Abril de 2024.