

3º Workshop Brasil 

AVANÇOS DA PESQUISA RUMO AO 6G: CONNECTIVIDADE DO FUTURO EM CONSTRUÇÃO



Apoio:



Realização:



3º *Workshop Brasil*

Atividade 3.2 – Aplicações de Posicionamento e Mapeamento com LiDAR

Prof. Dr. Francisco Martins Portelinha Júnior

LiDAR como Tecnologia de Sensoriamento

- **LiDAR (Light Detection and Ranging)**
- **Sensoriamento remoto ativo baseado em pulsos de laser para medir distância;**
- **Geração de modelos 3D detalhados da superfície;**
- **Capacidade de mapear estruturas complexas.**



Avanço para Redes 6G

- **Mapeamento 3D de alta resolução**
 - Essencial para aplicações 6G como veículos autônomos, drones inteligentes e cidades conectadas.
- **Conectividade em áreas remotas**
 - Comunicação confiável e sensoriamento para agricultura de precisão.
- **Otimização de feixes mmWave/THz**
 - Dados de sensores LiDAR permitem ajustar feixes de rádio de forma inteligente, melhorando cobertura e confiabilidade.



Desafios

- **Grande volume de dados**
 - Exige compressão eficiente e processamento em tempo real.
- **Garantir sensoriamento em áreas agrícolas remotas**
 - Permitir monitoramento em tempo real, tomada de decisão precisa e otimização de recursos no campo.
- **Criação de datasets**
 - Treinar modelos de aprendizado de máquina robustos, aplicáveis à segurança, monitoramento ambiental e agricultura automatizada.
- **Processar dados 3D do ambiente em tempo real**
 - Otimizar a comunicação em cenários dinâmicos.

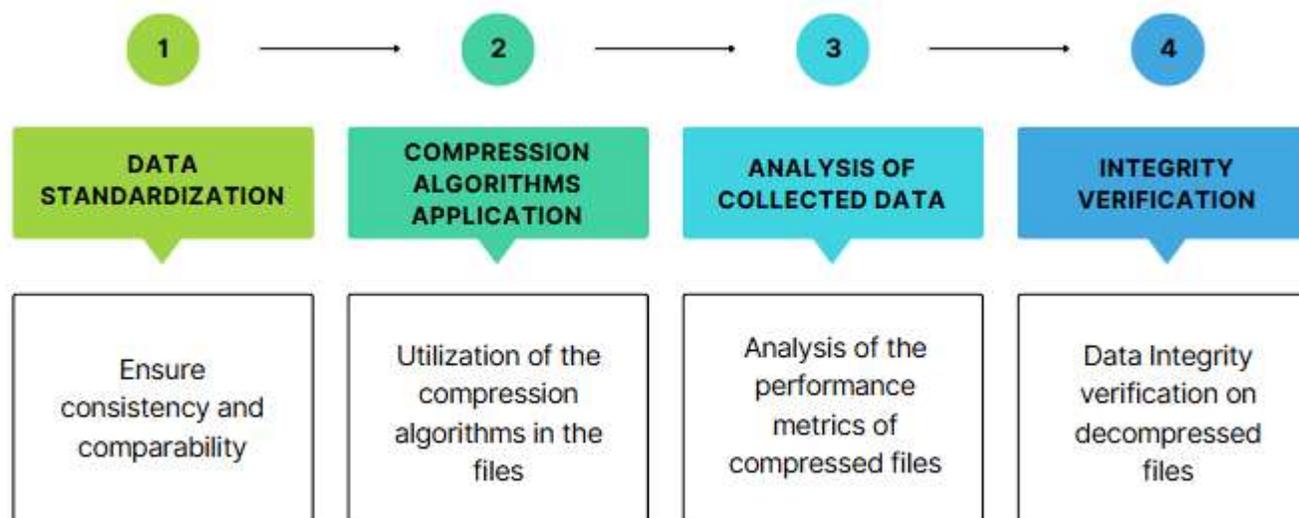
Objetivo

- **Explorar, desenvolver e validar aplicações baseadas em sensores LiDAR voltadas a contextos agrícolas, industriais e de telecomunicações avançadas.**
- **A investigação está estruturada em quatro linhas principais e complementares de pesquisa:**
 - Estudo Comparativo de Algoritmos para Compressão de Dados LiDAR;
 - Integração de Sistemas LiDAR ALS e Conectividade TV White Space para Agricultura de Precisão;
 - Criação de um Conjunto de Dados LiDAR Sintético com BlenSor;
 - Seleção de Feixe Usando Dados LiDAR.

Um Estudo Comparativo de Algoritmos para Compressão de Dados LiDAR

Highlights

- Estudo comparativo de algoritmos de compressão de dados LiDAR;
- Busca por alto desempenho de compressão com preservação da integridade dos dados;
- Relevância em cenários com processamento em tempo real e restrições de largura de banda.



Análise de Integridade

Validação de integridade em duas etapas:

- **Etapa 1:** inspeções visuais em softwares de nuvem de pontos.
 - Verificação de distorções visuais, perdas estruturais e alterações espaciais/escalar.
- **Etapa 2:** verificação criptográfica com hash MD5.
 - Comparação binária exata entre arquivos originais e descomprimidos;
 - Correspondência confirma compressão sem perdas;
 - Divergências analisadas para identificar metadados ou perdas reais.
- O estudo confirmou a integridade sem perdas de todos os algoritmos analisados, garantindo fidelidade dos dados em aplicações que exigem alta precisão, como modelagem topográfica e monitoramento ambiental.



Resultados Numéricos

Foram avaliados diferentes algoritmos de compressão quanto à taxa de redução de tamanho e tempo de processamento.

	Algoritmo	Taxa de Compressão Média
1	7-Zip	76,61%
2	Zip	66,24%
3	GZip	66,23%
4	Nanozip	82,08%
5	BSC	68,83%
6	LASzip	84,67%
7	sr2	68,75%

Resultados Numéricos

Tempo de compressão (em segundos)

Arquivo	7-Zip	Zip	GZip	LASzip	NZ	BSC	sr2
1120.las	60	90	93	34	72	23	67
1121.las	55	81	79	17	98	20	25
1122.las	87	83	80	15	35	21	27
1317.las	62	81	89	18	83	20	26
1318.las	56	61	60	25	30	15	19
1319.las	69	75	73	23	82	17	23
Média	64,83	78,50	79,00	22	66,7	19,33	31

Resultados Numéricos

A escolha do algoritmo depende da aplicação:

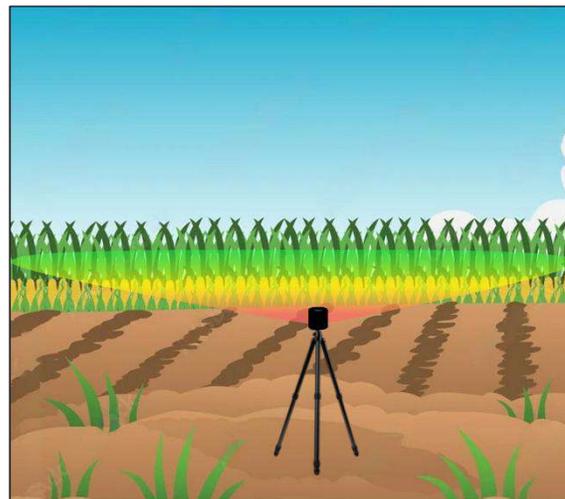
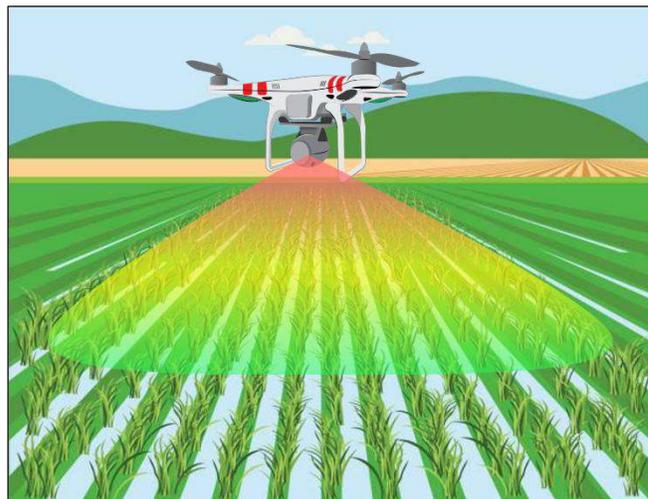
- **LASzip:** maior eficiência de compressão (84,67%), ideal para economia de armazenamento (IoT, drones, arquivamento).
- **BSC:** maior velocidade (3–4x mais rápido), indicado para aplicações em tempo real (mapeamento, navegação autônoma).
- **Nanozip:** desempenho equilibrado entre compressão e velocidade.
- **7-Zip e similares:** compromisso intermediário, menos otimizados para dados LiDAR.

Integração de Sistemas LiDAR ALS e Conectividade TV White Space para Agricultura de Precisão

Highlights

- Proposta de arquitetura de sistema LiDAR embarcado em drones;
- Coleta e transmissão de dados em áreas agrícolas remotas;
- Uso de conectividade TV White Space e computação de borda;
- Integração com redes 6G, garantindo baixa latência e ampla cobertura;
- Aplicações potenciais:
 - Mapeamento detalhado do solo
 - Estimativa da altura das culturas
 - Detecção de obstáculos
- Suporte à automação agrícola, aumento da produtividade e gestão eficiente de recursos naturais.

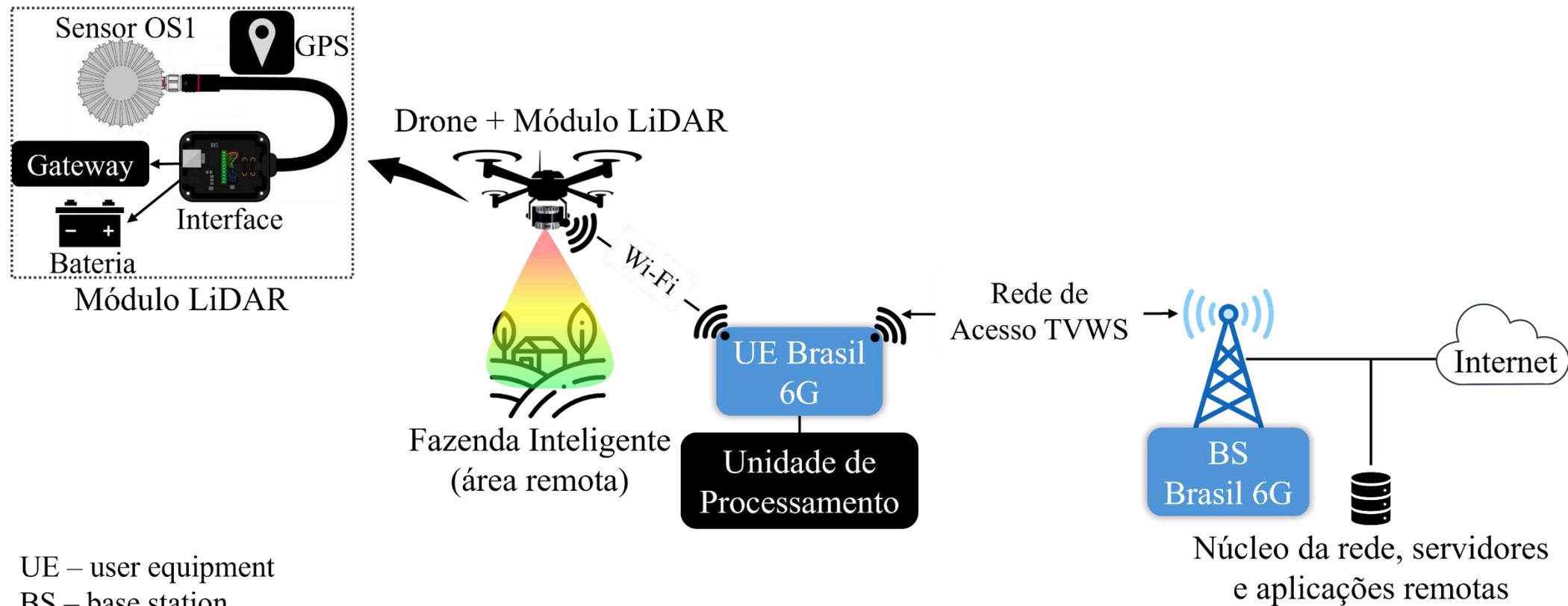
Classificação dos Sistemas LiDAR



ALS – Airborne Laser Scanner TLS – Terrestrial Laser Scanner MLS – Mobile Laser Scanner

- **ALS (Aéreo):** Instalado em UAVs, cobre grandes áreas;
- **TLS (Terrestre):** Base fixa em tripé, gera nuvens de pontos detalhadas, mas exige várias medições e realocação frequente;
- **MLS (Móvel):** Acoplado a tratores, veículos ou carregado manualmente, oferece alta resolução e versatilidade, mas é limitado pela velocidade de operação.

Arquitetura do Sistema Proposto



Requisitos de Projeto

- **Coleta de dados:** drone equipado com LiDAR (OS1, Ouster) captura vegetação e terreno.
- **Módulo LiDAR:** sensor, interface, gateway, GPS e bateria (12/24 V, ≥ 30 min, $\leq 24,8$ kg).
- **Transmissão local:** gateway envia dados via Wi-Fi para UE.
- **Unidade de processamento (UE):** compatível com Linux, realiza filtragem, pré-processamento e análise de dados.
- **Conexão remota:** UE comunica-se com BS via TVWS; BS encaminha dados ao núcleo da rede para armazenamento e visualização.

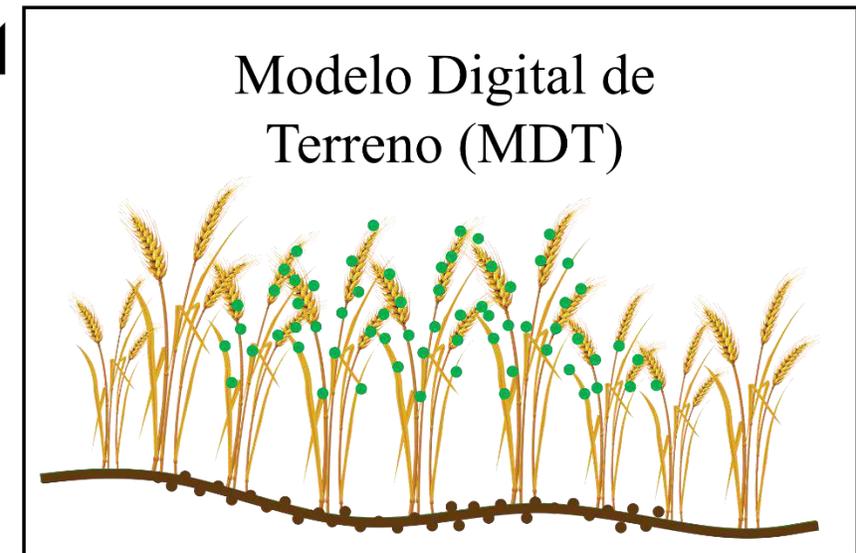
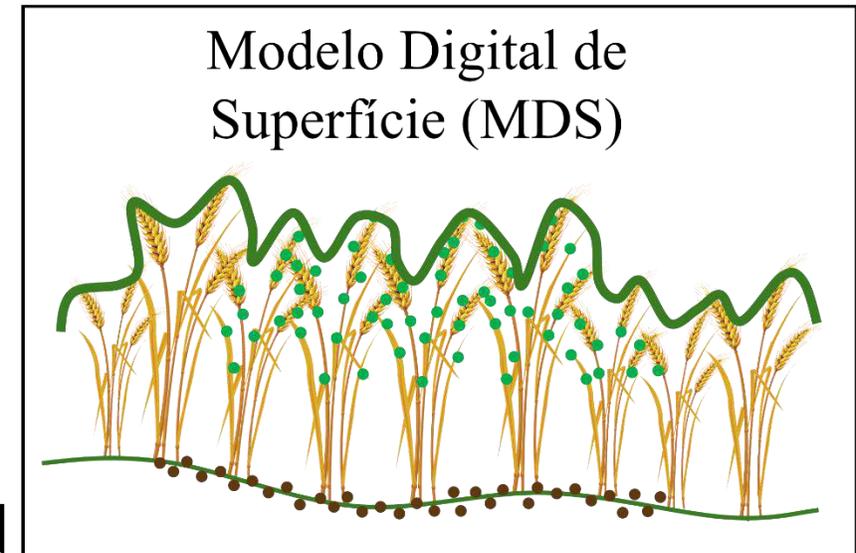
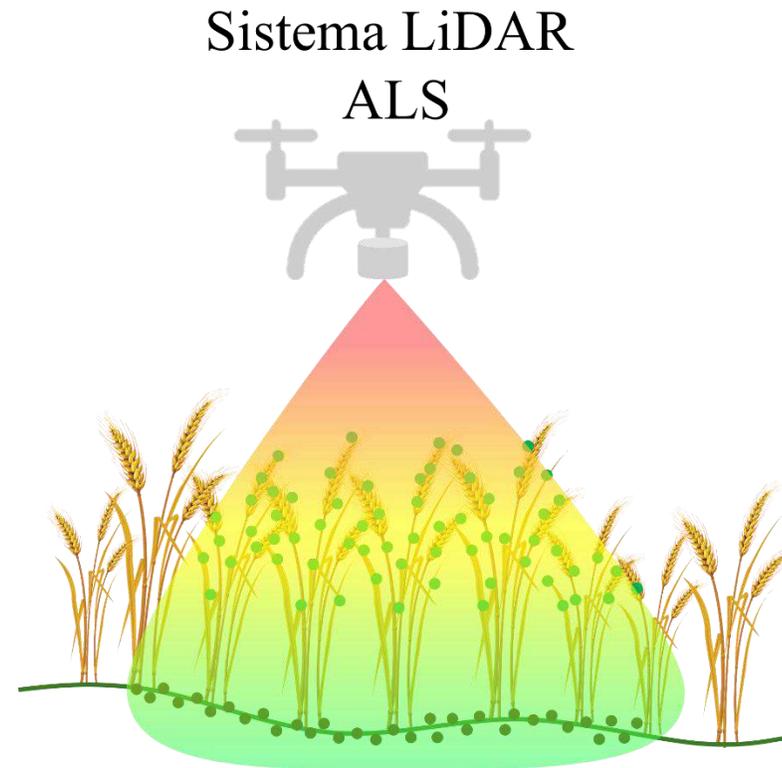
Aplicações Potenciais

Mapeamento do Solo

- Criação de mapas de alta resolução usando LiDAR e georreferenciamento;
- Identificação e classificação precisa de tipos de solo em áreas agrícolas;
- Captura de nuvem de pontos 3D (x,y,z) com alta densidade e precisão;
- Geração do MDT (modelo digital do terreno) e MDS (modelo digital de superfície);
- Armazenamento eficiente em arquivos .las para grandes volumes de dados.

Aplicações Potenciais

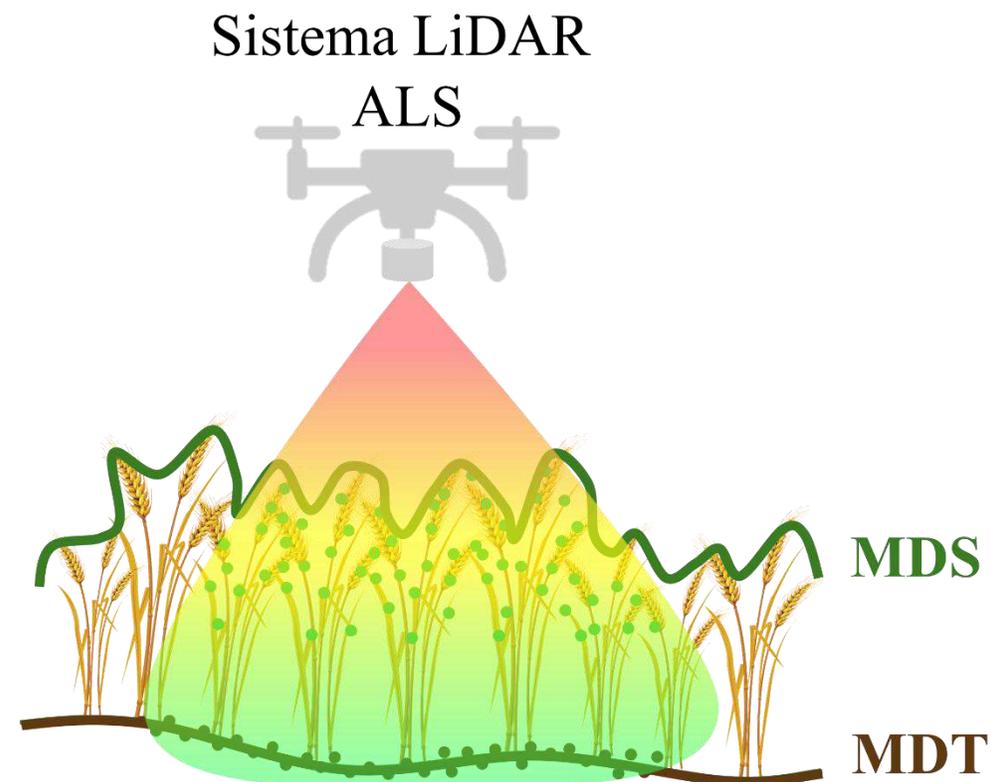
MDT e MDS



Aplicações Potenciais

Estimativa de Altura das Plantações

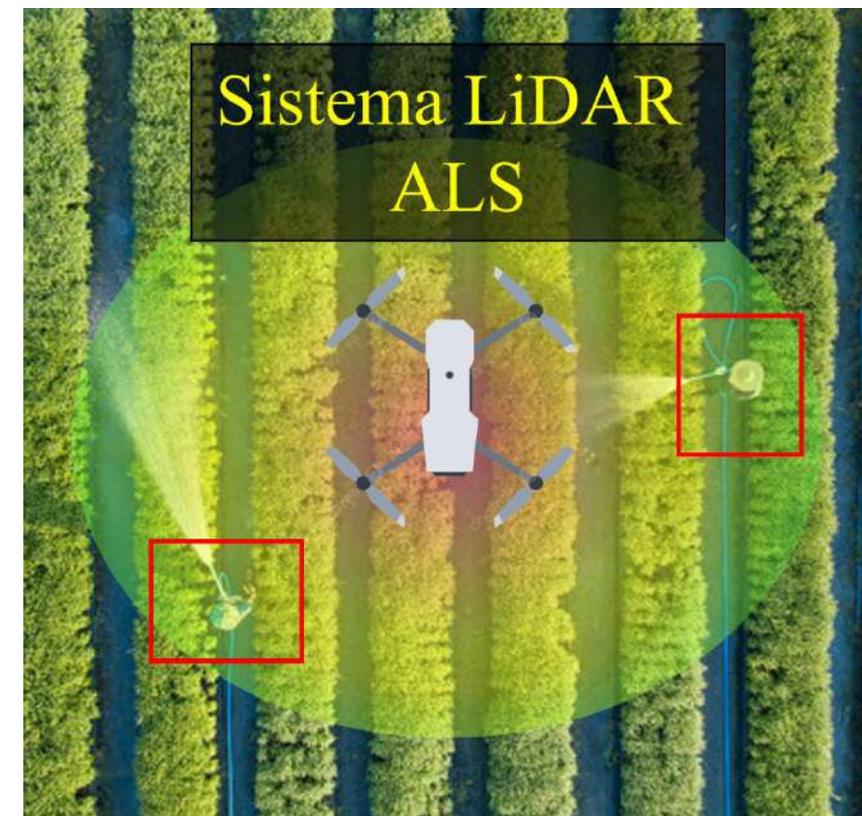
- Altura das plantas é indicador de crescimento, saúde e produtividade.
- Medições manuais são lentas e inviáveis em grandes áreas.
- Sensoriamento remoto com LiDAR ALS permite medições rápidas e precisas em larga escala.
- Geração de MDS e MDT a partir da nuvem de pontos para calcular altura pela diferença entre topo da vegetação e terreno.
- Resolução e precisão dependem da altitude de voo e densidade de pontos.



Aplicações Potenciais

Detecção de Obstáculos

- Ambientes agrícolas apresentam obstáculos positivos (árvores, postes), negativos (buracos, valas), móveis (veículos, pessoas) e terrenos difíceis (encostas, áreas alagadas).
- Características variam conforme tipo de plantação e curvatura do terreno.
- LiDAR ALS em drones pode mapear o terreno previamente, identificando obstáculos em larga escala.
- Dados podem ser processados com IA para detecção e classificação automática de obstáculos por forma, tamanho ou movimento.



Direções Futuras

- Implementação prática da solução proposta para validação em condições reais;
- Montagem do protótipo completo e validação do hardware;
- Testes em campo para avaliar confiabilidade da transmissão e latência da comunicação;
- Demonstração da viabilidade de aplicações em tempo real;
- Integração dos dados para visualização, análise e suporte à decisão;
- Avaliação de autonomia de voo, cobertura, robustez da conexão e desempenho em aplicações específicas.

Criação de um Conjunto de Dados LiDAR Sintético com BlenSor

Highlights

- Criação de conjunto de dados sintético LiDAR com o simulador BlenSor;
- Suporte à validação de algoritmos de detecção e classificação;
- Solução para cenários com escassez de dados reais (pessoas, animais, vegetação);
- Ampliação da disponibilidade de dados com realismo e precisão;
- Treinamento de modelos robustos e generalizáveis para:
 - Segurança
 - Monitoramento ambiental
 - Automação agrícola



BlenSor – Simulação de Sensores 3D

- Ambiente de simulação integrado ao Blender, gerando dados de alcance com realismo físico e flexibilidade.
- Foco em desenvolvimento, teste e validação de algoritmos de detecção de obstáculos, segmentação, rastreamento e reconstrução.
- Utiliza *ray tracing* para simular intensidade do sinal, ruído e refletividade dos materiais.

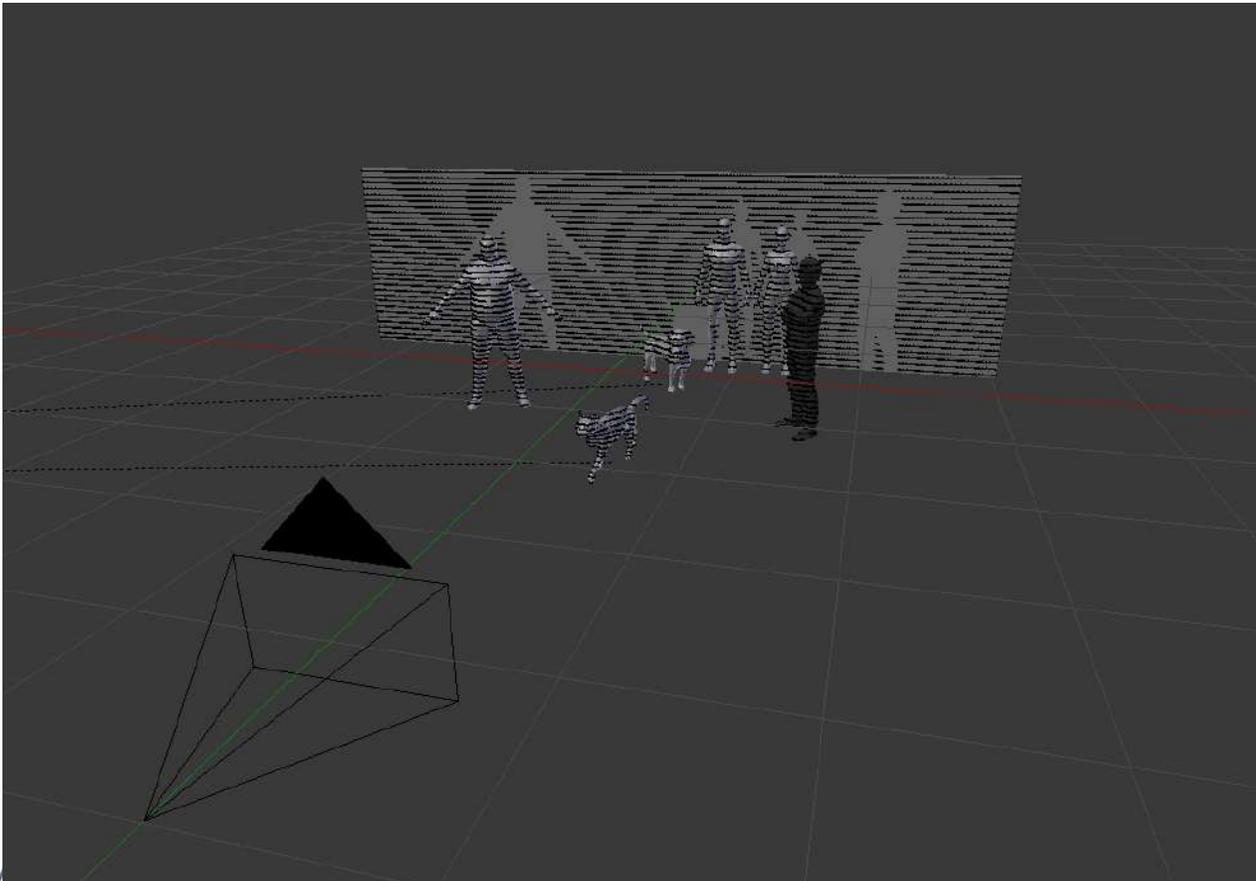


BlenSor – Simulação de Sensores 3D

- Suporte a múltiplos tipos de sensores:
 - **LiDAR Rotativo**
 - **LiDAR de Linha**
 - **Câmera ToF**
- Configuração ajustável de ruído, alcance, resolução angular e propriedades ópticas
- Exportação de dados:
 - Nuvens de pontos 3D com coordenadas, ângulos, distâncias e IDs de objetos;
 - Mapas de profundidade em ponto flutuante compatíveis com processamento 2.5D.
- Toda a cena e parâmetros do sensor mantidos em um único arquivo .blend.

Geração de Dados LiDAR com BlenSor

- Criação de cenas simuladas com diferentes objetos: pessoas, animais e grandes felinos.
- Modelos 3D de alta qualidade importados de bibliotecas profissionais e gratuitas.



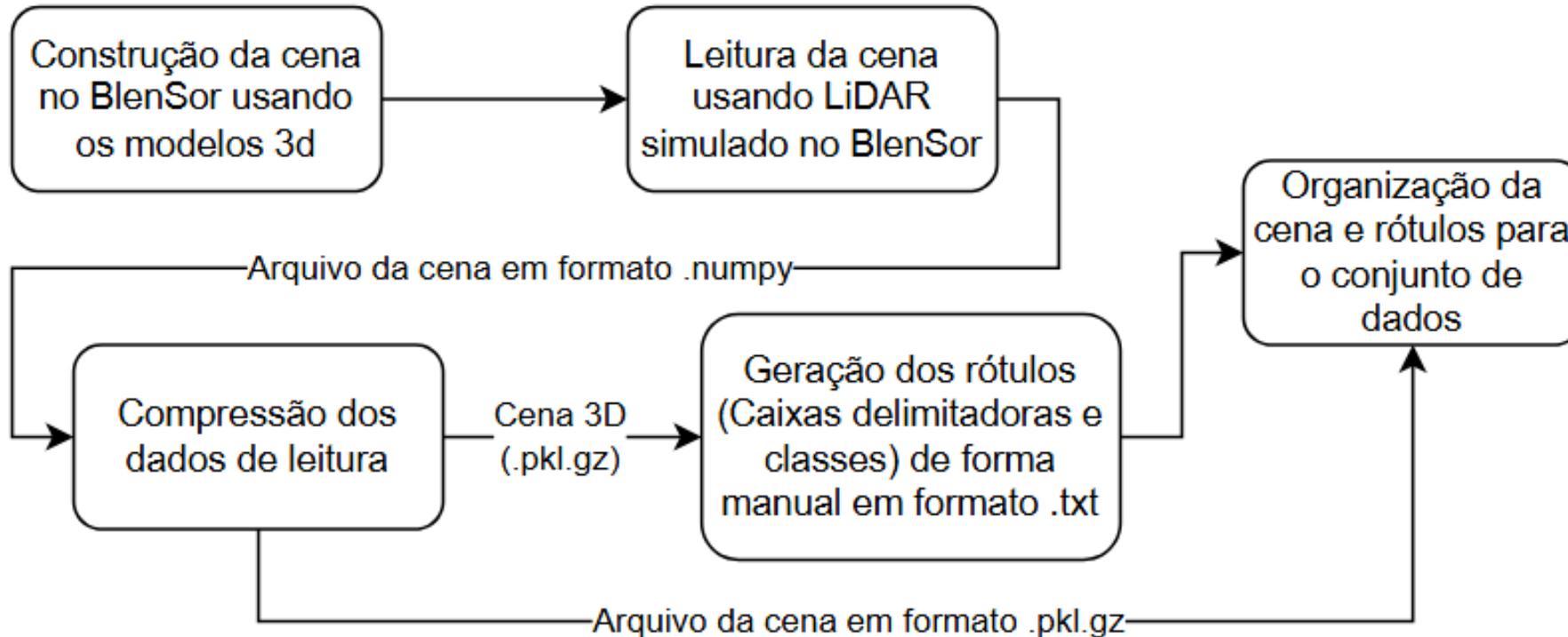
Simulação de uma cena no BlenSor, destacando a leitura gerada por um sensor LiDAR a partir de múltiplos objetos tridimensionais.

Geração de Dados LiDAR com BlenSor

- Os arquivos gerados no BlenSor passam por um processo para reduzir o tamanho e facilitar o armazenamento e a transferência.
- As informações numéricas são simplificadas para ocupar menos espaço, sem perder o essencial.
- Dados inteiros e de refletividade são convertidos para formatos mais compactos.
- Depois dessas etapas, os dados são salvos em um arquivo comprimido, que pode ser facilmente utilizado em outras ferramentas.
- O tamanho final dos arquivos fica, em média, mais de 600 vezes menor que o original.

Geração de Dados LiDAR com BlenSor

- Fluxo de trabalho completo para a geração e compressão de uma cena rotulada no BlenSor:



Direções Futuras

- **Ampliação do conjunto de dados:**
 - Pipelines automatizados para geração de amostras;
 - Data augmentation em nuvens de pontos;
 - Maior diversidade e representatividade.
- **Ferramenta em Python para anotações:**
 - Criação e edição de caixas delimitadoras;
 - Validação em lote dos rótulos;
 - Ajuste interativo de parâmetros;
 - Exportação em formatos padronizados.
- **Resultados esperados:**
 - Conjunto de dados mais robusto e diverso;
 - Redução do esforço manual;
 - Base sólida para avaliação e refinamento de algoritmos.



Seleção de Feixe Usando Dados LiDAR

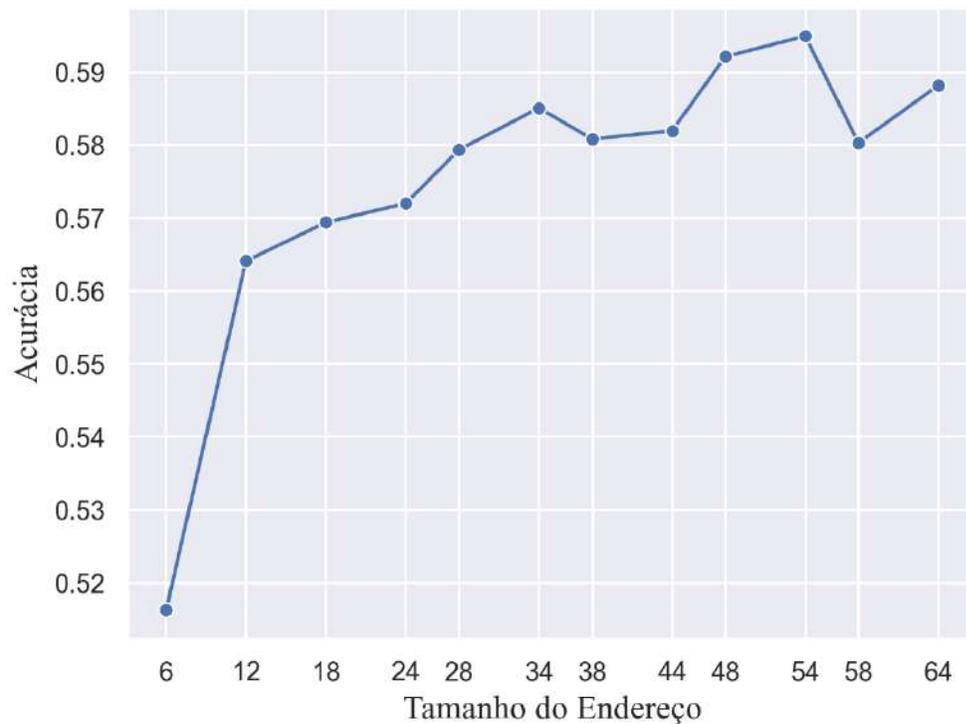
Highlights

- Seleção de feixes em comunicações mmWave com dados de sensores LiDAR;
- Uso da arquitetura RNSP (WiSARD) como alternativa eficiente e de baixo custo computacional;
- Aceleração do processo de beamforming em sistemas 5G e 6G;
- Combinação de informações de GPS e mapas 3D de LiDAR para prever a direção ótima do feixe;
- Garantia de alta acurácia com baixa latência, essencial para aplicações em tempo real;
- Análises comparativas com modelos baseline utilizando o dataset sintético Raymobtime.

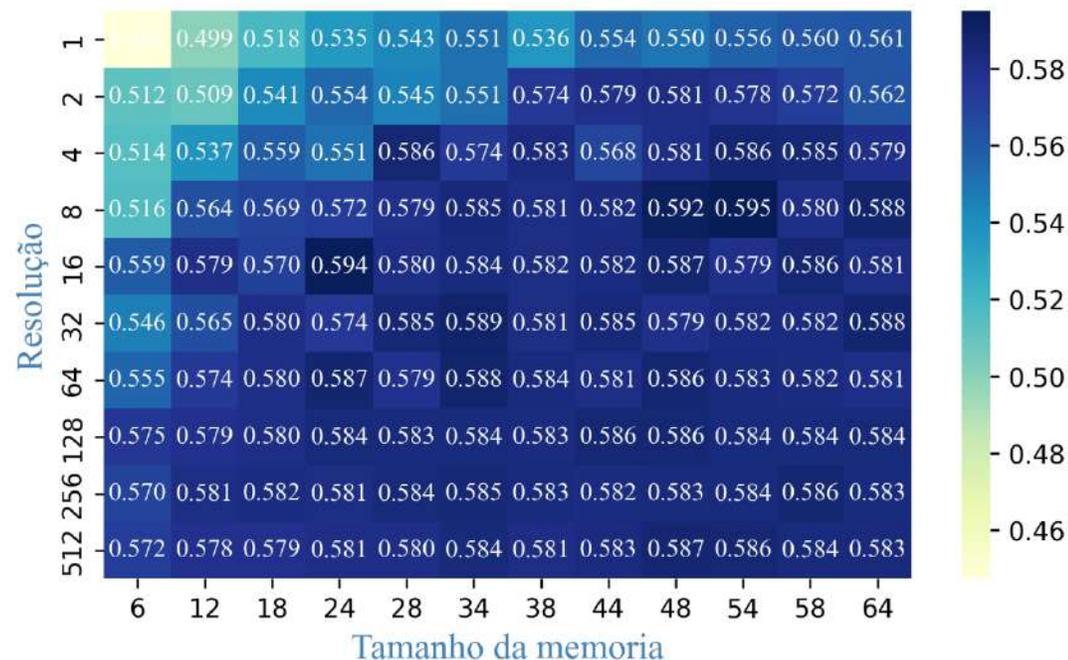
Metodologia usada na Rede Neural Sem Peso

Pré-processamento das Cordenadas

Desempenho da rede WiSARD variando o endereçamento da memória com entradas de coordenadas e resolução igual.



Mapa de calor do desempenho da acurácia com entradas de coordenadas da rede WiSARD.

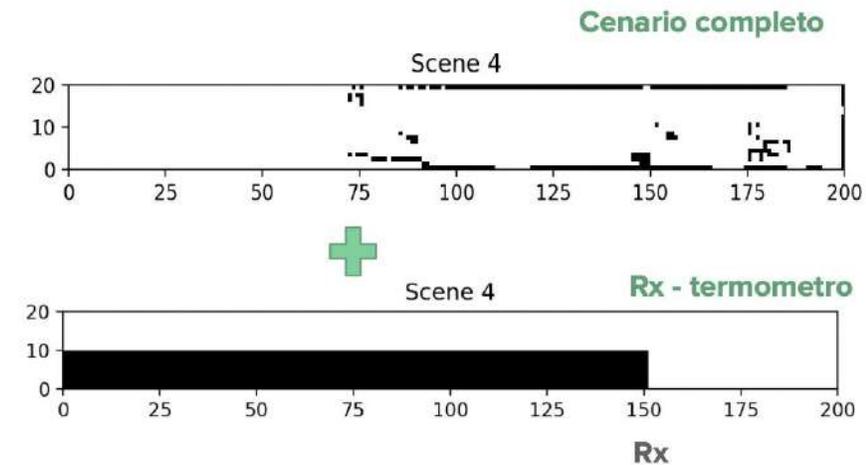
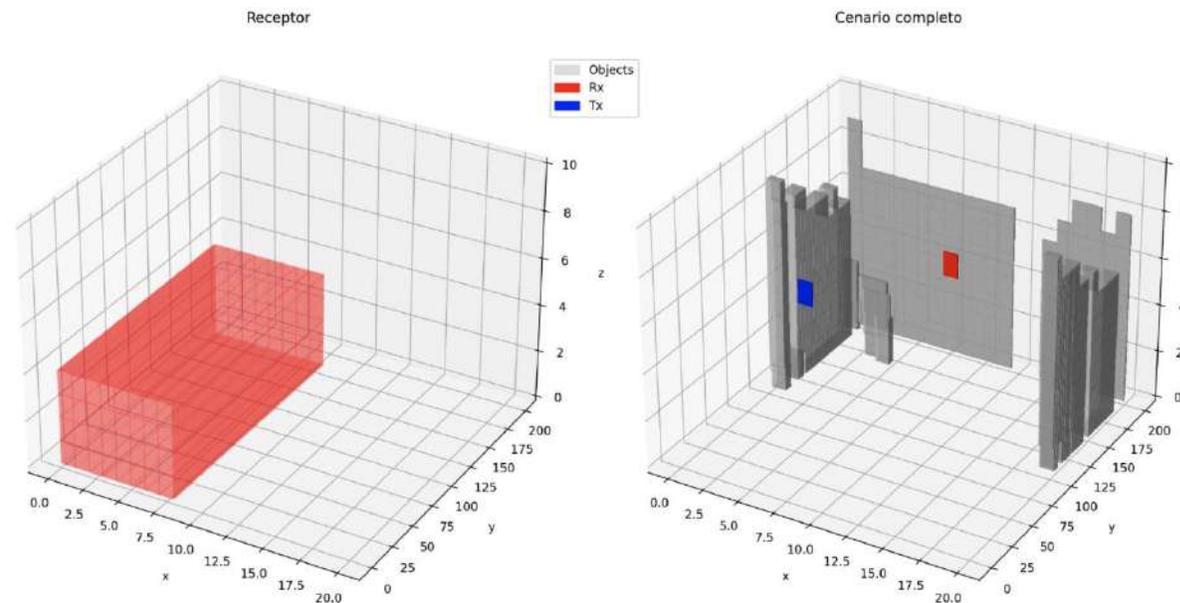


Metodologia usada na Rede Neural Sem Peso

Pré-processamento dos Dados LiDAR

Episodio 8 do LiDAR quantizado do dataset s008 mais o receptor como um termômetro.

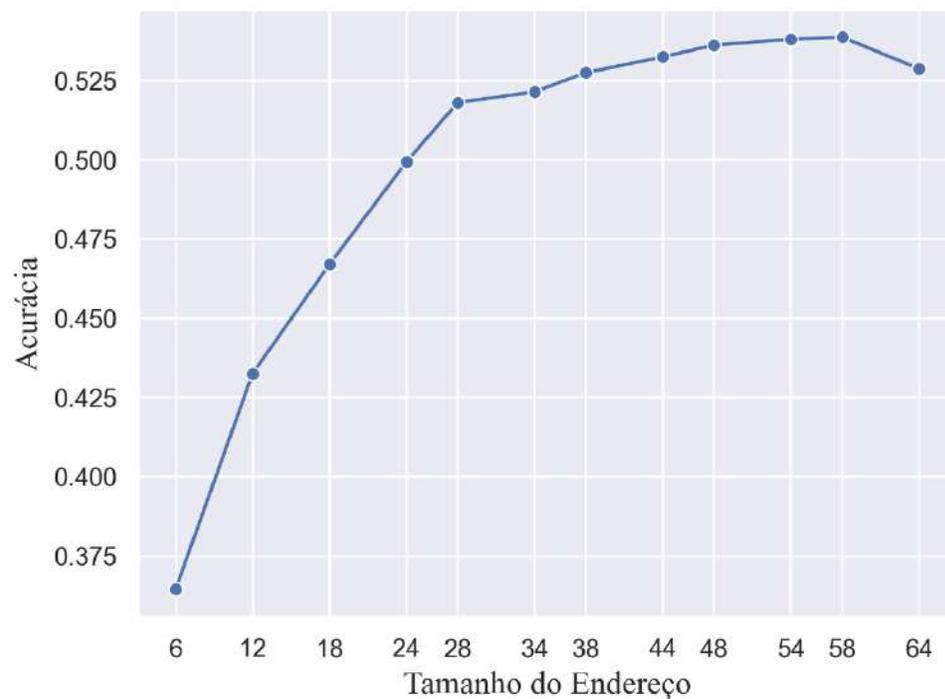
Episodio 8 do LiDAR quantizado do dataset s008.



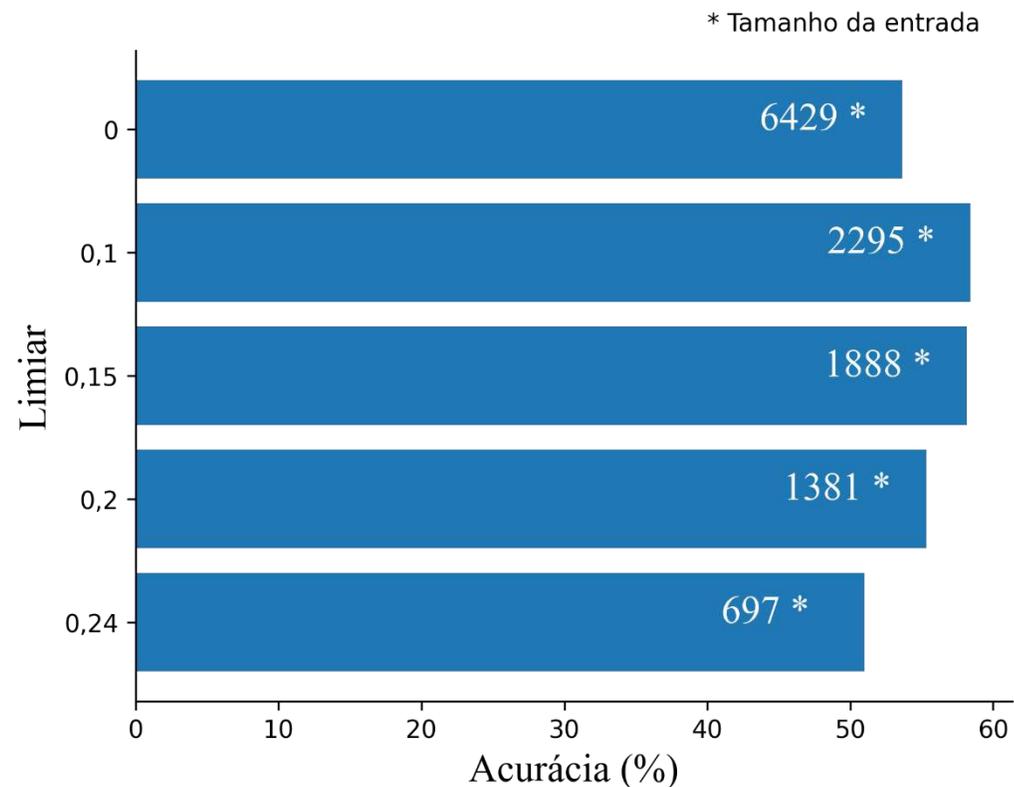
Proposta de Avaliação

Descrição dos Métodos de Baseline

Avaliação de desempenho dos dados LiDAR 2D em função do endereçamento das memórias RAM.

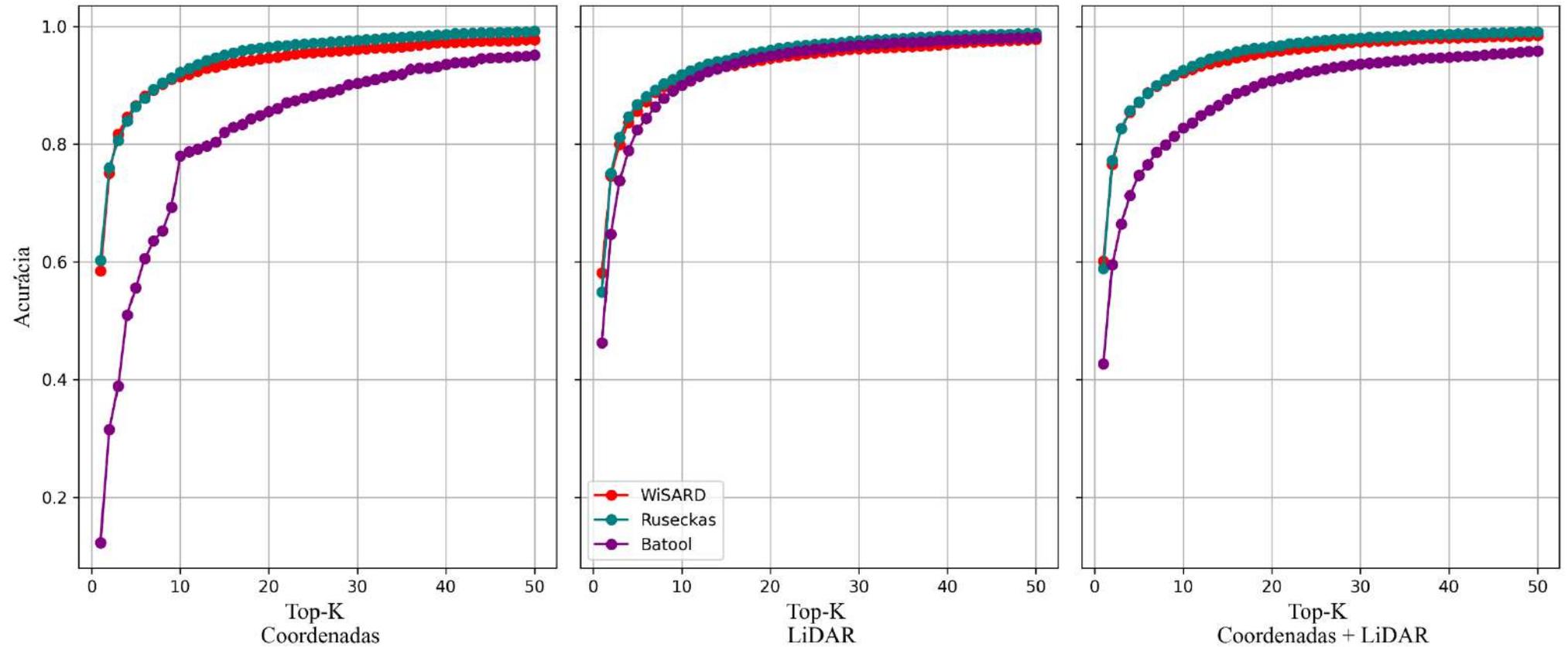


Avaliação de desempenho do modelo WiSARD usando a técnica de limite de variância em dados LiDAR 2D.



Proposta de Avaliação

Comparação dos Modelos



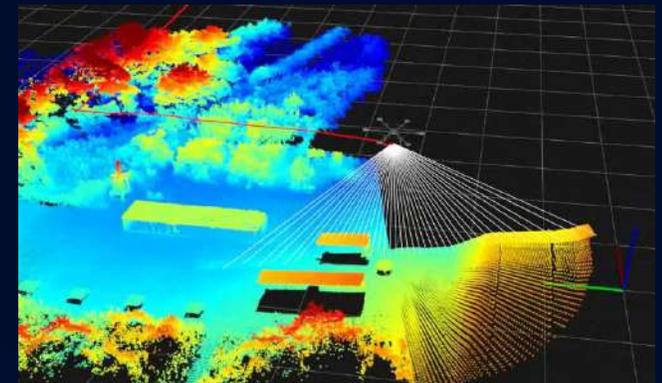
Direções Futuras

- Implementação em novas arquiteturas;
- Avaliação de tempo de adaptação, uso de recursos e resiliência;
- Integração com aprendizado federado e autônomo;
- Suporte a soluções escaláveis para redes 6G.

Impacto nas Redes 6G

O uso da tecnologia LiDAR em sensoriamento remoto abre novas possibilidades para a conectividade e para o avanço das redes móveis:

- Apoio à evolução para 6G com mapeamento 3D de alta resolução.
- Suporte à agricultura de precisão, fornecendo mapas detalhados do solo e informações que auxiliam no manejo eficiente de plantações.
- Bases sólidas para IA com datasets sintéticos e compressão eficiente.
- Respostas em tempo real em cenários dinâmicos, como veículos autônomos e cidades conectadas.
- Maior eficiência espectral e confiabilidade via otimização de feixes mmWave/THz.



3º Workshop Brasil 

AVANÇOS DA PESQUISA RUMO AO 6G: CONNECTIVIDADE DO FUTURO EM CONSTRUÇÃO



Apoio:



Realização:

