

# Vestindo o Futuro: Visão Computacional em Ambientes Sensoriados por LiDAR 3D

V. B. Godoy, J. M. G. Rodrigues, M. F. Silva, E. R. Neto, F. A. P. de Figueiredo e Arismar Cerqueira S. Jr.

**Resumo**—Esse artigo analisa a influência da refletividade no LiDAR 3D e a diferença de cores na identificação de pessoas e objetos distantes. Foram realizados experimentos com sensores LiDAR de alta precisão para medir a resposta refletiva de diferentes materiais e cores em roupas sob diversas condições de distância do sensor 3D. Os resultados demonstraram que cores de alta refletividade, como branco e amarelo, mantêm alta eficiência de retorno do feixe LiDAR. Em paralelo, cores escuras, como preto e azul-marinho, absorvem mais luz e, por consequência, degradam a qualidade do sinal refletido. Os resultados obtidos destacaram a importância da escolha das cores para aplicações B5G (Beyond 5G), como em redes 6G, mobilidade autônoma, vigilância e reconhecimento de padrões em ambientes urbanos. Os achados sugerem diretrizes práticas para otimizar a visibilidade de alvos humanos em sistemas de sensoriamento remoto baseados em LiDAR.

**Palavras-Chave**—LiDAR 3D, Refletividade, Espectro de Cores, B5G.

**Abstract**—This paper analyzes the influence of reflectivity in 3D LiDAR and the impact of color differences on the identification of people and distant objects. Experiments were conducted using high-precision LiDAR sensors to measure the reflective response of different materials and clothing colors under various distances from the 3D sensor. The results showed that high-reflectivity colors, such as white and yellow, maintain high return efficiency of the LiDAR beam. In contrast, dark colors, such as black and navy blue, absorb more light and consequently degrade the quality of the reflected signal. The findings highlight the importance of color selection for B5G (Beyond 5G) applications, such as in 6G networks, autonomous mobility, surveillance, and pattern recognition in urban environments. These results provide practical guidance for enhancing human target visibility in LiDAR-based remote sensing systems.

**Keywords**—3D LiDAR, Reflectivity, Color Spectrum, B5G.

## I. INTRODUÇÃO

*Light Detection and Ranging* (LiDAR) é uma tecnologia de sensoriamento remoto ativo que utiliza pulsos de laser para medições precisas de distância, permitindo a reconstrução tridimensional de ambientes com alta resolução. Baseado no princípio de *time-of-flight* (ToF), o sistema emite feixes de luz que, ao refletirem em superfícies, retornam ao sensor, possibilitando o cálculo preciso da posição e da forma de objetos. Devido à sua versatilidade e precisão, o LiDAR tem sido amplamente aplicado em veículos autônomos, robótica móvel, mapeamento topográfico, segurança e monitoramento ambiental [1], especialmente diante dos crescentes desafios da

Vinicius Godoy, Departamento de Engenharia da Computação, Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), Santa Rita do Sapucaí-MG, e-mail: [vinicius.godoy@gec.inatel.br](mailto:vinicius.godoy@gec.inatel.br); José Rodrigues, Departamento de Engenharia da Computação, Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), Santa Rita do Sapucaí-MG, e-mail: [jose.matheus@gec.inatel.br](mailto:jose.matheus@gec.inatel.br).

mobilidade urbana inteligente, que exigem detecção confiável de pessoas e objetos em cenários complexos. Considerando que o mapeamento realizado pelo LiDAR 3D ocorre por meio da emissão contínua de feixes laser em 360°, a interação entre o feixe e as cores visíveis dos objetos torna-se um fator crítico para a eficácia na identificação e reconhecimento de alvos. Essa interação está diretamente relacionada à refletividade das superfícies, que varia conforme o pigmento presente. Diante da crescente demanda por identificação precisa de pessoas, uma aplicação promissora da tecnologia LiDAR, surge o questionamento sobre a influência das cores das roupas nesse processo. Cores e tonalidades específicas podem alterar significativamente a intensidade do sinal refletido, favorecendo ou dificultando a detecção de indivíduos pelo sensor. [2].

## II. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SENSOR LiDAR OS1

Neste estudo, foi empregado o sensor LiDAR OS1-128 da Ouster, cuja performance depende de parâmetros como alcance, precisão, resolução angular e das propriedades físicas dos alvos a serem detectados. O modelo OS1, em sua versão mais avançada, é capaz de detectar objetos a até 90 metros de distância com alvos que apresentam refletividade de 10%, podendo atingir até 170 metros quando essa refletividade alcança 80%.

O sensor opera com um campo de visão de 360° na horizontal e 42,4° na vertical, apresentando uma distância máxima de detecção de 200 metros. Utiliza um comprimento de onda de 895 nm e proporciona uma precisão métrica de aproximadamente  $\pm 2,5$  cm para superfícies lambertianas e  $\pm 5$  cm para superfícies reflexivas. Tais especificações permitem a geração de nuvens de pontos densas e enriquecidas com dados de intensidade refletiva, elementos essenciais para a discriminação de materiais, bem como para a identificação de objetos e suas respectivas cores [3].

Com base nessas capacidades, o presente trabalho propõe uma avaliação sistemática da refletividade de diferentes cores captadas pelo sensor OS1 em cenários dinâmicos. Busca-se, assim, compreender a relação entre as cores detectadas e as respectivas frequências no espectro visível, investigando de que forma essas características podem amplificar ou atenuar a resposta dos dados obtidos nas varreduras do LiDAR 3D [4].

## III. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DA REFLETIVIDADE EM DIFERENTES CORES E TECIDOS

Foi conduzida uma análise experimental da refletividade de diferentes cores de tecido utilizando o sensor LiDAR OS1. Para tal, foram utilizadas seis camisas de cores distintas, com

o objetivo de avaliar se a variação cromática influenciava significativamente a intensidade do retorno do feixe laser emitido pelo sensor.

Os resultados experimentais indicaram que a cor do tecido exerceu influência sobre a refletividade medida, principalmente em pigmentos escuros. Embora as variações no sinal refletido se mantiveram dentro de uma margem considerada desprezível para aplicações práticas. Tais resultados sugerem que a interação entre o feixe laser e a coloração dos tecidos, dentro do espectro visível, apresenta influência mensurável, embora seu impacto prático seja limitado quando comparado a outras variáveis físicas mais determinantes.

Em contrapartida, a análise demonstrou que o tipo de tecido teve um impacto significativamente maior na resposta do sensor. Tecidos mais finos apresentaram refletividade consideravelmente inferior, com ocorrência de parcial transmissão do feixe laser através do material, o que resultou em uma menor densidade de pontos e em uma definição reduzida na nuvem de pontos gerada. Já os tecidos mais espessos demonstraram maior refletividade, proporcionando respostas mais consistentes e densas. A Figura 1 ilustra as camisas utilizadas e sua visualização correspondente pelo sensor LiDAR, enquanto a Figura 2 apresenta a análise quadro a quadro da gravação efetuada pelo sistema.

Os resultados experimentais indicam que, embora a cor aparente possa influenciar a interação com a radiação laser, seu efeito na resposta do sensor LiDAR é limitado. As variações de frequência entre cores visíveis, mesmo aquelas superiores a 300 GHz, como entre o azul e o vermelho, não resultaram em diferenças significativas. A refletividade observada mostrou-se mais dependente da estrutura superficial e da densidade do material do que da coloração em si.

TABELA I  
REFLETÂNCIA ESPECTRAL DAS CORES PARA O COMPRIMENTO DE ONDA DE OPERAÇÃO DO LiDAR (865 nm)

Cor da camisa	Refletividade típica a 865 nm (com desvio padrão)
Branco	Muito alta (70–90%)
Vermelho	Alta (40–60%)
Amarelo	Média (20–40%)
Verde	Baixa (10–20%)
Azul	Muito baixa (5–10%)
Preto	Muito baixa (2–5%)

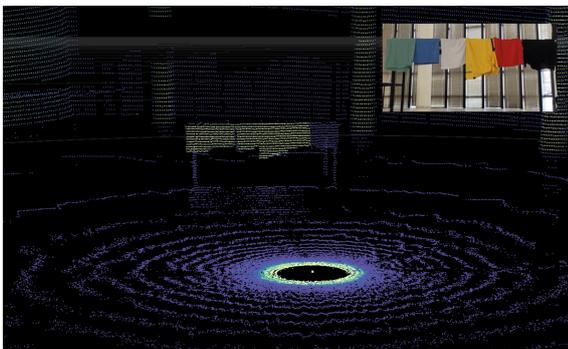


Fig. 1. Comparação entre as camisas identificadas pelo sensor LiDAR.

Durante o experimento, foram conduzidos dois registros

distintos para avaliar a refletividade. No primeiro, analisou-se a intensidade do sinal refletido em um raio de 10 metros ao redor do sensor LiDAR, com as camisas distribuídas uniformemente ao longo do perímetro circular. No segundo, investigou-se o efeito da distância na percepção da refletividade, posicionando as camisas em três distâncias radiais de 5, 10 e 15 metros.

Os resultados mostraram que a variação da distância dentro desse intervalo não comprometeu significativamente a qualidade da detecção nem a diferenciação das camisas. Notavelmente, a menor distância (5 metros) não apresentou vantagem expressiva em relação às demais, indicando que a sensibilidade do sensor LiDAR permaneceu consistente nas três faixas analisadas.

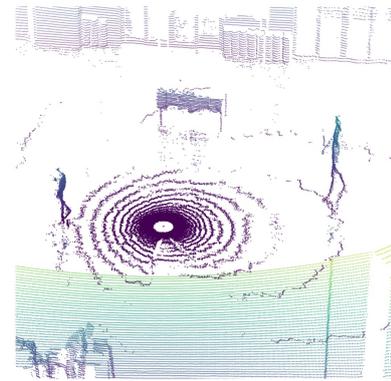


Fig. 2. Mapeamento análise quadro a quadro do experimento com as camisas.

#### IV. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os resultados mostraram que a refletividade dos materiais impacta significativamente a detecção pelo LiDAR 3D, enquanto a cor tem influência menor. A estrutura dos tecidos afeta mais o sinal refletido do que sua coloração, o que é relevante para aplicações em redes 6G, como drones urbanos, veículos autônomos e vigilância inteligente. Como trabalho futuro, propõe-se investigar novos materiais e integrar dados LiDAR com câmeras RGB ou térmicas para aumentar a robustez da detecção.

#### AGRADECIMENTOS

Os Autores agradecem firmemente o apoio financeiro do CNPq (6051975889623410 / 5577149754607003), FAPESP 15/24517-8, FAPEMIG, CAPES e XGMobile.

#### REFERÊNCIAS

- [1] M. F. Silva, E. R. Neto, G. F. Guimarães, L. O. S. A. Amante, L. A. M. Pereira, and A. C. S. Junior, "Sistema de Posicionamento Baseado em LiDAR e Redes Neurais para Aplicações B5G,"
- [2] E. R. Neto, M. F. Silva, and S. A. Cerqueira, "Pedestrian Sensing and Positioning System Using 2D-LiDAR Based on Artificial Neural Networks Towards 6G," *IEEE Access*, 2024.
- [3] B. Douillard, J. Underwood, N. Kuntz, V. Vlaskine, A. Quadros, P. Morton, and A. Frenkel, "On the segmentation of 3D LIDAR point clouds," in *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2798–2805, 2011.
- [4] E. R. Neto, M. F. Silva, T. P. Andrade, and A. C. S. Junior, "ANN-based LiDAR positioning system for B5G," *Micromachines*, vol. 15, no. 5, p. 620, 2024.