



TECNOLOGIA LiDAR NA REDUÇÃO DE FOD EM AERÓDROMOS: AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE E IMPACTO OPERACIONAL

ISSN 2763-7697 – QUALIS A4

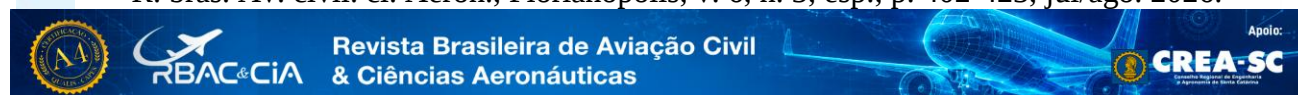
Tammyse Araújo Silva¹
 Paulo Vítor Alves²
 Anna Paula Bechepeche³
 Salmen Chaquip Bukzem⁴
 Cinthya Amaral⁵
 Humberto César Machado⁶

RESUMO

A presente pesquisa examina a aplicação da tecnologia *Light Detection and Ranging* (LiDAR) no combate a objetos estranhos (*Foreign Object Debris* – FOD) em áreas aeroportuárias, considerando que detritos presentes em pistas, *taxiways* e pátios representam riscos potenciais de colisão com aeronaves e pessoas. Os métodos de identificação e remoção desses materiais na área operacional vêm sendo continuamente aprimorados, o que torna pertinente investigar soluções tecnológicas inovadoras capazes de mitigar esse tipo de ameaça. Nesse contexto, investiga-se de que forma essa tecnologia pode contribuir para a detecção mais eficiente de detritos em áreas operacionais e para a mitigação de incidentes associados à sua presença em aeroportos. Para tanto, a pesquisa de natureza descritiva e abordagem qualitativa fundamenta-se em revisão de literatura especializada, documentos técnicos e referências oficiais que abordam sua aplicação em diferentes cenários. Ao examinar sua utilização como ferramenta de apoio à segurança aeroportuária, consideram-se aspectos como precisão, aplicabilidade e viabilidade na identificação de materiais que possam comprometer as operações aéreas. A relevância do estudo decorre da crescente necessidade de modernização dos processos de inspeção e monitoramento de pistas, com vistas à redução da dependência de métodos manuais e à ampliação da capacidade preventiva. Ao enfatizar o uso de soluções automatizadas e de alta resolução, a pesquisa contribui para o aprimoramento das práticas de segurança aeroportuária e para o avanço tecnológico alinhado às demandas da aviação contemporânea.

Palavras-chave: LiDAR; FOD; Sensoriamento remoto; Segurança operacional; Ocorrência aeroportuária.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



¹Especialista em Docência Universitária pela Universidade Católica de Goiás. Graduada em Ciências Aeronáuticas pela UnisulVirtual. Professora da Escola Politécnica e de Artes no curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC/GO. EC-PREV pelo CENIPA. Credenciada no SGSO pela ANAC e pela Infraero. E-mail: tammyse@pucgoias.edu.br

² Graduado em Ciências Aeronáuticas pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Treinamento de CRM - Crew Resource Management - Inicial, e Alta Performance Profissional pela FCT. E-mail: paulovitors2@icloud.com

³ Graduada em Física pela Universidade Federal de Goiás (1988), mestre em Física pela Universidade de São Paulo (1991), doutora em Química pela Universidade Federal de São Carlos (1996). Professora efetiva na Pontifícia Universidade Católica de Goiás e na Universidade Estadual de Goiás. Possui experiência na área de Física, com ênfase em Física da Matéria Condensada. E-mail: abechepeche@yahoo.com.br

⁴ Graduado em Desenvolvimento de Sistemas de Informação, Especialista em Gestão de Segurança da Informação e Comunicações pela Universidade de Brasília. e Mestre em Educação. Militar da Reserva da Força Aérea, onde exerceu a função de Supervisor e Instrutor de órgãos de controle de tráfego aéreo, com atuação na prevenção e investigação de Acidentes Aeronáuticos, Gerenciamento de Sistemas de Segurança Operacional, Inspeção em Prestadores de Serviço de Navegação Aérea e instrução em diversos cursos do SISCEAB. Professor do Curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. E-mail: salmen@pucgoias.edu.br

⁵ Doutora em Psicologia pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Mestre em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente pelo Centro Universitário de Anápolis. Especialista em Direito Constitucional e Eleitoral (PUC-GO); Docência Universitária (PUC-GO); Especialista em Direito Penal e Processo Penal (UNINTER); Especialista em Formação Docente Para EAD (UNINTER); Graduada em Direito (UnEVANGÉLICA - 1997). Professora efetiva do Curso de Direito da Universidade Estadual de Goiás - Unidade Palmeiras de Goiás. Foi Coordenadora do Curso de Direito da Fundação Educacional de Goiás (Fac lions 2015-2016). Professora de Direito Constitucional e Direito Administrativo do Centro Universitário de Goiás (Unianhanguera). E-mail: camaral2913@gmail.com

⁶ Professor Pós Doutor em Psicologia pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás -PUC GO (2016); Doutor em Psicologia pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás -PUC GO (2013); Mestre em Psicologia pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás -PUC GO (2006), Especialista em História pela Universidade Federal de Goiás -UFG (2002), Graduado em Filosofia pela Universidade Federal de Goiás (1996), Graduado em Pedagogia pela ISCECAP (2018), Graduado em Letras pela FAFIBE (2019), Elemento Credenciado Fatores Humanos e Prevenção de Acidentes Aéreos pelo CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos), Membro do Comitê de Ética e Pesquisa e Professor da Faculdade Alfredo Nasser -UNIFAN e professor da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC -GO). E-mail: Humberto.cesar@hotmail.com

LIDAR TECHNOLOGY FOR FOD REDUCTION IN AERODROMES: EVALUATION OF FEASIBILITY AND OPERATIONAL IMPACT

ABSTRACT

This research examines the application of Light Detection and Ranging (LiDAR) technology for the mitigation of Foreign Object Debris (FOD) in airport areas, considering that debris on runways, taxiways, and aprons poses significant risks to aircraft and personnel. Methods for detecting and

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC & CIA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



removing these materials in operational areas are undergoing continuous improvement, making it relevant to investigate innovative technological solutions capable of mitigating such threats. In this context, this study investigates how LiDAR technology can contribute to more efficient debris detection in operational areas and to the mitigation of incidents associated with their presence in airports. To this end, this descriptive research with a qualitative approach is based on a review of specialized literature, technical documents, and official guidelines addressing its application in various scenarios. By examining its use as a tool to support airport safety, aspects such as precision, applicability, and feasibility in identifying materials that may compromise flight operations are considered. The relevance of this study stems from the increasing need to modernize inspection and runway monitoring processes, aiming to reduce dependence on manual methods and enhance preventive capabilities. By emphasizing the use of automated, high-resolution solutions, this research contributes to the improvement of airport safety practices and technological advancement aligned with the demands of contemporary aviation.

Keywords: LiDAR; FOD; Remote Sensing; Operational Safety; Airport Occurrence.

1 INTRODUÇÃO

Os detritos deixados em áreas de movimentação, como *taxiways*, pistas de pouso e decolagem e pátios, são corriqueiros em toda a atividade aeroportuária. O baixo fluxo de monitoramento e busca por esses materiais torna a situação alarmante e evidencia a necessidade de modernização e regulamentação mais completa dos métodos tradicionais. No Brasil, embora ocorrências aeronáuticas relacionadas a casos de *Foreign Object Debris* (FOD) não se apresentem em níveis alarmantes, em termos de severidade elas podem causar danos substanciais às aeronaves e graves lesões às pessoas.

Tradicionalmente, o controle desta condição é sustentado por vistorias e inspeções visuais, rotinas de ronda e procedimentos de remoção. Apesar de essenciais e amplamente empregadas, essas práticas apresentam limitações conhecidas, alta demanda de tempo, dependência do desempenho humano e perda de efetividade em ambientes de maior complexidade ou em condições desfavoráveis, como operação noturna, baixa visibilidade e chuva. Além disso, a necessidade de conciliar inspeções com a continuidade das operações torna o processo operacionalmente sensível.

A pesquisa busca demonstrar que os métodos utilizados na atualidade são, em certa medida, insuficientes para atender aos padrões necessários de segurança operacional. Se, por um lado, os

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&CIA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



mecanismos atuais de fiscalização e monitoramento em pista são, na maior parte dos aeroportos, ultrapassados, por outro, existem tecnologias inovadoras com potencial para reduzir esse risco.

Com o avanço do sensoriamento remoto e de tecnologias de varredura de superfície, surge a oportunidade de incorporar soluções capazes de tornar o processo de inspeção mais rápido, padronizado e verificável. Entre essas soluções, destaca-se o *Light Detection and Ranging* (LiDAR). Em termos operacionais, sua aplicação pode ocorrer por diferentes arquiteturas. Desse modo, mais do que apontar uma plataforma específica, este trabalho concentra-se na capacidade do mecanismo apoiar a redução de detritos e, sobretudo, em avaliar se sua adoção é viável e quais são seus impactos operacionais.

Diante desse cenário, conhecer as potencialidades associadas a essa tecnologia para verificar a viabilidade de seu uso no contexto aeroportuário com o intuito de prevenir esta condição é uma opção que busca reduzir danos causados por objetos estranhos. Assim, esta análise se baseia na razão de que a segurança operacional é uma das mais relevantes ações em ambiente aeronáutico e quaisquer meios que reduzam riscos e condições inseguras são bem-vindos em todos os setores, inclusive o aeroportuário.

A fundamentação deste trabalho se sustenta no fato de que a segurança operacional é um dos pilares mais relevantes da aviação. Estudar a aplicação dessa tecnologia fortalece a discussão sobre modernizar os processos e a incorporação de tecnologias na gestão aeronáutica no Brasil, alinhando-se a uma tendência internacional de ampliar mecanismos de prevenção por meio de monitoramento mais inteligente e verificável.

O trabalho a seguir será organizado de modo a conduzir o leitor desde o entendimento do problema até a análise da viabilidade tecnológica, partindo da definição e dos impactos dos objetos estranhos e contrastando as limitações da fiscalização humana e dos marcos regulatórios vigentes com os fundamentos do sensoriamento remoto por laser. Por meio da análise dessa tecnologia e de resultados setoriais em infraestruturas críticas e condução autônoma, discute-se o potencial de modernização da segurança operacional, com foco na fragilidade da fiscalização e regulamentação vigentes. Conclui-se com uma síntese sobre como a implementação da varredura eletrônica eleva os padrões de gestão de detritos ao mitigar a subjetividade dos métodos tradicionais.

Do ponto de vista metodológico, trata-se de um estudo de natureza básica e objetivo descritivo-exploratório, com abordagem qualitativa voltada aos dados extraídos de estudos

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&CiA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



científicos, recorrendo aos procedimentos bibliográfico e documental. A base bibliográfica ancora-se em três livros que abordam, respectivamente a gestão e operação de aeroportos; os fundamentos do sensoriamento remoto por laser; e o tema dos objetos estranhos em aviação em sua completude. Complementam essa base nove artigos científicos que tratam da aplicação da varredura eletrônica na detecção automática em áreas aeroportuárias, dos riscos e impactos dos detritos na aviação, do uso da tecnologia em agricultura e da detecção de anomalias em pavimentos, entre outros temas correlatos.

Para complementar a base bibliográfica, a pesquisa recorre a dois documentos oficiais utilizados como referências documentais: o relatório do acidente com o Concorde em Gonesse (BEA, 2001), que evidencia a gravidade dos danos causados por detritos em pista, e o relatório de incidente grave do CENIPA referente à aeronave PS-GPP (2025), que contextualiza a problemática no cenário nacional recente. Ambos são empregados para fundamentar e ilustrar os argumentos desenvolvidos ao longo do trabalho, e não como estudos de caso em sentido metodológico estrito.

2 UMA DEFINIÇÃO TÉCNICA DO FOREIGN OBJECT DEBRIS E A ANÁLISE DOS MÉTODOS TRADICIONAIS DE REDUÇÃO E PREVENÇÃO

A sigla FOD comporta dois significados: o primeiro remete à *Foreign Object Debris* e o segundo a *Foreign Object Damage*. Detritos (do inglês debris) são quaisquer objetos desde pequenos parafusos e pedras até bagageiros e animais selvagens. Cabe acrescentar que condições meteorológicas adversas podem produzir detritos adicionais, como granizo, gelo, neve, areia e cinzas vulcânicas, que podem causar danos a aeronaves, equipamentos ou pessoas. Além disso, detritos de objetos estranhos nos aeroportos incluem qualquer objeto encontrado em local inadequado. Eles podem estar presentes nos portões de embarque, pátios, pistas de táxi, pistas de decolagem/pouso e áreas de teste de motores. Esses detritos são, por vezes, abreviados como FO *Debris* (El-Sayed, 2022).

Por outro lado, o "D" da sigla também pode representar "*Damage*" – dano causado por esses materiais a equipamentos, peças de aeronaves, e até ferimentos ou morte de pessoas. Os danos às peças das aeronaves podem incluir pneus rasgados ou perfurados, fuselagens perfuradas, lâminas de turbinas ou hélices danificadas e, em casos raros, danos completos à aeronave ou falha do motor. Os

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&CIA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



ferimentos aos funcionários do aeroporto podem ser causados por detritos lançados por jatos, hélices ou pela força das hélices de helicópteros. Da mesma forma, o dano por objetos estranhos também é abreviado como FO *Damage* (El-Sayed, 2022).

Na esteira da definição, o termo em questão refere-se a um objeto localizado na área de movimento do aeródromo que não está associado à operação aeroportuária ou à aeronave, sendo considerado, assim, um perigo para a operação. Por este motivo, deve ser tratado como um risco dentro do gerenciamento da segurança operacional no aeródromo. Deve-se identificar sua presença e adotar as medidas necessárias para reduzir ou eliminar os riscos associados. Deste modo, cria-se o "Controle de objetos estranhos", que aborda etapas como prevenção, detecção, remoção, avaliação e melhoria contínua (ANAC, 2022).

Segundo o Manual de Gerenciamento do Risco de FOD (ANAC, 2022), recomenda-se que o controle de objetos estranhos inclua todas as equipes relevantes no processo de geração e remoção. Isto pode demandar um trabalho adicional que envolva equipes de solo e operadores de aeronaves, abastecimento, manutenção de aeronaves e do aeródromo, além de representantes de empreiteiros. Todas as pessoas e empresas que atuam na área operacional têm encargos diretamente relacionados à prevenção e remoção desses materiais. Os prestadores de serviços auxiliares, que são parte relevante do contingente operacional da maioria dos aeroportos brasileiros, podem participar ativamente desse controle em áreas aeroportuárias (ANAC, 2022).

Buscando uma melhor compreensão do conceito, observa-se que esses objetos podem ser classificados como inanimados (não biológicos) ou animados (biológicos). O Quadro 1 a seguir apresenta alguns exemplos dessa classificação:

Quadro 1 – Classificação de "*Foreign Object Debris*" baseado em categorias animadas e inanimadas

Inanimado	Animado
Pedras sólidas	Gramma
Chuvas / Etiquetas de bagagens	Inseto
Restos de comida / Lixo	Animais terrestres
Neve / Granizo	Mamíferos
Ferramentas mecânicas / Drones	Aves (pássaros)

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&Cia

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



Fragmentos / Outros	Outros seres vivos
---------------------	--------------------

Fonte: Adaptado de El-Sayed, 2022.

O impacto dos detritos de objetos estranhos continua sendo uma preocupação nas indústrias da aviação, defesa e aeroespacial, representando uma fonte potencial significativa de risco para reguladores e operadores. Os danos podem afetar tanto a fuselagem quanto os motores das aeronaves, alcançando aeronaves de asa fixa e rotativa. Além disso, hidroaviões e aeronaves anfíbias também são vulneráveis a esses materiais, que ainda podem afetar satélites, veículos de lançamento, mísseis e espaçonaves (El-Sayed, 2022).

Observa-se que no Quadro 1 estes objetos inanimados são classificados conforme diversos objetos de diferentes origens e formas, mas com algo em comum, são capazes de comprometer a segurança operacional na medida em que podem interferir no funcionamento de uma aeronave. Já os animados são oriundos dos seres vivos, sejam eles animais, plantas ou pessoas (El-Sayed, 2022).

Para melhor descrever os métodos tradicionais de redução de detritos em complexos aeroportuários, utiliza-se como estratégia o "controle de objetos estranhos", estruturado em quatro etapas: prevenção, detecção, remoção e avaliação. Cada uma destas etapas desdobra-se em atividades secundárias. As conclusões da avaliação de riscos do operador do aeródromo podem definir o alcance, a complexidade e o volume de recursos alocados em cada uma das etapas do ciclo desse controle. A prevenção se apoia em três pilares para melhor eficácia: conscientização, treinamento e supervisão (ANAC, 2022).

Quando a origem desses materiais é analisada de forma aprofundada e tudo que podem gerar intercorrências no ambiente aeroportuário, algumas preocupações surgem, e com elas seus métodos de inibição. O controle, a prevenção e a eliminação destes problemas são implementados em todas as fases do processo de fabricação, incluindo projeto, usinagem, montagem, testes, inspeção, embalagem, envio e recebimento, e reparo, incluindo operações de instalações e serviços. O projeto dos componentes deve garantir sua proteção contra danos mecânicos, elétricos e de corrosão que possam prejudicar a operação devido à chuva, neve, gelo, areia, cascalho e fluidos de degelo (El-Sayed, 2022).

Quanto aos métodos tradicionais de prevenção e redução desses detritos, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) destaca três pontos fundamentais, conscientização, treinamento

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&CiA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



e supervisão. A conscientização é o ponto mais abrangente nessa estratégia, pois todos que tem acesso à área de movimento tem o poder de remover a incidência de objetos em pista assim que detectado, principalmente o pessoal de inspeção, manutenção e funcionários de solo. Por isso, a necessidade de informá-los sobre como identificar as situações que geram ou podem gerar esses objetos estranhos. Todos que adentram a área de movimento, mesmo equipes de empreiteiros ou passageiros em deslocamento a pé no pátio, podem ser encorajados a remove-lo (ANAC, 2022).

O treinamento amplia a conscientização ao preparar as pessoas com acesso à área de movimento para reconhecerem as causas e efeitos da presença desses materiais, o que fortalece a responsabilidade individual na prevenção. A agência reguladora destaca que essa capacitação forma profissionais capazes de identificar origens de detritos, compreender seus riscos e adotar hábitos adequados de limpeza durante a rotina operacional. Essa etapa reforça a cultura de vigilância constante e explica a necessidade de participação em ações coletivas, como as caminhadas no aeroporto, que estimulam o engajamento de toda a comunidade aeroportuária (ANAC, 2022).

Por fim, a supervisão sintetiza e complementa a conscientização e o treinamento ao garantir que as práticas de controle desses objetos ocorram conforme os procedimentos previstos. Os operadores devem assegurar que os profissionais envolvidos recebam capacitação recorrente, identifiquem riscos potenciais e atuem prontamente na remoção dos detritos encontrados. A supervisão utiliza métricas e verificações operacionais para confirmar a eficácia das medidas, permitindo ajustes quando os resultados não atingem os objetivos de redução de risco. O apoio da alta gestão e a fiscalização contínua consolidam a disciplina operacional necessária para manter a área de movimento livre de detritos (ANAC, 2022).

Ainda que os métodos tradicionais apresentem relevância operacional consolidada, suas limitações são reconhecidas pela literatura especializada. Elrayes *et al.*, (2019) partem exatamente desta constatação ao desenvolverem sua pesquisa: os métodos convencionais de inspeção apresentam deficiências em detectar todos os tipos de objetos estranhos de maneira precisa para sua remoção das pistas de aeródromo. Essa observação reforça que, por mais estruturados que sejam os pilares de conscientização, treinamento e supervisão preconizados pela ANAC, a dependência exclusiva da percepção humana impõe um teto à eficácia do controle de detritos, o que justifica a investigação de alternativas tecnológicas capazes de ampliar essa capacidade de detecção.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&Cia

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



3 TECNOLOGIA LiDAR: PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO E CAPACIDADES DE VARREDURA

A tecnologia LiDAR é basicamente uma detecção e medição por luz, medindo distâncias com base no tempo entre a transmissão e o recebimento de sinais a laser. Dentro deste parâmetro trabalha-se com dois tipos de lasers, os pulsados e os de onda contínua. Os pulsados transmitem energia de duração muito curta e detectam distâncias com base nas amplitudes dos sinais recebidos, enquanto os lasers de onda contínua, por outro lado, detectam distâncias com base na diferença de fase entre os sinais transmitidos e recebidos. Os lasers pulsados são os mais utilizados em aplicações terrestres e, conseqüentemente, serão o foco maior na pesquisa (Dong; Chen, 2018).

Os lasers pulsantes são uma das tecnologias fundamentais utilizadas nos tipos de sistemas estudados. Estes transmitem energia de forma extremamente breve e determinam as distâncias com base na amplitude do sinal refletido. Além disso esse tipo de laser possibilita medir com precisão a faixa até o objeto por meio do intervalo entre o pulso emitido e o recebido pelo sensor. Essa característica torna os lasers pulsantes especialmente adequados para aplicações terrestres e aéreas que demandam alta resolução e detalhamento espacial, como a localização de objetos estranhos em atividades aeroportuárias (Dong; Chen, 2018).

Existem quatro tipos de dispositivos de sensoriamento remoto; o aerotransportado, os quais são instalados em aeronaves ou drones para capturar dados a partir de um ponto de vista elevado e são comumente utilizados em levantamentos topográficos e monitoramento ambiental; o sistema terrestre, utilizado para mapeamento detalhado e varredura de objetos e ambientes a partir de plataformas baseadas no solo. Geralmente consiste em um sistema montado em tripé ou em veículo, que captura dados por meio de varredura do entorno em um plano horizontal ou vertical, a configuração estacionária permite a coleta de dados de alta resolução, possibilitando análise precisa de estruturas e terrenos complexos (Waykar, 2022).

O terceiro tipo incluem os sensores móveis que são projetados para capturar dados enquanto estão em movimento, normalmente montados em plataformas como carros, caminhões, barcos ou trens. Esses sistemas são equipados com múltiplos sensores, incluindo sistemas de detecção por laser, GPS e unidades de medição inercial (IMUs), para adquirir informações geoespaciais precisas do ambiente; e, por último, o sistema espacial, que é instalado em satélites ou sondas espaciais para

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC & CIA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



capturar dados sobre a atmosfera, a topografia e a vegetação da Terra a partir do espaço (Waykar, 2022).

A capacidade técnica descrita por Dong e Chen (2018) e Waykar (2022) encontra respaldo em aplicações práticas desenvolvidas especificamente para o ambiente aeroportuário. Elrayes et al. (2019) propuseram e implementaram um rover autônomo equipado com sensores de detecção e medição por luz, projetado para percorrer uma trilha predefinida ao longo da pista, varrendo continuamente em busca de detritos, sem interferir nas operações em curso. Ao detectar um objeto, o sistema transmite automaticamente sua localização ao inspetor de pátio por meio de rede celular ou Bluetooth.

Os testes realizados demonstraram que o protótipo foi capaz de identificar objetos de diferentes tamanhos e distâncias, o que demonstra que os princípios de medição por pulsos de laser já apresentados nesta seção suprem a necessidade para atender às exigências de detecção em superfícies pavimentadas de aeródromos. Dessa forma, os fundamentos da tecnologia não se restringem ao campo teórico, sendo verificados em protótipos funcionais voltados diretamente à redução de detritos em pista.

4 ANALOGIAS TECNOLÓGICAS E RESULTADOS SETORIAIS DA APLICAÇÃO LIDAR EM ÁREAS COM EXIGÊNCIAS DE PRECISÃO SIMILARES À AVIAÇÃO

Um dos campos mais férteis para o uso dessa tecnologia é o setor agrícola. Esses sensores são amplamente utilizados para medir o relevo e a topografia agrícola, bem como para caracterizar estruturas arbóreas, como índice de área foliar e volume de dossel. Além disso, são empregados para estimativa de biomassa de culturas, caracterização fenotípica, crescimento de plantas, entre outros reconhecimentos. Os dados gerados por esse sistema também podem ser utilizados para medir deriva de pulverização e detectar propriedades do solo e, ainda, pode ser aplicado na detecção de danos às culturas e na previsão de produtividade (Debnath; Paul; Debnath, 2023).

Outro setor aplicável dessa tecnologia é o de sensores de veículos autônomos e robótica, que mapeiam imagens 3D precisas do entorno, o que auxilia o veículo a detectar e classificar objetos, estimar distâncias e planejar trajetórias seguras. Estas informações ficam armazenadas em nuvem. Desta forma, dados de pontos de alta resolução, combinados a algoritmos avançados, viabilizam a

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC & CIA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



identificação de pedestres e obstáculos por veículos autônomos, o que contribui para evitar colisões e aprimorar o planejamento de rotas. Essa tecnologia também é utilizada em robótica em aplicações como localização e mapeamento simultâneo (SLAM), reconhecimento de objetos e navegação em ambientes complexos (Waykar, 2022).

Essa tecnologia também comprovou eficiência na análise hidro-geomorfológica para identificar terraços e erosão induzida por estradas em vinhedos. Neste estudo, o índice de impacto relativo do caminho foi derivado a partir do modelo digital do terreno obtido por plataformas aerotransportadas e terrestres, para identificar terraços e erosões originadas por estradas. Em seguida, o limite estatístico do índice foi utilizado para marcar áreas críticas de erosão superficial nos vinhedos em terraço. Diferentes medidas de conservação do solo foram simuladas, a fim de determinar a solução ideal para reduzir o colapso ou erosão em vinhedos causada por estradas agrícolas e terraços (Tarolli *et al.*, 2015 *apud* Debnath; Paul; Debnath, 2023).

Ravi, Bullock e Habib (2021) testaram uma abordagem automatizada para detectar anomalias em pavimentos com o uso de dados obtidos por sensoriamento a laser. Os autores consideram anomalias em pavimentos a deteriorações, como buracos e fissuras causadas pelo desgaste normal, bem como detritos sobre o pavimento que podem potencialmente causar danos a equipamentos ou pessoal. Os resultados indicaram a capacidade do sistema de detectar anomalias como rachaduras, buracos e detritos com desvios de até 2 cm de forma eficiente, sejam elas acima do solo (detritos) ou abaixo dele (fissuras e buracos).

Do exposto, observa-se a capacidade técnica desses sensores como multifuncional na medida em que conseguem mensurar o relevo e a topografia agrícola; auxiliar os veículos a detectarem e classificar objetos; estimar distâncias e planejar trajetórias seguras; identificar terraços e erosão induzida por estradas em vinhedos; e detectar anomalias em pavimentos. A multifuncionalidade dessa tecnologia evidencia a diversidade de áreas para atuação.

No âmbito aeroportuário, Debnath, Paul e Debnath (2023), assim como Waykar (2022) e Ravi, Bullock e Habib (2021), reforçam que a tecnologia de sensoriamento em questão pode ser empregada sobre as pistas dos aeródromos para detecção de objetos estranhos. Debnath, Paul e Debnath (2023) afirmam que implementar drones com a finalidade de varrer as pistas não está longe da realidade.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&Cia

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



Já Waykar (2022) considera que a varredura da pista pode ser realizada com o auxílio de plataformas no solo ou veículos. Por fim, Ravi, Bullock e Habib (2021) entendem que essa tecnologia pode ser utilizada não somente para a detecção de danos no pavimento em rodovias, mas também em superfícies pavimentadas de pistas de aeródromos, com o intuito de identificar detritos, principalmente para prevenir danos às aeronaves ou ferimentos ao pessoal do aeroporto.

Essa convergência entre setores distintos encontra respaldo na literatura voltada especificamente ao ambiente aeroportuário. Shakhathreh *et al.*, (2025), em revisão sistemática publicada na revista Remote Sensing, mapearam os principais sensores e algoritmos empregados na detecção de objetos estranhos em pistas e concluíram que sistemas de varredura em plataformas fixas ou móveis mantêm desempenho consistente em diferentes condições de iluminação e clima, cenários em que os métodos tradicionais perdem eficácia.

De forma complementar, Elrayes *et al.*, (2019) demonstraram essa viabilidade na prática ao desenvolverem um veículo autônomo de inspeção que, ao identificar um objeto na pista, transmite sua localização automaticamente ao inspetor de pátio. Os resultados confirmaram a capacidade do sistema de identificar objetos de diferentes tamanhos e distâncias, evidenciando que as soluções descritas pela literatura já foram verificadas em protótipos funcionais com aplicação direta em aeródromos.

5 DISCUSSÃO CRÍTICA DAS LIMITAÇÕES REGULATÓRIAS E A SUBJETIVIDADE DOS MÉTODOS DE FISCALIZAÇÃO HUMANA

O Regulamento Brasileiro da Aviação Civil RBAC-153, em sua Subparte J, estabelece que o operador aeroportuário deve implementar um Programa de Gerenciamento de Risco de FOD, fundamentado principalmente em inspeções visuais e na limpeza das áreas de movimento. O regulamento especifica, no item 153.403, a obrigatoriedade de vistorias diárias em horários específicos (como antes do início das operações de maior volume) e a realização de inspeções detalhadas periódicas. Contudo, o texto normativo não impõe a adoção de sistemas de detecção automática ou monitoramento tecnológico contínuo, mantendo a conformidade atrelada à execução de rondas humanas e à observação visual dos inspetores de pátio para a identificação de detritos (Brasil, 2021).

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&CiA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



No que tange aos métodos de fiscalização, o marco regulatório define os requisitos para a capacitação das equipes de resposta, mas deixa a cargo do manual de operações de cada aeródromo a definição dos intervalos entre as inspeções intermediárias. Conforme o parágrafo 153.405, a eficácia do controle de objetos estranhos é aferida pela ausência de eventos reportados e pela limpeza verificada no momento da fiscalização. Dessa forma, a regulamentação vigente estrutura a segurança operacional sobre um modelo de vigilância descontínua, onde a detecção de riscos entre os intervalos das vistorias programadas depende exclusivamente da percepção dos agentes envolvidos e da oportunidade de visualização dos detritos durante o tráfego das aeronaves (Brasil, 2021).

Visando a certificação operacional, a Resolução nº 431 estabelece que o operador deve possuir um sistema de monitoramento que garanta a detecção de condições adversas no pavimento. No entanto, ao não prescrever critérios de desempenho para as ferramentas de varredura, o regulamento permite que o sucesso da operação seja medido de forma reativa, muitas vezes baseada apenas no histórico de ausência de danos.

Essa abordagem normativa prioriza a existência de um processo administrativo de fiscalização em detrimento da precisão técnica da detecção. Assim, a garantia de que uma pista está livre de detritos torna-se uma declaração de conformidade burocrática, uma vez que o método visual humano não gera dados quantitativos ou registros digitais auditáveis que comprovem a varredura integral da superfície (Brasil, 2017).

A fragilidade dos métodos tradicionais é reforçada pelas orientações do Doc 9137 da Organização de Aviação Civil Internacional, que classifica a remoção de materiais estranhos como uma atividade de manutenção preventiva essencial. O manual internacional enfatiza que as inspeções devem ser realizadas com atenção rigorosa, mas reconhece que a eficácia do serviço é limitada pela visibilidade e pelas condições climáticas do momento. Ao fundamentar a segurança operacional em conceitos qualitativos como "rigor" e "atenção", a norma internacional evidencia que o modelo de gestão atual ainda aceita que a operação humana pode falhar como um risco inerente à operação. Essa lacuna global confirma a necessidade de transição para métodos de varredura eletrônica, visto que a dependência exclusiva de métodos visuais impede que o padrão de segurança atinja níveis de confiabilidade técnica superiores aos limites biológicos dos inspetores (OACI, 2013).

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&CiA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



Esse diagnóstico regulatório encontra eco na literatura científica recente. Noroozi e Shah (2023), em estudo publicado no periódico *Expert Systems With Applications*, analisaram os principais sistemas empregados na detecção de objetos estranhos em aeroportos e concluíram que todos os métodos convencionais disponíveis incluindo sistemas ultrassônicos, de radar, híbridos e de câmera apresentam limitações que comprometem a precisão e a tempestividade da detecção.

Essa convergência entre o que aponta a norma e o que demonstra a pesquisa aplicada evidencia que a fragilidade dos métodos tradicionais não é uma percepção isolada do contexto brasileiro, mas um problema reconhecido internacionalmente, cuja solução passa necessariamente pela incorporação de tecnologias de varredura de maior acurácia e continuidade operacional.

6 CONTRIBUIÇÃO DA VARREDURA ELETRÔNICA PARA A SEGURANÇA NA GESTÃO DE DETRITOS

A transição para métodos de varredura eletrônica fundamenta-se, prioritariamente, na capacidade de detecção quantitativa e na precisão dos sensores de mapeamento móvel. Estudos indicam que o uso da tecnologia de perfilamento a laser permite a identificação de anomalias no pavimento, como fissuras e objetos estranhos, com margens de desvio de apenas 2 cm. Essa exatidão técnica supera as limitações da observação humana, que é passível de falhas na identificação de itens milimétricos. Ao implementar sistemas que operam com alta resolução, o aeródromo eleva o padrão de monitoramento, garantindo que mesmo detritos de difícil visualização sejam catalogados e removidos antes de representarem um risco real às aeronaves (Ravi; Bullock; Habib, 2021).

A modernização da segurança operacional também é balizada por requisitos internacionais de desempenho que exigem a operacionalidade dos sistemas em condições adversas. A Circular de Assessoramento 150/5220-24 da autoridade de aviação civil estadunidense estabelece que os equipamentos de detecção automática devem manter sua eficácia durante o período noturno e sob variadas condições climáticas, cenários onde a visão humana é severamente limitada.

A adoção desses critérios de desempenho garante uma vigilância contínua e uniforme, substituindo a aleatoriedade das rondas visuais por um fluxo constante de dados. Assim, a tecnologia atua como um suporte crítico que assegura a integridade das superfícies pavimentadas de

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&CiA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



forma ininterrupta, independentemente dos fatores externos que degradariam a percepção de um inspetor (FAA, 2010).

Sob a perspectiva da eficiência de rede, a integração de sensores remotos à gestão aeroportuária permite que a verificação de detritos ocorra de maneira sincronizada com o movimento das aeronaves. O guia de diretrizes da Eurocontrol sobre a modernização de superfícies aeroportuárias ressalta que a varredura eletrônica reduz o tempo de ocupação da pista para vistorias, uma vez que a detecção ocorre em tempo real e de forma automatizada.

Essa abordagem eleva o padrão de segurança ao transformar a limpeza em um processo preditivo, onde a informação sobre a presença de materiais estranhos é compartilhada instantaneamente com a torre de controle e equipes de solo. Portanto, o auxílio tecnológico não apenas aumenta a eficácia da detecção, mas otimiza a cadência operacional do aeródromo ao minimizar interrupções desnecessárias para inspeções manuais (Eurocontrol, 2021).

Nesse sentido, a substituição ou o auxílio dos métodos tradicionais por sistemas de varredura eletrônica representa uma evolução no gerenciamento de riscos, migrando de um modelo reativo para uma estrutura de vigilância proativa. Conforme abordado por El-Sayed, a integridade dos motores de nova geração exige um ambiente operacional com tolerância reduzida a detritos, o que torna a precisão tecnológica um requisito de sobrevivência econômica e operacional para as empresas aéreas.

Ao consolidar a automação no monitoramento das pistas, o aeródromo não apenas mitiga a probabilidade de falhas humanas, mas estabelece um novo patamar de confiabilidade técnica onde a segurança é garantida por evidências digitais constantes. Dessa forma, o potencial de modernização reside na capacidade de transformar a gestão de detritos em uma disciplina de alta precisão, alinhando a infraestrutura de solo às exigências tecnológicas das aeronaves modernas (El-Sayed, 2022).

Esse movimento de modernização não é isolado, mas reflexo de uma tendência global em consolidação. A revisão sistemática conduzida por Shakhathreh et al. (2025), publicada na revista *Remote Sensing*, aponta que sistemas de varredura montados em plataformas fixas ou móveis demonstram eficácia em diferentes condições de iluminação e clima, cenários onde os métodos tradicionais de inspeção visual perdem substancialmente sua capacidade de detecção.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&Cia

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



O estudo reforça ainda que a integração desses sensores com câmeras e sistemas embarcados de processamento em tempo real representa o caminho mais promissor para a automatização da vigilância em superfícies aeroportuárias. Diante disso, a adoção da varredura eletrônica deixa de ser uma possibilidade acadêmica e passa a configurar uma tendência operacional irreversível, alinhando a infraestrutura de solo às exigências de confiabilidade das aeronaves e dos órgãos reguladores modernos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O percurso analítico desenvolvido ao longo deste trabalho permitiu examinar, de forma sistemática, a aplicabilidade da tecnologia LiDAR na detecção de objetos estranhos em áreas operacionais de aeródromos, bem como os impactos que sua adoção pode gerar sobre os padrões de segurança vigentes. A partir da revisão da literatura especializada, de documentos técnicos e de referências normativas, foi possível construir um diagnóstico abrangente do problema e avaliar a viabilidade da tecnologia proposta como alternativa ou complemento aos métodos tradicionais.

A análise dos métodos convencionais de controle de FOD demonstrou que, embora estruturados sobre pilares reconhecidos (conscientização, treinamento e supervisão), esses métodos apresentam limitações referente a capacidade de detecção humana. A irregularidade dos intervalos de inspeção, a suscetibilidade a condições climáticas e a ausência de registros digitais auditáveis configuram lacunas operacionais que o atual marco regulatório brasileiro, representado pelo RBAC-153 e pela Resolução nº 431, ainda não esclarece de forma satisfatória. Essa fragilidade normativa, identificada tanto no contexto nacional quanto nos documentos da OACI, evidencia que o problema ultrapassa a realidade brasileira e demanda soluções de alcance tecnológico mais amplo.

No que diz respeito às capacidades técnicas de monitoramento remoto, os fundamentos por pulsos de laser demonstram que a tecnologia reúne os atributos necessários para suprir as deficiências identificadas. A precisão de detecção na ordem de centímetros, a operacionalidade em condições noturnas e adversas, e a possibilidade de integração a plataformas móveis ou fixas foram verificadas tanto em setores análogos como a agricultura de precisão, a robótica e a pavimentação rodoviária, quanto em protótipos funcionais desenvolvidos especificamente para o ambiente aeroportuário.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&CiA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



O veículo de inspeção autônomo proposto por Elrayes *et al.*, (2019) exemplifica a convergência entre os fundamentos teóricos e a aplicação prática, ao demonstrar que a varredura eletrônica de pistas é tecnicamente viável e operacionalmente compatível com o fluxo aeroportuário.

Diante disso, conclui-se que a tecnologia em questão apresenta viabilidade técnica para a detecção de objetos estranhos em aeródromos e potencial para elevar os padrões de segurança operacional ao substituir, de forma total ou parcial, a subjetividade dos métodos tradicionais por evidências digitais verificáveis e contínuas. A transição de um modelo reativo, baseado em rondas periódicas, para uma estrutura proativa de monitoramento automatizado representa um avanço alinhado às demandas da aviação contemporânea e às exigências regulatórias internacionais em evolução.

Reconhece-se, contudo, que as limitações desta pesquisa de caráter qualitativo e bibliográfico, restringem suas conclusões ao plano da viabilidade teórico-técnica. A consolidação dessas evidências demanda estudos futuros de natureza experimental, com ensaios em campo realizados em aeródromos brasileiros, que permitam aferir o desempenho do sistema nas condições climáticas e operacionais específicas do contexto nacional. Adicionalmente, análises de custo-benefício e estudos sobre adequação regulatória constituem desdobramentos necessários para viabilizar a incorporação efetiva dessa tecnologia nos programas de gerenciamento de risco de FOD dos operadores aeroportuários.

ISSN 2763-7697

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Resolução nº 431, de 19 de junho de 2017**: dispõe sobre a certificação operacional de aeródromos. Brasília: ANAC, 2017. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/resolucoes/resolucoes-2017/resolucao-no-431-19-06-2017/@@display-file/arquivo_norma/RE2017-0431.pdf. Acesso em: 28 abr. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 153**: Aeródromos - Operação, Manutenção e Resposta à Emergência. Emenda 06. Brasília: ANAC, 2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbac/rbac-153>. Acesso em: 29 abr. 2026.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&Cia

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Manual de gerenciamento do risco de FOD (Foreign Object Debris)**. Brasília: ANAC, 2022.

ASHFORD, N. J.; STANTON, H. P. M; MOORE, C.A. **Airport operations**. 3. ed. New York, NY: McGraw-Hill Professional, 2013.

BUREAU D'ENQUÊTES ET D'ANALYSES POUR LA SÉCURITÉ DE L'AVIATION CIVILE (BEA). **Accident on 25 July 2000 at La Patte d'Oie in Gonesse (95) to the Concorde registered F-BTSC operated by Air France**. Paris: BEA, 2001. Disponível em: https://bea.aero/uploads/tx_elydrapports/f-sc000725a.pdf. Acesso em: 5 nov. 2025.

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS (CENIPA). **Relatório Final IG-029/CENIPA/2025**: incidente grave PS-GPP. Brasília, 12 fev. 2025. [Painel Sipaer]: CENIPA, 2025. Disponível em: https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/PS-GPP_12FEV2025_PUB.PORT4.pdf. Acesso em: 30 out. 2025.

DEBNATH, S.; PAUL, M.; DEBNATH, T. Applications of LiDAR in agriculture and future research directions. **Journal of Imaging**, [S.l.], v. 9, n. 57, p. 1-27, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-433X/9/3/57/pdf>. Acesso em: 30 out. 2025.

DONG, P; CHEN, Q. **LiDAR Remote Sensing and Applications**. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2018.

EL-SAYED, A. F. **Foreign object debris and damage in aviation**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2022.

ELRAYES, A.; ALI, M. H.; ZAKARIA, A.; ISMAIL, M. H. Smart airport foreign object debris detection rover using LiDAR technology. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, v. 1, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2542660518300246>. Acesso em: 5 maio 2026.

EUROCONTROL. **European Action Plan for the Prevention of Runway Incursions (EAPPRI) v3.0**. Brussels: Eurocontrol, 2021. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int>. Acesso em: 29 abr. 2026.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Draft Advisory Circular 150/5210-24A: Airport Foreign Object Debris (FOD) Management**. Washington: FAA, 2020. Disponível em: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/draft-150-5210-24a.pdf. Acesso em: 29 abr. 2026.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Advisory Circular 150/5220-24: Airport Foreign Object Debris (FOD) Detection Equipment**. Washington: FAA, 2010. Disponível em:

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC&CiA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas



https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150_5220_24.pdf. Acesso em: 29 abr. 2026.

NOROOZI, M.; SHAH, A. Towards optimal foreign object debris detection in an airport environment. **Expert Systems with Applications**, v. 213, p. 118829, 2023. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.118829. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118829> Acesso em: 5 abr. 2026.

ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (OACI). **Doc 9137: Airport Services Manual. Part 8: Airport Operational Service**. 1. ed. Montreal: OACI, 2013. Disponível em: <https://www.icao.int>. Acesso em: 25 abr. 2026.

RAVI, R.; BULLOCK, D.; HABIB, A. Pavement distress and debris detection using a mobile mapping system with 2d profiler LiDAR. **Transportation Research Record**, [S.l.], v. 2675, n. 9, p. 428-438, 2021. DOI: 10.1177/03611981211002529. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/03611981211002529>. Acesso em: 20 abr. 2025.

SHAKHATREH, H. et al. A review of foreign object debris detection on airport runways: sensors and algorithms. **Remote Sensing**, v. 17, n. 2, p. 225, jan. 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/17/2/225>. Acesso em: 5 maio 2026.

TAROLLI; SOFIA.; CALLIGARO; PROSDOCIMI; PRETI; FONTANA. Vineyards in terraced landscapes: new opportunities from lidar data. *Land Degrad.* 2015, v. 26, p. 92–102. In: DEBNATH, S.; PAUL, M.; DEBNATH, T. Applications of LiDAR in agriculture and future research directions. **Journal of Imaging**, [S.l.], v. 9, n. 57, p. 1-27, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2313-433X/9/3/57/pdf>. Acesso em: 30 out. 2025.

WAYKAR, Y. A. Lidar Technology: A Comprehensive review and future prospects. **Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)**, [S.l.], v. 9, n. 7, jul. 2022. Disponível em: <https://www.jetir.org>. Acesso em: 13 nov. 2025.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 6, n. 3, esp., p. 402-423, jul/ago. 2026.



RBAC & CIA

Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas

