XXII SITRAER 2025
Simpósio de Transporte Aéreo

DETECÇÃO DE LÂMINA D'ÁGUA NAS PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM: UMA MEDIDA PREDITIVA PARA A GESTÃO DOS RISCOS OPERACIONAIS EM AEROPORTOS

Pablo Franco Miranda[1]; João Victor dos Santos[2]; Felipe Hernandes Cava[3]; Lauro Victor da Silva Santos[4]

1. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
2. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
3. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
4. Instituto de Educação Superior de Brasília - IESB

*** Corresponding author e-mail address**: pmiranda.brasilia@gmail.com;

PAPER ID: SIT1234408

RESUMO

O acúmulo de água na superfície das pistas de pouso e decolagem pode representar um risco significativo para as operações de pouso e decolagem, especialmente sob condições climáticas adversas. A detecção em tempo real da lâmina d'água, por meio de sensores instalados no próprio pavimento da pista, é uma fonte de informação essencial para a garantia da segurança operacional. Este trabalho busca explorar os impactos da utilização dessa tecnologia na tomada de decisão estratégica e tática nos ambientes aeroportuários, destacando sua relevância para a prevenção de acidentes relacionados à aquaplanagem e ao aumento da distância necessária para a frenagem. São discutidos também os avanços recentes na integração desses dados com os sistemas de controle de tráfego aéreo e a contribuição para a evolução dos aeroportos inteligentes *(smart airports)*.

Palavras-chave: segurança operacional; aeroporto inteligente; lâmina d'água; gestão de risco; aquaplanagem.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA GENERATIVA

Os autores declaram que o uso de ferramentas de IA generativa se restringiu a atividades de suporte técnico, sem comprometer a originalidade, a análise e as conclusões apresentadas no trabalho. Todas as informações obtidas por meio desses recursos foram cuidadosamente avaliadas e integradas ao estudo, garantindo rigor metodológico e integridade acadêmica. A Ferramenta SciSpace - AI foi utilizada para pesquisa automatizada, aprimorando a busca por referências relacionadas aos tópicos de estudo, e a Ferramenta QWEN - AI foi utilizada para revisão do texto.

PAPER ID: SIT1234408

DETECÇÃO DE LÂMINA D'ÁGUA NAS PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM: UMA MEDIDA PREDITIVA PARA A GESTÃO DOS RISCOS OPERACIONAIS EM AEROPORTOS.

1 INTRODUÇÃO

Temas relacionados a segurança operacional em aeroportos envolvem uma série de medidas que devem ser continuamente monitoradas para garantir a segurança das operações. Um desses fatores é a condição física da pista, especialmente sob chuva ou precipitação recente, quando pode ocorrer o acúmulo de lâmina d'água em áreas críticas para a segurança.

Esse fenômeno reduz drasticamente a aderência entre pneus da aeronave e o pavimento, aumentando o risco de perda de tração, maior distância de frenagem e até saída de pista (SILVA et al., 2022). Assim, conhecer em tempo real a espessura da camada de água, torna-se importante para a gestão de riscos operacionais.

Segundo Gomes et al. (2023), a falta de informações atualizadas sobre a condição da pista pode levar a decisões equivocadas tanto por parte das tripulações quanto pelos controladores de tráfego aéreo. A instalação de sensores de lâmina d'água permite superar essa lacuna, promovendo maior transparência e objetividade nas avaliações de segurança.

Sabe-se que no Brasil, a autoridade aeronáutica é o elo da aviação responsável pela investigação de acidentes aeronáuticos, mais especificamente o CENIPA. De forma a divulgar os relatórios e recomendações de segurança, foi criado pela aeronáutica um portal para consulta do histórico de ocorrências, onde foi possível verificar o histórico de ocorrências de aquaplanagem (acidentes ou incidentes graves), registrados pelo CENIPA no período de 25 anos (junho de 2000 a junho de 2025).

Tabela 1: Relação de acidentes ou incidentes graves durante operações de pouso/decolagem, cujo fator contribuinte está associado à aquaplanagem (período da consulta: jun/2000 a jun/2025). Fonte: https://painelsipaer.cenipa.fab.mil.br/extensions/Sipaer/home.html

Data	Local	Tipo de Evento	Resumo do Fator Água
15/11/2011	Uberlândia (SBUL)	Incidente Grave	Lâmina >=3 mm; hidroplanagem dinâmica/viscosa
17/02/2010	Campo de Marte (SBMT)	Acidente	Pista totalmente coberta; hidroplanagem vapor/dinâmica
16/07/2007	Congonhas (SBSP)	Acidente	Poças; múltiplos tipos de hidroplanagem
17/04/2022	Barra Grande (SIRI)	Acidente	Redução de frenagem; lâmina invisível
30/10/2020	São Pedro (SSDK)	Acidente	Pista contaminada >3 mm em 25% da área
06/06/2001	Bacacheri (SBBI)	Acidente	Explica hidroplanagem viscosa/dinâmica
18/03/2016	Oeiras (SNOE)	Acidente	Pista molhada e poças; suspeita de aquaplanagem
22/03/2006	Congonhas (SBSP)	Incidente Grave	Pista molhada; hidroplanagem
04/01/2003	Congonhas (SBSP)	Acidente	Pista molhada; aquaplanagem
10/08/2012	Manaus (SWFN)	Incidente Grave	Pista molhada; derrapagem na abortiva
15/12/2023	Ijuí (SSIJ)	Acidente	Excursão de pista; condições de pista molhada citadas
18/11/2017	Foz do Iguaçu (SBFI)	Incidente Grave	Runway excursion sob chuva forte / pista molhada
20/12/2003	Navegantes (SBNF)	Acidente	Pouso longo em pista molhada; aquaplanagem
17/07/2007	Congonhas (SBSP)	Acidente	Frenagem ineficaz; pista molhada sem grooving (TAM 3054)

O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica do impacto da detecção contínua da lâmina d'água na segurança operacional, destacando o papel estratégico desses dispositivos no contexto das atividades aeroportuárias.

2 PREDIÇÃO DE LÂMINA D'ÁGUA EM PAVIMENTOS

A presença de lâminas d'água em pavimentos rodoviários e aeroportuários representa um desafio significativo para a segurança operacional, impactando diretamente a interação entre pneus e superfície. Este fenômeno, conhecido como hidroplanagem, ocorre quando uma camada de água se acumula entre o pneu do veículo e o pavimento, resultando na redução do atrito. Os riscos associados à lâmina d'água são amplamente documentados, com estatísticas indicando um aumento substancial na incidência de acidentes em condições de pavimento molhado (LING et al., 2023). A compreensão dos mecanismos de formação da lâmina d'água e o desenvolvimento de método para sua mitigação são, portanto, necessários para aprimorar a segurança e a eficiência dos modos de transporte.

O uso de métodos para detecção de lâmina d'água tem evoluído ao longo dos anos junto com o avanço e aplicações de novas tecnologias. Modelos para predição da lâmina d'água e do comportamento pneu-pavimento tem sido elaborado tanto por meio de modelos empíricos quanto analíticos (LUO et al, 2017; LU e LI, 2019). O modelo elaborado por Lu e Li (2019), por exemplo, oferece uma compreensão mais aprofundada dos princípios físicos que governam o comportamento da água na superfície do pavimento, superando as limitações dos modelos puramente empíricos e abrindo caminho para soluções de engenharia mais eficazes.

Além do modo de escoamento da água na superfície dos pavimentos, as características de textura também impactam nesse sentido. Pourhassan et al. (2021) desenvolveram um modelo de predição de lâmina d'água que considerava a textura do pavimento, principalmente para pavimentos com revestimentos asfálticos de elevada textura. Os autores propuseram dois modelos de predição (Equação 1 e 2), de modo que ambos apresentaram elevado coeficiente de determinação, conforme a Figura 1.

$$WFD = 0{,}00639 \cdot (MTD^{-0{,}46} \cdot L^{0{,}29} \cdot I^{0{,}37} \cdot S^{-0{,}29}) - MTD \quad (1)$$

$$WFD = 0{,}00751 \cdot (MTD^{-0{,}36} \cdot L^{0{,}32} \cdot I^{0{,}37} \cdot S^{-0{,}30} \cdot R^{-0{,}02}) - MTD \quad (2)$$

onde,

WFD = profundidade da lâminas d'água, em polegadas

WTD = profundidade da textura do pavimento, em polegadas

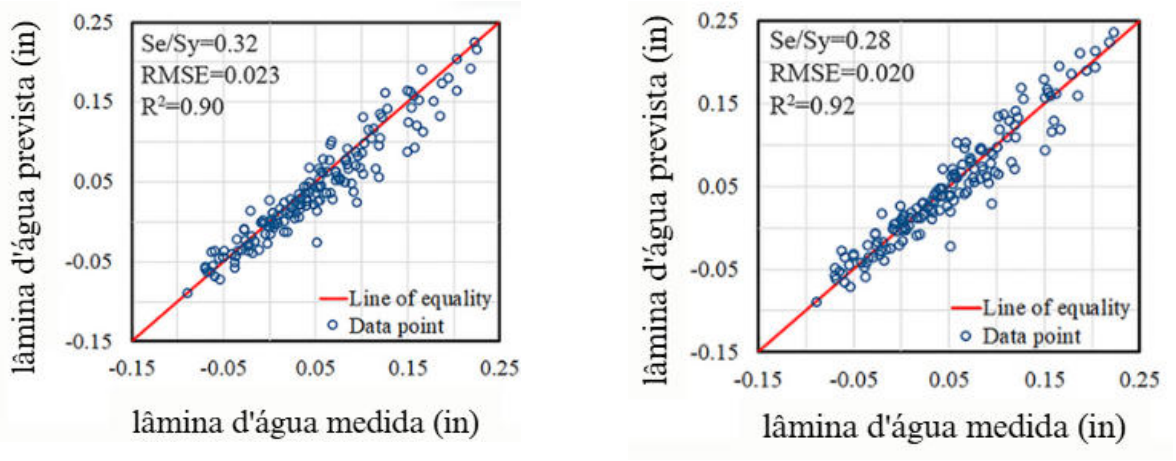
L = comprimento de drenagem, em pés

I = intensidade da chuva, em polegadas por hora

S = Declividade da pista para drenagem

R = Teor de borracha na mistura asfáltica

Por meio da Figura 1, observa-se que a diferença dos modelos está na inclusão da variável da presença de borracha nas misturas asfálticas, o que também resulta na modificação da textura dos pavimentos.



(a) Equação 1 (b) Equação 2

Figura 1: Modelos de predição da lâmina d'água desenvolvidos por Pourhassan et al. (2021). Fonte: Adaptado de Pourhassan et al (2021)

Como a textura dos pavimentos possui relação direta com a drenabilidade da água e, consequentemente com a lâmina d'água, outros estudos aprofundam também em métodos de aprimorar a medição de textura dos pavimentos. Ding et al. (2021), por exemplo, exploraram a influência da profundidade efetiva da textura no atrito do pavimento utilizando análise 3D da área de textura e identificando uma profundidade efetiva de 2mm como um fator crítico para o desempenho do atrito entre o pneu e o pavimento. Já Wang et al. (2023), também por meio de um *scanner* de varredura 3D, introduziram um método não destrutivo para a detecção rápida da profundidade da textura incorporando a calibração da deformação permanente de trilha de roda, o que representou um avanço na precisão das medições em campo.

Outros métodos foram reunidos por Ling et al. (2023), os quais apresentam uma revisão abrangente sobre a avaliação da profundidade da lâmina d'água em pavimentos. Além disso, os autores identificaram diferentes lacunas de pesquisa, como a falta de padrão de medição e a necessidade de sensores de alta precisão para pistas de pouso e decolagem. Além disso, os autores relatam que o uso de modelos simplificados para estimar a lâmina d'água em toda a superfície do pavimento possui diversos problemas, o que aumenta a necessidade de modelos de melhor precisão para pistas em aeroportos.

Nesse contexto de aprimorar os modelos para aeroportos, Guo et al. (2023) investigaram a predição da lâmina d'água em pistas de aeroporto com grooving, considerando o efeito do vento, um fator ambiental relevante que até então era menos explorado.

Com o avanço de técnicas computacionais e de aprendizado de máquina, diversos modelos tem sido elaborados para aumentar a previsibilidade da lâmina d'água. Zhao et al. (2024) propuseram um novo modelo de predição de lâmina d'água baseado no número de Reynolds para fluxo laminar, aprofundando a compreensão dos mecanismos de escoamento. Jiang et al. (2024) estudaram um modelo analítico para estimar a distância de frenagem de veículos em superfícies molhadas e com trilhas de roda através de uma rede neural de retropropagação. Os autores observaram que o modelo pode contribuir com a compreensão de desempenho dos pavimentos e, consequentemente, auxiliar no planejamento de manutenções para evitar problemas de segurança.

3 A IMPORTÂNCIA DA DETECÇÃO DA LÂMINA D'ÁGUA PARA A SEGURANÇA OPERACIONAL

Tanto a aderência (capacidade de frenagem) quanto o desempenho da aeronave (controle direcional) dependem diretamente da interação entre os pneus da aeronave e a superfície da pista. Em pisos molhados, essa aderência diminui exponencialmente com o aumento da espessura da lâmina d'água (PEREIRA et al., 2021).

De acordo com Almeida et al. (2024), a aderência pode ser reduzida em até 70% quando a espessura da lâmina ultrapassa 3 mm, o que já configura risco elevado de aquaplanagem dinâmica. Desta forma, a falta de informações precisas sobre a profundidade da lâmina d'água pode levar a uma subestimação dos riscos associados às operações em condições adversas, colocando em risco todo o sistema do aeroporto, pois são decisões que não foram baseadas em um sistema eficiente de coleta de dados.

Os sensores de lâmina d'água permitem a medição precisa da espessura da água, identificando as zonas críticas na pista, propiciando aos envolvidos nas operações de pouso e decolagem as informações reais das condições da superfície, de forma instantânea. Esses dados são necessários para avaliar se o desempenho da aeronave prevista nos manuais técnicos será suficiente para operar com segurança (SANTOS et al., 2024).

Segundo Oliveira e Costa (2023), a disponibilidade de dados em tempo real promove uma comunicação mais eficiente entre os agentes operacionais e reduz o tempo de resposta em emergências. Além disso, esses autores destacam que a integração com sistemas digitais permite a geração automática de alertas e notificações.

Para os operadores da torre de controle, os dados permitem ajustar padrões de pouso e decolagem, conforme a condição real da pista, bem como facilita e agiliza a suspensão temporária das operações em situações de risco elevado, ou seja, torna a tomada de decisão mais objetiva.

Para as tripulações técnicas, há a vantagem de poderem receber os dados atualizados sobre a condição da pista, momentos antes do pouso, auxiliando na avaliação da possibilidade de abortar o pouso ou a decolagem. Outrossim, ajuda na configuração adequada do modo de frenagem da aeronave durante o pouso.

Para os gestores aeroportuários, a informação instantânea apoia a tomada de decisão, podendo sinalizar a necessidade de intervenções rápidas como o fechamento temporário da pista, bem como a sua reabertura ao tráfego, após detectado o escoamento da água do pavimento da pista. Igualmente, contribuem para o monitoramento de locais críticos na superfície da pista (locais com empoçamentos frequentes), possibilitando uma avaliação de engenharia mais assertiva, favorecendo a análise contínua da matriz de manutenção do aeroporto.

Para o operador aeroportuário, um dos principais desafios enfrentados em condições climáticas adversas é a avaliação funcional de drenagem do pavimento da pista. Tal avaliação está sujeita à subjetividade na avaliação, pois é realizada com técnicas pouco confiáveis ou bastante rústicas, inclusive em alguns casos, de forma visual da pista. Frequentemente os pilotos e os controladores dependem de relatos de operações anteriores para a tomada de decisão.

Sensores de lâmina d'água eliminam boa parte dessa incerteza, fornecendo dados objetivos, quantitativos e atualizados, o que reduz consideravelmente o risco de erros humanos na tomada de decisão (ALMEIDA et al., 2024).

Além disso, esses sistemas podem ser integrados a plataformas digitais acessíveis via aplicativos ou displays na torre de controle, aumentando a eficiência da comunicação operacional (SILVA et al., 2022).

4 INTEGRAÇÃO COM SISTEMAS INTELIGENTES E AEROPORTOS DO FUTURO

Com o advento da modernização e automação dos aeroportos, a detecção de lâmina d'água está sendo incorporada em redes mais amplas de monitoramento ambiental e operacional. Exemplos como o Sistema Integrado de Monitoramento da Pista (Runway Status Lights – RWSL) da FAA, que previnem incursões de pista, já demonstram como dados de sensores podem ser usados para alertar automaticamente pilotos e controladores sobre condições adversas, sem depender apenas de comunicação verbal (FAA, 2022).

De acordo com Gomes et al. (2023), a integração de sensores com outras tecnologias, como IoT *(Internet of Things)* e sistemas de gerenciamento de tráfego, é essencial para a construção de um ecossistema aeroportuário conectado e resiliente.

Um exemplo de uso de *Big Data* e Inteligência Artificial são os dados históricos de lâmina d'água, coletados ao longo de um grande período, que podem ser analisados por algoritmos de *Machine Learning,* para prever tendências e identificar padrões recorrentes. Isso permite planejamento preventivo e alocação otimizada de recursos em períodos chuvosos (SANTOS et al., 2024).

Ainda de acordo com Santos et al. (2024), a utilização de modelos preditivos baseados em inteligência artificial pode elevar a confiabilidade dos alertas emitidos, permitindo uma gestão proativa dos riscos operacionais.

Os "aeroportos inteligentes" são caracterizados pelo uso intensivo de tecnologia para otimizar seus processos, aumentar a segurança e melhorar a experiência dos usuários. Sensores de lâmina d'água são um componente vital nessa transformação, pois promovem operações mais seguras e previsíveis, menor tempo de paralisação em condições climáticas adversas e evita a situação de perigo em operar uma pista escorregadia.

5 DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar dos avanços, ainda existem desafios a serem superados. O custo de instalação e manutenção dos sensores ainda é um entrave para sua popularização. Outro exemplo é a necessidade de padronização de protocolos de comunicação entre os diversos sistemas dos Aeroportos Inteligentes. Também, a confiabilidade em diferentes tipos de pavimento e em condições climáticas extremas.

No entanto, com o crescimento do interesse global por soluções digitais na aviação, espera-se que os sensores de lâmina d'água se tornem parte integral da infraestrutura aeroportuária padrão nos próximos anos (GOMES et al., 2023).

Além disso, novas pesquisas estão investigando alternativas mais econômicas e duráveis para sensores de lâmina d'água, incluindo materiais híbridos e sistemas autossustentáveis (OLIVEIRA e COSTA, 2023).

Outrossim, a detecção e predição da lâmina d'água em pistas de pouso e decolagem têm sido objeto de crescente interesse na literatura técnica, especialmente em razão dos impactos diretos sobre a segurança operacional e a ocorrência de eventos de aquaplanagem. Diversos estudos têm abordado o fenômeno sob diferentes perspectivas — hidráulica, de engenharia de pavimentos, sensoriamento e modelagem preditiva — contribuindo para um entendimento mais robusto dos fatores que influenciam a formação e o acúmulo de água na superfície do pavimento.

Nos últimos anos, modelos empíricos e analíticos foram desenvolvidos para estimar a profundidade da lâmina d'água com base em variáveis como intensidade pluviométrica, declividade da pista, textura do pavimento e características de drenagem superficial (LUO et al., 2017; LU e LI, 2019). Nesse contexto, POURHASSAN et al. (2021) avançaram ao propor modelos preditivos que incorporam a textura de pavimentos altamente drenantes, incluindo o efeito de materiais modificados, como misturas asfálticas com teor de borracha. Esses modelos demonstraram elevado coeficiente de

determinação, sugerindo maior precisão na estimação da lâmina d'água em superfícies com alta rugosidade.

Paralelamente, o aprimoramento das técnicas de medição da textura do pavimento tem permitido uma avaliação mais precisa da interação pneu-pavimento. Ding et al. (2021) identificaram uma profundidade efetiva de textura de 2 mm como crítica para o atrito em condições molhadas, enquanto Wang et al. (2023) introduziram um método não destrutivo baseado em varredura 3D e calibração de deformações permanentes, representando um avanço metodológico para medições em campo.

No entanto, apesar desses avanços, lacunas significativas ainda persistem. Primeiramente, como destacado por Ling et al. (2023), não há um padrão consolidado para a medição da lâmina d'água em pistas de aeroportos, o que compromete a comparabilidade entre estudos e a padronização operacional. A falta de um protocolo universal dificulta a integração de dados entre diferentes aeroportos e sistemas de gestão.

Além disso, muitos modelos ainda são baseados em simplificações que não consideram fatores ambientais dinâmicos, como o efeito do vento na redistribuição da água sobre a pista. Guo et al. (2023) foram pioneiros ao investigar esse fenômeno em pistas com grooving, mas a aplicação prática desses modelos ainda é limitada. Da mesma forma, o desempenho dos sensores em diferentes tipos de pavimento (rígido ou flexível) e em condições climáticas extremas (chuva intensa, ventos fortes, variações térmicas) permanece pouco validado.

Outra lacuna crítica está na escassez de estudos que integrem dados de sensores com sistemas operacionais em tempo real. Embora haja exemplos promissores, como o RWSL da FAA (FAA, 2022), a maioria das pesquisas ainda se concentra em validações técnicas isoladas, sem explorar plenamente o potencial de integração com sistemas de gerenciamento de tráfego aéreo, IoT ou plataformas de big data.

Por fim, há uma carência de pesquisas focadas em soluções de baixo custo e sustentáveis, especialmente para aeroportos de médio e pequeno porte. A alta complexidade e o custo de instalação e manutenção dos sensores atuais limitam sua disseminação, como apontado por Oliveira e Costa (2023). Nesse sentido, alternativas com materiais híbridos, sensores autossustentáveis ou baseados em redes de baixo consumo energético representam frentes promissoras, mas ainda pouco exploradas.

Portanto, novas pesquisas devem avançar em três direções principais. A primeira direção seria na padronização de métodos de medição e comunicação de dados, alinhados às normativas da ICAO e EASA; Já a segunda seria o desenvolvimento de modelos preditivos mais completos, incorporando fatores ambientais dinâmicos (vento, temperatura, velocidade do escoamento) e validados em diferentes tipos de pavimento; e por fim, a terceira seria a integração com plataformas digitais inteligentes, utilizando machine learning e IoT para transformar dados de sensores em alertas operacionais automatizados e decisões proativas.

Essas direções não apenas preenchem lacunas atuais, mas também abrem caminho para novas possibilidades de escrita e inovação, como a concepção de modelos híbridos físico-digital, sistemas de alerta preditivo baseados em aprendizado de máquina e arquiteturas de sensores distribuídos de baixo custo, impulsionando a evolução dos aeroportos inteligentes.

6 CONCLUSÃO

Detectar em tempo real a espessura da lâmina d'água na pista de pouso e decolagem é um avanço tecnológico que causa impacto direto na segurança operacional dos aeroportos. Suas informações objetivas, técnicas e atualizadas ajudam a reduzir as incertezas perante um evento climático desfavorável, apoiar os gestores a tomar decisões críticas e evitar acidentes relacionados à aquaplanagem. Tornar os aeroportos mais seguros, resilientes e preparados para os desafios do futuro demanda forte integração com sistemas inteligentes e de big data. São elementos estratégicos na

construção de aeroportos modernos, voltados à prevenção de acidentes e à qualidade dos serviços ofertados aos usuários.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. F. et al. (2024). *Análise de Sistemas de Detecção de Água em Pistas de Pouso: Uma Revisão Tecnológica.* Revista Brasileira de Engenharia Aeronáutica, v. 18, n. 2, p. 78–92.

DING, S; WANG, K.C.P; YANG, E; ZHAN, Y. (2021). *Influence of effective texture depth on pavement friction based on 3D texture area.* Construction and Building Materials.

EASA. (2025). *CS-ADR-DSN – Airfield Design and Operations.* Agência Europeia de Segurança da Aviação, 2020. Disponível em: https://www.easa.europa.eu. Acesso em: 05 abr.

FAA. (2019). *Advisory Circular AC 120-112. Mitigating the Effects of Runway Contamination.* Federal Aviation Administration. Disponível em: https://www.faa.gov. Acesso em: 05 abr. 2025.

GOMES, M. T. et al. (2023). *Infraestrutura Aeroportuária Inteligente: Desafios e Oportunidades Tecnológicas.* Revista de Transportes e Logística, v. 21, n. 4, p. 112–128.

GUO, K; WANG, M; FENG, X; YAN, H; MAO, Y; HAN, Z; LAM, W; GUAN, M; CHEN, J. (2023). *Prediction of water film depth on grooved airport runway induced by intense rainfall and wind.* Construction and Building materials.

ICAO. (2014). *Doc 9137. Manual of Hydroplaning and Related Pavement Surface Phenomena.* 4. ed. Montreal: International Civil Aviation Organization.

JIANG, J; KETABDARI, M; CRISPINO, M; TORALDO, E. (2024). *Estimating vehicle braking distance over wet and rutted pavement surface through back-propagation neural network.* Results in engineering.

LING, J; YANG, F; ZHANG, J; LI, P; UDDIN, M.D.I; CAO, T. (2023). *Water-film depth assessment for pavements of roads and airport runways: A review.* Construction and Building Materials.

LUO, W.; WANG, K.C.P; LI, L. (2017). *Field test validation of water film depth (WFD) prediction models for pavement surface drainage.* International Journal of Pavement Engineering.

LUO, W; LI, L. (2019). *Development of a new analytical water film depth (WFD) prediction model for asphalt pavement drainage evaluation.* Construction and Building Materials.

OLIVEIRA, R. M.; COSTA, A. B. (2023). *Monitoramento Ambiental em Aeroportos: Integração de Dados para Tomada de Decisão.* Revista de Gestão de Riscos e Segurança, v. 10, n. 3, p. 45–59.

PEREIRA, L. H. et al. (2021). *Impacto da Rugosidade da Pista na Adesão dos Pneus em Condições de Chuva.* Revista de Engenharia de Pavimentos, v. 23, n. 1, p. 33–47.

POURHASSAN, A; GHENI, A.A; ELGAWADY, M.A. (2021). *Water Film Depth Prediction Model for Highly Textured Pavement Surface Drainage*. Transportation Research Board.

SANTOS, E. F. et al. (2024). *Uso de Inteligência Artificial na Previsão de Acumulação de Água em Pistas de Aeroportos.* Revista de Ciência e Tecnologia Aeronáutica, v. 19, n. 2, p. 101–114.

SILVA, A. C. et al. (2022). *Riscos Operacionais Associados à Aquaplanagem em Aeroportos Brasileiros.* Revista de Segurança no Transporte Aéreo, v. 15, n. 4, p. 67–82.

WANG, H. ZHANG, X. WANG, M. (2023). *Rapid texture depth detection method considering pavement deformation calibration.* Measurement.

ZHAO, H. et al. (2021). *Real-time pavement water film monitoring system based on optical sensors.* Journal of Intelligent Transportation Systems, v. 25, n. 3, p. 245–258.

ZHAO, K; ZHOU, Q; ZHAO, E; LI, G; DOU, Y. (2024). *A new Water Film Depth Prediction Model for Pavement Surface Drainage*. Infrastructures.