

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL · UFC · 20 DE JUNHO DE 2026

Modeling and Evaluation of Vertical Strain at the Top of the Subgrade in Airfield Pavements Using Neural Networks

Por Lucas Cavalcante de Almeida, Cláudia Azevedo Pereira e Francisco Heber Lacerda de Oliveira

Fonte: OpenAlex · UFC · [Publicação original](#)

INOVAÇÃO

7/10

APLICABILIDADE

9/10

POTENCIAL
ECONÔMICO

8/10

MATURIDADE

Média

O estudo desenvolveu um modelo preditivo utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA) para estimar a deformação vertical no topo do subleito de pavimentos aeroportuários. A solução atua como um modelo substituto (surrogate) eficiente para simulações complexas de Elementos Finitos 3D, mantendo alta precisão preditiva, mas reduzindo drasticamente o tempo computacional. Isso viabiliza a otimização de projetos e a análise de cenários em escala para engenharia de infraestrutura.

NÚCLEO DA ANÁLISE

Ideia de startup ou produto

Criação de uma startup SaaS B2B (PavementAI) que oferece uma API ou plugin para softwares de engenharia (como Civil 3D ou Bentley), permitindo que engenheiros realizem milhares de simulações estruturais em segundos em vez de horas, com foco inicial em aeroportos e expansão para rodovias.

Aplicações práticas

Automação do dimensionamento estrutural de pavimentos aeroportuários, simulação rápida de novos cenários de carga (novas aeronaves), ferramentas de manutenção preditiva de pistas e otimização de custos de materiais em grandes obras de infraestrutura.

Potencial de mercado

Alto potencial no setor de Engenharia Civil e Infraestrutura, especialmente para consultorias aeroportuárias e concessionárias de aeroportos. A demanda por digitalização (Indústria 4.0) na construção civil cria uma oportunidade para ferramentas que acelerem o projeto sem sacrificar a precisão estrutural.

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Problema abordado

A utilização de modelos de Elementos Finitos 3D no projeto de pavimentos aeroportuários, embora precisa, é computacionalmente custosa e lenta, limitando seu uso em análises de rotina e iterativas. O método elástico empilhado (LED) é rápido, mas pode carecer da precisão necessária para interações complexas de carga.

Metodologia

Treinamento supervisionado de uma RNA (MLP) com duas camadas ocultas e função de ativação tangente hiperbólica, utilizando um banco de dados robusto de 5.000 simulações geradas no software ABAQUS (Elementos Finitos). A performance foi validada por métricas de erro (MAE) e coeficiente de determinação (R^2), comparando-se com métodos analíticos tradicionais.

Principais descobertas

O modelo de RNA apresentou alta correlação com os resultados do método de Elementos Finitos e tempo de inferência significativamente menor. A análise de sensibilidade permitiu identificar as variáveis estruturais mais influentes na resposta do pavimento, validando a RNA como ferramenta eficaz para apoio à decisão em projetos de engenharia.

LEITURA PARA GESTÃO PÚBLICA

Adoção do modelo por órgãos reguladores (ex: ANAC) para agilizar processos de homologação de pistas e revisão de normas técnicas, permitindo avaliações de segurança mais frequentes e baseadas em dados simulados de alta fidelidade.

PARCERIA UNIVERSIDADE × EMPRESA

Parceria tecnológica entre a UFC e grandes empresas de engenharia de pavimentação ou operadores aeroportuários (ex: Infraero, GRU Airport) para integrar a RNA em sistemas de Gestão de Pavimentos (PMS), permitindo manutenção preditiva e economia de recursos públicos/privados.

OPORTUNIDADES DERIVADAS

4 direções estratégicas identificadas

STARTUP · IMPACTO ALTO · SOFTWARE

SaaS de Simulação Estrutural para Infraestrutura

Plataforma digital que utiliza o modelo de RNA para oferecer simulações rápidas de deformação em pavimentos, substituindo softwares legados pesados para consultorias de engenharia.

PRODUTO CORPORATIVO · IMPACTO ALTO · INDÚSTRIA 4.0

Plugin de Otimização para CAD/BIM

Desenvolvimento de um componente corporativo para integrar em softwares de projeto civil, automatizando o cálculo de espessuras de camadas durante o desenho da pista.

PARCERIA · IMPACTO MÉDIO · CIÊNCIA DE DADOS

Validação em Campo e Expansão de Dados

Colaboração Universidade-Empresa para coletar dados reais de pistas de aeroportos no Ceará, refinando o modelo de RNA para incluir variáveis climáticas locais e materiais regionais.

POLÍTICA PÚBLICA · IMPACTO MÉDIO · GOVTECH

Ferramenta de Planejamento de Aeroportos Regionais

Uso do modelo pelo governo estadual para avaliar a viabilidade técnica rápida de pistas em municípios do interior, facilitando a decisão de investimentos em infraestrutura aeroportuária.

ABSTRACT ORIGINAL

The application of three-dimensional finite-element models in airfield pavement design provides high accuracy in predicting structural responses, allowing the simulation of loading conditions and interactions between pavement layers. However, this process requires considerable computational time compared to the layered elastic design (LED) method, which limits its use in routine design analyses. The objective of this study was to develop and evaluate a predictive model based on artificial neural networks (ANNs) capable of estimating vertical strain at the top of the subgrade in airfield pavements. To achieve this goal, the network was trained using a database generated through three-dimensional simulations performed in ABAQUS software, considering five aircraft with single-axle dual-wheel configurations, totaling 5,000 simulations. The ANN architecture was defined with two hidden layers, containing 10 and 8 neurons, using the hyperbolic tangent activation function. The model's performance was evaluated using the mean absolute error and R2 metrics, and the results were compared with values calculated by ABAQUS and multilayer elastic analysis, which applies the LED method. Additionally, a sensitivity analysis was carried out using elasticity coefficients, enabling the identification of the most influential structural variables affecting pavement response. The results showed that the ANN achieved high predictive accuracy and presented a shorter inference time compared to the finite-element method, demonstrating its potential for large-scale applications. It is concluded that the use of ANNs trained with robust data can represent an efficient alternative for the structural analysis of airfield pavements, supporting the optimization of the design process and aiding decision-making in pavement projects and maintenance planning.

MATÉRIA PARA LEIGOS

Para leigos: IA acelera o projeto de pistas de pouso com precisão

O cenário atual

O projeto de pavimentos para aeroportos exige precisão para garantir a segurança das aeronaves. Atualmente, utiliza-se um método chamado modelagem de elementos finitos em 3D. Ele simula com alta exatidão as respostas estruturais e as interações entre as camadas da pista. No entanto, esse processo demanda muito tempo de computação. Por ser lento comparado ao método elástico empilhado (LED), seu uso em análises rotineiras de projeto é limitado.

O que os pesquisadores fizeram

Os pesquisadores desenvolveram e avaliaram um modelo preditivo baseado em redes neurais artificiais (RNAs). O objetivo foi estimar a deformação vertical no topo do subleito (a base da pista) de pavimentos aeroportuários.

Para treinar a rede, eles geraram um banco de dados com 5.000 simulações realizadas no software ABAQUS. As simulações consideraram cinco aeronaves diferentes com configurações de eixo simples e rodas duplas.

Como funciona na prática

A rede neural criada possui uma arquitetura específica com duas camadas ocultas, contendo 10 e 8 neurônios respectivamente. Ela utiliza uma função de ativação de tangente hiperbólica para processar os dados. Em vez de rodar uma simulação complexa do zero toda vez, a RNA usa o conhecimento adquirido nas 5.000 simulações para prever a deformação vertical rapidamente.

Resultados e evidência

A performance do modelo foi medida pelo erro absoluto médio e pelo coeficiente de determinação (R^2). Os resultados da rede neural foram comparados com os valores calculados pelo software ABAQUS e por análises elásticas multicamadas. O estudo mostrou que a RNA atingiu alta precisão preditiva. Além disso, o tempo de inferência (o tempo para dar uma resposta) foi menor do que o método de elementos finitos.

Implicações práticas

O uso de redes neurais pode ser uma alternativa eficiente para a análise estrutural de pistas de aeroportos. Como o modelo é rápido e preciso, ele pode apoiar a otimização do processo de design. Isso ajuda na tomada de decisões para novos projetos de pavimentação e no planejamento de manutenção, permitindo aplicações em larga escala.

Limitações e próximos passos

O estudo demonstra o potencial da ferramenta, mas o paper não detalha limitações específicas do modelo fora das configurações testadas (como outros tipos de aeronaves ou condições climáticas). Foi realizada uma análise de sensibilidade para identificar as variáveis estruturais mais influentes, mas o paper não especifica quais serão os próximos desenvolvimentos além da validação da eficiência encontrada.

QUEM SÃO OS PESQUISADORES

Quem são os pesquisadores

O estudo foi conduzido por Lucas Cavalcante de Almeida, Cláudia Azevedo Pereira e Francisco Heber Lacerda de Oliveira, afiliados à Universidade Federal do Ceará (UFC). O paper não detalha a formação acadêmica específica, títulos ou trajetória profissional anterior dos autores. Eles atuaram no desenvolvimento e avaliação do modelo preditivo de redes neurais aplicado à engenharia de pavimentos aeroportuários.

PALAVRAS-CHAVE

Subgrade · Artificial neural network · Tangent · Process (computing) · Design process · Sensitivity (control systems) · Finite element method