XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.2/23

Panorama da Utilização da Inteligência Artificial na Gestão de Risco de Movimento de Massa: Uma Análise Bibliométrica com Foco em Aplicações Geotécnicas e Ambientais

Geovanna Karla da Silva Simões
Mestranda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, geovanna.simoes@ufpe.br

Arthur Vinícius Freire Silva Ramos
Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, arthur.vramos@ufpe.br

João Paulo Marçal de Souza
Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, joao.marcal@ufpe.br

Igor Fernandes Gomes
Professor, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, igor.fernamdes@ufpe.br

Fabio Lopes Soares
Professor, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, flseng@uol.com.br

RESUMO: A crescente frequência de desastres relacionados a movimentos de massa, potencializada por mudanças climáticas e pela rápida urbanização, impõe impactos socioeconômicos severos e crescentes desafios à gestão de risco. Paralelamente, o monitoramento ambiental e geotécnico gera um volume exponencial de dados, Big Data, exigindo ferramentas de análise mais robustas do que os métodos tradicionais. A Inteligência Artificial (IA) surge como uma tecnologia transformadora neste cenário, oferecendo novas capacidades de modelagem preditiva e processamento de informação. O objetivo deste artigo é apresentar um panorama científico abrangente da aplicação da inteligência artificial na gestão de riscos, com ênfase em suas funções de análise e suporte à gestão. Para isso, foi conduzida uma análise bibliométrica sistemática, utilizando dados extraídos da Scopus e analisados com o *software Vosviewer*. Os resultados revelam um crescimento exponencial das publicações nos últimos anos e identificam três principais clusters temáticos de aplicação da inteligência artificial: (1) modelagem preditiva e análise de susceptibilidade a riscos de deslizamentos, (2) otimização de sistemas de alerta precoce, e (3) desenvolvimento de Sistemas de Apoio à Decisão para o auxílio à tomada de decisões em situações críticas. Conclui-se que a inteligência artificial está se consolidando como um pilar estratégico, movendo a gestão de riscos de movimento de massa de uma abordagem reativa para uma postura proativa e preditiva, sendo fundamental para o monitoramento e resposta eficazes.

PALAVRAS-CHAVE: Deslizamento; Monitoramento Geotécnico; Tomada de Decisão; Sistemas de Alerta Precoce; Modelo Preditivo.

ABSTRACT: The increasing frequency of disasters related to mass movements, intensified by climate change and rapid urbanization, imposes severe socioeconomic impacts and growing challenges for risk management. At the same time, environmental and geotechnical monitoring generates an exponential volume of data—Big Data—requiring more robust analytical tools than traditional methods. Artificial Intelligence (AI) emerges as a transformative technology in this context, offering new capabilities for predictive modeling and information processing. The objective of this article is to present a comprehensive scientific overview of the application of artificial intelligence in risk management, with emphasis on its analytical functions and decision-support capabilities. To this end, a systematic bibliometric analysis was conducted using data extracted from Scopus and analyzed with the VOSviewer software. The results reveal an exponential growth in publications in recent years and identify three main thematic clusters in the application of artificial intelligence: (1) predictive modeling and landslide susceptibility analysis; (2) optimization of early warning systems; and (3) development

of Decision Support Systems to assist decision-making in critical situations. It is concluded that artificial intelligence is consolidating itself as a strategic pillar, shifting mass movement risk management from a reactive approach to a proactive and predictive stance, and playing a fundamental role in effective monitoring and response.

KEYWORDS: Landslide; Geotechnical Monitoring; Decision-Making; Early Warning Systems; Predictive Modeling.

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de desastres naturais relacionados a movimentos de massa tem apresentado um crescimento alarmante em escala global, impulsionada pela combinação crítica entre as mudanças climáticas e a rápida urbanização desordenada em áreas de encostas. Estes eventos geram impactos socioeconômicos severos, resultando em perdas de vidas humanas e danos significativos a infraestruturas críticas, o que impõe desafios crescentes às estratégias de gestão de riscos de desastres (Simões, 2023).

Tradicionalmente, a monitorização ambiental e geotécnica dependia de métodos estatísticos e determinísticos que, embora fundamentais, apresentam limitações ao lidar com a natureza não-linear e complexa dos solos. Atualmente, o cenário é marcado pela geração de um volume exponencial de dados provenientes de redes de sensores, imagens de satélite e sistemas de monitorização em tempo real — o chamado Big Data — exigindo ferramentas de análise e processamento muito mais robustas e ágeis do que as abordagens convencionais (Ghaffarian *et al*. 2023).

Neste contexto, a Inteligência Artificial (IA) surge como uma tecnologia transformadora, oferecendo capacidades inéditas de modelagem preditiva e suporte à tomada de decisão. No entanto, a adoção destas tecnologias na geotecnia enfrenta o desafio da natureza de "caixa-preta" de muitos algoritmos complexos, o que tem gerado uma procura crescente por técnicas de IA Explicável (XAI) para garantir a transparência e a confiança necessária em decisões que envolvem a segurança pública (Rai, 2020).

A integração destas inovações tecnológicas está alinhada a marcos globais de resiliência, como o Marco de Sendai (2015-2030) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 11 e 13), que priorizam a redução da mortalidade global e a proteção das cidades contra desastres climáticos.

O objetivo deste artigo é apresentar um panorama científico abrangente da aplicação da inteligência artificial na gestão de riscos de movimentos de massa, com ênfase nas suas funções de análise, predição e suporte à gestão. Para tal, foi conduzida uma análise bibliométrica sistemática, mapeando as tendências, os principais clusters temáticos e as lacunas de investigação, fornecendo uma base estratégica para o avanço da monitorização e resposta eficaz no campo da geotecnia ambiental.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceitos de Gestão de Risco de Movimento de Massa

A gestão de riscos de desastres, principalmente aqueles relacionados aos movimentos de massa, consiste na formulação e aplicação de políticas e estratégias voltadas à redução das vulnerabilidades associadas a eventos naturais ou antrópicos, ou seja, é um processo sistemático de planejamento, implementação e avaliação de estratégias voltadas à compreensão e ao controle dos riscos de desastres.

No contexto brasileiro, a Gestão de Riscos de Desastres é norteada pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), que estabelece a promoção da resiliência e a mitigação de perdas como pilares fundamentais. Conforme preconizado pela Lei nº 12.608/2012 e regulamentado pelo Decreto nº 10.593/2020, a GRD deve ser operada de forma multissetorial, envolvendo atores nos níveis local, regional e federal. Diferente do gerenciamento de desastres, que atua em situações de anormalidade (resposta e recuperação), a gestão de riscos abrange atividades de proteção realizadas em períodos de normalidade para evitar a instalação de novos riscos ou mitigar os existentes, *Figura 1*.

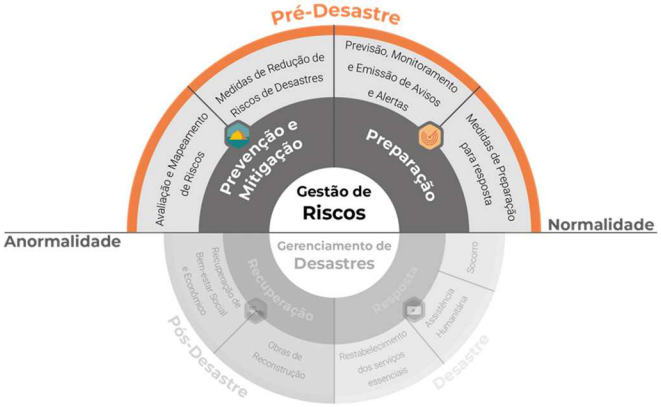


Figura 1. Ciclo da Defesa Civil: etapas da gestão de risco.

A prevenção e a mitigação constituem a primeira etapa da gestão de risco de desastres, que se divide em estratégias como ações de avaliação e mapeamento de riscos, e medidas de redução de riscos de desastres, como medidas estruturais e não estruturais. Já a preparação desempenha um papel essencial na gestão de riscos de desastres (Furtado *et al*., 2013). Seu principal objetivo é desenvolver as habilidades necessárias para lidar de forma eficaz e eficiente com uma variedade de situações de emergência, facilitando uma transição ordenada desde a resposta até uma recuperação sustentável.

No que se refere à definição de risco, as Nações Unidas sobre Redução do Risco de Desastres (2015) definem risco como o resultado da combinação entre perigo, exposição e vulnerabilidade. Assim, os estudos de avaliação de risco precisam analisar de que forma esses três elementos — perigo, vulnerabilidade e exposição — se interrelacionam. A E*quação 1* descreve essa relação.

$$\text{Risco} = \text{Perigo} \times \text{Vulnerabilidade} \times \text{Exposição} \qquad (1)$$

Dessa forma, o risco é definido como a combinação entre o perigo — representado pela suscetibilidade a movimentos de massa em encostas ou taludes —, a vulnerabilidade, que se relaciona à presença de edificações situadas próximas à área potencialmente impactada, e a exposição de pessoas e bens a esses eventos (Simões *et al*., 2026).

2.2 Evolução da IA na Geotecnia

A aplicação da Inteligência Artificial (IA) na engenharia geotécnica pode ser compreendida através de quatro fases distintas, fundamentadas na convergência entre o poder computacional e a disponibilidade de dados de monitoramento, *Figura 2*. Esta periodização não é meramente cronológica, mas tecnocêntrica, refletindo como a ciência respondeu à necessidade de gerir a não-linearidade e o volume massivo de informações geológicas (*Big Data*).

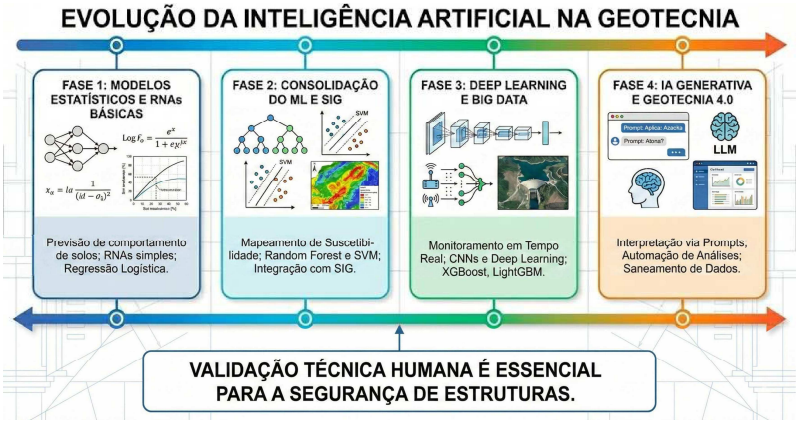


Figura 2. Evolução da Inteligência Artificial na Geotecnia.

Fase 1 – Fundamentação: Caracterizada pelo uso de estatística clássica, regressão logística e redes neurais básicas para prever comportamentos estruturais e recalques, utilizando métodos consolidados como o de Asaoka (1978).

Fase 2 – Consolidação do *Machine Learning*: Marcada pela democratização de dados de sensoriamento remoto, que permitiu a integração massiva de algoritmos como *Random Forest* e *Support Vector Machines* em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Fase 3 – Alta Performance e Big Data: Fase definida pela transição para o Deep Learning e modelos de gradient boosting, que, segudo Mendes *et al.* (2025), alcançam acurácias superiores a 90% ao processar variáveis complexas em tempo real.

Fase 4 – IA Generativa e Geotecnia 4.0: Representa o paradigma atual da interatividade, onde modelos de linguagem (LLMs) e ferramentas especializadas (como o *RSInsight*) são utilizados para interpretação automatizada de instrumentos e suporte à decisão via prompts técnicos.

Apesar do avanço tecnológico, a literatura converge para o fato de que a IA atua como um sistema de apoio (Shahin, 2024), sendo a validação técnica humana o pilar insubstituível para a segurança (Mendonça *et al*., 2024) e a responsabilidade ética em estruturas geotécnicas (Ghaffarian *et al*., 2023).

3 METODOLOGIA

A metodologia deste estudo baseia-se em uma análise bibliométrica sistemática, o mapeamento do panorama científico sobre o uso da Inteligência Artificial na gestão de riscos de movimentos de massa. O fluxo de trabalho foi dividido em quatro etapas: coleta de dados, processamento, mapeamento visual e análise de dados.

3.1 Coleta e Seleção de Dados para a Análise Bibliométrica

A busca bibliográfica foi delimitada ao período compreendido de 2021 a 2026, e realizada na base de dados Scopus, escolhida por sua ampla cobertura de periódicos de alto impacto nas áreas de engenharia geotécnica e ciências ambientais. A estratégia de busca utilizou uma combinação de termos booleanos focados em três eixos: (i) Inteligência Artificial, (ii) movimentos de massa e (iii) gestão de riscos. A search string final aplicada foi:

("Artificial Intelligence" OR "Machine Learning" OR "Deep Learning" OR "Neural Networks" OR "Random Forest" OR "Support Vector Machine" OR "CNN") AND ("Landslide" OR "Mass movement" OR "Debris flow" OR "Rockfall" OR "Slope stability" OR "Slope failure") AND ("Risk management" OR "Risk assessment" OR "Susceptibility" OR "Early warning system" OR "Decision support").

Foram aplicados filtros de refinamento para selecionar apenas artigos originais (*articles*), artigos de revisão (*reviews*) e trabalhos completos em conferências (*conference papers*), publicados no idioma inglês. A amostra final resultou em 2.112 documentos, exportados em formato CSV contendo informações de citação, bibliográficas, resumos e palavras-chave.

3.2 Processamento e Padronização (Tesauro)

Para a análise dos dados, utilizou-se o *software* VOSviewer. Antes da geração dos mapas, procedeu-se à limpeza e padronização dos dados através de um arquivo de tesauro. Esta etapa foi crucial para unificar variantes de um mesmo termo, corrigir plurais e consolidar siglas técnicas, garantindo a precisão estatística da análise de coocorrência.

3.3 Análise Bibliométrica e Mapeamento

A análise bibliométrica utilizou a técnica de coocorrência de palavras-chave no software VOSviewer através do método *full counting*. Com um *threshold* de 30 ocorrências, obteve-se uma rede de 151 termos significativos. Foram gerados mapas de rede (*Network Visualization*), para identificar clusters temáticos, e de sobreposição (*Overlay Visualization*), para analisar tendências temporais e lacunas de pesquisa no campo.

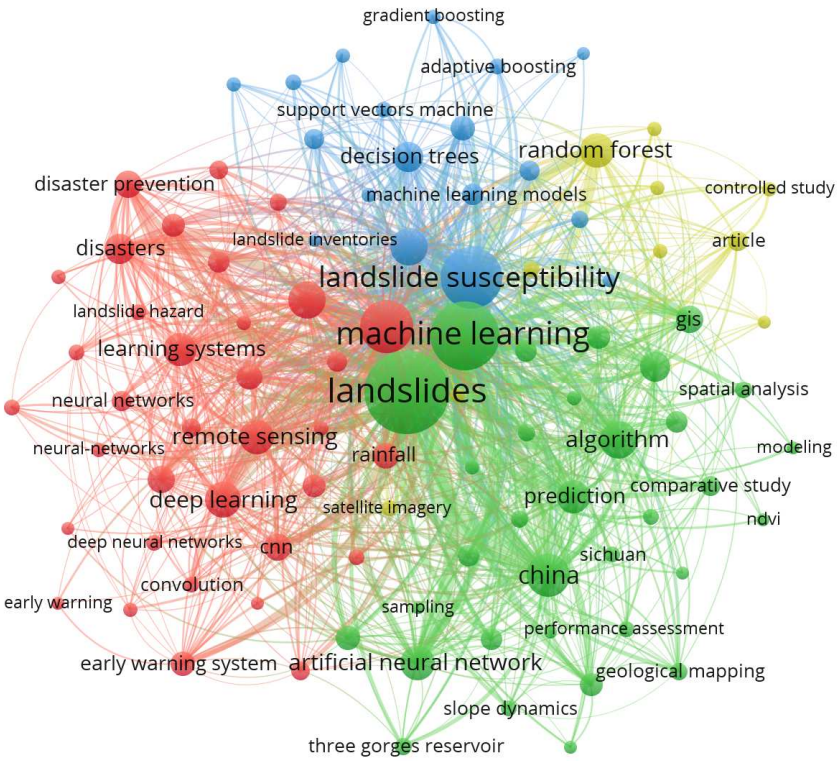
3.4 Análise de Dados

A análise de dados foi estruturada através de uma abordagem híbrida que integrou técnicas quantitativas e qualitativas, iniciando-se com a avaliação estatística dos mapas de coocorrência gerados no software VOSviewer para a identificação dos quatro clusters temáticos detalhados na secção 4.1. Esta etapa quantitativa serviu de base para uma expansão analítica qualitativa posterior, na qual a interpretação técnica dos agrupamentos permitiu correlacionar as tendências bibliométricas observadas com os conceitos práticos da engenharia geotécnica e as diretrizes estratégicas da gestão de riscos. Dessa forma, os conteúdos discutidos no tópico 4.2 derivam diretamente da análise das palavras-chave de maior centralidade em cada cluster, estabelecendo uma ligação lógica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise Bibliométrica

Os resultados obtidos através do mapeamento científico, *Figura 3*, transcendem a métrica quantitativa, revelando como a comunidade acadêmica global está respondendo ao desafio da crescente complexidade dos desastres naturais. Como destacado anteriormente, a dificuldade dos métodos tradicionais em lidar com a não-linearidade e o volume massivo de dados geotécnicos, *Big Data*, impulsionou a ascensão da Inteligência Artificial como um pilar estratégico.



Legenda: O tamanho dos nós (círculos) reflete a frequência de ocorrência do termo nas publicações, as linhas indicam a conexão entre eles, e as cores representam os diferentes agrupamentos temáticos (*clusters*) identificados pelo *software*.

Figura 3. Mapa de coocorrência de palavras.

A análise de coocorrência de palavras-chave permitiu segmentar essa evolução em quatro domínios que explicam a transição de uma gestão de riscos reativa para uma postura proativa.

4.1.1 Cluster Verde - A Resposta ao Big Data e a Hegemonia dos Dados

O *Cluster* Verde reflete a primeira grande transição: a necessidade de ferramentas robustas para processar o volume acentuado de dados gerados pelo monitoramento ambiental. O predomínio de termos como *machine learning, algorithm* e sua forte conexão com a China e grandes projetos de infraestrutura (ex: *Three Gorges Reservoir*) demonstra que a IA não é mais uma ferramenta acessória, mas o motor central para a análise de estabilidade em cenários complexos. Aqui, a importância reside na superação da capacidade humana de análise; algoritmos fundamentais são treinados para identificar padrões em séries históricas que seriam imperceptíveis por métodos estatísticos convencionais, estabelecendo a base para modelos preditivos mais confiáveis.

4.1.2 Cluster Vermelho - O Desafio da Não-Linearidade e a Fronteira do Deep Learning

O *Cluster* Vermelho aborda diretamente essa lacuna através do *Deep Learning* e das Redes Neurais Convolucionais (CNN). A integração com o sensoriamento remoto (*Remote Sensing* e *InSAR*) permite que a gestão de riscos utilize o *Big Data* vindo de satélites para monitorar deformações em tempo real. Esta evolução tecnológica é o que possibilita a existência de Sistemas de Alerta Precoce (*Early Warning Systems*) eficazes: a IA processa a complexidade das variáveis atmosféricas e geotécnicas simultaneamente, oferecendo uma velocidade de resposta que os modelos físicos tradicionais, isoladamente, não conseguem atingir.

4.1.3 Cluster Azul - Buscas de ferramentas mais transparentes para auxílio ao Suporte à Decisão

A importância da IA na gestão de risco não reside apenas na precisão da predição, mas na confiabilidade da informação para o tomador de decisão. O *Cluster* Azul, focado em *landslide susceptibility mapping*, revela uma tendência crucial: a busca pela IA Explicável através do termo *SHAP*. Isso endereça a crítica comum de que modelos de IA são "caixas-pretas" difíceis de interpretar. Ao utilizar ferramentas que explicam os fatores condicionantes, como declividade, geologia e pluviometria, a ciência está entregando aos gestores públicos Sistemas de Apoio à Decisão mais transparentes. Isso permite que a gestão de risco saia do campo da incerteza para o campo da ação estratégica fundamentada.

4.1.4 Cluster Amarelo - Consolidação Geoespacial e Gestão Proativa

Por fim, o *Cluster* Amarelo demonstra a maturação da integração entre o aprendizado de máquina (especialmente *Random Forest*) e os Sistemas de Informação Geográfica (*GIS*). Este domínio representa a aplicação prática da IA no planejamento urbano e na prevenção de desastres. A convergência de dados ambientais estáticos e dinâmicos em mapas de fácil interpretação é o que concretiza a transição para uma gestão proativa. Demonstra que a IA atua como o integrador final, transformando dados brutos em inteligência geográfica, permitindo que a resposta eficaz mencionada no resumo deste artigo se torne uma realidade operacional.

4.2 Inteligência Artificial na Gestão de Riscos de Deslizamento

A integração da Inteligência Artificial na Gestão de Riscos de Desastres marca a transição de um modelo tradicionalmente reativo para uma abordagem estratégica, proativa e preditiva. Esta evolução permite que a engenharia geotécnica enfrente a complexidade e a não-linearidade dos solos (Shahin, 2024), tratando o risco não apenas como um fenômeno físico isolado, mas como uma construção social dinâmica que exige uma governança integrada e resiliente.

A IA atua de forma transversal nas fases do ciclo de gestão de riscos, otimizando a tomada de decisão em cenários de alta incerteza:

4.2.1 Prevenção e Mitigação

A etapa de prevenção e mitigação no ciclo de gestão de riscos de desastres compreende o conjunto de ações antecipatórias realizadas em períodos de normalidade, visando evitar a ocorrência de desastres ou minimizar a severidade de seus impactos. Enquanto a prevenção foca na eliminação do risco em áreas vulneráveis, a mitigação busca reduzir a vulnerabilidade estrutural e social através de intervenções técnicas e planeamento territorial.

Algoritmos de aprendizado de máquina processam dados multimodais, como nuvens de pontos geradas por drones com tecnologia *LiDAR*, para identificar feições de instabilidade (trincas e degraus) sob a densa vegetação, superando as limitações do mapeamento visual convencional.

O emprego de sistemas de drones embarcados com *LiDAR* permite a criação de modelos digitais de terreno (MDT) que, ao filtrar a cobertura vegetal, revelam feições topográficas críticas, como trincas de tração e degraus de abatimento, essenciais para o diagnóstico precoce de instabilidades. Estes dados alimentam modelos de *Machine Learning* que correlacionam fatores condicionantes (declividade, litologia e umidade do solo) para gerar mapas de suscetibilidade com elevada precisão preditiva.

A adoção da Inteligência Artificial Explicável torna-se, portanto, um requisito ético e técnico. Técnicas como o *SHAP* permitem que o engenheiro interprete quais variáveis foram determinantes para uma predição de risco, conferindo a transparência necessária para justificar decisões críticas, como a execução de obras de contenção ou a implementação de medidas de drenagem superficial

4.2.2 Preparação e Monitoramento

A fase de preparação compreende as medidas adotadas para garantir uma resposta eficaz e reduzir os danos em situações onde o desastre é iminente ou provável. No contexto da gestão de riscos de deslizamento, a preparação evoluiu de uma dependência exclusiva de dados pluviométricos para a implementação de Sistemas de Alerta Precoce baseados em monitoramento direto e Inteligência Artificial.

- Monitoramento de Deformação e Antecipação de Rupturas

Um dos avanços mais significativos nesta etapa é a utilização de sensores de rotação de superfície, como a tecnologia Kantaro. Ao contrário da medição de pluviosidade, que pode gerar alarmes falsos por não considerar o grau de saturação prévio do solo, os sensores de rotação medem a resposta mecânica direta da encosta. Algoritmos de IA processam estas variações angulares continuamente, permitindo identificar o início de um movimento de ruptura com uma antecedência média de 16 horas segundo (Melo e Kochen, 2024). Esta janela temporal é crítica para a ativação de rotas de fuga e a evacuação de áreas vulneráveis.

- IA Generativa e Suporte à Decisão em Tempo Real

A preparação moderna integra modelos de linguagem de grande escala (*LLMs*) e agentes inteligentes que atuam como assistentes técnicos 24 horas por dia e 7 dias por semana. Ferramentas como o *RSInsight* permitem que o engenheiro, agindo como um curador técnico, realize consultas rápidas sobre o comportamento de modelos geotécnicos e receba diagnósticos automatizados sobre anomalias detectadas em instrumentos. Esta interatividade acelera a validação de dados brutos, transformando-os em alertas confiáveis que evitam que a Defesa Civil e a população sejam atingidas sem capacidade de resposta imediata.

4.2.3 O Desafio da inteligência artificial

Para que um gestor público confie em uma decisão de evacuação baseada em IA, o modelo não pode ser uma "caixa-preta", ou seja existe a necessidade de compreensão de quais variáveis, como um pico de chuva ou saturação do solo, foram determinantes para aquela predição específica. Dessa forma, a transparência e confiança é um pilar central na modernização da gestão de deslizamentos com o auxílio da IA Explicável. A adoção de técnicas como *SHAP* e *LIME* é essencial para que os modelos deixem de ser "caixas-pretas" e forneçam justificativas transparentes para suas predições, permitindo que engenheiros, geólogos e defesas civis tomem decisões de evacuação baseadas em evidências interpretáveis e confiáveis.

Neste contexto, o papel da equipe geotécnica evolui para o de um curador técnico. Este profissional será responsável por validar as interpretações da IA, as quais a análise sistêmica e o julgamento crítico de equipes especializadas permanecem insubstituíveis, para integrar o saber técnico ao contexto social das comunidades em especialmente em decisões que envolvem riscos de perdas ou danos de vidas humanas ou de patrimônio.

5 CONCLUSÕES

A análise bibliométrica conduzida neste estudo permitiu mapear o panorama científico global, confirmando que a Inteligência Artificial deixou de ser uma ferramenta acessória para se tornar o pilar estratégico da gestão de riscos de movimentos de massa moderna. Os resultados evidenciam que a área atravessa uma transição disruptiva em direção à chamada Geotecnia 4.0, onde a convergência entre o poder computacional e a disponibilidade de dados permite a superação dos modelos estatísticos convencionais em prol de uma postura preditiva e proativa. Observou-se que a evolução do campo atingiu um paradigma de alta interatividade, caracterizado pelo uso de modelos generativos e ferramentas especializadas que auxiliam na interpretação automatizada de instrumentos e no suporte à decisão técnica.

Os dados obtidos por meio da instrumentação em tempo real, ao serem processados por algoritmos de aprendizado profundo, viabiliza um tempo de antecedência de até 16 horas para alertas de evacuação, representando um avanço crítico na salvaguarda de vidas humanas. Paralelamente, a pesquisa enfatiza que a transparência dos modelos, através da IA Explicável, é um requisito inegociável para a confiança dos gestores públicos e a aceitação social das medidas de contingência. Conclui-se, portanto, que o sucesso da aplicação da IA na geotecnia depende da validação técnica humana, onde engenheiros e gestores assumem o papel de curador técnico, integrando a precisão algorítmica ao contexto social e participativo das comunidades vulneráveis para o cumprimento das metas globais de resiliência e segurança.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à qual os autores expressam sua gratidão pelo fomento à pesquisa e ao desenvolvimento acadêmico. Os autores também agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio ao projeto sob os processos nº 308489/2022-5 e 445040/2024-6. Adicionalmente, os autores expressam sua gratidão ao Programa de Formação de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-ANP) pelo suporte a esta pesquisa, especialmente ao PRH-ANP 35/UFPB – Transição Energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASAOKA, A. (1978). *Observational Procedure of Settlement Prediction. Soils and Foundations*, [S. l.], v. 18, n. 4, p. 87-101.

FURTADO, J. *et al*. (2013). *Capacitação básica em Defesa Civil*. 2. ed. Florianópolis: CAD UFSC.

GHAFFARIAN, S.; TAGHIKHAH, F. R.; MAIER, H. R. (2023). Explainable artificial intelligence in disaster risk management: Achievements and prospective futures. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 98, p. 104123. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.104123.

MELO, R.; KOCHEN, R. (2024). *Monitoramento e Gestão de Riscos: GeocCompany*. YouTube: Canal Geotecnia Brasil, 2024. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=v7ZBkoV9BQ8. Acesso em: 04 jan. 2026.

MENDES, J. C. *et al*. (2025). *Inteligência artificial aplicada à Engenharia: primeiros passos e aplicações*. Juiz de Fora: Editora UFJF.

MENDONÇA, Marco Túlio Gurgel; ZORZAN, Lucas Ghion; JÚNIOR, Silas Pereira da Silva; CAMPOS, Marcelo Rossi. (2024). *Machine Learning na Geotecnia: Treinamento para Tomada de Decisões em Monitoramento de Estruturas Geotécnicas*. XXI COBRAMSEG, Balneário Camboriú. Anais.

RAI, A. (2020). Explainable AI: from prediction to understanding. *Journal of the Academy of Marketing Science*, v. 48, n. 1, p. 137-141.

SHAHIN, Mohamed A. (2024). *Progression of artificial intelligence/machine learning in geotechnical engineering*. Curtin University, School of Civil and Mechanical Engineering.

SIMÕES, G. K. S. (2023). *Gestão de Risco de Movimento de Massa na Cidade de João Pessoa-PB*. Programa de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.