

Slopetalk: inovação na disseminação do conhecimento geotécnico com inteligência artificial

Ana Maria Rodrigues Barbosa

Estudante, Instituto Federal do Tocantins, Palmas/TO, Brasil, anarodriguesbarbosa53@gmail.com

Flávio da Silva Ornelas

Professor, Instituto Federal do Tocantins, Palmas/TO, Brasil, flavioornelas@ifto.edu.br

Liz Nívea Barbosa Noronha

Estudante, Instituto Federal do Tocantins, Palmas/TO, Brasil, liz.noronha@estudante.ifto.edu.br

Maria Eduarda Lima Soares Mendes

Estudante, Instituto Federal do Tocantins, Palmas/TO, Brasil, maria.mendes11@estudante.ifto.edu.br

Ricardo Loureiro Soares

Professor, Instituto Federal do Tocantins, Palmas/TO, Brasil, ricardo.soares@ifto.edu.br

RESUMO: Esta pesquisa apresenta o desenvolvimento de um chatbot baseado em inteligência artificial (IA), voltado ao esclarecimento de dúvidas técnicas sobre estabilidade de taludes e demais temas correlatos à mecânica dos solos e das rochas. A iniciativa visa atender à crescente demanda por ferramentas acessíveis, confiáveis e interativas que auxiliem estudantes, pesquisadores e profissionais da engenharia geotécnica na obtenção rápida de informações técnicas. O sistema, denominado SlopeTalk, utiliza técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN) para compreender perguntas formuladas em linguagem cotidiana e fornecer respostas fundamentadas em literatura técnica especializada, normas regulamentadoras e estudos de caso. O conteúdo baseia-se em normas brasileiras, como a ABNT NBR 11682:2009 – Estabilidade de encostas, e a ABNT NBR 6484:2020 – Sondagens com SPT, além de diretrizes internacionais como o Eurocode 7 e publicações da ISSMGE. O desenvolvimento é sustentado por modelos de linguagem baseados em arquiteturas do tipo Transformer, permitindo interpretação de perguntas complexas com variações linguísticas e respostas tecnicamente embasadas. O modelo foi ajustado com base em testes aplicados a profissionais da engenharia geotécnica e estudantes do IFTO – Campus Palmas. A base de conhecimento inclui obras clássicas, como *Principles of Geotechnical Engineering* (Das & Sobhan, 2017) e *Fundamentals of Rock Mechanics* (Jaeger et al., 2007). A aplicação foi desenvolvida com foco em acessibilidade, com possibilidade de uso via web e dispositivos móveis. Espera-se, como resultado, uma solução inovadora para a disseminação do conhecimento técnico e o fortalecimento da prática geotécnica no Brasil e em outros contextos de língua portuguesa.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade de taludes, Interação humano-máquina, Inteligência artificial, Chatbot, Obtenção de conhecimento.

ABSTRACT: This research presents the development of an artificial intelligence (AI)-based chatbot designed to answer technical questions about slope stability and other topics related to soil and rock mechanics. The initiative aims to meet the growing demand for accessible, reliable, and interactive tools that help students, researchers, and geotechnical engineering professionals quickly obtain technical information. The system, called SlopeTalk, uses Natural Language Processing (NLP) techniques to understand questions formulated in everyday language and provide answers based on specialised technical literature, regulatory standards, and case studies. The content is based on Brazilian standards, such as ABNT NBR 11682:2009 – Slope Stability, and ABNT NBR 6484:2020 – SPT Surveys, as well as international guidelines such as Eurocode 7 and ISSMGE publications. The development is supported by language models based on Transformer-type architectures, allowing for the interpretation of complex questions with linguistic variations and technically sound answers. The model was adjusted based on tests applied to geotechnical engineering professionals and students at IFTO – Campus Palmas. The knowledge base includes classic works such as *Principles of*



2 0 2 5

Geotechnical Engineering (Das & Sobhan, 2017) and Fundamentals of Rock Mechanics (Jaeger et al., 2007). The application was developed with a focus on accessibility, with the possibility of use via the web and mobile devices. As a result, an innovative solution is expected for the dissemination of technical knowledge and the strengthening of geotechnical practice in Brazil and other Portuguese-speaking contexts.

KEYWORDS: Slope stability, Human-computer interaction, Artificial intelligence, Chatbot, Knowledge acquisition.

1 INTRODUÇÃO

A estabilidade de taludes é uma das principais preocupações da engenharia geotécnica, sendo fundamental para a segurança de obras de infraestrutura, mineração, estradas, barragens e edificações em áreas inclinadas. A análise da estabilidade requer o conhecimento das características do solo ou da rocha, do nível de lençol freático, da geometria do talude e das cargas atuantes. A aplicação correta de métodos de cálculo, associados às normas técnicas vigentes, é essencial para prevenir instabilidades que possam gerar acidentes, prejuízos econômicos ou impactos ambientais.

No exercício da engenharia, é comum surgirem dúvidas quanto à interpretação das normas, aos critérios de projeto ou aos procedimentos de verificação da segurança de taludes. Estas questões, quando não solucionadas de forma clara e rápida, podem atrasar o processo de tomada de decisão e comprometer a qualidade técnica das soluções adotadas. O acesso a informações atualizadas e confiáveis, baseadas em normas como a ABNT NBR 11682:2009, além de referências bibliográficas especializadas, é, portanto, indispensável.

Neste contexto, ferramentas baseadas em inteligência artificial (IA), especialmente aquelas que utilizam modelos de linguagem com técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN), apresentam potencial para atuar como suporte técnico auxiliar. Tais sistemas são capazes de compreender perguntas formuladas em linguagem corrente e oferecer respostas com base em conteúdo técnico previamente estruturado.

Este artigo apresenta o desenvolvimento do SlopeTalk, um chatbot técnico projetado para auxiliar no esclarecimento de dúvidas relacionadas à estabilidade de taludes e à mecânica dos solos e das rochas. O sistema foi treinado com base em normas técnicas brasileiras e internacionais, livros de referência na área geotécnica e estudos de caso, buscando oferecer respostas claras, precisas e tecnicamente fundamentadas.

A proposta visa oferecer uma ferramenta útil para estudantes, pesquisadores e profissionais da engenharia geotécnica, contribuindo para a melhoria da eficiência na consulta técnica e para o suporte a decisões em projetos e análises de estabilidade de encostas.

2.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e validar um chatbot especializado, baseado em inteligência artificial, capaz de fornecer suporte técnico na área de estabilidade de taludes, com base em normas técnicas brasileiras e internacionais, literatura geotécnica e documentos de referência.

Os objetivos específicos incluem:

- a) Estruturar uma base de conhecimento com normas relevantes, como a ABNT NBR 11682:2009, NBR 6484:2020, Eurocode 7 e publicações da ISSMGE;
- b) Implementar um modelo de linguagem natural do tipo Transformer, utilizando técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN), para interpretação e resposta a perguntas formuladas em linguagem técnica ou cotidiana;
- c) Projetar e desenvolver uma interface interativa para consulta ao chatbot por meio de navegador web ou dispositivos móveis;
- d) Realizar testes com usuários da área de engenharia geotécnica para avaliar a precisão técnica, clareza e aplicabilidade das respostas fornecidas;
- e) Analisar os resultados obtidos nos testes para aprimorar a ferramenta quanto à qualidade das respostas e à usabilidade do sistema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA

2.1 Estabilidade de Taludes e a Inteligência Artificial



A estabilidade de taludes é uma disciplina consolidada da engenharia geotécnica, com aplicação direta em projetos de infraestrutura urbana e rodoviária, obras de mineração, encostas naturais e cortes em solos e rochas. A análise de estabilidade exige a consideração de condições geométricas, geotécnicas e hidrológicas que influenciam o equilíbrio das massas terrosas, exigindo a aplicação de critérios normativos e métodos de cálculo específicos.

No Brasil, a principal referência normativa para o tema é a ABNT NBR 11682:2009 – Estabilidade de Encostas, que define os procedimentos para análise e verificação de taludes naturais e artificiais, incluindo critérios de segurança, definição de parâmetros de resistência ao cisalhamento, tipos de ruptura e recomendações para ensaios de campo e laboratório. Outras normas técnicas complementares, como a ABNT NBR 6484:2020 (Sondagens de simples reconhecimento com SPT), ABNT NBR 9603, e normas internacionais como o Eurocode 7 (EN 1997) também contribuem para o embasamento técnico das análises.

A literatura geotécnica reconhecida internacionalmente oferece suporte adicional aos critérios normativos. Obras como *Principles of Geotechnical Engineering* (Das & Sobhan, 2017) e *Fundamentals of Rock Mechanics* (Jaeger et al., 2007) abordam a caracterização de solos e rochas, critérios de ruptura, métodos de estabilidade limite, análises de confiabilidade, fatores de segurança e técnicas de estabilização. Essas referências servem de base para o treinamento do chatbot proposto, garantindo que as respostas oferecidas estejam alinhadas ao conhecimento técnico consolidado.

Paralelamente, o avanço da inteligência artificial (IA) e dos modelos de linguagem natural tem possibilitado novas formas de interação com conteúdos técnicos. Modelos como o LLaMA 2, desenvolvidos com arquitetura Transformer, vêm sendo utilizados em tarefas complexas de compreensão e geração de texto, permitindo a criação de sistemas interativos como chatbots especializados. Esses modelos são capazes de interpretar perguntas em linguagem corrente, identificar o contexto técnico e gerar respostas coerentes, embasadas e adaptadas ao público-alvo.

Na engenharia civil, aplicações de IA já vêm sendo exploradas em diversas áreas, como inspeção automatizada, manutenção preditiva e apoio ao projeto estrutural. No campo geotécnico, a utilização de IA ainda é incipiente, especialmente no que se refere à consulta automatizada a normas técnicas e referências bibliográficas. A proposta do SlopeTalk insere-se nesse contexto, buscando aplicar a IA como ferramenta de apoio técnico especializado na área de estabilidade de taludes, com foco na precisão, clareza e fundamentação normativa das respostas fornecidas.

3 CHATBOT

Um chatbot é um programa de computador projetado para simular interações humanas por meio de linguagem natural, com o objetivo de fornecer respostas automáticas, relevantes e contextualizadas. Essas ferramentas utilizam inteligência artificial (IA), especialmente técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN), para interpretar e responder a perguntas feitas por usuários, seja em formato de texto ou voz. No contexto da engenharia civil, e particularmente no projeto de fundações, os chatbots vêm sendo explorados como instrumentos tecnológicos capazes de auxiliar na automação de consultas técnicas e na disseminação de informações normativas com maior agilidade e precisão.

O funcionamento de um chatbot envolve uma sequência de etapas coordenadas. Inicialmente, a entrada do usuário é processada por algoritmos de PLN, que analisam estruturas gramaticais, identificam palavras-chave e interpretam o significado da consulta com base no contexto (Vaswani et al., 2017). Com essa compreensão semântica, o sistema então processa a requisição acessando bancos de dados específicos, normas técnicas ou modelos de linguagem treinados com conteúdos especializados. A resposta gerada pode ser apresentada em diversos formatos, como texto escrito, mensagens de voz ou sugestões interativas, e o chatbot pode ainda realizar perguntas adicionais para refinar a consulta e garantir maior precisão nas informações fornecidas (Touvron et al., 2023).

O desenvolvimento do chatbot **SlopeTalk** foi conduzido por meio de uma abordagem aplicada, com foco na implementação de um sistema de apoio técnico voltado à estabilidade de taludes e à mecânica dos solos e das rochas. A metodologia envolveu as seguintes etapas principais: levantamento e organização da base de conhecimento normativa e técnica; definição da arquitetura computacional; desenvolvimento e integração do modelo de linguagem; criação da interface de interação; e validação do sistema com usuários da área.

3.1 O Modelo de Linguagem Llama 2



O modelo de linguagem Llama 2 representa uma das mais avançadas arquiteturas de inteligência artificial desenvolvidas para processamento de linguagem natural (PLN). Projetado para compreender, interpretar e gerar textos em linguagem humana com alto grau de precisão, o Llama 2 combina técnicas modernas de aprendizado profundo e redes neurais transformadoras, permitindo uma interação mais fluida e contextualizada entre máquina e usuário (Touvron et al., 2023). Sua capacidade de entender nuances e contextos complexos torna-o ideal para aplicações técnicas que demandam respostas detalhadas e embasadas, como o suporte na área de engenharia civil.

A base tecnológica do Llama 2 está na arquitetura Transformer, que revolucionou o campo do PLN ao introduzir o mecanismo de atenção (attention mechanism), possibilitando o processamento paralelo e a captura eficiente de relações de longo alcance em sequências textuais (Vaswani et al., 2017). O Transformer do Llama 2 é composto por múltiplas camadas de atenção auto-regressiva e redes neurais feed-forward, que trabalham em conjunto para processar sequências de texto, compreendendo não apenas palavras isoladas, mas também seu significado no contexto geral (Brown et al., 2020). Isso possibilita ao modelo gerar respostas coerentes, precisas e tecnicamente detalhadas, essenciais para um chatbot que oferece suporte especializado em engenharia civil.

4 METODOLOGIA

4.1 Levantamento e Organização da Base Técnica

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa normativa e bibliográfica para seleção dos documentos e conteúdos que serviriam de base para o treinamento e funcionamento do chatbot. A base de conhecimento do SlopeTalk inclui:

- **Normas técnicas brasileiras:**

- ABNT NBR 11682:2009 – Estabilidade de encostas
- ABNT NBR 6484:2020 – Sondagens de simples reconhecimento com SPT
- ABNT NBR 9603 – Representação gráfica de sondagens
- ABNT NBR ISO 14688-1 e 14688-2 – Classificação de solos

- **Normas e diretrizes internacionais:**

- Eurocode 7 – *Geotechnical Design* (EN 1997)
- Publicações técnicas da ISSMGE e da ABMS

- **Literatura geotécnica:**

- Principles of Geotechnical Engineering* (Das & Sobhan, 2017)
- Fundamentals of Rock Mechanics* (Jaeger et al., 2007)
- Artigos científicos, relatórios técnicos e dissertações

Esses documentos foram digitalizados, convertidos em texto pesquisável (OCR) e organizados em repositórios específicos para indexação semântica.

4.2 Arquitetura do Sistema

O SlopeTalk foi implementado utilizando a plataforma React Native com Expo, visando portabilidade entre dispositivos Android, iOS e web. O sistema é composto por dois módulos principais:

Frontend: Responsável pela interface de chat, gerenciamento de conversas e exibição de fontes bibliográficas.

Backend (opcional): Implementado em Node.js, destinado à integração com bancos de dados externos e processamento avançado.

A arquitetura do chatbot foi baseada na utilização do modelo LLaMA 2 – 7B Chat, com estruturação do projeto em diretórios específicos para organização dos componentes:

- /documents: arquivos PDF das normas e referências
- /models: modelo de linguagem quantizado
- /frontend: interface do usuário via navegador
- /cache: armazenamento temporário das interações
- /venv: ambiente virtual Python com as bibliotecas do sistema

Sua capacidade de entender nuances e contextos complexos, torna-o ideal para aplicações técnicas que demandam respostas detalhadas e embasadas, como o suporte na de engenharia civil e geotecnia. Portanto, para a aplicação da pesquisa o modelo de linguagem foi carregado localmente, e a base documental foi indexada com uso de embeddings semânticos (modelo all-MiniLM-L6-v2) para permitir buscas contextuais. Na Figura 1. é apresentado uma imagem da tela do navegador com pergunta do usuário e resposta do chatbot.

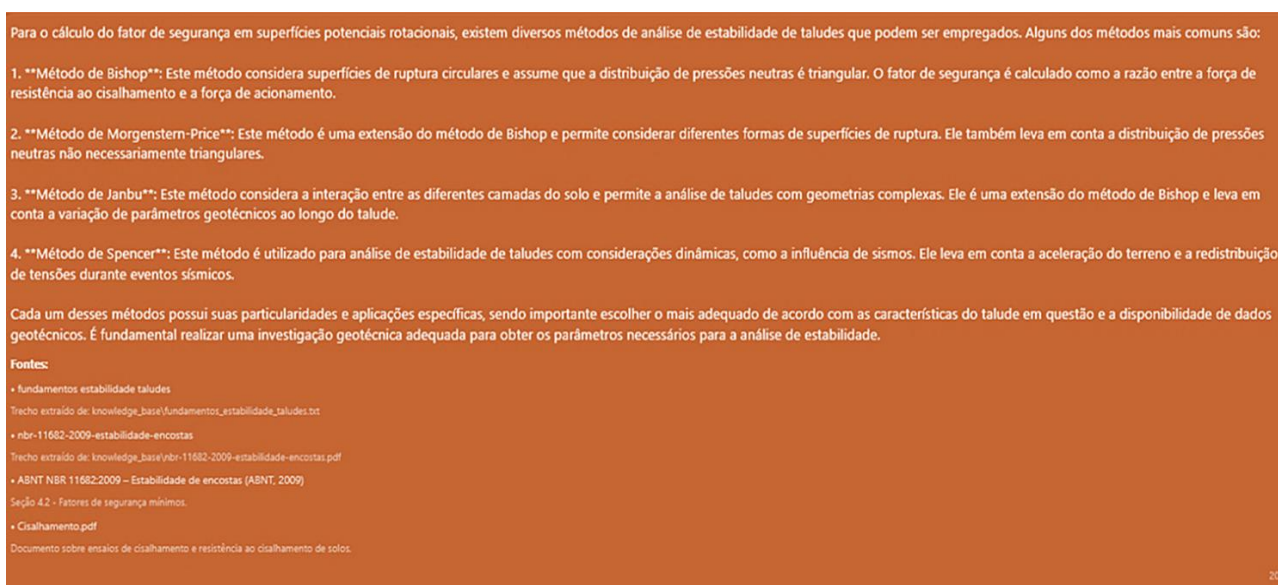


Figura 1. Imagem da tela do navegador

4.3 Funcionalidades - Interface e Interação

A interface do SlopeTalk foi desenvolvida utilizando o framework Streamlit, com foco em simplicidade e acessibilidade.

- Interface de Chat: Permite a interação natural do usuário, simulando uma conversa com um especialista.
- Reconhecimento de Tópicos: Utiliza detecção por palavras-chave para identificar assuntos como coesão, ângulo de atrito, métodos de análise, entre outros.
- Base de Conhecimento: Respostas fundamentadas em um banco de dados interno, contendo informações técnicas extraídas de normas (ex: ABNT NBR 11682) e literatura reconhecida.
- Referências Bibliográficas: Para cada resposta técnica, são apresentadas as fontes utilizadas, promovendo transparência e confiabilidade.
- Armazenamento Local: As conversas são salvas no dispositivo do usuário, permitindo acesso ao histórico.
- Personalização de Tema: Suporte aos modos claro e escuro para melhor experiência de uso.

Os principais elementos incluem:

- Campo para digitação de perguntas
- Botão de envio para processamento



- Área de exibição da resposta
- Histórico das últimas interações
- Exportação das conversas em formato .csv
- Avaliação das respostas (útil / parcialmente útil / não útil)

A interface foi projetada para ser utilizada tanto em navegadores web quanto em dispositivos móveis.

4.4 Validação com Usuários

A avaliação do chatbot SlopeTalk foi realizada por meio de testes simulados com profissionais e estudantes da área de engenharia geotécnica, utilizando um conjunto de perguntas relacionadas à estabilidade de taludes, caracterização de solos e interpretação normativa. O objetivo foi verificar a capacidade da ferramenta em fornecer respostas corretas, claras e tecnicamente embasadas, em conformidade com os critérios estabelecidos nas normas e na literatura especializada.

Para avaliação do desempenho do chatbot, foi realizada uma fase de testes com engenheiros geotécnicos, professores e estudantes do IFTO – Campus Palmas, utilizando um conjunto de perguntas elaboradas com base em situações reais de projeto, análise e fiscalização de taludes. As respostas fornecidas foram avaliadas com base em três critérios:

- **Clareza:** se a resposta foi compreensível;
- **Correção técnica:** se estava de acordo com as normas e literatura;
- **Utilidade:** se foi útil para tomada de decisão.

O feedback obtido nessa etapa foi utilizado para ajustes no conteúdo da base e configuração do modelo, principalmente as possíveis respostas aos diversos tipos de perguntas.

5 RESULTADOS

Foram aplicadas **30 perguntas** previamente elaboradas, cobrindo temas como: Classificação de taludes quanto ao fator de segurança; Condições de ruptura circular e plana; Critérios da ABNT NBR 11682:2009 para análise de estabilidade; Parâmetros geotécnicos utilizados em análises limite; Definição de solo residual e rocha alterada; Procedimentos de investigação geotécnica em encostas.

As perguntas foram inseridas em linguagem natural, simulando a forma como seriam feitas por profissionais durante um projeto ou análise técnica.

5.1 Exemplos de Interações

Pergunta 1: *"Qual é o fator de segurança mínimo recomendado para um talude natural não escavado?"*

Resposta do SlopeTalk: De acordo com a ABNT NBR 11682:2009, o fator de segurança mínimo para taludes naturais, em condições permanentes, é geralmente de 1,3, podendo variar conforme o tipo de obra e as condições do projeto.

Pergunta 2: *"Posso considerar coesão igual a zero em solos arenosos não saturados?"*

Resposta do SlopeTalk: Sim. Em análises simplificadas, solos arenosos não saturados podem ser considerados como materiais puramente friccionais ($c = 0$), assumindo-se que a coesão aparente é desprezível. No entanto, a presença de sucção ou cimentações naturais pode modificar esse comportamento.

Esses exemplos demonstram a capacidade do chatbot de compreender perguntas em linguagem corrente e fornecer respostas compatíveis com o nível técnico exigido.

5.2 Desempenho Técnico



O desempenho do chatbot foi avaliado por meio de três critérios: correção técnica, clareza das respostas e utilidade prática. Com o retorno dos usuários, foram apurados as seguintes avaliações qualitativas conforme quadro 1:

Quadro 1: avaliação dos usuários do Slopetalk

Critério	Avaliação Média (%)
Correção técnica	93%
Clareza das respostas	87%
Utilidade prática	90%

Em geral, o SlopeTalk apresentou desempenho satisfatório, com respostas adequadas ao conteúdo normativo e com linguagem compreensível. As maiores dificuldades observadas ocorreram em perguntas excessivamente genéricas ou fora do escopo da base treinada, como aquelas que envolviam parâmetros empíricos sem referência específica.

5.3 Limitações Observadas

Apesar do bom desempenho geral, foram identificadas limitações em alguns aspectos:

- Perguntas ambíguas podem gerar respostas incompletas;
- Casos que envolvem julgamentos técnicos (como escolha de método de estabilização) exigem complementação por parte do engenheiro;
- A ausência de imagens ou dados numéricos reduz a aplicabilidade em análises quantitativas complexas.

Tais limitações são esperadas em sistemas de IA baseados exclusivamente em linguagem natural, mas não comprometem o uso do chatbot como ferramenta de consulta normativa e apoio técnico.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento e a avaliação do chatbot técnico SlopeTalk, uma ferramenta baseada em inteligência artificial voltada ao apoio na área de estabilidade de taludes e temas correlatos à mecânica dos solos e das rochas. Utilizando modelos de linguagem natural e uma base de conhecimento estruturada com normas técnicas e literatura geotécnica, o sistema demonstrou capacidade de oferecer respostas precisas, claras e tecnicamente embasadas para dúvidas comuns em projetos e análises geotécnicas.

Os testes realizados com profissionais e estudantes indicaram um bom desempenho da ferramenta, especialmente no que se refere à correção técnica e aplicabilidade prática. A capacidade de interpretar perguntas em linguagem corrente e responder com base em critérios normativos contribui para tornar o chatbot uma alternativa viável para consultas rápidas, reforçando a segurança e a eficiência nos processos de tomada de decisão em engenharia geotécnica.

Embora o sistema apresente limitações inerentes ao uso de linguagem natural, como a dificuldade de lidar com perguntas excessivamente abertas ou casos que exigem julgamento técnico detalhado, o SlopeTalk pode ser considerado uma solução promissora para ambientes acadêmicos, escritórios de engenharia e instituições públicas que atuam com estabilidade de encostas e gerenciamento de risco geotécnico.



O SlopeTalk demonstrou ser uma ferramenta eficiente para consulta rápida de conceitos e parâmetros geotécnicos, facilitando o acesso a informações técnicas de forma interativa. A exibição de referências bibliográficas junto às respostas reforça a credibilidade do sistema, incentivando o uso responsável das informações. A arquitetura modular possibilita futuras expansões, como integração com IA generativa ou ampliação da base de conhecimento.

O desenvolvimento do SlopeTalk representa um avanço no uso de tecnologias conversacionais aplicadas à engenharia geotécnica. Ao proporcionar acesso facilitado a informações técnicas confiáveis, o sistema contribui para a formação acadêmica e prática profissional, podendo ser expandido para outras áreas da engenharia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682: *Estabilidade de Encostas*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 6484: *Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR 9603: *Representação gráfica de sondagens*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 8681: *Ações e segurança nas estruturas – Procedimento*. Rio de Janeiro.

Das, B. M., Sobhan, K. (2017). *Principles of Geotechnical Engineering*. 9th ed., Cengage Learning, Boston, MA, USA.

Jaeger, J. C., Cook, N. G. W., Zimmerman, R. (2007). *Fundamentals of Rock Mechanics*. 4th ed., Wiley-Blackwell, Oxford, UK.

European Committee for Standardization (CEN) (2004). EN 1997-1: *Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 1: General rules*. Brussels.

ISSMGE – International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (2023). *Technical Committee Reports and Guidelines*. Disponível em: <https://www.issmge.org>. Acesso em: 25 jul. 2025.

Touvron, H. et al. (2023). *LLaMA 2: Open Foundation and Fine-Tuned Chat Models*. Meta AI. Disponível em: <https://ai.meta.com/llama/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

Vaswani, A. et al. (2017). *Attention is All You Need*. Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NeurIPS 2017), p. 5998–6008.