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/COBRAMSEG2026.2/14

Fundação Inteligente: Um Chatbot Especializado para Apoio Técnico em Engenharia Civil

Ana Maria Rodrigues Barbosa
Engenheira Civil, Instituto Federal do Tocantins, Palmas/TO, Brasil, enganamrodrigues@gmail.com

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

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

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um chatbot inteligente, baseado no modelo de linguagem Llama 2, para atuar como uma ferramenta de apoio técnico na área de fundações da engenharia civil. A proposta visa auxiliar profissionais e estudantes, fornecendo respostas confiáveis e imediatas para dúvidas técnicas recorrentes, com foco em todos os tipos de fundações utilizados na construção civil, incluindo fundações rasas (como sapatas, radier e blocos de fundação) e fundações profundas (como estacas escavadas, hélice contínua e strauss). O sistema será estruturado como uma consultoria virtual, oferecendo respostas fundamentadas nas normas técnicas brasileiras vigentes, especialmente a NBR 6122:2019. Utilizando técnicas de Processamento de Linguagem Natural (PLN), o chatbot será capaz de interpretar perguntas formuladas em linguagem natural e fornecer respostas claras, coerentes e tecnicamente embasadas. O trabalho apresenta todo o processo de desenvolvimento da ferramenta, a estrutura computacional adotada, os critérios utilizados para validação das respostas e os testes aplicados para avaliar sua eficiência como suporte técnico na área de fundações.

PALAVRAS-CHAVE: Inteligência Artificial, Fundações, Chatbot.

ABSTRACT: This undergraduate thesis aims to develop an intelligent chatbot based on the Llama 2 language model, designed to serve as a technical support tool in the field of foundations in civil engineering. The proposal seeks to assist professionals and students by providing reliable and immediate answers to recurring technical questions, with a focus on all types of foundations used in construction, including shallow foundations (such as footings, raft slabs, and foundation blocks) and deep foundations (such as bored piles, continuous flight auger piles, and Strauss piles). The system will be structured as a virtual consultancy, offering responses grounded in current Brazilian technical standards, especially NBR 6122:2019. Using Natural Language Processing (NLP) techniques, the chatbot will be capable of interpreting questions formulated in natural language and providing clear, coherent, and technically accurate answers. This work presents the entire development process of the tool, the adopted computational architecture, the criteria used for response validation, and the tests conducted to evaluate its effectiveness as a technical support resource in the field of foundations.

KEYWORDS: Artificial intelligence. Foundations. Chatboot.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil enfrenta desafios constantes no que diz respeito à padronização, segurança e conformidade técnica dos projetos, especialmente quando se trata das fundações, elementos essenciais para a estabilidade das edificações. No contexto de fundações, é comum que profissionais e

estudantes encontrem dificuldades na correta interpretação e aplicação das normas técnicas, bem como na escolha da solução mais adequada diante das características do solo e das cargas envolvidas.

Em muitos casos, essas dúvidas técnicas surgem no cotidiano da prática profissional ou acadêmica e exigem consultas rápidas a fontes seguras, como normas da ABNT e literatura especializada. No entanto, esse processo nem sempre é direto, podendo demandar tempo para localizar e interpretar as informações pertinentes. Dessa forma, ferramentas que reúnem o conhecimento técnico de maneira clara e acessível podem tornar a tomada de decisão mais eficiente e segura.

Nesse cenário, a inteligência artificial (IA) surgiu como uma aliada estratégica, oferecendo novas possibilidades de acesso à informação técnica de forma ágil, padronizada e confiável. A utilização de modelos de linguagem natural permitiu a criação de sistemas inteligentes, como chatbots, capazes de compreender perguntas formuladas em linguagem cotidiana e fornecer respostas fundamentadas em normas e literatura especializada.

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um chatbot baseado no modelo de linguagem Llama 2, voltado à consultoria técnica em fundações rasas e profundas, com foco nos tipos mais utilizados em Palmas/TO. A ferramenta proposta buscou auxiliar profissionais e estudantes com respostas rápidas, claras e fundamentadas, contribuindo para a qualidade dos projetos de fundações e para decisões de engenharia mais seguras e eficientes.

Além de sua utilidade como suporte técnico, o chatbot configurou uma aplicação real da inteligência artificial generativa no campo da engenharia civil, ilustrando como tecnologias linguísticas puderam ser moldadas para contextos especializados. Essa proposta combinou avanço tecnológico com a rotina profissional, favorecendo a aproximação entre engenharia e TI e estimulando a criação de soluções mais direcionadas e democráticas no setor da construção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fundações e Normatização Técnica

Segundo a NBR 6122:2019, fundações rasas são elementos cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a sua menor dimensão. Já as fundações profundas transmitem a carga por meio do fuste (atrito lateral) ou ponta em camadas mais resistentes do solo. O projeto e execução desses elementos são regidos principalmente pela NBR 6122 (fundações) e NBR 6118 (estruturas de concreto).

A segurança estrutural das edificações depende intrinsecamente da observância rigorosa de critérios técnicos durante as fases de projeto e execução. No Brasil, esse setor é regido por um conjunto de normas da ABNT que estabelecem os requisitos mínimos de desempenho, estabilidade e durabilidade das estruturas. O chatbot desenvolvido fundamentou suas respostas nas seguintes normas:

2.1.1 ABNT NBR 6122:2019 – Projeto e Execução de Fundações

Esta é a norma principal que rege o dimensionamento de fundações rasas e profundas no país. Ela define os procedimentos para a investigação geotécnica, critérios de segurança, verificação de capacidade de carga e recalques, além de diretrizes executivas para diversos tipos de elementos, como sapatas, blocos, radier e estacas.

2.1.2 ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de Concreto

Complementa a NBR 6122 ao fornecer diretrizes específicas para o dimensionamento estrutural dos elementos de fundação em concreto armado. Ela aborda critérios de resistência, detalhamento de armaduras e verificações de punção, garantindo a integridade dos blocos e sapatas sob carregamentos verticais.

2.1.3 ABNT NBR 12655:2022 – Concreto de Cimento Portland

Estabelece as exigências para o preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto. Sua inclusão na base de conhecimento do sistema buscou garantir que as orientações sobre a qualidade do material utilizado nas fundações estivessem em conformidade com os padrões de durabilidade exigidos.

2.1.4 ABNT NBR 8681:2003 – Ações e Segurança nas Estruturas

Define os critérios para a consideração das cargas atuantes e os coeficientes de segurança. Esta norma foi essencial para fundamentar as respostas do chatbot sobre combinações de ações e fatores de ponderação, visando evitar o subdimensionamento que poderia levar a colapsos estruturais.

2.1.5 ABNT NBR 14931:2004 – Execução de Estruturas de Concreto

Especifica as boas práticas durante a fase executiva, abordando fôrmas, escoramentos, montagem de armaduras e lançamento do concreto. Sua aplicação no sistema visou reduzir erros humanos e padronizar procedimentos em campo.

2.2 Fundações Rasas e Profundas

O conhecimento técnico inserido na base do chatbot abrange as classificações fundamentais da geotecnia conforme a NBR 6122: As fundações rasas são elementos cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a sua menor dimensão. Entre as tipologias estudadas estão as sapatas (isoladas, corridas, associadas e alavancadas), dimensionadas para resistir à tração por meio de armaduras , os blocos de fundação, que utilizam a resistência do próprio concreto , e o radier, uma laje que distribui cargas em áreas extensas. Essas soluções são indicadas quando as camadas superficiais possuem capacidade de suporte adequada. Já as fundações profundas transmitem cargas a níveis inferiores do solo através de estacas ou tubulões. O trabalho focou em três tipos de estacas moldadas in loco: a escavada, que minimiza vibrações em áreas urbanas ; a hélice contínua, caracterizada pela rapidez e monitoramento eletrônico ; e a Strauss, que utiliza equipamentos leves e de baixo custo para locais de difícil acesso. A escolha correta entre essas tecnologias é vital para evitar recalques diferenciais e garantir a vida útil da edificação.

2.3 Inteligência Artificial e Chatbots

Chatbots são programas que simulam interações humanas usando Processamento de Linguagem Natural (PLN). O modelo Llama 2, utilizado neste trabalho, emprega a arquitetura Transformer com mecanismo de atenção, o que permite o processamento contextualizado de normas técnicas. O diferencial desta ferramenta técnica reside no fato de seu conteúdo ser inteiramente fundamentado na literatura normativa da ABNT.

3 METODOLOGIA

3.1 Abordagem e Pesquisa Bibliográfica

A metodologia deste trabalho seguiu inicialmente uma abordagem de pesquisa bibliográfica, concentrada na revisão crítica de normas técnicas brasileiras e artigos científicos sobre fundações rasas e profundas. Foram analisadas a NBR 6122:2019, NBR 6118:2014, NBR 12655:2022, NBR 14931:2004 e NBR 8681:2003, garantindo uma base teórica sólida para o treinamento do chatbot. Adicionalmente, buscou-se fundamentação em estudos sobre inteligência artificial e arquiteturas de processamento de linguagem natural, como o modelo Transformer.

3.2 Desenvolvimento do Chatbot (FundIA)

O desenvolvimento da ferramenta, denominada FundIA, foi estruturado para oferecer uma consultoria virtual baseada em IA. A implementação foi dividida entre a interface do usuário e o processamento de dados de bastidores.

3.2.1 Interface (Front-end)

Desenvolvida com o framework Streamlit, a interface foi projetada para ser intuitiva, contando com campo de perguntas em linguagem natural, botão de envio, exibição de respostas formatadas e um sistema de feedback (útil, parcialmente útil ou não útil).



Figura 1. Interface do FundIA.



Figura 2. Interface do FundIA.

3.2.2 Arquitetura de Pastas

Para garantir escalabilidade, o projeto foi organizado em diretórios específicos: /documents (normas em PDF), /models (Llama 2 quantizado), /static (recursos visuais), /cache (armazenamento de buscas rápidas) e /venv (ambiente virtual Python).

3.3 Backend e Processamento de Linguagem Natural

O backend foi configurado para realizar o carregamento e a interpretação automática dos documentos técnicos através de etapas coordenadas:

3.3.1 Leitura e Indexação

Os arquivos PDF foram extraídos via SimpleDirectoryReader e divididos em partes menores (chunks) de aproximadamente 512 palavras, mantendo um trecho repetido entre elas para preservar o contexto.

3.3.2 Vetorização

Cada chunk foi transformado em vetores matemáticos utilizando o modelo all-MiniLM-L6-v2 da Hugging Face, permitindo que o sistema realize buscas semânticas baseadas no significado das palavras e não apenas em termos isolados.

3.3.3 Geração de Respostas

Utilizou-se o modelo Llama 2-7B Chat (versão quantizada) para processar as dúvidas. O modelo foi configurado com temperatura 0.1 para priorizar a precisão técnica e limitar a criatividade da IA, garantindo que as respostas fossem focadas estritamente no conteúdo normativo.

3.3.4 Memória e Cache

Implementou-se um cache inteligente para armazenar respostas já geradas, agilizando o atendimento de perguntas repetidas e otimizando o desempenho do sistema.

3.4 Critérios e Validação

Após a conclusão do software, o sistema foi submetido a testes práticos com um grupo de 20 participantes, divididos igualmente entre profissionais experientes (incluindo docentes do IFTO) e estudantes de Engenharia Civil. Foram avaliadas a clareza, a coesão e a precisão técnica das respostas geradas frente a dúvidas reais e simuladas do cotidiano da engenharia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Validação e Perfil dos Participantes

A validação do chatbot FundIA foi realizada por meio de testes práticos com um grupo de 20 participantes, selecionados para representar tanto o ambiente acadêmico quanto o profissional. O grupo foi composto por 10 profissionais experientes, incluindo três docentes do IFTO e sete engenheiros colaboradores, além de 10 estudantes de graduação em Engenharia Civil. Cada voluntário submeteu, em média, cinco perguntas ao sistema, totalizando 100 interações que variaram desde dúvidas genéricas até questões técnicas de alta complexidade sobre fundações rasas e profundas. Essa diversidade de questionamentos foi fundamental para avaliar a versatilidade do modelo Llama 2 em diferentes níveis de demanda técnica.

4.2 Precisão Técnica e Satisfação do Usuário

Os resultados demonstraram uma performance sólida do sistema, com **96% das respostas** sendo classificadas como tecnicamente corretas e devidamente fundamentadas nas normas brasileiras, com destaque para a NBR 6122:2019. A análise quantitativa revelou uma **taxa de satisfação geral de 98%**, com os participantes classificando a ferramenta como útil e eficaz para o suporte técnico cotidiano. Enquanto os profissionais ressaltaram a agilidade na consulta normativa para a rotina de projetos, os estudantes enfatizaram o valor pedagógico da ferramenta ao facilitar o acesso a explicações técnicas complexas.

4.3 Análise de Interações e Comportamento do Sistema

Durante os testes, o FundIA foi submetido a perguntas que exigiam interpretação normativa e raciocínio sobre métodos executivos e interação solo-estrutura. Um ponto relevante da análise qualitativa foi

a postura ética e consciente do modelo. Ao realizar estimativas de capacidade de carga para estacas hélice contínua, o sistema apresentou os cálculos pertinentes, mas incluiu alertas obrigatórios ressaltando que tais resultados são simplificações e que o dimensionamento final deve ser validado por um engenheiro especializado. Esse comportamento evidencia que o chatbot compreende seus limites funcionais, não se posicionando como substituto do profissional, mas como uma ferramenta de apoio consultivo.

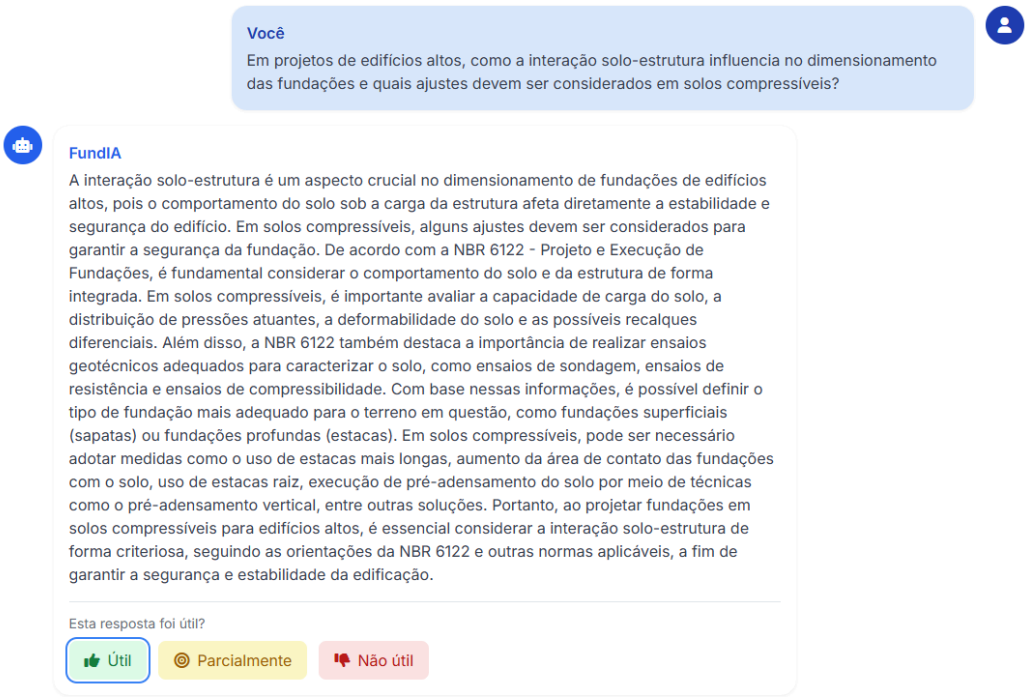


Figura 3. Demonstração de uso do FundIA.

Adicionalmente, o sistema demonstrou robustez ao lidar com perguntas fora de seu escopo técnico. Quando questionado sobre temas irrelevantes, como resultados de loterias, o chatbot recusou a resposta de forma adequada, reafirmando seu propósito exclusivo de fornecer informações especializadas em engenharia civil com base nas normas ABNT. Essa consistência assegura a confiabilidade da ferramenta, impedindo desvios de finalidade e garantindo o foco na segurança normativa.

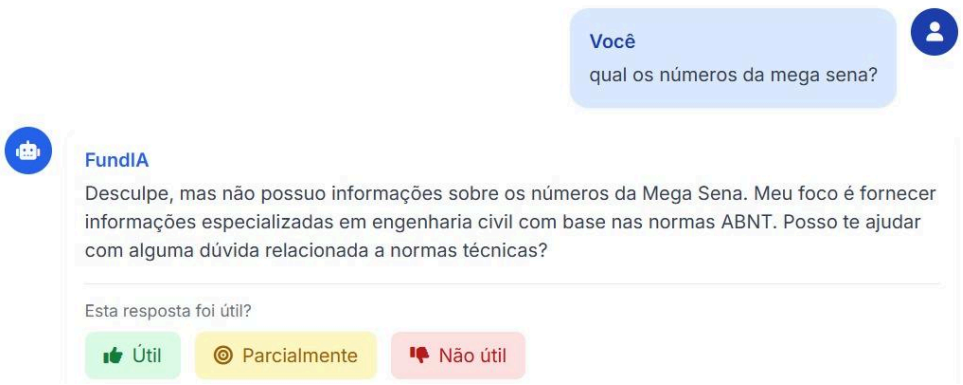


Figura 4. Demonstração de uso do FundIA.

5 CONCLUSÕES

O FundIA 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 FundIA 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 (2003). NBR 8681: *Ações e segurança nas estruturas - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR 14931: *Execução de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). NBR 6118: *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122: *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 12655: *Concreto de cimento Portland* - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro.

Brown, T. et al. (2020). *Language Models are Few-Shot Learners. Advances in Neural Information Processing Systems*, v. 33, p. 1877-1901.

Fontes, M. P. C. F., Corga, J. C. B., Cortat, M. J. B. (2022). *Estaca hélice contínua: análise de cenário na construção civil.* Tudo é Ciência: Congresso Brasileiro de Ciências e Saberes Multidisciplinares, v. 1, p. 1-8.

McCarthy, J., Minsky, M., Rochester, N., Shannon, C. (1971). *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*. Artificial Intelligence, vol. 2, issue 1-2, pp. 1-24.

Oliveira, T. H. G. et al. (2024). *Transformação da engenharia civil através da inteligência artificial: Um novo horizonte de inovação*. Nativa-Revista de Ciências Sociais do Norte de Mato Grosso, v. 13, n. 1.

Touvron, H. et al. (2023). *LLaMA 2: Open Foundation and Fine-Tuned Chat Models*. Meta AI. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2307.09288.

Vaswani, A. et al. (2017). *Attention is All You Need. Advances in Neural Information Processing Systems*, v. 30.