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/COBRAMSEG2026.3/6

Desenvolvimento de Material Didático Utilizando Impressão 3D para Ensino da Geotecnia

João Eduardo Pacheco Marques
Estudante, IF GOIANO, Rio Verde, Brasil, joaoeduardo.pachecomarques@gmail.com

Charles Pereira Chaves
Professor, IF GOIANO, Rio Verde, Brasil, charles.chaves@ifgoiano.edu.br

André Luís Brasil Cavalcante
Professor, UnB, Brasília, Brasil, abrasil@unb.br

RESUMO:

O ensino da Geotecnia ainda enfrenta desafios quanto à compreensão prática dos fenômenos que envolvem o comportamento dos solos. Conceitos como ruptura, interação entre partículas e estabilidade de taludes exigem do estudante um elevado nível de abstração, o que muitas vezes dificulta o processo de aprendizagem. Nesse contexto, o uso de modelos didáticos tridimensionais desenvolvidos por meio da impressão 3D surge como uma ferramenta inovadora capaz de aproximar a teoria da prática, tornando o ensino mais interativo e acessível.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de três modelos didáticos tridimensionais: (i) o modelo de ruptura de Terzaghi, que demonstra visualmente o comportamento do solo sob fundações rasas; (ii) o modelo de estabilidade de taludes pelo método de Bishop; e (iii) o modelo de estabilidade de taludes pelo método de Fellenius, que permite compreender o equilíbrio de fatias e o cálculo do fator de segurança. Todos os modelos foram elaborados no software Autodesk Fusion 360 e posteriormente fabricados por impressão 3D, utilizando materiais de baixo custo e de fácil reprodução.

A proposta tem como objetivo facilitar o entendimento dos princípios da Geotecnia, promovendo uma aprendizagem mais visual, prática e participativa. Além disso, o trabalho busca estimular o uso de tecnologias digitais e metodologias ativas de ensino na formação do engenheiro civil, em consonância com as diretrizes contemporâneas da educação em engenharia.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Geotecnia, Impressão 3D, Materiais Didáticos, Metodologias Ativas, Aprendizagem Prática.

ABSTRACT:

The teaching of Geotechnical Engineering still faces challenges regarding the practical understanding of soil behavior phenomena. Concepts such as soil failure, particle interaction and slope stability require a high level of abstraction from students, which often makes the learning process difficult. In this context, the use of three-dimensional didactic models developed through 3D printing emerges as an innovative tool capable of bringing theory closer to practice, making teaching more interactive and accessible.

This study presents the development of three didactic 3D models: (i) the Terzaghi bearing capacity failure model, which visually demonstrates soil behavior under shallow foundations; (ii) a slope stability model based on the Bishop method; and (iii) a slope stability model based on the Fellenius method, allowing the visualization of slice equilibrium and the calculation of the factor of safety. All models were designed using Autodesk Fusion 360 and subsequently manufactured through 3D printing using low-cost and easily reproducible materials.

The proposal aims to facilitate the understanding of fundamental geotechnical principles by promoting a more visual, practical and participatory learning experience. Furthermore, the work encourages the use of digital technologies and active learning methodologies in the education of civil engineering students, aligned with modern engineering education guidelines.

KEYWORDS: Geotechnical Education, 3D Printing, Didactic Models, Active Learning, Soil Mechanics.

1 INTRODUÇÃO

O ensino da Geotecnia possui papel essencial na formação do engenheiro civil, pois envolve o estudo do comportamento dos solos e de sua interação com as estruturas. Entretanto, a compreensão de fenômenos como ruptura do solo, comportamento das partículas e estabilidade de taludes ainda representa um desafio para muitos estudantes. A abstração necessária para entender processos que não são diretamente observáveis, aliada à limitação de atividades práticas acessíveis, pode tornar o aprendizado teórico distante da realidade profissional.

Diante desse cenário, torna-se necessário buscar novas abordagens didáticas que tornem o ensino mais envolvente e significativo. O avanço das tecnologias digitais e da manufatura aditiva, especialmente a impressão 3D, apresenta-se como uma alternativa promissora para o desenvolvimento de recursos didáticos que possibilitem visualizar e manipular conceitos geotécnicos de forma tangível. A impressão 3D tem se destacado não apenas por sua capacidade de prototipagem rápida, mas também como uma ferramenta educacional relevante, permitindo a criação de modelos físicos de baixo custo que facilitam o aprendizado por meio da observação e da interação.

Estudos recentes têm explorado o desenvolvimento de materiais didáticos alternativos para o ensino de conceitos da mecânica dos solos. Ribeiro e Dantas (2021), por exemplo, apresentaram um dispositivo didático de baixo custo para o ensino do fenômeno de permeabilidade dos solos. De forma semelhante, Almeida (2025) investigou a utilização da impressão 3D na fabricação de geogrelhas aplicadas ao reforço de pavimentos. Além disso, iniciativas voltadas à inclusão educacional, como as discutidas por Silva (2023), destacam a importância de tornar o conhecimento geocientífico mais acessível por meio de recursos visuais e táteis.

Nesse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de modelos didáticos tridimensionais voltados ao ensino da Geotecnia, utilizando ferramentas de modelagem digital e tecnologias de impressão 3D. Foram desenvolvidos três modelos: o modelo de ruptura de Terzaghi, o modelo de estabilidade de talude pelo método de Bishop e o modelo de estabilidade de talude pelo método de Fellenius. Esses modelos foram elaborados no software Autodesk Fusion 360 com o objetivo de serem posteriormente fabricados por impressão 3D e utilizados em atividades didáticas no ensino superior.

A criação desses modelos tem como objetivo aproximar o estudante da realidade prática da Geotecnia, permitindo visualizar de forma concreta os conceitos que fundamentam os cálculos e análises realizados em sala de aula. Além de favorecer o processo de aprendizagem, a proposta contribui para democratizar o acesso a materiais didáticos experimentais, uma vez que os modelos podem ser reproduzidos em diferentes instituições de ensino com baixo custo e mínima infraestrutura.

Dessa forma, o trabalho busca integrar criatividade, tecnologia e ensino de engenharia, promovendo uma nova abordagem para a compreensão dos fundamentos do comportamento dos solos por meio de recursos visuais, práticos e acessíveis.

2 METODOLOGIA

O desenvolvimento dos materiais didáticos propostos neste trabalho foi realizado a partir da integração entre modelagem computacional tridimensional e prototipagem digital, com foco na representação visual de fenômenos geotécnicos relevantes para o ensino da Engenharia Civil.

Inicialmente, foram definidos os temas geotécnicos com maior potencial didático e aplicação nas disciplinas de Mecânica dos Solos e Fundações. A seleção considerou conceitos fundamentais frequentemente abordados na formação do engenheiro civil, tais como a ruptura do solo sob fundações rasas e a estabilidade de taludes.

Com base em referências teóricas clássicas da geotecnia, como Terzaghi e Peck (1996) e Das (2019), foram desenvolvidos três modelos didáticos tridimensionais: o modelo de ruptura de Terzaghi, o modelo de estabilidade de talude pelo método de Bishop e o modelo de estabilidade de talude pelo método de Fellenius. Esses modelos buscam representar, de forma simplificada e visual, os princípios mecânicos envolvidos nos fenômenos analisados.

A modelagem tridimensional foi realizada no software Autodesk Fusion 360, permitindo a construção precisa da geometria dos modelos e a organização dos elementos que representam as diferentes partes dos fenômenos geotécnicos. Durante o processo de modelagem, buscou-se manter um equilíbrio entre fidelidade

técnica e simplicidade visual, de modo que os modelos pudessem ser facilmente compreendidos por estudantes de graduação.

Após a etapa de modelagem, os protótipos digitais foram fabricados por meio de impressão 3D utilizando a tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling). Para isso, os modelos foram dimensionados considerando parâmetros adequados de impressão, como espessura das paredes, escala geométrica e resistência estrutural das peças.

O material utilizado na fabricação foi o filamento PLA (ácido polilático), devido ao seu baixo custo, facilidade de impressão e menor impacto ambiental.

Cada modelo foi projetado com componentes móveis ou desmontáveis, permitindo que os estudantes possam manipular as peças durante atividades em sala de aula ou laboratório. Essa característica possibilita observar de forma dinâmica aspectos como superfícies de ruptura, divisão em fatias nos métodos de estabilidade de taludes e distribuição das forças atuantes.

O processo de desenvolvimento dos modelos foi dividido em três etapas principais:

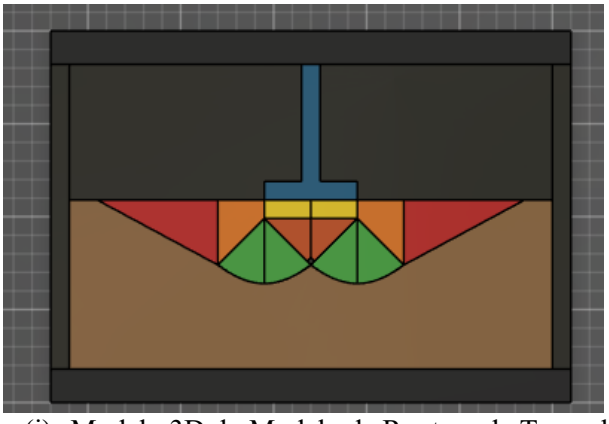
1. Modelagem conceitual: elaboração da geometria tridimensional representativa dos fenômenos geotécnicos estudados.
2. Validação didática: análise dos modelos por docentes da área de Geotecnia, garantindo que as representações estejam de acordo com os conceitos teóricos.
3. Impressão e validação física: fabricação dos modelos por impressão 3D, seguida da verificação dimensional e funcional das peças produzidas.

Essa metodologia segue a linha de pesquisa voltada ao desenvolvimento de materiais didáticos alternativos de baixo custo, buscando integrar inovação tecnológica, aplicabilidade prática e melhoria no processo de ensino-aprendizagem no ensino superior em Engenharia Civil.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os modelos tridimensionais desenvolvidos apresentaram elevado potencial didático e versatilidade de aplicação em disciplinas como Mecânica dos Solos, Fundações e Estabilidade de Taludes. A utilização de modelos físicos permite transformar conceitos abstratos da geotecnia em representações visuais e manipuláveis, facilitando a compreensão dos fenômenos mecânicos envolvidos no comportamento dos solos.

O modelo de ruptura de Terzaghi possibilita visualizar as superfícies de ruptura associadas a fundações rasas, contribuindo para o entendimento do conceito de capacidade de carga do solo e das condições de colapso.



(i) Modelo 3D do Modelo de Ruptura de Terzaghi.

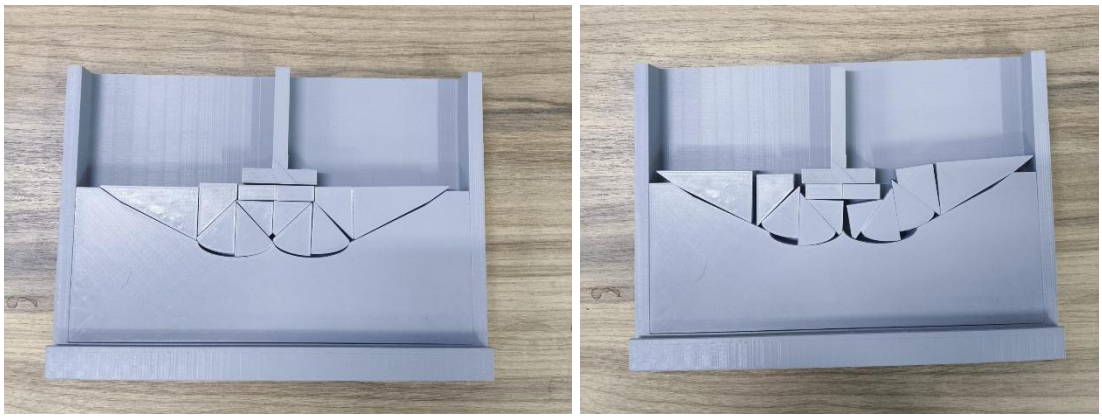


Figura 1. Modelo de Ruptura de Terzaghi impresso e testado (280 mm x 200 mm x 25 mm).

A representação tridimensional permite discutir, de forma didática, os diferentes mecanismos de ruptura, ruptura geral, ruptura local e ruptura por punção tornando o aprendizado mais intuitivo e aproximando os estudantes da interpretação física dos fenômenos descritos teoricamente.

O modelo de estabilidade de talude pelo método de Bishop permite visualizar o equilíbrio das fatias considerando a interação entre as forças normais e de cisalhamento atuantes em cada segmento do talude. O modelo representa graficamente as forças envolvidas no sistema, bem como o processo iterativo utilizado para a determinação do fator de segurança. Dessa forma, possibilita ao estudante compreender de maneira prática um dos métodos mais utilizados e precisos na análise de estabilidade de taludes, fortalecendo a relação entre os conceitos teóricos e sua aplicação na engenharia geotécnica.

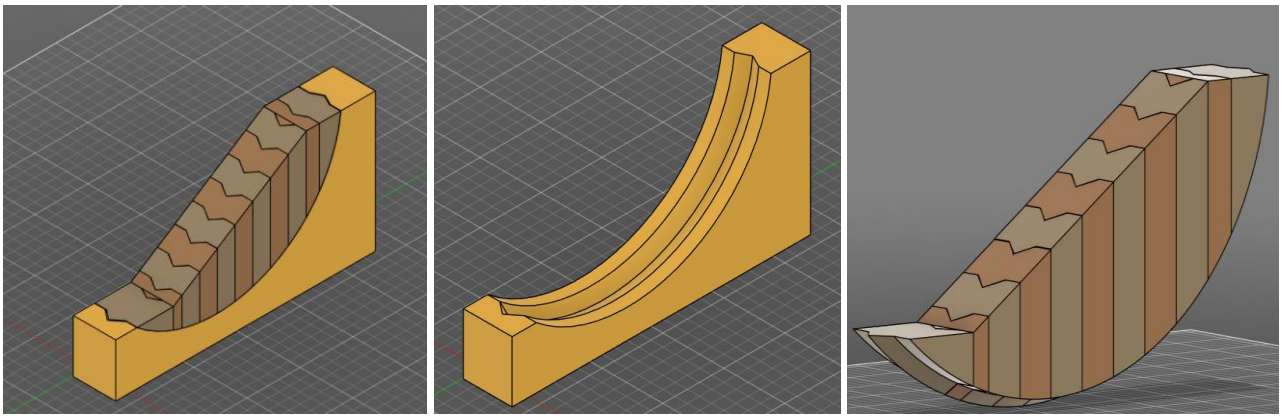


Figura 2. Modelo 3D de estabilidade de Talude pelo método de Bishop.

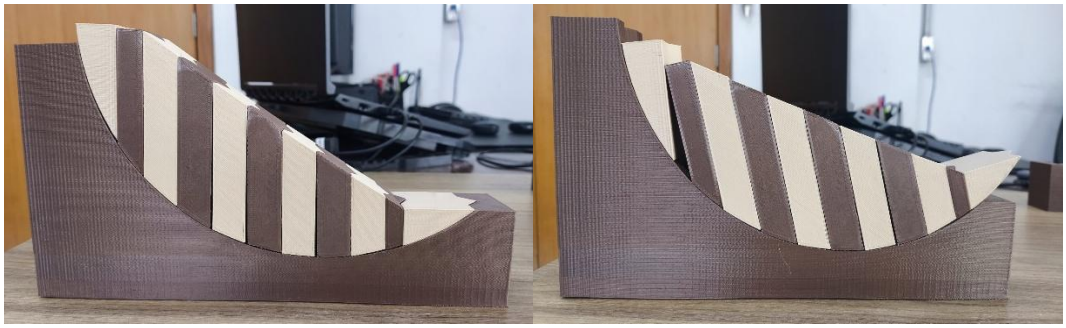


Figura 3. Modelo Impresso de estabilidade de talude pelo método de Bishop (245 mm x 131 mm x 40 mm).

Já o modelo de estabilidade de talude pelo método de Fellenius demonstra o conceito de equilíbrio de fatias, representando graficamente as forças atuantes, o momento resistente e o cálculo do fator de segurança. Por apresentar uma formulação mais simplificada, esse método é amplamente utilizado para introdução ao estudo da estabilidade de taludes. A visualização física do modelo permite compreender de forma mais clara a distribuição das forças atuantes nas fatias e o papel das resistências mobilizadas ao longo da superfície de ruptura.

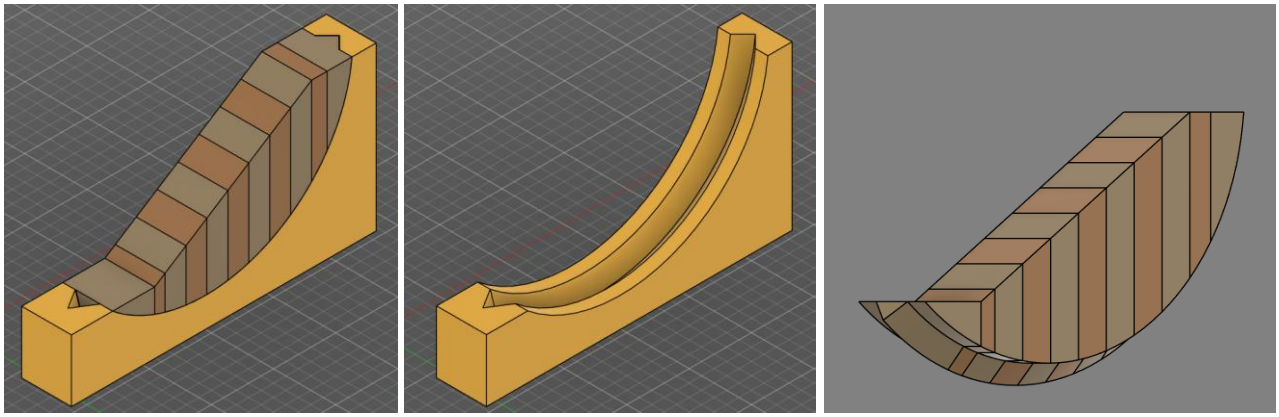


Figura 4. Modelo 3D de estabilidade de taludes pelo método de Fellenius.

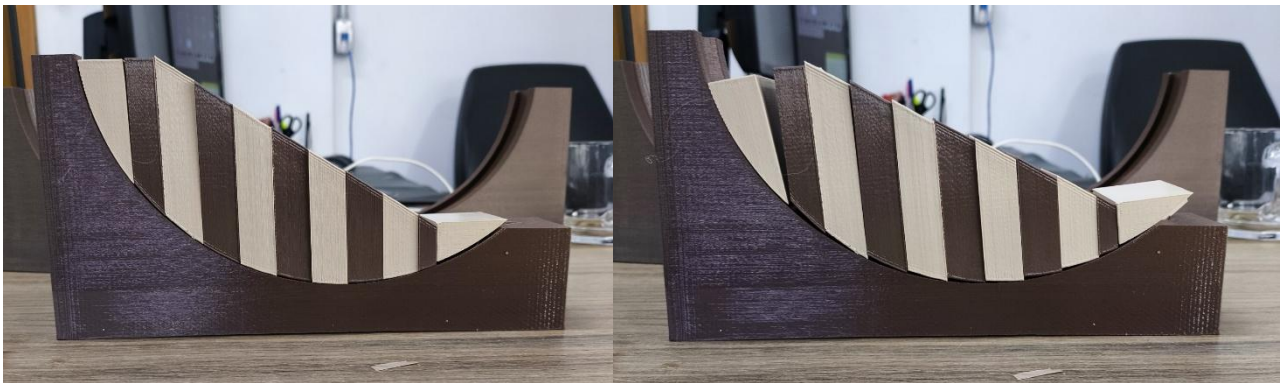


Figura 5. Modelo Impresso de estabilidade de talude pelo método de Fellenius (245 mm x 131 mm x 40 mm).

A utilização conjunta dos modelos baseados nos métodos de Bishop e Fellenius também permite discutir, em ambiente didático, as diferenças conceituais entre os métodos de análise de estabilidade. Enquanto o método de Fellenius considera simplificações no equilíbrio das forças entre as fatias, o método de Bishop incorpora de forma mais rigorosa a interação entre as forças normais e de cisalhamento, resultando em estimativas mais precisas do fator de segurança.

Além da contribuição didática, os resultados evidenciam a viabilidade da impressão 3D como ferramenta educacional no ensino da geotecnia. Os arquivos digitais desenvolvidos podem ser facilmente replicados por outras instituições de ensino, reduzindo custos e ampliando o acesso a recursos laboratoriais. Essa possibilidade fortalece o caráter inclusivo da proposta, alinhando-se às Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs), que incentivam o uso de metodologias ativas, criatividade e inovação tecnológica na formação em engenharia.

4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de materiais didáticos tridimensionais para o ensino da Geotecnia mostrou-se uma alternativa viável, criativa e eficaz para aprimorar o processo de ensino-aprendizagem. A utilização de ferramentas de modelagem digital, como o Autodesk Fusion 360, associada à fabricação por impressão 3D, possibilitou transformar conceitos geotécnicos abstratos em representações físicas que estimulam o raciocínio visual e a compreensão técnica dos fenômenos relacionados ao comportamento dos solos.

Os modelos desenvolvidos — ruptura de Terzaghi, estabilidade de taludes pelo método de Bishop e estabilidade de taludes pelo método de Fellenius — demonstraram potencial para aplicação em aulas teóricas, atividades práticas e ações de extensão universitária. A utilização desses recursos didáticos favorece a integração entre teoria e prática, permitindo que os estudantes compreendam de forma mais intuitiva conceitos fundamentais da mecânica dos solos.

Além do impacto pedagógico, o projeto destaca a importância da utilização de tecnologias acessíveis no desenvolvimento de materiais didáticos, especialmente em instituições públicas que enfrentam limitações de infraestrutura laboratorial. A possibilidade de reprodução dos modelos em diferentes instituições, utilizando equipamentos de baixo custo, contribui para ampliar o acesso a recursos experimentais no ensino da engenharia civil.

Dessa forma, a proposta apresentada contribui para a modernização das estratégias de ensino em Geotecnia, incentivando o uso de tecnologias digitais e metodologias ativas de aprendizagem na formação de engenheiros civis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, D.D. (2025) *Análise do comportamento mecânico de solo reforçado com geogrelhas fabricadas por impressão 3D para potencial aplicação em pavimentos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil.

Bishop, A.W. (1955) *The use of the slip circle in the stability analysis of slopes*. Géotechnique, 5(1), p. 7-17.

Caputo, H.P. (2011) *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações*. 6ª ed., LTC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Das, B.M. (2019) *Fundamentos de Engenharia Geotécnica*. 8ª ed., Cengage Learning, São Paulo, SP, Brasil.

Gomes, R.C. (2022) *Metodologias de ensino para Mecânica dos Solos e Geotecnia – visão tradicional e contemporânea: estudo de caso a partir de uma pesquisa exploratória*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, RJ, Brasil.

Ribeiro, L.F.S., Dantas, A.A.N. (2021) Desenvolvimento de dispositivo didático alternativo de baixo custo para o ensino do fenômeno de permeabilidade. *Revista de Ensino de Engenharia*, 40, p. 202-208.

Silva, V.C.S. (2023) *Inclusão na educação aplicada ao ensino de geociências e geografia para deficientes visuais no ensino superior*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, Brasil.

Terzaghi, K., Peck, R.B. (1996) *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, NY, USA.

Velloso, D.A., Lopes, F.R. (2010) *Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo e exemplos de cálculo*. 2ª ed., Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil.