

**APRENDIZAGEM ATIVA NO ENSINO DE FENÔMENOS GEOTÉCNICOS
NOS CURSOS DE ENGENHARIA CIVIL**

NATÁLIA DE SOUZA CORREIA

Universidade Federal de São Carlos

ncorreia@ufscar.br

FERNANDO HENRIQUE MARTINS PORTELINHA

Universidade Federal de São Carlos

fportelinha@ufscar.br

LEONARDO VINÍCIUS PAIXÃO DACIOLO

Universidade Federal de São Carlos

leonardodaciolo@gmail.com

JOSÉ WILSON BATISTA DA SILVA

Universidade Federal de São Carlos

josewilsonbatistadasilva@gmail.com

RESUMO

Este artigo apresenta diferentes abordagens metodológicas utilizadas para auxiliar o ensino de mecanismos e fenômenos geotécnicos aos alunos do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). As disciplinas de Mecânica dos Solos 1 e 2 abrangem desde a identificação e caracterização de solos até os principais conceitos, mecanismos e fenômenos envolvidos na geotecnia. Dessa forma, o uso da teoria da aprendizagem experiencial para explicar e visualizar esses fenômenos faz com que a relação ensino-aprendizagem seja mais eficiente. Neste estudo, foram desenvolvidos, pelos alunos, modelos físicos de laboratório que simulam o fenômeno de fluxo de água nos solos e o mecanismo de ruptura de taludes. Os modelos físicos foram de simples execução e baixo custo, e contaram com aparatos existentes no próprio laboratório da UFSCar. Esse recurso, bem como oficinas, tornaram as aulas mais dinâmicas, fazendo com os alunos se interessassem mais pelos temas abordados. A experiência foi também motivadora para os docentes, que criaram um novo ambiente de aprendizagem. O material está sendo utilizado como vídeos disponíveis no Canal do Youtube do LabGeo/UFSCar e na plataforma AVA/UFSCar.

Palavras chave: Metodologias Ativas, Aprendizagem experiencial, Ensino de graduação, Modelos físicos, Fenômenos geotécnicos.

1. INTRODUÇÃO

O Ensino de Geotecnia tem sido tema de importantes conferências nacionais e internacionais, tais como a “*Shaking the Foundations of Geo-engineering Education*” (SFGE 2012), a “*Shaping the Future of Geotechnical Education*” (SFGE 2016) e, em 2020, será realizada a “*International Conference on Geotechnical Engineering Education*” (GEE 2020). Nestes eventos são discutidos diferentes tópicos educacionais incluindo: currículos acadêmicos, cursos e material educacional, a interação bidirecional entre indústria e academia para coprodução de material educacional e desenvolvimento de currículo, e, principalmente a familiarização de jovens professores geotécnicos com boas práticas baseadas em pesquisa no ensino de engenharia.

No ensino curricular dos cursos de graduação em Engenharia Civil, especificamente no curso de Mecânica dos Solos, rotineiramente são introduzidos inicialmente os conceitos de investigação e propriedades índices dos solos, compactação, tensões, hidráulica dos solos, adensamento e resistência, bem como determinação das propriedades geotécnicas dos solos. Posteriormente, são apresentados conceitos mais complexos, tais como estabilidade de taludes, teoria de empuxo, contenções e barragens (CORREIA et al. 2018). De acordo Shiau et al (2006), a transição da geomecânica básica para as análises de estruturas geotécnicas mais complexas é ser um grande desafio para os alunos, e neste estágio, o uso de modelos físicos torna-se um importante auxílio para o processo de aprendizagem dos conceitos e fenômenos.

Steenfelt (2000) sugere que, no ensino de graduação em Engenharia, o uso de modelos físicos mostra-se muito instrutivo e auxilia na compreensão dos principais fundamentos da engenharia geotécnica. O uso de modelos físicos de baixo custo para o ensino em Geotecnia é apresentado em diversos trabalhos, tais como em Santana e Lamas (2009), Cardoso (2009), Jaksa (2009) e Jaksa et al. (2016). Nestes estudos, os experimentos incluem desde simples demonstrações de estimativas de ângulo de atrito do solo, passando por adensamento do solo, ao complexo fenômeno da liquefação sísmica.

Neste artigo, são apresentadas soluções para aprendizagem ativa por meio da construção de modelos físicos que simulam os fenômenos geotécnicos de fluxo de água nos solos e modelo de ruptura de taludes, os quais foram desenvolvidos pelos alunos do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

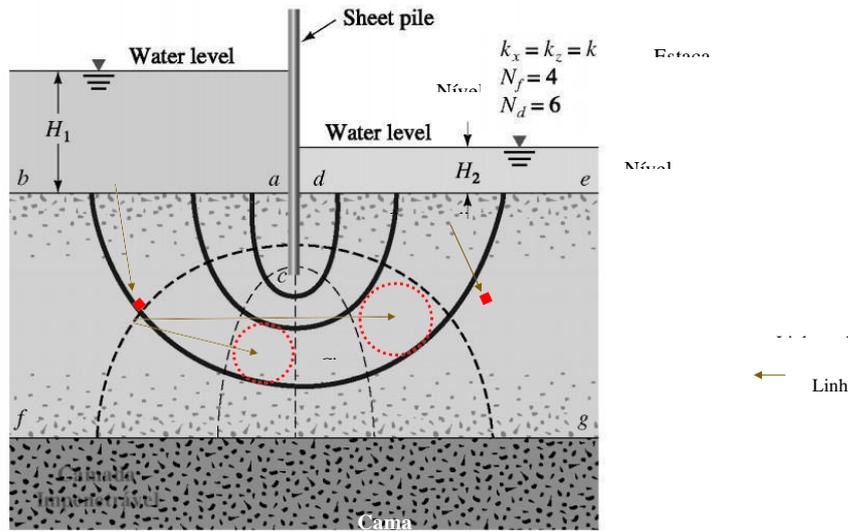
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ENSINO DE FLUXO BIDIMENSIONAL DE ÁGUA NO SOLO

Na formação do estudante de engenharia civil, torna-se indispensável o conhecimento do comportamento hidráulico dos solos, sobretudo em termos de permeabilidade e fluxo, uma vez que estes fenômenos estão presentes em obras geotécnicas (barragens, taludes, estradas), hidráulicas (determinação de vazão e seções hidráulicas) e cotidianas (subsolos, rebaixamento de lençóis freáticos, escavações, entre outros). A fundamentação teórica deste fenômeno se baseia na teoria de fluxo bidimensional em meio poroso, embasada principalmente pela equação da continuidade de Laplace e lei de Darcy, comumente abordadas em livros de geotecnia (DAS, 2011).

A delimitação desses problemas perpassa pelo procedimento complexo das definições de condições de contorno e resolução da equação diferencial de Laplace. Uma alternativa empregada para a resolução deste problema no ensino é a utilização de resoluções gráficas com embasamento matemático, denominadas redes de fluxo, as quais são utilizadas como método de ensino nos cursos de Engenharia. A resolução do problema de fluxo bidimensional é então descrita com a utilização de redes de fluxos, cuja construção geométrica apresenta restrições e condições necessárias para sua validade. As condições para construção são: ortogonalidade entre linhas de fluxo e equipotenciais e configuração dos elementos da rede possibilitando circunscrição (Figura 1).

Figura 1 – Traçado teórico da rede de fluxo.



Fonte: Adaptado de Das (2011).

Decorrente da ausência de visualização física deste fenômeno, a interpretação e visualização desta teoria é de difícil compreensão, sendo que os alunos tendem a apenas aceitá-la, tornando o processo de aprendizagem menos satisfatório.

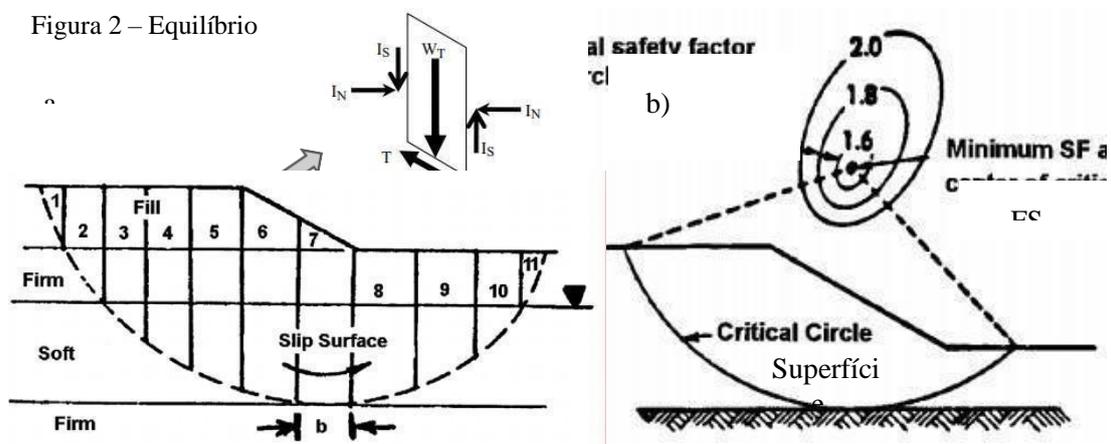
2.2 ENSINO DE ESTABILIDADE DE TALUDES

A determinação da estabilidade global de uma estrutura é parte essencial da concepção de estruturas de contenções, análise de encostas e taludamento de superfícies, onde a estrutura deve apresentar uma estabilidade mínima para assegurar seu adequado desempenho e mitigar os riscos associados à possíveis rupturas.

Tradicionalmente, no ensino de Engenharia, são lecionados métodos analíticos para a determinação de potenciais superfícies de rupturas e do fator de segurança a elas associadas, os quais se embasam na teoria de Equilíbrio Limite. Nesta teoria, são lecionados ao nível de ensino de graduação, os métodos simplificados de análises planares e circulares, destacando-se os métodos de análise das lamelas de Fellenius e Bishop simplificado, devido à possibilidade de reprodução analítica com baixa complexidade (FHWA, 2006; DAS, 2011). Os métodos se embasam na definição de uma superfície de ruptura, com subsequente divisão da mesma em parcelas menores (lamelas), realizando-se análises do equilíbrio individual (forças ou momentos resistentes e solicitantes) e, posteriormente, avaliando-se o comportamento da massa como um todo para a determinação do fator de segurança associado a esta superfície (Figura 2a). O processo é

então repetido para outras superfícies (Figura 2b), criando-se assim, uma malha de fatores de segurança e se determinando o fator de segurança mínimo observado (condição crítica da estrutura).

Este processo pode ser realizado pelos alunos por meio de desenhos da quantidade de superfícies a serem analisadas (mediante complexidade do problema em questão e nível de precisão almejado) e análises simplificadas de estabilidade. Este fato contribui para a necessidade da utilização de softwares, empregando-os em análises e retroanálises de estabilidade mais complexas. No entanto, tal demanda frequentemente não é possível de ser abordada nos cursos de Engenharia, devido às restrições de conteúdo programado (cronograma), ferramentas físicas e licenças de softwares numéricos disponíveis. Além disso, também nos deparamos, no ensino, com a ausência de ferramentas que possibilitam o aluno a visualizarem o fenômeno de ruptura de taludes.



limite na estabilidade de taludes: (a) método das lamelas; (b) superfície crítica.

Fonte: Adaptado de FHWA (2006).

2.3 APRENDIZAGEM ATIVA NA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

A reformulação e constante atualização da formação do perfil profissional do engenheiro traz demandas por novas metodologias, posturas pedagógicas diferenciadas e visões da relação ensino-aprendizagem mais consistentes. Nessa situação, a expressão “aprendizagem ativa”, ou “métodos ativos de aprendizagem”, vem recebendo atenção crescente dos educadores por constituir uma das respostas possíveis às novas demandas educacionais (VILLAS-BOAS e MATTASOGLIO NETO, 2011).

Barbosa e Moura (2014) enfatizam que um dos desafios atuais no ensino de Engenharia é conceber e implementar sistemas de ensino capazes de prover uma formação

profissional em sintonia com tempos de mudanças tecnológicas cada vez mais intensas e surpreendentes. O uso da aprendizagem ativa na educação em engenharia pode nos auxiliar na organização curricular para suprir a necessidade de ensinar conteúdos complexos. Para Silva (2010), é forte a pressão por mudanças no processo de formação dos engenheiros, uma vez que a metodologia usualmente utilizada envolve, basicamente, aulas expositivas em sala, exercícios e práticas de laboratório.

Já os estudantes de engenharia que aprendem com abordagem da aprendizagem ativa irão adquirir mais confiança em suas decisões e na aplicação do conhecimento em situações práticas, melhoram o relacionamento com os colegas, adquirem gosto para resolver problemas vivenciam situações que requerem tomar decisões por conta própria, reforçando a autonomia no pensar e no atuar (RIBEIRO, 2005). De acordo com Bonwell e Eison (1991), as estratégias que promovem aprendizagem ativa podem ser definidas como sendo atividades que ocupam os alunos em fazer alguma coisa, enquanto os leva a pensar sobre o que e para que estão fazendo. Para Morán (2015), nas metodologias ativas de aprendizagem, o aprendizado se dá a partir de problemas e situações reais em que os alunos vivenciarão depois na vida profissional. Ainda de acordo com Barbosa e Moura (2014), é um ambiente de aprendizagem bem adaptado, que permite aos alunos “aprender a aprender”, e ao mesmo tempo a adquirirem uma combinação de conhecimento, habilidades e atitudes necessárias para desenvolver as competências profissionais necessárias a um engenheiro.

3. METODOLOGIA

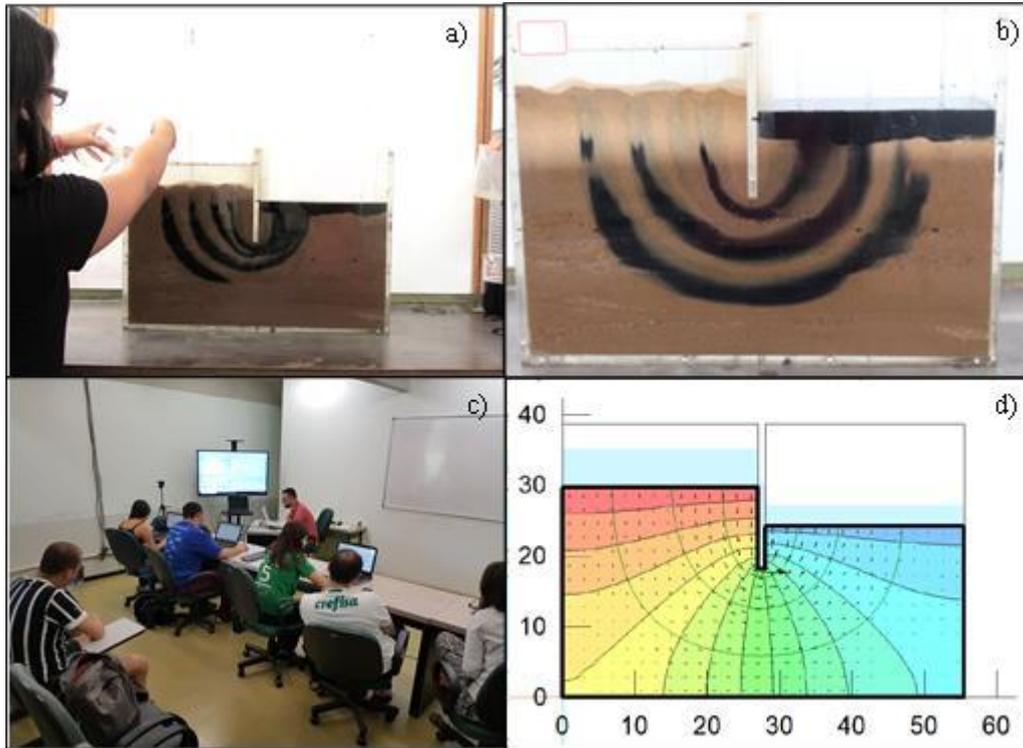
3.1 METODOLOGIA ATIVA PARA ENSINO DE FLUXO BIDIMENSIONAL DE ÁGUA NOS SOLOS

A utilização de modelos físicos geotécnicos contribui para a compreensão do fenômeno estudado, uma vez que é possível identificar o comportamento teórico e ainda verificar a adequabilidade e limitações dos modelos analíticos.

No curso de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), a representação física do modelo de fluxo bidimensional confinado de água no solo foi realizada através da construção de uma caixa de material acrílico, cujas as dimensões são: 55,5 x 39 x 14,5 cm (C x H x L), que apresenta um paramento acrílico interposto em seu centro (representando o paramento de uma barragem), para possibilitar a simulação de fluxo confinado, conforme observado na Figura 3a. A vedação da caixa foi

executada com silicone.

Figura 3 – Fluxo bidimensional: (a) montagem do modelo físico; (b) modelo físico final; (c) oficina com os alunos; (d) modelo numérico.



Fonte: Próprios Autores (2019).

Para o solo, foi utilizada uma areia limpa como simplificação da camada a ser percolada, uma vez que este material apresenta elevada permeabilidade e possibilita a visualização do fenômeno em um tempo reduzido. Para visualizar o fluxo de água, foi utilizada uma tinta comumente empregada em cartuchos de impressão, aplicado no sistema, em diferentes pontos, através de uma seringa comum. As camadas de solo foram compactadas através do processo de chuva de areia, previamente analisado pelos alunos. Após ser atingida a configuração geométrica dos materiais, saturou-se o solo e foi aplicado um desnível hidráulico, de forma a se atingir uma configuração pré-determinada pelas equipes. Para garantir a carga hidráulica constante no sistema, a água era reabastecida à montante e retirada à jusante da barragem. Após a conformação de níveis freáticos, se deu a aplicação da tinta em diferentes pontos à montante do fluxo, resultado em diferentes linhas de fluxo (Figura 3a).

Para manter o fluxo, a água era inserida a montante e retirada a jusante constantemente, até a formação das linhas de fluxo. Através do monitoramento das linhas, foi possível identificar a diferença entre velocidades de percolação, bem como dos efeitos

executivos (comportamento anisotrópico) e da heterogeneidade de algumas camadas decorrente do tamanho dos grãos. Por meio do uso de tubos de pequeno diâmetro, os alunos puderam observar a queda de energia de pressão ao longo do fluxo. A determinação da vazão foi realizada com o cálculo do aumento de volume percolado ao longo de um tempo cronometrado. A atividade durou cerca de 90 min. A partir do fenômeno observado (Figura 3b), os alunos foram instigados a realizar retroanálises de seus próprios modelos pelas soluções analíticas (ensinadas em sala de aula) e confrontá-las com as diferenças observadas entre os modelos teóricos e físicos.

Para auxiliar no processo de aprendizagem dos métodos de análise mais complexos, e complementar a formação dos alunos, foi lecionado um tópico de modelagem numérica com a utilização de um software comercial (Seep/W) de análises de problemas geotécnicos, na versão de avaliação. A partir desta oficina (Figura 3c), os alunos puderam modelar numericamente o problema analisado (Figura 3d) e confrontar os resultados anteriormente obtidos com esta nova metodologia de interpretação do problema. A partir destas observações foi possível discutir diferentes temáticas, como as limitações e potencialidades existentes de cada modelagem, bem como a interconectividade existente entre elas.

3.2 METODOLOGIA ATIVA PARA ENSINO DE ESTABILIDADE DE TALUDES

Para estudar o fenômeno de ruptura e estabilidade de taludes, a modelagem física foi realizada utilizando-se a mesma caixa acrílica do modelo de fluxo bidimensional. Através de simples espriamento dos grãos de solo, os alunos determinaram o ângulo de atrito natural da areia a ser utilizada na confecção do talude (Figura 4a). A areia foi então umedecida e compactada para compor o talude (Figura 4b). Foi utilizada uma fita guia para a confecção do talude nas dimensões estipuladas pelos estudantes. Ao término da execução, através de uma base de madeira apoiada no topo do talude, foram alocados pesos (anilhas) de forma a se contabilizar a carga necessária correspondente à ruptura de instabilização global do modelo. Foi observada uma superfície de ruptura circular (Figura 4c), tal como a previsão teórica realizada nos exercícios em sala de aula. Decorrente do comportamento do solo (não coesivo) e da movimentação da carga na ruptura, também foi possível observar o processo de ruptura do talude.

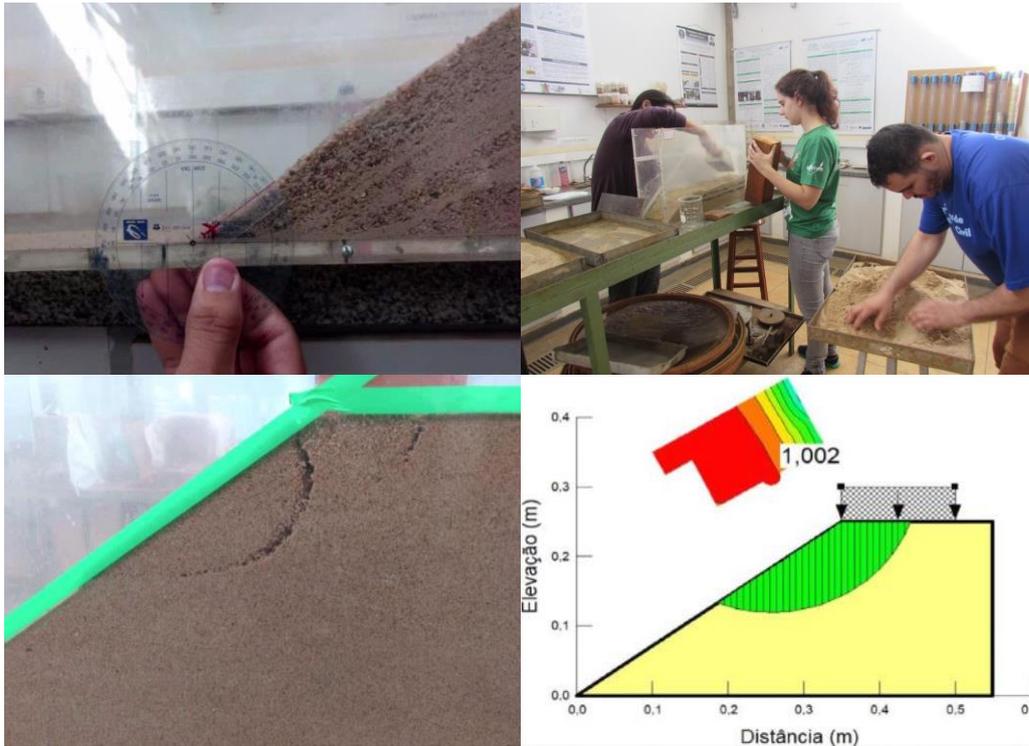


Figura 4 – Ruptura de taludes: (a) determinação do ângulo de atrito; (b) montagem do modelo físico; (c) superfície de ruptura após aplicação das cargas; (d) retroanálise numérica da ruptura.

a)	b)
c)	d)

Fonte: Próprios Autores (2019).

A partir das estimativas de ângulo de atrito interno da areia, peso específico, geometria e condições de ruptura determinados pelos alunos, foi realizada uma retroanálise com auxílio do software comercial (Slope/W), versão grátis de avaliação, em oficina sobre esta temática. Através desta ferramenta numérica, foi possível determinar os parâmetros de

resistência do solo na ruptura, mediante ajuste das condições iniciais inseridas, de forma a calibrar o modelo numérico com os modelos físico e teórico. A retroanálise de ruptura, realizada pelos alunos, pode ser observada na Figura 4d. Todas essas aulas ocorreram na disciplina de “Ensaio de Laboratório em Geotecnia”, ministrada para o curso de Engenharia Civil, no primeiro semestre de 2018.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tradicionalmente em cursos de engenharia civil, a teoria é lecionada através de estudos analíticos simplificados, uma vez que problemas geotécnicos que envolvem heterogeneidade, anisotropia e múltiplas condições de contorno tornam-se complexos e de difícil resolução. Assim, com o intuito de contribuir com uma metodologia ativa para o aprendizado de fenômenos de fluxo de água nos solos e mecanismo de ruptura de taludes nos cursos Mecânica dos Solos, foi realizada uma proposta de inserção de desenvolvimento de modelos físicos e numéricos no processo de formação dos estudantes.

A ilustração dos fenômenos na tradicional lousa e o uso frequente dos auxílios audiovisuais tem sido frequentemente adotados para a explicação dos fenômenos abordados nesse artigo. No entanto, a experiência de docência nos mostrou que metodologias analíticas adotadas como única abordagem nos cursos de Engenharia Civil tornam os cursos cansativos, previsíveis e sem motivação para o aluno atual. O contato com os modelos físicos que, de certa forma, simulam em menor escala, os fenômenos geotécnicos reais, fazem com que o aprendizado seja, não só mais eficiente, mas principalmente uma ferramenta motivacional ao aprendizado. Tal ferramenta associada as tradicionais teorias e ao uso de programas computacionais, e favorecem de forma significativa o aprendizado de engenharia.

A proposta de engajamento dos alunos em equipes deixou o ensino dinâmico, interativo, participativo e integrativo, uma vez que a problemática central foi analisada de maneira teórica, física e numérica, desenvolvendo assim múltiplas competências individuais e sociais aos futuros engenheiros civis do curso.

Os estudantes analisaram limitações e potencialidades de cada tipo de modelagem realizada, bem como a integralidade e complementação dessas ferramentas, cujo aprendizado pode ser extrapolado para outras áreas, não se limitando apenas à Engenharia Geotécnica. A disciplina também foi complementada com tópicos de modelos físicos de liquefação, capilaridade e estruturas reforçadas, não abordadas neste trabalho.

O processo avaliativo se deu de forma contínua pela interação dos grupos durante as aulas práticas de construção dos modelos e também pela produção de vídeos (sobre os fenômenos) e relatórios finais das equipes, sintetizando os conhecimentos adquiridos em sala de aula. Como resultado desta abordagem de ensino, os vídeos gerados pelos alunos foram disponibilizados na plataforma Youtube (Canal LabGeo UFSCar) para complementar o ensino de geotecnia para o público em geral. Somente o vídeo sobre Redes de fluxo tem, atualmente, mais de 300 visualizações. A experiência foi também motivadora para os docentes, que criaram um novo ambiente de aprendizagem.

Os autores agradecem ao apoio institucional do Laboratório de Geotecnia da UFSCar (LabGEO/UFSCar) para a confecção dos modelos físicos. Agradecemos a participação dos alunos Ana Porto, Caio Bruneli, Carolina Goshima, José Wilson Batista da Silva, Vivian Miceli e Vlademir Sciascio.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, E. F.; MOURA, D. G. de. Metodologias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia. **In: Anais International Conference on Engineering and Technology Education**, Cairo, Egito. 2014. p. 110-116.

BONWELL, C. C.; EISON, J. A. **Active Learning: Creating Excitement in the Classroom**. 1991 ASHE-ERIC Higher Education Reports. ERIC Clearinghouse on Higher Education, The George Washington University, Washington DC, 1991.

CARDOSO, R.; GOMES, R. C.; SANTOS, J.; SENA COSTA, V.; CAETANO, J. P. Novos equipamentos didáticos no ensino da mecânica dos solos. **In: 10º Congresso Nacional De Geotecnia**, Portugal, 8p. 2009.

CORREIA, N. S. et al. Desenvolvimento de modelos físicos de fenômenos geotécnicos para o ensino de Geotecnia. **In: XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**, Salvador. 2018.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 561 p. ISBN 85-221-0548-0.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **FHWA NHI-06-088: Soils and Foundations Reference Manual – Volume I**. Washington, DC. 2006.

SKA, M. B. **Use of Demonstration Models in Undergraduate Geotechnical Engineering Education**, Research Report No. R 177, November 2009, 44p. 2009.

JASKA, M. B.; KUO, Y. L.; SHAHIN M. A.; YUEN, S.; AIREY, D.; KODIKARA, J. K. Engaging and Effective Laboratory Classes in Geotechnical Engineering. **In: SFGE 2016 - Shaping the Future of Geotechnical Education International Conference on Geo-Engineering Education**, Belo Horizonte, MG, Brazil. 2016.

MORÁN, J. **Mudando a educação com metodologias ativas**. Coleção Mídias Contemporâneas. Convergências Midiáticas, Educação e Cidadania: aproximações jovens, v. 2, n. 1, p. 15-33, 2015.

RIBEIRO, R. C. **A aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma implementação na educação em Engenharia**. 2005. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

SANTANA, T.; LAMAS, P. Modelos físicos simples de apoio ao ensino da Geotecnia. **In: 10º Congresso Nacional De Geotecnia**, Portugal. 2009.

SILVA, A. N. R. A problem-project-practice based learning approach for transportation planning education. **In: Anais da PBL International Conference**. 2010.

SHIAU, J.; PATHER, S.; AYRES, R. Developing physical models for geotechnical teaching and research. **In.: Physical Modelling in Geotechnics – 6th ICPMG'06** – Ng, Zhang & Wand (eds), pp. 156-162. 2006.

STEENFELT, J. S. **Teaching for the Millenium – or for the Students?** Proc. GeoEng 2000, Melbourne, Australia, November 19–24, Vol. 1, 826–840. 2000.

VILLAS-BOAS, V.; MATTASOGLIO NETO, O. Aprendizagem ativa na educação em engenharia. **In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, Blumenau. 2011.