

VERIFICAÇÃO DIDÁTICA E EXPERIMENTAL DE CONCEITOS DE MECÂNICA DOS SOLOS ATRAVÉS DE MODELOS FÍSICOS

Cleyton Stresser da Silva – cstresser@ufpr.br

Marilia Kaori Ueda – mariliakaori@ufpr.br

Roberta Bomfim Boszczowski – roberta.bomfim@ufpr.br

Larissa de Brum Passini – larissapassini@ufpr.br

Universidade Federal do Paraná - UFPR, Departamento de Construção Civil - DCC
Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100
81530-000 – Curitiba – Paraná

Resumo: Tendo em vista os atuais desafios do ensino de engenharia, surge como necessário o envolvimento dos alunos com atividades fora da sala de aula, atividades que deem uma visão dos conceitos abordados na disciplina, promovam o desenvolvimento de habilidades e competências e incentivem o trabalho autônomo do aluno. Uma metodologia que desenvolve essas competências é a Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL). Este trabalho relata a experiência desenvolvida pelos monitores do Programa Institucional de Monitoria (PIM) na concepção e aplicação de modelos físicos qualitativos, cujo o objetivo era ilustrar alguns conceitos iniciais de Geotecnia. Foi desenvolvido um modelo de recalques em areia e um modelo de permeabilidade sob diferentes situações de fluxo em solos estratificados. Estes modelos foram utilizados nas aulas, servindo como material didático, operados pelos alunos. Além do manuseio, a proposta era o cálculo de algumas propriedades dos solos durante a realização dos ensaios. A experiência do desenvolvimento dos modelos por parte dos monitores foi muito positiva, agregando conhecimento técnico e capacidade de resolução de problemas aos integrantes. Pelo relato dos professores da matéria, através dos modelos os alunos demonstraram um melhor entendimento dos conceitos, organização de trabalho em equipe e entusiasmo nas aulas práticas.

Palavras-chave: Aprendizagem Baseada em Projetos. Dispositivos didáticos. Modelos físicos.

1 INTRODUÇÃO

A mudança do atual sistema educacional dos cursos de engenharia é objeto de discussão, dado o contexto de globalização. São necessárias medidas ativas, em que o aluno participe, não apenas como expectador no processo ensino-aprendizagem, mas como protagonista.

Quanto a importância dessas novas abordagens, Tavares *et al.* (2004) ressaltam o envolvimento dos alunos nos processos de formação e de investigação, possibilitando o

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:



desenvolvimento das suas capacidades e a aquisição de competências básicas e específicas para uma integração bem-sucedida no mundo profissional.

Em contraposto ao sistema tradicional de ensino, onde o conhecimento é repassado por meio de exposição de conteúdo, o envolvimento do aluno no processo de ensino-aprendizagem promove uma aprendizagem ativa, centrada no desenvolvimento de competências e no trabalho autônomo do aluno. Essa metodologia deve ser incentivada pelos docentes na forma de orientação, oferecendo liberdade ao discente para o desenvolvimento de projetos (FERNANDES, 2010).

Uma das ferramentas adequadas a essa nova realidade é a Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL), do inglês *Project-Based Learning*. De Graaf & Kolmos (2007) descrevem o método como uma forma de ensinar "com os estudantes". Estes, em colaboração, exploram e trabalham um problema real existente.

Essa definição implica em aprofundar a consciência de que os problemas devem ser abordados sob diferentes ângulos. A seleção de teorias, métodos e ferramentas devem basear-se no problema escolhido. O papel do professor não é apenas comunicar conhecimento, mas atuar como iniciador, inspirador e consultor. O resultado do trabalho é um produto concreto, uma apresentação oral, um relatório escrito ou uma expressão em outros meios do resultado produzido (DE GRAFF & KOLMOS, 2007).

Na Geotecnia, ramo da engenharia que estuda as interações entre obras civis e solos e rochas, percebe-se uma dificuldade na visualização de alguns conceitos e teorias, sobretudo nos primeiros contatos dos alunos com os conteúdos. A Mecânica dos Solos, ciência básica nessa área, teve muito do seu desenvolvimento de suas teorias baseadas em observação, o que pode ligar a área a uma necessidade de investigação e visualização dos fenômenos para o aprendizado.

Karl Terzaghi, reconhecido como o fundador da Mecânica dos Solos, desenvolveu muito de seus trabalhos a partir de seu acurado espírito investigativo. Suas contribuições para o estudo de tensões no solo, evolução de recalques e rupturas de fundações partiram de observações de campo, simplificando os fenômenos para um desenvolvimento matemático. Seu trabalho é considerado o marco inicial da Engenharia Geotécnica (PINTO, 2006). Tomando o exemplo como inspiração, pode-se assumir como hipótese que o aprendizado em Geotecnia necessita de atividades práticas e experimentais, dado essa natureza investigativa da origem dos conceitos.

Ensaio que reproduzam determinadas condições dos solos, além de propiciar uma visualização, permitem uma explicação detalhada e uma instigação ao desenvolvimento desse espírito investigativo, essencial à formação do Engenheiro Geotécnico.

Dentro do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná (UFPR) estão sendo desenvolvidas diversas atividades extracurriculares relacionadas à formação dos alunos, principalmente associadas ao Grupo de Estudos em Geotecnia (GEGEO) e ao Programa Institucional de Monitoria (PIM). Criou-se círculos de debates entre alunos e professores, além da realização de atividades, tais como visitas guiadas a obras e laboratórios, cursos e palestras, todas com o intuito de aprofundar o conhecimento dos participantes e contribuir para o ensino de Geotecnia dentro do curso. Uma das principais atividades desenvolvidas foi a concepção, construção e aplicação de modelos físicos representativos de conceitos da Mecânica dos Solos.

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:



Além de servir como material didático para a matéria, a construção dos modelos teve como premissa agregar conhecimento aos monitores envolvidos, tanto conhecimento técnico no sentido de conceber os modelos e produzi-los, quanto social, já que a divulgação e a apresentação dos resultados foram realizadas pelos próprios monitores.

Desta forma, este trabalho relata a experiência obtida em todo o processo dos modelos – da concepção à aplicação, sob o ponto de vista dos alunos monitores responsáveis e a professora orientadora.

2 METODOLOGIA ADOTADA NA ELABORAÇÃO DOS MODELOS

No contexto apresentado, as atividades do PIM foram desenvolvidas por um grupo de alunos e professores. Os alunos provinham de diferentes períodos do curso. A fase inicial do projeto foi a concepção de ideias, realizada a partir na troca de experiências dos próprios alunos quando discentes das matérias e na percepção dos professores sobre o aprendizado das antigas turmas. Surgiu como tópico a produção de modelos que expressassem determinadas características físicas do solo, expostas durante as aulas de maneira teórica.

Foram concebidos dois modelos: um de recalque em areia por vibração para o cálculo dos índices físicos e grau de compactação e um modelo de permeabilidade em diferentes tipos de solos. Distintas situações foram simuladas em ambos os modelos. No caso do modelo de permeabilidade foram impostas condições de percolação de água em fluxo ascendente e descendente. No modelo de recalque em areia foram preparadas diferentes densidades relativas iniciais – indicação do estado de compactação de materiais granulares. Foi produzido um tanque de vidro reforçado para abrigar os materiais nos modelos.

A primeira etapa foi a realização de levantamento de revisão bibliográfica sobre o assunto. Foram observados alguns trabalhos referentes a modelos reduzidos com fins técnicos, como os de Mezzomo (2009) e Passini (2015), bases para a construção dos modelos físicos aqui relatados. Depois disto, foram adquiridos e preparados materiais estruturais do tanque e os solos, seguido de sua montagem. A última etapa foi a aplicação do modelo reduzido, através de ensaios didáticos, filmagem para divulgação e aplicação em sala de aula.

2.1 Materiais utilizados

Utilizou-se, para ambos os modelos, um tanque de vidro de dimensões 27,8×47,8×32,0 cm e arestas metálicas, juntamente com uma mesa de 101,0 cm de altura. Esta mesa com rodas teve como objetivo facilitar o transporte do tanque e a possibilidade de realizar vibrações mecânicas manualmente através de rodízios.

A areia utilizada foi de granulometria média a grossa, denominada areia normalizada brasileira IPT nº30. Primeiramente, determinou-se para a areia os índices de vazios máximo ($e_{máx}$) conforme a NBR 12004 (ABNT, 1990) e mínimo (e_{min}) pela NBR 12051 (ABNT, 1991), obtendo-se valores de 1,14 e 0,72 respectivamente. O peso específico real dos grãos determinado foi de 2,65 g/cm³ e a umidade hidrosférica de 0,1%. Estes valores são base para o cálculo da densidade relativa (D_r), objeto de estudo deste modelo e que representa o estado de compactação de solos granulares.

Para o modelo reduzido de permeabilidade, foi montado um sistema hidráulico, confeccionado com tubos de PVC, conexões e uma chapa acrílica de 6 mm de espessura. Os

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:



tubos e as chapas foram perfurados para permitir que a vazão d'água ocorra de maneira lenta e uniforme. Este modelo foi produzido com tipos de solos diferentes para produzir camadas distintas. Utilizou-se brita 0, argila, bentonita, areia fina e areia média. Também utilizou uma manta de geotêxtil para não permitir a passagem de solo para o sistema hidráulico.

3 MODELO FÍSICO DE RECALQUE EM AREIA

Este ensaio didático tem como intuito demonstrar a variação do índice de vazios de um solo arenoso diante de uma compactação por vibração e a visualização de recalques. O procedimento foi disponibilizado para os alunos em formato de vídeo e apresentação, para auxiliá-los na compreensão do conteúdo de índices físicos, um dos temas da matéria de aplicação dos modelos, além de possibilitar uma aula prática do referido assunto (Figura 1).

Figura 1 – Modelo reduzido de recalque em areia (a) vibrado pelos alunos e (b) recalque obtido



Fonte: Os autores (2019)

O primeiro modelo foi montado em um estado de areia fofo através da deposição cuidadosa da areia no tanque, obtendo-se uma altura inicial de solo (h_1), correspondente a uma massa específica natural (ρ_1) e a um índice de vazios inicial (e_1). Na realização do ensaio a mesa era vibrada manualmente, reduzindo o índice de vazios (e_2) e, conseqüentemente, a altura de solo (h_2). Através dos dados iniciais e finais, a densidade relativa da areia era calculada (D_r), passando do estado fofo ao mediantemente compacto (Tabela 1).

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:



Tabela 1 – Dados físicos iniciais e finais do modelo de recalque em areia.

Dados iniciais ao ensaio	Valores
Altura (h_1) (cm)	13,00
Volume do tanque (v_1) (cm ³)	17.274,9
Massa específica natural (ρ_1) (g/cm ³)	1,32
Massa específica aparente seca (ρ_{d1}) (g/cm ³)	1,32
Índice de vazios (e_1)	1,014
Densidade relativa (Dr_1) (%)	30,0
Dados finais do ensaio	Valores
Altura (h_2) (cm)	12,35
Volume do tanque (v_2) (cm ³)	16.411,2
Massa específica natural (ρ_2) (g/cm ³)	1,39
Massa específica aparente seca (ρ_{d2}) (g/cm ³)	1,39
Índice de vazios (e_2)	0,913
Densidade relativa (Dr_2) (%)	54,0

Fonte: Os autores (2019)

O vídeo do “Ensaio de Recalque em Areia: Índices Físicos em Modelo Reduzido” pode ser acessado na página do GEGEO: <https://www.youtube.com/watch?v=pnICwW756XY>.

4 MODELO FÍSICO DE PERMEABILIDADE

A permeabilidade é a capacidade do solo de permitir a passagem de água (ou outro fluido) através de seus vazios. É um atributo físico fundamental para a engenharia, principalmente em obras ligadas a movimentação de água no solo, como drenagens, fundações de barragens e rebaixamento de lençol freático. A permeabilidade depende de vários fatores e características dos solos.

Este ensaio teve como caráter qualitativo a apresentação do comportamento de percolação de água em diferentes camadas de solo. A percolação d'água foi realizada de maneira a representar duas situações: fluxo ascendente causado pelo aumento do nível d'água e fluxo descendente representando uma infiltração por precipitação. A disposição das camadas de solo no modelo foi escolhida para uma visualização da percolação nos diferentes tipos de solos. Realizou-se quatro ensaios, dois para cada situação de fluxo e, em cada caso, duas combinações de solos.

4.1 Modelos com aplicação de fluxo ascendente de água

Como apresentado, o modelo de fluxo ascendente representa uma situação de aumento de nível de água. O sistema hidráulico foi instalado na base do tanque, seguido de uma chapa de acrílico e uma manta de geotêxtil (Figura 2). Na sequência as espessuras das camadas a serem depositadas foram desenhadas e o tanque foi preenchido (Figura 3). O registro de água foi aberto, e iniciou-se a percolação de água pelos materiais.

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:



Figura 2 – Etapas da preparação do tanque para receber fluxo ascendente.



Fonte: Os autores (2019)

Figura 3 – Disposição das camadas de solo de fluxo ascendente para ensaios.



Fonte: Os autores (2019)

Acompanhou-se detalhadamente todo processo. Verificou-se que com o início do fluxo ascendente, as camadas de brita, areia média e areia fina foram saturadas rapidamente. Chegando-se na camada de argila e bentonita, a força de percolação era elevada e causou a redução da tensão efetiva do solo, causando liquefação da areia fina e ruptura hidráulica das camadas de argila. Outro fator observado era a diferença de permeabilidade dos materiais. A brita 0, solo mais grosso, saturava-se em um tempo muito pequeno, enquanto a bentonita demorou um período de 2 horas para atingir a saturação.

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:



Uma interessante situação verificada era que a baixa permeabilidade da bentonita fez com que a água buscasse outros caminhos para percolação, contornando-a. A sua alta expansibilidade também era observada conforme progredia a saturação em 24 horas (Figura 4).

Figura 4 – Saturação das camadas de solo no fluxo ascendente (a,b) 2 horas e (c,d) 24 horas.



Fonte: Os autores (2019)

Os vídeos dos “Ensaio Qualitativo de Fluxo Ascendente de Água no Solo”: <https://www.youtube.com/watch?v=qKEg4PRuDPA&t=13s> e “Ensaio Qualitativo de Fluxo Ascendente de Água no Solo II”: <https://www.youtube.com/watch?v=b5hpZzAmToI&t=3s> podem ser visitados na página do GEGEO.

4.2 Modelos com aplicação de fluxo descendente de água

Os modelos de permeabilidade em fluxo descendente representavam uma situação de chuva e progressão da frente de infiltração em um solo estratificado – com várias camadas diferentes. O sistema hidráulico foi instalado na parte superior do modelo. A disposição das camadas procurou representar como ocorreria uma infiltração em solos de permeabilidade diferente, sendo a camada superficial composta por uma combinação de argila e bentonita, e as demais camadas preenchidas com areia média, brita 0 e areia fina (Figura 5).

Promoção:


Associação Brasileira de Educação em Engenharia

Realização:

 FACULDADE
ARI DE SÁ



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:



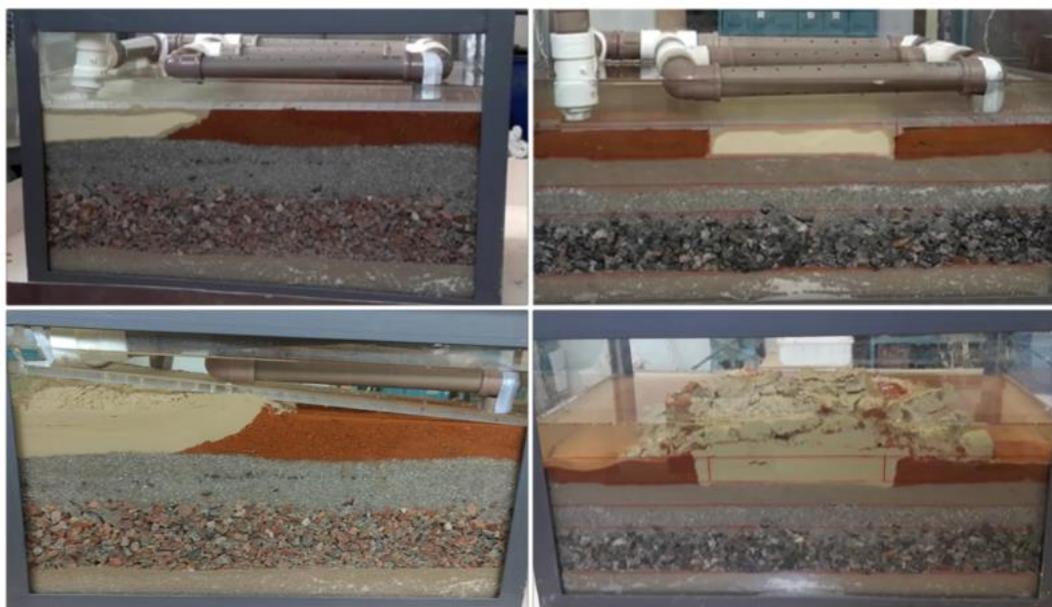
Figura 5 – Disposição das camadas de solo de fluxo descendente para ensaios.



Fonte: Os autores (2019)

Observou-se que a água infiltrou em sua totalidade pela argila, mantendo a camada de bentonita seca. Esta situação ocorria devido a permeabilidade baixa da faixa de bentonita. A água, após saturar a argila, percolou com pequenos canais naturais até o fundo do tanque, atravessando os solos granulares e saturando-os num primeiro momento de forma não homogênea. Com a saturação da camada mais inferior, a saturação procedeu-se de forma ascendente/descendente e homogênea por camada. Verificou-se também a ocorrência de fluxo horizontal durante o processo e a presença de bolhas de ar oclusas. Novamente, observou-se a não saturação completa da bentonita logo após o término do ensaio com uso de fluxo de água (2 horas) e sua grande expansão após completa saturação, cerca de 24 horas (Figura 6).

Figura 6 – Saturação das camadas de solo no fluxo descendente (a,b) ao final do ensaio e (c,d) 24 horas.



Fonte: Os autores (2019)

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:



Os vídeos dos “Ensaio Qualitativo de Fluxo Descendente de Água no Solo”:
<https://www.youtube.com/watch?v=OxjOdlaNKUw&t=5s> e “Ensaio Qualitativo de Fluxo
Descendente de Água no Solo II”: https://www.youtube.com/watch?v=O_VXS6E0YnM&t=4s
podem ser visitados na página do GEGEO.

5 CONCLUSÕES

Segundo a visão dos alunos e professores participantes do programa, conclui-se que as atividades desenvolvidas foram agregadoras ao conhecimento e experiências, desde a concepção, montagem e aplicação dos modelos. O projeto demandou não somente um estudo acerca dos fenômenos envolvidos, mas trabalho em grupo, criatividade e dedicação. A metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL), fundamenta-se exatamente em construir este tipo de competências.

Pode-se dizer que de maneira geral, sobretudo na área da engenharia geotécnica, pelo seu caráter investigativo e experimental, que experiências como essas são muito relevantes na formação do futuro profissional. A metodologia PBL demonstra ser uma ferramenta adequada em novas concepções de ensino em engenharia, apesar de existir uma dificuldade na aplicação do método em turmas grandes. A troca de experiências entre professores, alunos e ex-alunos das disciplinas são muito benéficas na melhoria das abordagens adotadas e no desenvolvimento de projetos de cunho didático.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Pró Reitoria de Graduação da Universidade Federal do Paraná pelo apoio financeiro ao projeto e ao Grupo de Estudos em Geotecnia pela ajuda na realização e divulgação das atividades. Agradecemos também, de maneira especial, aos demais alunos e professores envolvidos no desenvolvimento deste trabalho e a professora orientadora Larissa de Brum Passini.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12004:1990**: Solos - Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12051:1991**: Solos - Determinação do índice de vazios mínimo de solos não-coesivos - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

DE GRAAF, Erik.; KOLMOS, Anette. Characteristics of problem-based learning. **International Journal of Engineering Education**, v. 17, n. 5, p. 657–652, 2003.

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:



FERNANDES, Sandra Raquel Gonçalves. **Aprendizagem baseada em projectos no Contexto do Ensino Superior: Avaliação de um dispositivo pedagógico no Ensino de Engenharia.** 2011. Tese (Doutorado) – Universidade do Minho. Braga, 2001.

MEZZOMO, Samuel Maggioni. **Estudo dos Mecanismos de Fluidização de Areias com Jatos d'água.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

PASSINI, Larissa de Brum. **Instalação e Capacidade de Carga Axial de Estacas Modelo Fluidizadas em Solos Arenosos.** 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**, 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

TAVARES, José *et al.* Docência e aprendizagem no ensino superior - Investigar em Educação. **Revista da Sociedade Portuguesa de Ciências de Educação**, v.3, p. 15–55, 2004.

DIDACTIC AND EXPERIMENTAL VERIFICATION OF SOILS MECHANICS CONCEPTS THROUGH PHYSICAL MODELS

Abstract: *In terms of the current challenges in engineering education, it is necessary to involve the students in activities outside the classroom that gives a view of the concepts, promote skills development, competences and encourage the student's autonomous work. One methodology that spread these competencies is the Project Based Learning (PBL). This article reports the experience developed by the monitors of the Institutional Monitoring Program (PIM) in the design and application of physical models. The purpose was to illustrate some initial Geotechnical Engineering concepts. A sand consolidation model, that explains changes in the soil volume relations, and a permeability model that shows different flow conditions in stratified soils were developed. The teachers used these models in the classes, being operated by the students. In addition of the handling, the main activity proposal was the calculation of some soil properties during the tests. By the monitors, the model's development was a very positive experience, adding technical knowledge and increase the ability to solve problems. From the teachers' report, the students demonstrated a better understanding of the concepts, teamwork organization and enthusiasm in the practical classes in which these models were applied.*

Key-words: *Project Based Learning. Educational devices. Physical models.*

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:

