

MODELAGEM GEOMECÂNICA COMPUTACIONAL DE UMA BARRAGEM DE REJEITO

Sérgio Gonçalves Pena¹
Talita Caroline Miranda

Marina Fernanda Rocha de Avelar

RESUMO

O avanço tecnológico, em hardware e software, nos permite gerar Modelos Geológicos Geotécnicos Tridimensionais a partir de dados de investigação geotécnica diversa, evitando assim superposições de dados e reduzindo as incertezas. Estes modelos acurados, fornecem nas fases de pré-projeto e projeto uma maior segurança ao projetista. Este trabalho aborda a modelagem geomecânica de uma barragem de rejeitos a partir de resultados de ensaios CPTu, em especial a classificação do solo, de forma a avaliar ganhos de interpretação quando comparada a seção de modelagem feita no software com a seção típica de projeto.

Palavras-Chave: Modelagem, CPTu, Classificação dos solos.

INTRODUÇÃO

Toda obra necessita de informações a respeito do subsolo onde estará apoiada, independentemente do seu tamanho. Há diferentes formas de investigação geológica/geotécnica, podendo ser diretas ou indiretas. As investigações mais usuais são as que utilizam os métodos diretos, tais como sondagens à percussão, a trado, mista, à rotopercussão, entre outras, e mostram a composição do solo ao longo da profundidade do ponto de coleta. Outras técnicas estão sendo cada vez mais utilizadas para obras de médio e grande porte, tais como: Cone Penetration Test (CPTu) que fornecem ao projetista a estimativa da estratigrafia ao longo de um furo e os parâmetros de resistência do solo.

1 Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Naturalmente, as informações de subsuperfícies são incompletas, pois as condições subterrâneas são heterogêneas e as sondagens são pontuais e de quantidade limitada para solucionar e/ou determinar o grau de incerteza existente entre uma e outra. Em geral, a interpretação dos dados, o traçado de seções geológicas/geotécnicas e a determinação dos parâmetros geomecânicos prévios à análise de estabilidade de uma obra, dependem fundamentalmente da experiência do projetista e não fornecem uma visão tridimensional do comportamento e variação do maciço.

Neste contexto, a utilização de modelos geológicos é de grande auxílio para qualquer projeto geotécnico, pois contribuem de forma a evitar suposições dos projetistas e possibilita interpretações mais confiáveis, facilitando as decisões de engenharia de futuros empreendimentos e reduzindo riscos. O mapeamento geotécnico tridimensional, tem como objetivo elaborar modelos computacionais, que melhor interprete dados de investigações geotécnicas, utilizando para isso softwares específicos, utilizando dados de investigação por métodos diretos e indiretos de investigação.

Existem dois métodos que são utilizados em softwares de modelagem 3D atualmente, a modelagem explícita e implícita. No contexto da engenharia civil e geologia, a modelagem explícita consiste no trabalho do modelador em definir as estruturas geológicas, tais como a litologia, dobras e veias por meio de seções 2D regularmente espaçadas, após este processo as seções são agrupadas. Na modelagem implícita os algoritmos computacionais criam uma função que define o sólido no espaço. Essa função volume é modelada por meio da interpolação espacial dos dados de sondagem e as superfícies desse sólido são extraídas como triangulações da função (COWAN, et al., 2003).

Este trabalho apresenta a modelagem implícita tridimensional aplicada em um estudo de caso de barragens de rejeitos, com informações de ensaios de investigação geotécnica do tipo CPTu, modelados no *software Leapfrog Works*.

Este por sua vez, foi desenvolvido pela *Seequent* e possui a ferramenta de interpolação chamada *FastRBF™ (Fast Radial Basis Function)*, que acelera os processos e permite a atualização dinâmica dos modelos.

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal obter um modelo geomecânico tridimensional de uma barragem de rejeito a partir dos dados de CPTu utilizando o *software LeapFrog Works*, avaliar o ganho de informações ao comparar as seções típicas de projeto desenvolvidas a partir de interpretação individual com as seções obtidas através da modelagem numérica.

METODOLOGIA

O trabalho iniciou com a coleta das informações de investigação do tipo CPTu e topografia. Após análise preliminar foi realizado o tratamento do dado para posterior inserção no programa modelador *LeapFrog Works*.

No ensaio de CPTu são medidas de resistência à penetração de uma ponteira cônica de: resistência à penetração da ponta (q_c), resistência lateral à penetração (q_s) e a medida de poropressão (u) conforme a velocidade de penetração do ensaio. A partir destas leituras são estimados os parâmetros fundamentais na identificação do tipo de solo e caracterização estratigráfica do perfil: razão de atrito (F_r), resistência de ponta normalizada (Q_c) e o coeficiente de poropressão (B_q), conforme SCHNAID & ODEBRECHT, (2012). A classificação dos tipos de solo é obtida graficamente conforme a Figura 1 e a Tabela 1, obtendo assim o valor da classificação SBTn.

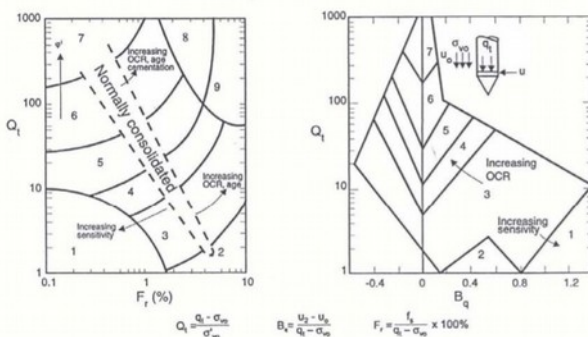


Figura 1: Gráficos do tipo de comportamento do solo SBT normalizados (ROBERTSON & CABAL, 2015).

Tabela: Tipo de comportamento do solo normalizado de acordo com a zona

Zona	Tipo de Comportamento do Solo Normalizado
1	Solo fino sensível
2	Solo orgânico - Argila
3	Argila (argilas siltosas e argilas)
4	Misturas de silte (siltes argilosos e argilas siltosas)
5	Misturas de areia (areias siltosas e siltes arenosos)
6	Areia (Areias a areias siltosas)
7	Areias com cascalhos a areias
8	Areias compactas a areias argilosas (muito compactado ou cimentado)
9	Solos finos muito rijos

Este estudo utilizou para a construção do modelo geológico/geotécnico da barragem de rejeito B1 (localizada no município de Igarapé, Minas Gerais), construída pelo método linha de montante, 22 (vinte e dois) furos com informações de CPTUs realizados em duas campanhas de ensaios 2003 e 2019. Após apropriada configuração das coordenadas, parâmetros e topografia dos furos de sondagem foi gerado um modelo numérico por meio da técnica de interpolação RBF (*Radial Basis Function*). Os dados interpolados foram os valores

numéricos SBTn e a partir deste modelo numérico foram gerados modelos de bloco para diferentes valores, de forma a identificar a o comportamento do subsolo conforme o proposto por Robertson (1990).

Para a conferência e validação do modelo obtido foi verificado se os materiais obtidos na modelagem estão de acordo com as informações de projeto, através da comparação visual de uma seção bidimensional entre o modelo obtido e uma seção típica de projeto. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta a localização dos furos de CPTu e a topografia utilizados e a figura 3 mostra uma visão do modelo tridimensional com a análise dos dados de classificação do solo (SBTn), conforme a análise de saída/código/dados para este artigo foi gerada usando o *Leapfrog Software*. Copyright© *Seequent Limited*. Leapfrog e todos os outros nomes de produtos ou serviços da *Seequent Limited* são marcas registradas ou marcas comerciais da *Seequent Limited*.

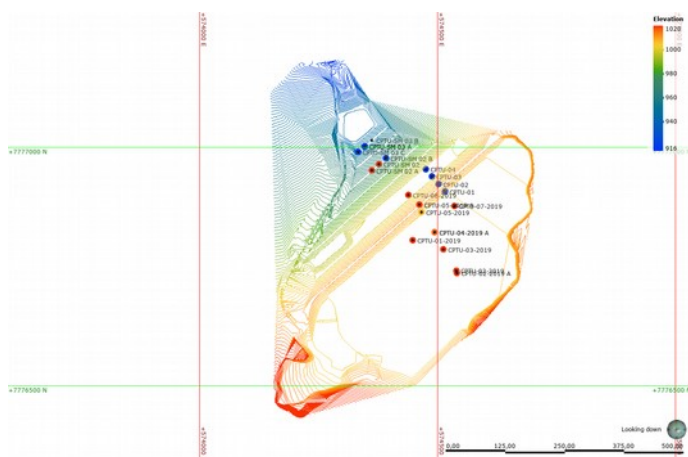


Figura 2: Localização dos furos de sondagem pela barragem.

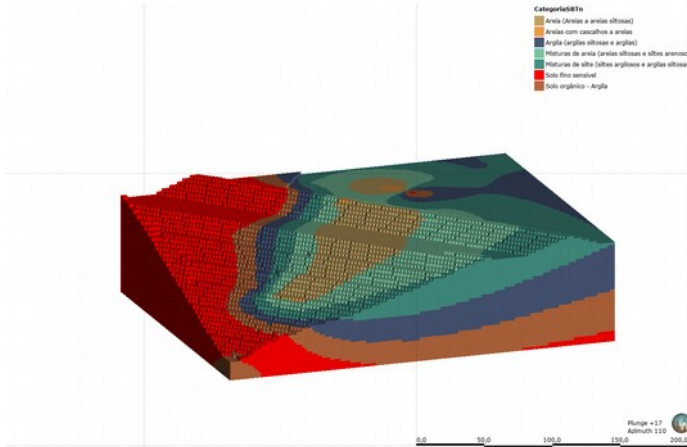


Figura 3: Visão do modelo tridimensional com ênfase nos dados de classificação dos solos SBTn.

Como a localização dos furos de investigação são ao longo do eixo central da barragem, na seção crítica de análise de estabilidade, foi possível obter uma seção bidimensional (figura 4) e a comparação com a seção típica de projeto (figura 5)

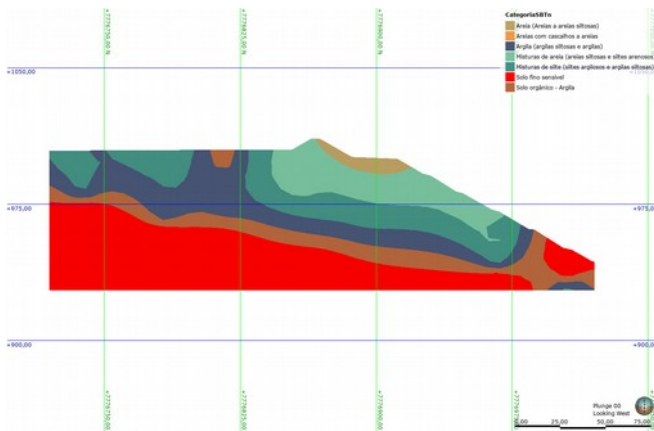


Figura 4: Seção modelo obtido a partir dos dados de SBTn dos ensaios de CPTu.



Figura 5: Seção de projeto

Apesar das figuras apresentarem escalas distintas pode-se observar que na comparação visual simples, a seção obtida através do modelo permite identificar as camadas de deposição do rejeito e estratigrafia, essas que não são observadas, nem estimadas na seção de projeto. Observa-se a correspondência entre os solos de alteamento que são mais resistentes, do tipo arenoso, pois durante o lançamento dos rejeitos, ocorre segregação granulométrica, situando-se a fração mais grossa depositada próxima ao maciço e as frações mais finas (lamas) fluem em direção ao lago de decantação ou são lançadas diretamente no mesmo.

CONCLUSÕES

O uso de ferramentas de modelagem permite que se tenha um modelo mais próximo da realidade do campo. Em uma análise inicial o modelo gerado indicou a forma de deposição do rejeito, assim como as lâminas estratigráficas de deposição do solo. Esta informação é fundamental para a análise do fluxo interno da barragem e avaliação do comportamento de resistência dos solos que compõe o corpo da barragem e do rejeito.

A sequência do trabalho se dará com a validação das seções com escala semelhante e comparação com os dados de construção do aterro e alteamentos obtidos através do "as built" da barragem. Após serão estimados os parâmetros de resistência de cada camada de solo classificados pelo SBTn e através dos dados demais dados de CPTU. Por fim espera-se realizar a análise de estabilidade por método determinístico da seção crítica da barragem.

AGRADECIMENTOS

Somos gratos a *Seequent*, desenvolvedora do *Leapfrog Works*, pela contribuição por meio de liberação para fins acadêmicos e plataforma de aprendizado do software e a *Pattrol* as informações para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COWAN, E.J., Lane, R.G., Ross, H.J., 2004. **Leapfrog's implicit drawing tool: a new way of drawing geological objects of any shape rapidly in 3D 3**. Disponível em <<https://www.semanticscholar.org/paper/Leapfrog's-implicit-drawing-tool%3A-a-new-way-of-of-Cowan-Lane/aff9375ac3118fe3695f7503db520a818f756fce>>

Acesso em 9/12/20.

ROBERTSON, P.K., 1990, Soil classification using the cone penetration test: Reply. **Canadian Geotechnical Journal**, v.28, pp. 176-178.

ROBERTSON, P. K., & CABAL, K. L. (2015). **Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering (6ª ed.)**. USA: Gregg Drilling & Testing, Inc.

SCHNAID, F., & ODEBRECHT, E. (2012). **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações (2. ed ed.)**. São Paulo: Oficina de Textos.