

## APLICAÇÃO DE MODELAGEM IMPLÍCITA VOLTADA PARA A INTERPRETAÇÃO DA FUNDAÇÃO DE ESTRUTURAS GEOTÉCNICAS

Cahio Guimarães Seabra Eiras<sup>1</sup>; Jefferson Alves Araujo Junior<sup>2</sup>; Vanessa Souza Magalhães<sup>3</sup>

**Resumo** – O entendimento da fundação de estruturas geotécnicas é fundamental para obtenção de padrões elevados de segurança. O desconhecimento da fundação pode ter como consequência rompimento de barragens e colapso de estrutura de pilhas. A modelagem geológico-geotécnica implícita 3D da fundação é uma importante ferramenta para lidar com bancos de dados e contextos geológicos complexos. A modelagem implícita possui vantagens como: (i) robustez do modelo; possibilidade de extração de seções 2D em qualquer sentido; (iii) modelo atualizado automaticamente com a inserção de novas investigações; e (iv) maior precisão na locação de sondagens em campanhas de investigação. Com o objetivo de gerar modelos geológicos-geotécnicos de fundação mais precisos, foi modelado a fundação de duas barragens, sendo uma de água e outra de rejeito. Os resultados obtidos foram robustos e alinhados com a geologia da área.

**Abstract** – Understanding the foundation of geotechnical structures is critical to achieving high safety standards. The lack of knowledge of the foundation can result in dam and piles failure. The 3D implicit geological-geotechnical modeling of the foundation is an important tool for dealing with complex geological databases and contexts. Implicit modeling has advantages such as: (i) model robustness; possibility of extracting 2D sections in any direction; (iii) automatically update model with the insertion of new investigations; and (iv) greater precision in locating of investigation campaigns. In order to generate more accurate geological-geotechnical foundation models, the foundation of two dams was modeled, one of water and the other of tailings. The results obtained were robust and in line with the geology of the area.

**Palavras-Chave** – Modelagem implícita; Modelo geológico-geotécnico 3D; Fundação; Estruturas geotécnicas; Barragens.

---

<sup>1</sup> Eng. Geólogo, Msc, Pimenta de Ávila: Nova Lima – MG, cahio.eiras@pimentadeavila.com.br

<sup>2</sup> Eng. Geólogo, Pimenta de Ávila: Nova Lima – MG, jefferson.alves@pimentadeavila.com.br

<sup>3</sup> Geóloga, Msc, Pimenta de Ávila: Nova Lima – MG, vanessa.magalhaes@pimentadeavila.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

A modelagem implícita é uma importante ferramenta para a construção de modelos tridimensionais da fundação de estruturas geotécnicas. A coerência do modelo gerado é dependente da quantidade e qualidade da base de dados utilizada.

A modelagem implícita 3D é a formação rápida e automatizada de superfícies baseados diretamente em dados geológicos. Além disso, ela permite que os modelos sejam atualizados automaticamente conforme os dados são ajustados. O método consiste em interpolar uma função escalar que indica a qual lado de um contato geológico um determinado ponto pertence (Gonçalves et. al. 2017). Este método é amplamente utilizado na elaboração de modelos de fundação, sendo possível criar os contatos geológicos baseados em informações de campanhas de sondagens. Uma aprimoração da ferramenta apresentada neste trabalho é a entrada de dados de investigação geotécnica voltados para uma interpretação robusta de fundações de barragens, pilhas e cavas.

O entendimento da fundação é fundamental para o desenvolvimento de obras com padrões elevados de segurança. Vários rompimentos de barragens ocorreram devido há falta de conhecimento relacionado a fundação. Um dos principais motivos do rompimento de Mount Polley no Canadá em 2014, segundo especialistas, foi a análise insuficiente das condições geológicas. Análises indicaram que a barragem de rejeitos estava localizada sob uma camada glacial de baixa resistência (Lyu et al. 2019).

Neste trabalho, foi utilizado um software de modelagem implícita que possibilita a construção de modelos geológicos 3D a partir de dados de sondagens e informações sobre a geologia da área (Cowan et. al. 2002). O software foi aplicado para construir modelos tridimensionais de fundações distintas de duas barragens situadas em regiões com características geológicas diferentes.

## 2. ESTUDO DE CASO

### 2.1. Vantagens da modelagem 3D em relação à 2D

Seções geológico-geotécnicas para análise de estabilidade e percolação de estruturas geotécnicas são comumente modeladas de forma bidimensional. Este tipo de modelagem apresenta algumas desvantagens, dentre elas:

- Normalmente, diversas seções são feitas na área de uma estrutura, sendo interpretadas individualmente, assim, ao posicioná-las em um ambiente tridimensional, dificilmente os contatos dos materiais vão estar consistentes entre si, gerando um alto tempo de retrabalho para realizar essas compatibilizações;
- As investigações utilizadas como base construtiva das seções podem estar muitas vezes distantes da seção interpretada, logo o contexto geológico local pode não ser representado corretamente;
- Reinterpretação manual das seções toda vez em que são realizadas novas investigações, podendo gerar uma improdutividade nos projetos.

A modelagem implícita 3D, que também pode ser aplicada para se obter seções geológico-geotécnicas para análise de estabilidade e percolação, tal como modelos de fundação para análises tridimensionais, possui recursos mais avançados em relação ao método bidimensional.

Na modelagem implícita 3D os contatos dos materiais são determinados a partir dos seguintes dados:

- (i) Investigações geológico-geotécnicas;
- (ii) Medidas estruturais;

- (iii) Estruturas geológicas;
- (iv) Estratigrafia.

A partir destas entradas e da determinação de parâmetros, é possível criar superfícies de contato entre os materiais. Este tipo de modelagem apresentam as seguintes vantagens:

- Geração de seções 2D a partir do modelo 3D, de forma a respeitar a posição tridimensional dos contatos definidos;
- Uso de todas as investigações na construção do modelo;
- Com a realização de novas investigações, o modelo é atualizado automaticamente com base nos parâmetros pré-estabelecidos;
- Maior precisão na programação das locações de investigações complementares, frente aos objetivos a serem investigados.

## 2.2. Fundação Barragem A

A Barragem A, de rejeito, está inserida no contexto geológico regional de rochas granito-gnáissicas. Os materiais de fundação da estrutura são: colúvio, solo residual, saprólito e rocha sã de granito-gnaíse.

## 2.3. Fundação Barragem B

A Barragem B, de água, está inserida no contexto geológico regional de rochas vulcânicas ácidas a básicas e sedimentares. Os materiais de fundação da estrutura são: solo residual, saprólito e rocha sã de arenitos, siltitos, argilitos. Ocorre também colúvio e os produtos de alteração de rocha vulcanoclástica e veio de quartzo, além de uma falha geológica.

## 3. MÉTODOS

As Barragens A e B são estruturas complexas cujas investigações geológico-geotécnicas foram realizadas em diversas campanhas ao longo do tempo. As investigações foram executadas por diversas empresas, interpretadas por diferentes profissionais e emitidas em variados formatos. Foram utilizadas 85 e 70 investigações para a modelagem das Barragens A e B respectivamente. Após a entrada de dados, ferramentas de modelagem são utilizadas para agrupar as mesmas litologias cujo variados nomes foram dados em diferentes campanhas de investigação.

Seções bidimensionais já existentes para as barragens A e B, também foram aproveitadas para a criação de um modelo tridimensional. O trabalho realizado foi:

- (i) Utilizar as linhas de contato dos materiais;
- (ii) Criar uma *layer* para cada contato;
- (iii) Atribuir as *layers* aos contatos;
- (iv) Exportar as informações em formato compatível com o banco de dados.

Posteriormente as seções foram importadas para o modelo 3D, sendo identificada cada linha de acordo com a *layer* atribuída.

Nos modelos 3D, os contatos foram então estabelecidos a partir das investigações e seções 2D existentes. Os *trends* estruturais foram obtidos a partir das medidas de campo, sendo que na área da Barragem B foi mapeada uma falha geológica que também está inserida no modelo.

Após concluídos os modelos geológicos, foram modeladas as classes de alteração dos materiais de fundação (solo residual, rocha alterada e rocha sã). Os dados de entrada utilizados

foram as classificações dos materiais nos boletins das investigações geotécnicas. Graus de alteração de cada material também foram modelados individualmente.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os modelos de fundação para as barragens A e B são apresentados na Figura 1. Os resultados apresentam fundações alinhadas com a realidade de campo. É possível observar que mesmo em regiões com uma geologia altamente complexa a modelagem 3D implícita foi capaz de construir camadas de forma precisa, sem gerar erros na malha de interpolação.

É preciso ressaltar que apesar da capacidade computacional de construir uma fundação 3D utilizando método implícito, é fundamental que a modelagem de estruturas geotécnicas seja feita utilizando amplo conhecimento da geologia da região, para que seja realizada uma análise crítica entre a modelagem e a realidade de campo.

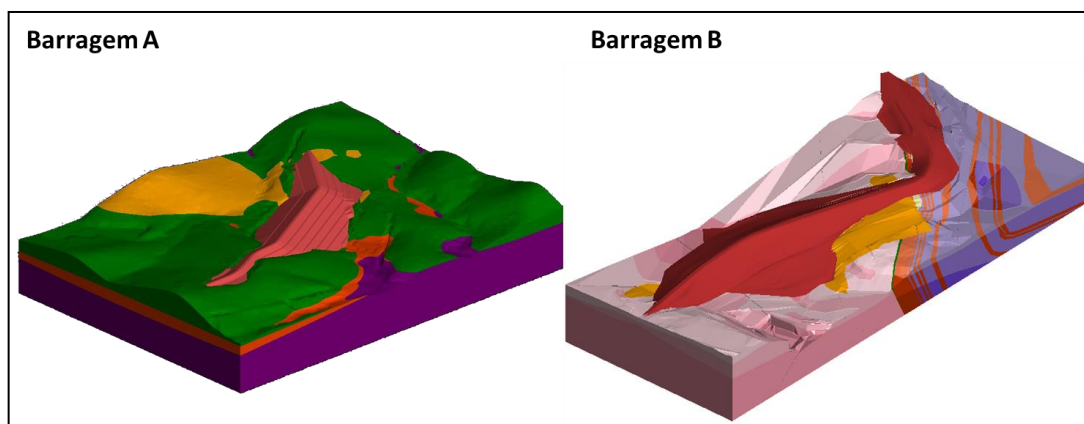


Figura 1. Modelo geológico-geotécnico das barragens A e B.

#### 5. CONCLUSÕES

Um modelo 3D gerado utilizando conceitos geológico-geotécnicos coerentes resulta em elevada robustez, permitindo tomadas de decisões assertivas tanto na construção quanto no monitoramento de estruturas geotécnicas. Modelos tridimensionais utilizando método implícito representa agilidade e precisão na interpretação de fundação de barragens, pilhas e cavas.

Os modelos de fundação das barragens A e B apresentaram fundações alinhadas com a realidade de campo. Os resultados mostram que mesmo em regiões com uma geologia altamente complexa a modelagem 3D implícita foi capaz de construir um modelo robusto.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Pimenta de Ávila Consultoria pelo suporte técnico oferecido.

#### REFERÊNCIAS

COWAN, E. J. et al. (2002) “*Rapid geological modelling*” in *Applied Structural Geology for Mineral Exploration and Mining, International Symposium*. Kalgoorlie, 23-25.

GONÇALVES, I. G. et al. (2017) “*A machine learning approach to the potential-field method for implicit modeling of geological structures*” in *Computers & Geosciences*, vol. 103, p 173-182.

ZONGJIE LYU. et al. (2019) “*A Comprehensive Review on Reasons for Tailings Dam Failures Based on Case History*”, in *Advances in Civil Engineering*, vol. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4159306>.