

## Poços de grande diâmetro em meio urbano, Reservatórios Nado 1 e Vilarinho 2, Belo Horizonte - Modelo geotécnico

### Large diameter deep excavations in urban environment, Nado 1 and Vilarinho 2 reservoirs, Belo Horizonte – Geotechnical model

Miriam Lopes

Engenheira Civil Geotécnica, JETsj Geotecnia Lda., Lisboa, Portugal, mlopes@jetsj.com

Nuno Braz da Silva

Coordenador de Projeto, JETsj Geotecnia Lda., Belo Horizonte, Brasil, nsilva@jetsj.com

André Henriques

Engenheiro Civil Estrutural, JETsj Geotecnia Lda., Lisboa, Portugal, ahenriques@jetsj.com

**RESUMO:** O presente artigo trata o modelo geotécnico empregue nas análises tensão-deformação das obras de escavação profunda para a execução dos reservatórios “Nado 1” e “Vilarinho 2” inseridos no sistema de controle de cheias da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. O cenário geológico nas áreas de influência dos referidos reservatórios caracteriza-se pela presença de depósitos recentes de origem antrópica, aluvionar e coluvionar que recobrem a unidade litoestatigráfica “Complexo Belo Horizonte”, composta por uma formação rochosa de gnaisse, com vários estados de alteração. Neste enquadramento foram efetuadas campanhas de sondagens, bem como de ensaios *in situ* de palheta, PMT, DMT e de permeabilidade. Foi ainda executada prospecção geofísica, em particular, ensaios do tipo *crosshole* e o levantamento de perfis MASW. Em complemento, foram executados ensaios laboratoriais de caracterização e de resistência ao corte em solos. A análise conjunta desta informação permitiu a elaboração de dois modelos geológicos e geotécnicos tridimensionais, incluindo parametrização geomecânica, que serviram de base aos projetos de ambos os reservatórios, e que serão posteriormente ajustados tendo por base a informação coletada durante a fase de obra, em particular, pelas retroanálises a desenvolver com base nos resultados do monitoramento previsto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensaios *in situ*, Ensaios de laboratório, Prospecção geofísica, Escavação profunda, Meio urbano, BIM.

**ABSTRACT:** The present work deals with the geotechnical model considered in the stress-strain analysis of the deep excavation works for the construction of the “Nado 1” and “Vilarinho 2” reservoirs inserted in Belo Horizonte’s flood control system. The geological scenario in the areas of influence of the reservoirs is characterized by the presence of recent deposits of anthropogenic, alluvial and colluvial origin that cover the “Belo Horizonte Complex” lithostatigraphic unit, composed of a gneiss rock formation, with various degrees of weathering. In this context, geotechnical investigations were carried out, including mechanical boreholes, PMT, DMT and permeability *in situ* tests. Geophysical prospecting was also carried out, namely, crosshole tests and MASW profile surveys. In addition, laboratory tests were also carried out for soil characterization as well as evaluating shear strength in soils. The joint analysis of this information allowed the creation of two three-dimensional geological and geotechnical models, including geomechanical parameterization, which served as the basis for the designs of both reservoirs, and which will be subsequently confirmed and adjusted based on the information collected during the construction phase, in particular, through the retro-analyses to be developed based on the results of the planned monitoring.

**KEYWORDS:** *In situ* geotechnical investigations, Laboratory tests, Geophysical prospecting, Deep excavation, Urban environment, BIM.

## 1 INTRODUÇÃO

No presente artigo apresenta-se o modelo geotécnico elaborado no âmbito do projeto dos reservatórios subterrâneos “Nado 1” e “Vilarinho 2” inseridos no conjunto de obras de mitigação das inundações recorrentes dos córregos Vilarinho, Nado e Ribeirão Isidoro, integrados na bacia hidrográfica do Ribeirão do Onça. A presente obra insere-se na reestruturação do sistema de escoamento e macrodrenagem da cidade de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais. Na Figura 1 e Figura 2, é possível identificar, respetivamente, a implantação dos reservatórios “Nado 1” e “Vilarinho 2”, bem como algumas das mais relevantes confrontações e condicionantes.



Figura 1. Vista aérea do local de intervenção – Reservatório “Nado 1” (imagem retirada do Google Earth, consultada a julho de 2021).



Figura 2. Vista aérea do local de intervenção – Reservatório “Vilarinho 2” (imagem retirada do Google Earth, consultada a julho de 2021).

A escavação de aproximadamente 3 500 m<sup>2</sup> e cerca de 35 m de profundidade necessária à construção de ambos os reservatórios, situada em uma área densamente povoada de Belo Horizonte, impõe um processo de dimensionamento caracterizado por uma interação solo-estrutura complexa. Diversos fatores devem ser considerados, como: a assimetria geológica, a simetria estrutural, as análises de fluxo e a estabilidade do fundo da escavação em formações permeáveis (ruptura hidráulica), o faseamento construtivo da obra e o controle da bacia de recalques na área circundante (Braz da Silva *et al*, 2022). Assim, são necessárias análises tridimensionais para obter resultados mais confiáveis, abordando adequadamente a interação solo-estrutura (Ou, 2006).

Neste enquadramento, procurando avaliar o efeito da assimetria geológica e da presença das estruturas e infraestruturas vizinhas, e, deste modo, estimar, da melhor forma possível, a variação espacial de impulsos atuantes nas paredes de contenção e, conseqüentemente, dos esforços e deformações atuantes na estrutura, procedeu-se à realização de análises de elementos finitos tridimensionais, recorrendo-se ao *software* PLAXIS 3D, simulando as principais fases construtivas. As referidas análises são descritas em (Braz da Silva *et al*, 2022) e (Henriques *et al*, 2022).

No presente artigo iremos abordar o modelo geotécnico desenvolvido com vista a alimentar corretamente a geometria e modelos constitutivos utilizados nas análises tensão deformação com vista a um correto dimensionamento da obra geotécnica e estrutural.

## 2 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

De acordo com a Carta Geológica de Belo Horizonte (folha SE.23-Z-C-V1, escala 1:100 000), ilustrada na Figura 3, e sua Nota Explicativa, desenvolvidas pelo “Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil”, a área de estudo está localizada em uma formação do período Arqueano, conhecida como “Complexo Belo Horizonte – Ab”. Esta formação é composta por gnaisses cinzentos, que frequentemente exibem bandamento composicional e características de migmatização. Na região metropolitana, esses gnaisses geralmente apresentam alto grau de intemperismo devido ao relevo arrasado, com boas exposições em pedreiras. Essas rochas frequentemente formam estruturas como cúpulas ou pães-de-açúcar, como observado na região de Ravena. Os solos dessa área variam de arenosos a argilo-arenosos róseos, sendo por vezes um saibro esbranquiçado nos estágios iniciais de meteorização (Brandalise, 1999).

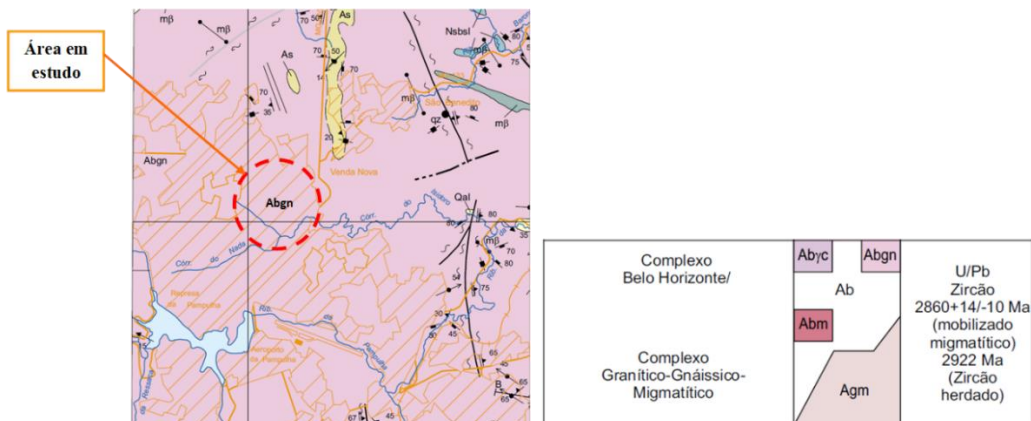


Figura 3. Extrato da Carta geológica Belo Horizonte SE.23-Z-C-V1, à escala 1:100 000 - CPRM - 2000 (Brandalise, 1999).

### 3 TRABALHOS DE PROSPECÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA REALIZADOS

Com o objetivo de identificar a natureza, espessura e estrutura geológica das formações que serão interceptadas pela escavação para a construção dos reservatórios "Nado 1" e "Vilarinho 2", bem como suas características geomecânicas, foi realizado um conjunto abrangente de trabalhos de prospecção nas áreas de interesse. Estes trabalhos incluíram prospecções mecânicas, geofísicas e ensaios *in situ*, especificamente: (14+9) sondagens percussivas e (18+18) sondagens mistas, ambas associadas a ensaios de penetração dinâmica do tipo SPT, atingindo uma profundidade de até 48m; ensaios de permeabilidade *in situ*, de infiltração em solos e de perda de água sob pressão em rocha; ensaios *in situ* de palheta (*Vane test*); ensaios *in situ* de pressômetro (PMT); ensaios *in situ* de diatômetros de Marchetti (DMT); ensaios *in situ* do tipo *Crosshole*; e o levantamento *in situ* de perfis do tipo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

Na Figura 4 e Figura 5, apresentam-se as plantas de implantação das investigações geotécnicas realizadas.

Em complemento, foi realizada uma campanha de ensaios de laboratório, incluindo a execução de ensaios de caracterização (análises granulométricas, determinação dos limites de Atterberg, avaliação da densidade específica e determinação do teor de umidade) e de ensaios de compressão triaxial do tipo adensado drenado (CID), sobre amostras indeformadas coletadas durante a furação associada às sondagens mecânicas.

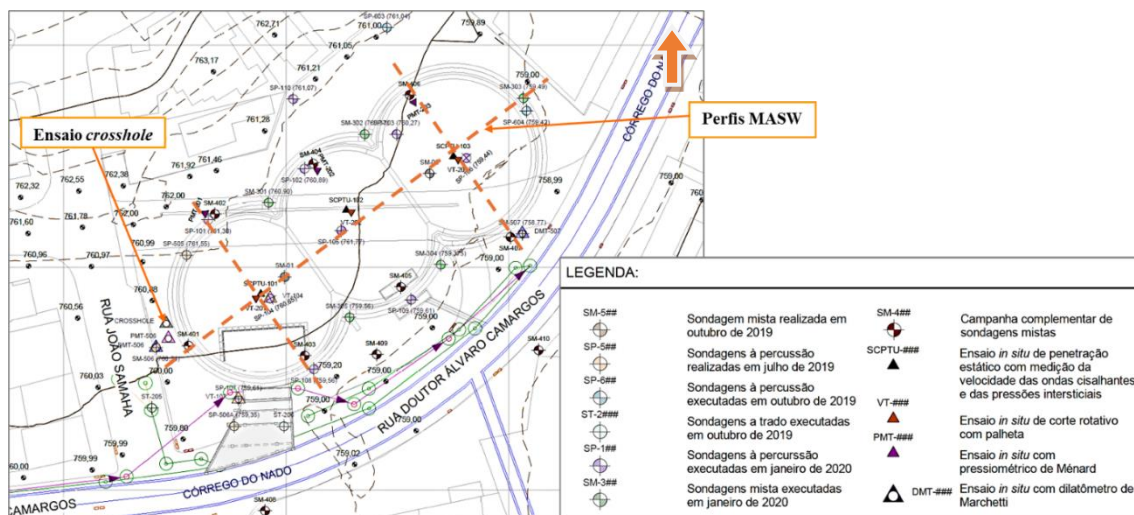


Figura 4. Planta de localização das investigações geotécnicas, na área de implantação do reservatório "Nado 1" (sem escala).

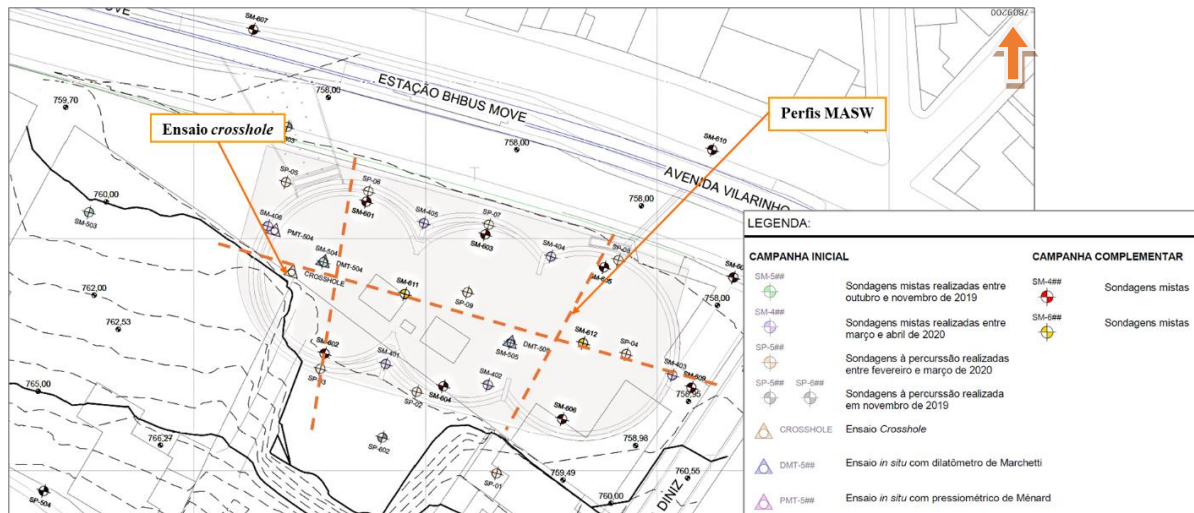


Figura 5. Planta de localização das investigações geotécnicas, na área de implantação do reservatório "Vilarinho 2" (sem escala).

## 4 MODELO GEOTÉCNICO

A análise do conjunto de informação proporcionada pelas campanhas de prospecção implementadas, convenientemente enquadrado pela consulta da carta geológica de Belo Horizonte, folha SE.23-Z-C-V1 (Brandalise, 1999), permitiu sistematizar as diferentes unidades lito-estratigráficas interferidas pelos terrenos onde se pretende proceder à implantação dos reservatórios "Nado 1" e "Vilarinho 2".

Verifica-se assim que o ambiente geológico local envolve, em geral, uma camada superficial de materiais modernos de origem antrópica, aluvionar e coluvionar, denominados como "depósitos de aterro" e "depósitos aluvionares/coluvionares" respetivamente. Subjacente a estas formações, encontra-se um substrato datado do Arqueano, representando a unidade lito-estratigráfica designada por "Complexo Belo Horizonte" (Ab), composto superficialmente por solos residuais/saprólitos que recobrem um maciço rochoso de gnaiss com um grau de alteração que varia de são a muito alterado.

### 4.1 Zonamento

Com base na análise e interpretação das informações obtidas no decorrer trabalhos de prospecção realizados nas áreas de implantação de ambos os reservatórios, foi definido um zonamento geotécnico considerando uma perspectiva uniformizadora e geotecnicamente coerente, centrada no objetivo central deste estudo: caracterizar as condições geológico-geotécnicas nos terrenos alvo de escavação e de fundação existentes nos locais de implantação dos reservatórios "Nado 1" e "Vilarinho 2".

Tal zonamento foi definido, como se referiu, com base nos resultados obtidos com os trabalhos de prospecção, na observação do local da obra e nos elementos bibliográficos existentes, ponderando todos estes dados juntamente com a tipologia das obras a construir, tendo sido individualizadas, genericamente, três zonas geotécnicas distintas, ZGA, ZGB e ZGC:

- ZGC – Depósitos recentes;
- ZGB – Solos resultantes da alteração do maciço de rochoso (gnaiss);
- ZGA – Maciço rochoso de gnaiss.

Relativamente às unidades geológicas geotécnicas adotadas, na sequência da análise dos dados disponíveis, optou-se por subdividir as unidades ZGA, ZGB e ZGC de modo a melhor adequar e otimizar as soluções desenvolvidas, constituindo-se um zonamento geológico-geotécnico, essencialmente baseado em critérios pedológicos e de resistência.

Neste sentido, subdividiu-se a unidade ZGC (depósitos recentes) em ZGC2 – depósitos de aterro e ZGC1 – depósitos aluvionares/coluvionares.

Os depósitos de aterro (ZGC2), na área de implantação do reservatório “Nado 1”, são constituídos por solos finos de consistência mole a dura, apresentando-se predominantemente como de consistência média. Na área de implantação do reservatório “Vilarinho 2”, estes materiais são constituídos por solos finos de consistência mole a rija, sendo predominantemente de consistência mole e média.

No que concerne aos depósitos de materiais aluvionares (ZGC1), verifica-se que os mesmos, na área de implantação do reservatório “Nado 1”, constituem materiais de consistência muito mole a duros, verificando-se, no entanto, tratar-se, na maior parte, de solos de consistência mole.

Relativamente à área de implantação do reservatório “Vilarinho 2”, os depósitos de material aluvionar/coluvionar, apresentam-se com uma consistência classificada como muito mole a muito rija, verificando-se, no entanto, tratar-se na maior parte de solos de consistência mole.

Os solos resultantes dos processos de alteração/meteorização do gnaiss subjacente, em ambas as áreas prospectadas, são constituídos por solos fofos a muito compactos, revelando-se predominantemente compactos, deste modo, a unidade ZGB (solos resultantes da alteração do maciço de rochoso) foi subdividida, em função do valor de  $N_{SPT}$ , em três zonas distintas. Nomeadamente, ZGB3 que aglomera o conjunto de solos em que foram detectados valores de  $N_{SPT}$  inferior ou igual a 30 golpes; ZGB2 a que correspondem os materiais em que os valores registados de  $N_{SPT}$  são superiores a 30 golpes, mas inferiores a 60 golpes; e ZGB1 a que correspondem os materiais para os quais ainda foram realizados ensaios de penetração dinâmica, mas para os quais foi atingida a nega (penetração inferior a 15cm para 60 golpes).

Os gnaisses identificados no local (ZGA), foram também subdivididos, respetivamente em ZGA2 e ZGA1, em função do grau de alteração. Assim sendo, ZGA2 corresponde aos gnaisses muito alterados (A4/C4) e ZGA1 aos gnaisses moderadamente alterados (A3/C3) a são (A1/C1).

Deste modo, no zonamento considerado, distinguiram-se um total de 7 zonas geotécnicas (ZGC2, ZGC1, ZGB3, ZGB2, ZGB1, ZGA2 e ZGA1) separando neste zonamento os diferentes complexos lito-estratigráficos atravessados pela obra e algumas subunidades individualizadas em função de distintas características mecânicas. A Tabela 1 resume o zonamento geológico-geotécnico considerado.

Tabela 1. Tabela síntese do zonamento geotécnico

I.D.	Descrição	Litologia
ZGC.2	Depósitos de aterro	Argilas areno-siltosas por vezes com fragmentos líticos
ZGC.1	Depósitos aluvionares/coluvionares	Argilas, por vezes com matéria orgânica, argilas arenosas, argilas siltosas, siltes arenosos, siltes argilo-arenosas e areias
ZGB.3	Solos de alteração ( $N_{SPT} \leq 30$ )	Siltes arenosos, siltes argilosos e areias com argila e silte
ZGB.2	Solos de alteração ( $30 < N_{SPT} < 60$ )	Siltes arenosos e siltes arenosos com argila
ZGB.1	Solos de alteração ( $N_{SPT} \geq 60$ ) / Gnaiss (A5/C5)	siltes arenosos, areias siltosas e areias médias a grossas
ZGA.2	Gnaiss (A4/C4)	Maciço rochoso muito alterado
ZGA.1	Gnaiss (A3/C3) a (A1/C1)	Maciço rochoso são a moderadamente alterado

## 4.2 Parametriação geomecânica

### 4.2.1 Resistência

No que concerne à caracterização da resistência dos materiais interessados, procurou-se definir, para solos, envoltórias de resistência tendo por base os critérios de rotura de Mohr-coulomb e de Tresca. Para rochas recorreu-se a envoltórias de resistência definidas tendo por base o critério de rotura de Hoek-Brown.

As envoltórias de ruptura definidas em tensões totais, através do critério de ruptura de Tresca, caracterizado pela grandeza resistência não drenada,  $S_u$ , para ZGC1 e ZGC2, foram estimadas através dos resultados dos ensaios *in situ* de palheta, devidamente afetados pelo coeficiente de correção proposto por Bjerrum (1973) (Briaud, 2013), e a partir de correlações empíricas baseadas nos ensaios de penetração dinâmica (SPT), considerando a correlação  $5 = [S_u/N_{60}]$ , correspondente ao valor médio proposto ( $4 \text{ a } 6 [S_u/N_{60}]$ ) por Stroud (1998) (Schnaid, 2012), respetivamente.

No que concerne às envoltórias de rotura de Mohr-Coulomb, em tensões efetivas, definidas pelo conjunto de parâmetros: ângulo de atrito interno,  $\phi'$ , e coesão efetiva,  $c'$ , elas foram definidas tendo por base os resultados dos ensaios triaxiais bem como de informações presentes na literatura e de correlações baseadas nos ensaios de penetração dinâmica (SPT), em particular, propostas por Kulhawy & Mayne (1990), Hutanaka & Uchida (1996), Wolff (1989) e Teixeira (1996) (Schnaid, 2012; Kulhawy *et al.*, 1990).

#### 4.2.2 Rigidez

A estimativa dos valores do módulo de distorção inicial (na gama das muito pequenas deformações), partiu dos valores de velocidade de ondas cisalhantes aferidos por métodos geofísicos, em particular, tendo por base os resultados dos ensaios *crosshole* e levantamento de perfis MASW.

Os valores dos módulos de deformabilidade secante ( $E'$ ) e de compressão unidimensional ( $E_{oed}$ ), para as zonas ZGB e ZGC, foram estimados com base nos resultados dos ensaios *in situ* realizados com pressômetro de Ménard (PMT) e dilatômetro de Marchetti (DMT). Por outro lado, o módulo de deformabilidade secante do maciço rochoso para a zona geotécnica ZGA foi estimado com base em informações encontradas na literatura.

#### 4.2.1 Estado de tensão *in situ*

Os valores do coeficiente de empuxo em repouso ( $K_0$ ) e razão de pré-adensamento (OCR) foram estimadas, para os depósitos recentes (ZGC), através de correlações tendo por base os resultados dos ensaios de dilatômetro de Marchetti (DMT).

Para a definição do estado de tensão inicial das camadas resultantes da alteração do maciço de gnaiss (ZGB) considerou-se, a equação 1 proposta por Jaky.

$$K_0 = 1 - \text{sen}(\phi') \quad (1)$$

Relativamente aos materiais de natureza rochosa, a estimativa do coeficiente de empuxo em repouso foi realizada, recorrendo à expressão apresentada na equação 2, baseada na teoria da elasticidade, em que  $\nu$ , corresponde ao coeficiente de poisson.

$$K_0 = \nu / (1 - \nu) \quad (2)$$

#### 4.2.1 Permeabilidade

Na generalidade das zonas geotécnicas, com exceção de ZGC1 e ZGC2, a que correspondem, respetivamente, depósitos recentes de de origem sedimentar e antrópica, foi adoptada permeabilidade isotrópica. Para ZGC1 e ZGC2 foi adoptada uma relação de permeabilidade horizontal para vertical de dois. Os valores de permeabilidade horizontal estimados representam as médias dos valores obtidos nos ensaios de permeabilidade *in situ*, de infiltração em solos e de perda de água sob pressão em rocha.

Na Tabela 2 e Tabela 3, apresenta-se a síntese da parametrização geomecânica para rochas e solos respetivamente.

Tabela 2. Síntese de parametrização geomecânica para rochas

I.D.	Envoltória de rotura									Deformabilidade			Estado de	Parâmetros hidráulicos	
	Hoek-Brown												tensão <i>in</i>		
	$\gamma_d$	$\gamma_{sat}$	$\sigma_{ci}$	GSI	$m_i$	D	$m_b$	s	a	$E_i$	$E'$	$\nu$	$K_0$	kx	ky
[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[Mpa]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[cm/s]	[cm/s]	
ZGA.2	24	25	160	25	28	0	1,923	0,00024	0,53127	42000	2753	0,22	0,28	$2,81 \times 10^{-3}$	$2,81 \times 10^{-3}$
ZGA.1	26	27	160	37	28	0	2,951	0,00091	0,51393	42000	5979	0,22	0,28	$5,03 \times 10^{-3}$	$5,03 \times 10^{-3}$

Tabela 3. Síntese de parametrização geomecânica para solos

I.D.	γ		Mohr-Coulomb		Envoltória de rotura		Deformabilidade					Estado de tensão <i>in situ</i>		Parâmetros hidráulicos	
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	φ' [°]	c' [kPa]	S <sub>u</sub> [kPa]	S <sub>u,r</sub> [kPa]	E' [MPa]	E <sub>oed</sub> [MPa]	ν [-]	V <sub>s</sub> [m/s]	G <sub>0</sub> [MPa]	K <sub>0</sub> [-]	OCR [-]	k <sub>x</sub> [cm/s]	k <sub>y</sub> [cm/s]
ZGC.2	17	18	27	0	37,6	-	14	17,5	0,20	211	76	1	-	1,96x10 <sup>-5</sup>	9,82 x10 <sup>-6</sup>
ZGC.1	16	17	30	0	60	25	12,5	15,6	0,30	228	83	1	2 a 3	3,66 x10 <sup>-5</sup>	1,83 x10 <sup>-5</sup>
ZGB.3	18	19	31	0	-	-	54	70,9	0,30	279	140	0,48	-	3,28 x10 <sup>-5</sup>	3,28 x10 <sup>-5</sup>
ZGB.2	20	21	34	0	-	-	96	120	0,30	579	670	0,44	-	4,08 x10 <sup>-5</sup>	4,08 x10 <sup>-5</sup>
ZGB.1	21	22	39	0	-	-	1056	-	0,30	597	748	0,37	-	6,13 x10 <sup>-4</sup>	6,13 x10 <sup>-4</sup>

### 3 MODELAÇÃO GEOMÉTRICA TRIDIMENSIONAL

Para uma avaliação mais precisa dos materiais a interseção pelas paredes moldadas, assim como para determinar os volumes de escavação desses materiais e a posição do nível freático, optou-se por realizar uma modelagem tridimensional da estrutura geológica.

Essa modelagem foi desenvolvida utilizando a ferramenta de Estratigrafia do *software* GEO5, partindo das informações fornecidas pelo extenso plano de prospecção executado. A metodologia inclui a introdução de diversos dados de ensaios de campo pontuais (como sondagens, poços, CPT, DPT, SPT, DMT e PMT), que representam pontos de transição entre diferentes formações geológicas, juntamente com dados do levantamento topográfico. Isso permite interpretar e gerar um modelo geológico composto por superfícies de transição entre as várias formações que compõem o terreno na área dos reservatórios (ver Figura 6). A elaboração desse modelo é realizada de maneira iterativa, envolvendo a interpretação e análise contínuas do modelo obtido até que este apresente resultados confiáveis em conformidade com a interpretação do contexto geotécnico.

Toda esta informação foi colocada no programa através da georreferenciação com coordenadas X, Y e Z, por forma a possibilitar a exportação posterior para os programas de modelação numérica e geométrica da estrutura através do formato universal IFC (Figura 7). Neste âmbito, importa destacar que o projeto de ambos os reservatórios foi desenvolvido em ambiente BIM contemplando a integração geotécnica e estrutural a partir da interpolação dos modelos geológicos definidos no GEO5, a definição geométrica da obra em REVIT e a modelagem do aço em TEKLA. A descrição da metodologia BIM aplicada no presente Projeto encontra-se descrita em detalhe em (Henriques *et al*, 2024).

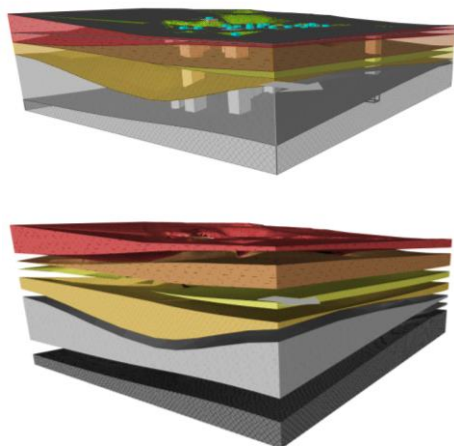


Figura 6. Modelo geológico tridimensional gerado pelo GEO5 após a inserção dos dados dos ensaios geotécnicos.

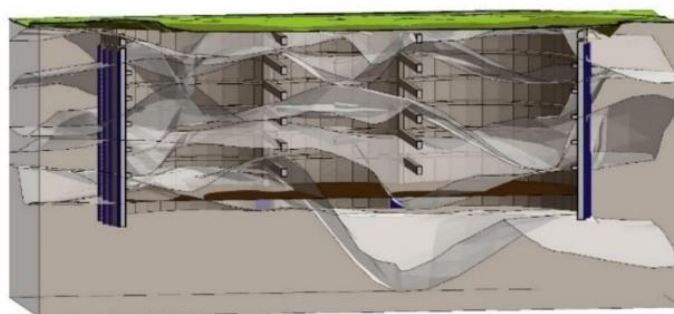


Figura 7. Interfaces entre unidades geotécnicas realizadas no GEO5 e exportadas para o modelo geométrico REVIT em formato IFC.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo abordou o modelo geotécnico elaborado no âmbito do projeto estrutural e geotécnico de dois reservatórios subterrâneos com cerca de 35 m de profundidade inseridos no sistema de controle de cheias da cidade de Belo Horizonte, no Brasil

No zonamento considerado, distinguiram-se um total de 7 zonas geotécnicas (ZGC2, ZGC1, ZGB3, ZGB2, ZGB1, ZGA2 e ZGA1) separando neste zonamento os diferentes complexos lito-estratigráficos atravessados pela obra e algumas subunidades individualizadas em função de distintas características mecânicas.

As características mecânicas das subzonas foram estimadas essencialmente a partir da observação dos boletins de sondagem e respectivas fotografias, bem como dos resultados dos ensaios *in situ*, dos testemunhos das sondagens e da sua classificação em termos de estados de alteração, espaçamento da fraturação, das percentagens de recuperação e RQD.

Os modelos geológico-geotécnicos realizados bem como a sua integração (de uma forma iterativa) com os modelos numéricos e geométricos permitiram tirar partido de uma melhor visualização e de uma análise mais completa dos dados geotécnicos, conduzindo a uma correta simulação da interação solo-estrutura e, conseqüentemente, a soluções mais realistas e otimizadas.

À data de redação do presente artigo, os trabalhos de escavação estão ainda numa fase inicial, não existindo, como tal, informação suficiente que permita validar os modelos geotécnicos apresentados neste momento. Esta validação será posteriormente realizada comparando os resultados da monitoramento com as estimativas do comportamento da escavação obtidas nos modelos numéricos de cálculo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à SUDECAP e ao consórcio CME a autorização para a publicação do presente artigo e a colaboração e disponibilidade no envio dos dados necessários para a elaboração do documento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brandalise, Luíz Alberto. Folha SE.23-Z-C-VI. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100 000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Belo Horizonte. Brasília: s.n., 1999.
- Braz da Silva, N., Lopes, M., Henriques, A. (2022) Execução de poços de grande diâmetro em meio urbano Reservatórios “Nado 1” e “Vilarinho 2”, em Belo Horizonte, Minas Gerais. In: ANAIS DO XX COBRAMSEG, 2022, Campinas. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2022. Disponível em: <<https://proceedings.science/cobramseg-2022/trabalhos/execucao-de-pocos-de-grande-diametro-em-meio-urbano-reservatorios-nado-1-e-vilar>?lang=pt-br> Acesso em: 14 Abr. 2024.
- Briaud, Jean Louis. Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2013. ISBN: 978-0-470-94856-9.
- Henriques, A., Silva, N., Lopes, M., (2024) Uso da metodologia BIM em projetos geotécnicos. Caso de estudo: Construção de reservatórios enterrados. In: 5º Congresso Português de Building Information Modelling, 2024, Lisboa. Atas da conferência.
- Henriques, A., Silva, N., Lopes, M., (2022) Reservatórios de grande diâmetro e profundidade em meio urbano, Brasil. In: 6as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estrutura, 2022, Lisboa. Atas da conferência.
- Schnaid, Fernando e Odebrecht, Edgar. Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações, 2ª edição. São Paulo: Oficina de textos, 2012. ISBN: 978-85-7975-059-5.
- Kulhawy, F H, and Mayne. Manual on estimating soil properties for foundation design. Ithaca, Nova Iorque: s.n., 1990.
- Ou, C.-Y. (2006). *Deep Excavation: Theory and Practice*, 1st ed., CRC Press. Londres.