

REQUERENTE: ASSOCIAÇÃO HAGADÁ



TIKVA MUSEU JUDAICO

AV. DA ÍNDIA

**Projecto de Licenciamento - Arquitetura**

**Anexo III: Estudo Hidrogeológico**



THE GROUND IS OUR CHALLENGE

## MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

CLIENTE: ASSOCIAÇÃO HAGADÁ

PROJECTO: TIKVA MUSEU JUDAICO DE LISBOA  
BELÉM, LISBOA

ESPECIALIDADE: ESTUDO HIDROGEOLÓGICO





## HISTÓRICO DO DOCUMENTO

Revisão <b>0</b>	Data 15/03/2022	Descrição	Emissão do Estudo hidrogeológico	Elaborou	ML
		Ficheiro	243.19_EHG_MD_0.T1.docx	Reviu	AL
Revisão	Data	Descrição		Validou	AL
		Ficheiro		Elaborou	Reviu
Revisão	Data	Descrição		Validou	
		Ficheiro		Elaborou	Reviu
Revisão	Data	Descrição		Validou	
		Ficheiro		Elaborou	Reviu
Revisão	Data	Descrição		Validou	
		Ficheiro		Elaborou	Reviu
Revisão	Data	Descrição		Validou	
		Ficheiro		Elaborou	Reviu

---

Página deixada em branco intencionalmente

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Vista aérea do local de intervenção (imagem retirada do Google Earth).....	1
Figura 2 - Planta do município de Lisboa, escala indeterminada (Fonte: <a href="https://websig.cm-lisboa.pt">https://websig.cm-lisboa.pt</a> , consultado a 09-03-2022).....	4
Figura 3 - Enquadramento topográfico da área em estudo (perfil N-S) .....	5
Figura 4 - Enquadramento topográfico da área em estudo (perfil W-E) .....	5
Figura 5 - Planta de implantação do futuro Museu Judaico, escala indeterminada (adaptado de [4]).....	6
Figura 6 - Planta de Ordenamento - Planta de Riscos Naturais e Antrópicos I, escala indeterminada (Fonte: <a href="https://websig.cm-lisboa.pt">https://websig.cm-lisboa.pt</a> , consultado a 09-03-2022).....	7
Figura 7 - Localização dos furos de sondagem, sobre vista aérea da área em estudo (adaptado de Google Earth – excerto sem escala) [2].....	8
Figura 8 - Enquadramento geológico do local em estudo (excerto da Carta Geológica de Portugal, Folha 34D - Lisboa, à escala original.1:50 000), escala indeterminada. (adaptado de [2]).....	9
Figura 9 - Geometria e malha de elementos finitos do modelo tridimensional de cálculo (PLAXIS 3D).....	18
Figura 10 - Geometria do modelo tridimensional de cálculo (PLAXIS 3D) - Secção N-S .....	18
Figura 11 - Geometria do modelo tridimensional de cálculo (PLAXIS 3D) - Secção W-E .....	19
Figura 12 - Identificação das secções no modelo de cálculo (PLAXIS 3D).....	21
Figura 13 - Cenário 0 – Linhas de trajetória do escoamento – Secção A-A* – Fase de referência (PLAXIS 3D).....	21
Figura 14 - Cenário 0 – Linhas de trajetória do escoamento – Secção A*-A – Construção do piso enterrado (PLAXIS 3D).....	22
Figura 15 - Cenário 0 – Caudal – Secção A*-A – Fase de referência (PLAXIS 3D) .....	22
Figura 16 - Cenário 0 - Caudal – Secção A*-A – Construção do piso enterrado (PLAXIS 3D).....	23
Figura 17 - Cenário 1 – Linhas de trajetória do escoamento – Secção A-A* – Fase de referência (PLAXIS 3D).....	23
Figura 18 - Cenário 1 – Linhas de trajetória do escoamento – Secção A-A* – Construção do piso enterrado (PLAXIS 3D).....	24

Figura 19 - Cenário 1 – Caudal – Secção A-A* – Fase de referência (PLAXIS 3D) .....	24
Figura 20 - Cenário 1 - Caudal – Secção A-A* – Construção do piso enterrado (PLAXIS 3D).....	25
Figura 21 - Cenário 2 – Linhas de trajetória do escoamento – Secção A-A* – Fase de referência (PLAXIS 3D).....	25
Figura 22 - Cenário 2 – Linhas de trajetória do escoamento – Secção A-A* – Construção do piso enterrado (PLAXIS 3D).....	26
Figura 23 - Cenário 2 – Caudal – Secção A-A* – Fase de referência (PLAXIS 3D) .....	26
Figura 24 - Cenário 2 - Caudal – Secção A-A* – Construção do piso enterrado (PLAXIS 3D).....	27

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Coluna Litoestratigráfica local [2] .....	9
Tabela 2 – Parâmetros geomecânicos das zonas geotécnicas, propostos pelo Estudo geológico-geotécnico [2]. .....	12
Tabela 3 - Leituras realizadas nos piezómetros [2] .....	14
Tabela 4 - Ensaios de permeabilidade Lefranc [2].....	15
Tabela 5 - Resultados obtidos de condutividade hidráulica (k), em cm/s, nas diferentes formulações utilizadas [2] .....	16
Tabela 6 - Valores típicos de coeficientes de permeabilidade em solos [6] .....	19
Tabela 7 – Parâmetros hidráulicos considerados no modelo numérico de cálculo [2]. .....	20
Tabela 8 – Cenários de cálculo considerados. ....	20

## ÍNDICE GERAL

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	ELEMENTOS BASE.....	3
3.	INTERVENÇÃO PROPOSTA.....	4
3.1	LOCALIZAÇÃO .....	4
3.2	TOPOGRAFIA .....	4
3.3	CONCEÇÃO ARQUITETÓNICA .....	6
4.	ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR E URBANÍSTICO .....	6
5.	ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO .....	7
5.1	TRABALHOS DE PROSPEÇÃO REALIZADOS.....	7
5.2	GEOLOGIA .....	8
5.3	ZONAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO.....	12
6.	MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO .....	12
6.1	ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....	12
6.2	SISTEMAS AQUÍFEROS E UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	13
6.3	NIVÉIS DE ÁGUA .....	14
6.3.1	Área prospetada.....	14
6.3.2	Rio Tejo .....	15
6.4	PROPRIEDADES HIDRÁULICAS .....	15
7.	MODELO DE CÁLCULO.....	17
7.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	17
7.2	GEOMETRIA DO MODELO .....	17
7.3	PARAMETRIZAÇÃO HIDRÁULICA.....	19
7.4	CENÁRIOS DE CÁLCULO.....	20
8.	APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS .....	21
9.	ANÁLISE DE RISCO DE INUNDAÇÃO.....	28
10.	RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS.....	29
10.1	ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA .....	29
10.2	FUNDAÇÕES .....	29
10.3	DRENAGEM .....	30
10.4	PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO .....	30



---

11.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
12.	EQUIPA PROJETISTA .....	33

## 1. INTRODUÇÃO

Refere-se o presente documento à Memória Descritiva e Justificativa do Estudo hidrogeológico desenvolvido no âmbito dos trabalhos abrangidos pela prestação de serviços “TIKVA Museu Judaico de Lisboa – Estudo hidrogeológico”, adjudicada pela “Associação Hagadá” à “JETsj Geotecnia, Lda.”.

O presente estudo concerne a construção do futuro TIKVA Museu Judaico, na Rua das Hortas, em Belém, Lisboa. Na vista aérea apresentada na Figura 1, é possível identificar o local onde se prevê implantar a estrutura do novo museu, bem como algumas das mais relevantes confrontações e condicionamentos.



Figura 1 – Vista aérea do local de intervenção (imagem retirada do Google Earth).

A conceção arquitetónica do referido museu prevê a execução de um piso enterrado com uma escavação que poderá atingir a cota aproximada de -1,00m, correspondente à cota de execução dos elementos de fundação.

Este empreendimento, a desenvolver na margem direita do rio Tejo, localiza-se, segundo o Plano diretor municipal (PDM) de Lisboa, sujeita aos regimes de salvaguarda relativos às seguintes componentes fundamentais:

- i. Sistema Húmido (Art. 13º do RPDM);
- ii. Suscetibilidade ao efeito de Maré Direto (Art. 22º do RPDM);

- iii. Vulnerabilidade às Inundações – Muito elevada na quase totalidade da parcela e moderada na faixa sul, junto à Av. da Índia (Art. 22º do RPDM).

Como tal, qualquer ambição relativa à criação de novas estruturas, carece de uma apreciação prévia do risco associado ao impacto da obra no regime de escoamento hidrogeológico local, por forma a avaliar a existência das adequadas condições de segurança face à ocupação pretendida.

Neste enquadramento, o presente estudo visa a apresentação desta análise, necessária a futuras intervenções de responsabilidade da Associação Hagadá.

O presente documento encontra-se organizado em 12 capítulos, o primeiro dos quais é constituído pela presente Introdução. No capítulo 2, lista-se os elementos que serviram de base ao presente trabalho. No capítulo 3, descreve-se a intervenção proposta para concretização do futuro TIKVA Museu Judaico. Nos capítulos 4 e 5, descreve-se, respetivamente, o enquadramento regulamentar e geológico. No capítulo 6, apresenta-se o modelo hidrogeológico conceptual, precursor e base essencial do modelo numérico descrito no capítulo 7, cujos resultados integram o capítulo 8. No capítulo 9, tecem-se considerações relativas ao risco de inundação. O capítulo 10 constitui uma lista das recomendações construtivas a implementar, ao nível dos projetos de fundações, escavação e contenção periférica e drenagem. O capítulo 11 sintetiza as considerações finais do presente trabalho. Por fim, no capítulo 12, apresenta-se a constituição da equipa técnica responsável pela elaboração do presente documento.

## 2. ELEMENTOS BASE

Os elementos de base que serviram de apoio ao desenvolvimento do presente estudo foram os fornecidos pelo Cliente, nomeadamente os que se referem seguidamente:

- [1] Peça desenhada nº 01 do Levantamento topográfico do “TIKVA Museu Judaico de Lisboa, Rua da Praia de Pedrouços, Belém – Lisboa”, da autoria de Paulo Veloso (sem data);
- [2] Memória Descritiva e Justificativa do Estudo Geológico-Geotécnico e Hidrogeológico intitulado “TIKVA – Associação Hagadá, Museu Judaico, Belém – Lisboa”, desenvolvido pela empresa “GEOCONTROLE - Geotecnia e Estruturas de Fundação, S.A.”, datado de janeiro de 2022;
- [3] Peças desenhadas, desenvolvidas a nível de Estudo prévio, do Projeto de Estabilidade do TIKVA Museu Judaico de Lisboa, da autoria da empresa “JSJ - Consultoria e Projectos de Engenharia, Lda.” (sem data);
- [4] Peças desenhadas, desenvolvidas a nível de Estudo prévio, do Projeto de Arquitetura do TIKVA Museu Judaico de Lisboa, da autoria da empresa “Studio Libeskind” (sem data);
- [5] Informação nº 47472/INF/DMURB\_DepLPE\_DivPE/GESTURBE/2020, *Direito à Informação – Enquadramento Urbanístico*, da autoria da Divisão de Projetos de Edifícios, do Departamento de Licenciamento de Projetos Estruturantes, da Direção Municipal de Urbanismo, da Câmara Municipal de Lisboa, datado de novembro de 2020.

Adicionalmente, foi ainda consultada a seguinte bibliografia de referência:

- [6] Kulhawy, F H, and Mayne. *Manual on estimating soil properties for foundation design*. Ithaca, Nova Iorque : s.n., 1990;
- [7] Tabela de marés, Porto de Lisboa, Marinha, Instituto Hidrográfico, 2021;
- [8] Pinto, C., *Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Concelho de Lisboa – Zona Ocidental*. Relatório de estágio profissionalizante. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2003.

### 3. INTERVENÇÃO PROPOSTA

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO

O futuro TIKVA Museu Judaico, localizar-se-á na Rua das Hortas, em Belém, Lisboa.

Apresenta-se, na Figura 2, o mapa do Município de Lisboa com a localização da área de intervenção.



Figura 2 - Planta do município de Lisboa, escala indeterminada (Fonte: <https://websig.cm-lisboa.pt>, consultado a 09-03-2022)

#### 3.2 TOPOGRAFIA

O terreno em estudo, de forma grosseiramente retangular, localiza-se na zona ribeirinha de Lisboa, inserida na base de uma encosta, com pendente N-S, conforme ilustrado na Figura 3.

Na Figura 4, apresenta-se o perfil topográfico com orientação W-E.

A superfície do terreno, na área de interesse, localiza-se à cota aproximada +3,00 m.



Figura 3 - Enquadramento topográfico da área em estudo (perfil N-S)



Figura 4 - Enquadramento topográfico da área em estudo (perfil W-E)

### 3.3 CONCEÇÃO ARQUITETÓNICA

A conceção arquitetónica do edifício a construir, cujo Projeto é da autoria da empresa “Studio Libeskind”, prevê um edifício com uma forma irregular em planta, com uma área de implantação de cerca de 1932 m<sup>2</sup>, inserido num lote de aproximadamente 5480 m<sup>2</sup>.

O edifício apresentará 3 pisos elevados e 1 piso enterrado. A execução do piso enterrado, implicará uma escavação que poderá atingir a cota aproximada de -1,00m.

Na Figura 5 é possível identificar a implantação do edifício.

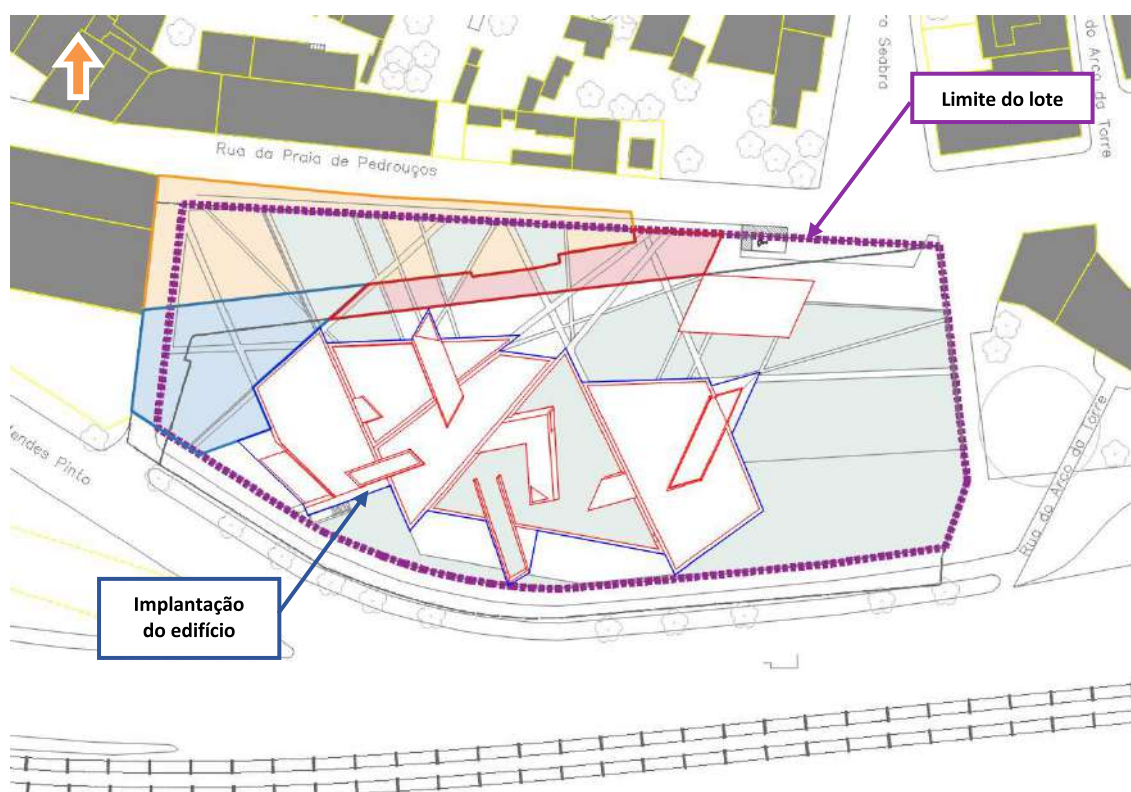


Figura 5 - Planta de implantação do futuro Museu Judaico, escala indeterminada (adaptado de [4])

## 4. ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR E URBANÍSTICO

O Plano Diretor Municipal de Lisboa (PDM) identifica a zona em estudo com vulnerabilidade muito elevada às inundações na quase totalidade da parcela e moderada na faixa sul, junto da Av. da Índia (Art.º 22º do RPDM) e com suscetibilidade a efeito de maré direto (Art.º 22º do RPDM) [5], conforme evidenciado na Figura 6.

A existência destes riscos associados no local da obra pressupõe uma caracterização detalhada dos sistemas hidrogeológicos ocorrentes a fim de estabelecer um modelo conceptual hidrogeológico que serve de base ao desenvolvimento de um modelo numérico representativo para simular e prever a resposta nas fases de obra e de exploração.



Figura 6 - Planta de Ordenamento - Planta de Riscos Naturais e Antrópicos I, escala indeterminada (Fonte: <https://websig.cm-lisboa.pt>, consultado a 09-03-2022)

## 5. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

### 5.1 TRABALHOS DE PROSPEÇÃO REALIZADOS

Na prossecução dos objetivos desta intervenção, visando a caracterização do dispositivo geológico-geotécnico dos terrenos da área de estudo, foi implementado, pela empresa “GEOCONTROLE – Geotecnia e Estruturas de Fundação S.A.”, um programa de prospeção geológico-geotécnica, envolvendo a realização de seis (6), sondagens geotécnicas, acompanhadas de ensaios SPT. Foram selecionados quatro (4), furos de sondagem para a instalação de piezómetros hidráulicos de circuito aberto. Os piezómetros permitiram ainda realizar ensaios *Slug*.

Na Figura 7, apresenta-se a localização dos furos de sondagem realizados.

Dos testemunhos das sondagens foi selecionado um conjunto de três (3), amostras remexidas, que foi sujeito a tratamento laboratorial, nomeadamente ensaios de identificação.

Foram ainda realizados ensaios de permeabilidade do tipo *Lefranc*, nomeadamente nos níveis de tufos vulcânicos.





*Figura 7 - Localização dos furos de sondagem, sobre vista aérea da área em estudo (adaptado de Google Earth – excerto sem escala) [2]*

A descrição detalhada do conjunto de trabalhos realizados e a metodologia que presidiu à sua execução, bem como os resultados obtidos, são apresentados na Memória descritiva e justificativa do Estudo Geológico-Geotécnico [2].

## 5.2 GEOLOGIA

A área em estudo encontra-se caracterizada sob o ponto de vista da geologia, na folha 34-D LISBOA da Carta Geológica de Portugal (escala 1:50 000), editada pela Unidade de Geologia, Hidrogeologia e Geologia Costeira, do Laboratório Nacional de Energia e Geologia - LNEG, cujo extrato se apresenta na Figura 8.

De acordo com a Memória descritiva e justificativa do Estudo Geológico-Geotécnico [2], o dispositivo geológico interessado pelas sondagens assinala a ocorrência de substrato atribuído ao Cretácico Superior, representado pelo Complexo Vulcânico de Lisboa ( $\beta_1$ ), a que se sucede, ainda datado do Cretácico Superior, a formação de Calcários de Bica ( $C^2_{Bi}$ ). À superfície, estabelecem-se depósitos de aterro (At) de gênese contemporânea, com geometria irregular, a que se sucedem depósitos aluvionares (a), fundamentalmente granulares.

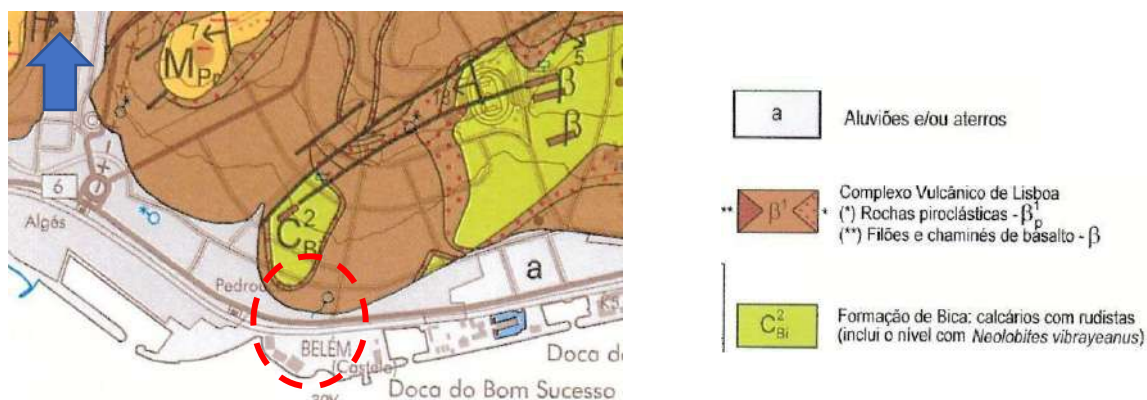


Figura 8 - Enquadramento geológico do local em estudo (excerto da Carta Geológica de Portugal, Folha 34D - Lisboa, à escala original.1:50 000), escala indeterminada. (adaptado de [2])

Tabela 1 - Coluna Litoestratigráfica local [2]

ESTRATIGRAFIA	Símbolo	FORMAÇÃO	LITOLOGIA
RECENTE	At	Depósitos de Aterro	Depósitos de Aterro heterogéneos (areno-silto-argilosos), algo pedregosos, castanhos e cinzentos. Por vezes ocorrem intensamente pedregosos envolvidos em matriz areno-siltosa, castanha e/ou cinzenta
	a	Depósitos aluvionares	Areia de grão fino a médio algo siltosa, castanha e/ou cinzenta
CRETÁCICO SUPERIOR	$\beta^1$	Complexo Vulcânico de Lisboa	Tufos vulcânicos profundamente decompostos debitando-se em solos residuais areno-silto-argilosos, avermelhados e/ou castanho-avermelhados
	$C^2_{Bi}$	Calcários de Bica: calcários com rudistas	Calcário, algoossilífero, com ligeiros sintomas de carsificação, cinzento e/ou esbranquiçado. As fraturas por vezes ocorrem com preenchimentos argilo-siltosos, castanhos

Superficialmente, foram reconhecidos e investigados **depósitos de aterro (At)**, com espessuras a variar entre os 2,40 e os 4,70m, respetivamente para as sondagens S2 e S4. Tratam-se de aterros fundamentalmente

areno-siltosos, por vezes mais heterogéneos (areno-silto-argilosos), sempre com componente pedregosa associada. Nas sondagens S4 e S5 ocorrem intensamente pedregosos, envoltos em matriz areno-siltosa, com tonalidades características castanhas, por vezes algo acinzentadas.

Foram caracterizados em termos de capacidade de carga, tendo-se registado valores com uma enorme amplitude,  $1 \leq N_{SPT} \leq 30$  pancadas, tratando-se seguramente de aterros não controlados. Estes materiais incluem-se no âmbito dos solos muito soltos a compactos. Os valores mais elevados, que se registaram, foram seguramente obtidos na presença, por vezes intensa, de materiais pedregosos, que se certa forma deturpam a real resistência mecânica deste horizonte geológico. Nestas condições podem-se referir as áreas envolventes à sondagem S4 e S5, como já foi referido.

O processamento laboratorial da amostra proveniente dos horizontes superficiais de depósitos de aterro, colhida da sondagem S6, e considerada representativa desta unidade geológica, permitiu identificar estes materiais na classe (SC - SM) da classificação Unificada e no grupo A-2-4(0) da classificação Rodoviária AASHTO. Determinaram-se percentagens em peso passadas no peneiro #200 ASTM (<0,074 mm) de 21%. O índice de plasticidade, IP, é de 6%, tratando-se, portanto, de solos com plasticidade baixa.

Subjacente aos aterros estabelecem-se **depósitos aluvionares (a)**, dependentes, naturalmente, da bacia sedimentar do Rio Tejo. Exibem componente granular mais desenvolvida, predominantemente de granulometria fina a média, por vezes com grão mais grosseiro.

Estendem-se ao âmbito dos siltes, tratando-se, portanto, de areias siltosas. Registaram-se espessuras a variar entre 1,50 e 2,50m, nas sondagens S3 e S6, respetivamente, estando estes materiais associados a valores de  $N_{SPT}$  a variar entre 4 e 31 pancadas, tratando-se de solos soltos a compactos, contudo pode-se afirmar que predominam valores de 4 a 7 pancadas, inserindo-se no domínio dos solos soltos. Verticalmente desenvolvem-se até profundidades que variam de 4,30 a 5,30m, respetivamente para as sondagens S3 e S6. Nas restantes sondagens não foram reconhecidos depósitos aluvionares.

O processamento laboratorial da amostra proveniente dos horizontes aluvionares, colhida dos testemunhos da sondagem S6, permitiu identificar estes materiais na classe SM da classificação Unificada e no grupo A-2-4(0) da classificação Rodoviária AASHTO. Determinaram-se percentagens em peso passadas no peneiro #200 ASTM (<0,074 mm) de 18%. O índice de plasticidade, IP, é nulo, tratando-se, portanto, de solos não plásticos.

Em profundidade, e de certa forma até incipiente, dada a proximidade com o contacto com os Calcários de Bica, a presente campanha permitiu reconhecer e investigar substrato vulcânico, representado pelo **Complexo Vulcânico de Lisboa (CVL)**, datado do cretácico superior ( $\beta_1$ ).

Foram reconhecidos nas sondagens S1 e S6, dos 4,20 a 6,30m e dos 5,30 aos 6,70m, respetivamente. Trata-se sobretudo de tufos vulcânicos profundamente decompostos deitando-se em solos residuais areno-silto-

argilosos, pontualmente com pequenos fragmentos rochosos remanescentes, de tonalidade castanha avermelhada e/ou avermelhada característica.

Em termos de capacidade de carga inserem-se no domínio dos solos medianamente compactos a compactos, com  $25 \leq N_{SPT} \leq 60$  pancadas, com predominância de valores a variar entre 25 e 31 pancadas.

O processamento laboratorial das amostras provenientes dos horizontes vulcânicos, colhidas dos testemunhos da sondagem S6, permitiu identificar estes materiais na classe (SC)g da classificação Unificada e no grupo A-2-6(1) da classificação Rodoviária AASHTO. Determinaram-se percentagens em peso passadas no peneiro #200 ASTM (<0,074 mm) de 27%. O índice de plasticidade, IP, é de 17%, tratando-se, portanto, de solos com plasticidade média a alta.

Em profundidade, e colmatando a pequena coluna estratigráfica possível de construir com este estudo, foram reconhecidos e investigados níveis rochosos calcários, por vezes fossilíferos, esbranquiçados, ainda datados do Cretácico Superior, tratando-se da formação de **Calcários de Bica (C<sup>2</sup><sub>Bi</sub>)**, predominantemente rochosos.

Desenvolvem-se sub-horizontalmente com frequentes alternâncias no estado de meteorização, variando de rochas muito alteradas, W4, a medianamente a pouco alteradas, W3-2, ocorrendo este último patamar de alteração com caráter pontual, como na sondagem S5 dos 4,50 aos 5,30 metros de profundidade. Como referido verifica-se ainda a ocorrência de rochas muito a medianamente alteradas, W4-3 e medianamente alteradas, W3.

Pontualmente exibem ligeiros sintomas de carsificação e não raras vezes as fraturas ocorrem com preenchimentos argilo-siltosos, de tonalidade acastanhada.

Globalmente encontram-se associados graus de fraturação elevados, F4, alternando com elevados a medianos, F4-3. Foram detetadas ainda rochas muitíssimo a muito fraturadas, F5-4. Os níveis rochosos calcários medianamente alterados, W3, encontram-se globalmente associados a graus de fraturação medianos, F3.

As percentagens de recuperação são globalmente superiores a 83%, tratando-se de um maciço de boa qualidade. Relativamente ao parâmetro RQD, diretamente relacionado com o grau de fraturação do maciço rochoso, e quando possível a sua determinação, varia de 9 a 90% (rocha de qualidade muito fraca a boa), registando-se, contudo, predominância de valores entre 9 e 50% (rocha de qualidade muito fraca a fraca).

### 5.3 ZONAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Através da análise do dispositivo geológico-geotécnico, resultante da campanha de prospeção desenvolvida, foi possível individualizar 4 horizontes geotécnicos, com base na caracterização macroscópica da amostragem recolhida através das sondagens.

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros geotécnicos associados a cada um dos horizontes geotécnicos.

*Tabela 2 – Parâmetros geomecânicos das zonas geotécnicas, propostos pelo Estudo geológico-geotécnico [2].*

	Tipo de terreno	N <sub>SPT</sub> / W	γ [kN/m <sup>3</sup> ]	c' [kPa]	φ' [°]	E [MPa]
<b>At</b>	Depósitos de Aterro, por vezes intensamente pedregosos envoltos em matriz areno-siltosa	1-16	18	0	20-25	3-5
<b>a</b>	Depósitos aluvionares arenosos, algo siltosos	4-7	18	0-3	24	2-5
<b>β<sup>1</sup></b>	Tufos vulcânicos profundamente decompostos deitando-se em solos residuais areno-silto-argilosos	25-31	20	0-5	28-30	20-30
		60	21	15	32	50
<b>C<sup>2</sup><sub>BI</sub></b>	Calcários	W <sub>4</sub> /W <sub>4-3</sub>	21	15-20	34	60
		W <sub>3</sub> /W <sub>3-2</sub>	22	20-25	36	70

γ – peso volúmico seco; c' – coesão efetiva; φ' – ângulo de resistência ao corte; E – módulo de deformabilidade

## 6. MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO

O presente relatório diz respeito à caracterização hidrogeológica, pelo que serão enquadrados apenas os elementos necessários à compreensão do escoamento subterrâneo e à modelação hidrogeológica conceptual, excluindo-se eventuais considerações associadas ao escoamento de água à superfície.

### 6.1 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O movimento da água no seio de cada unidade geológica depende das suas características granulométricas e/ou de fissuração (*macro e micro fabric*, isto é, características texturais), das características hidráulicas e estruturais do maciço, e ainda dos gradientes hidráulicos instalados em cada situação particular.

Sob o ponto de vista textural, podem definir-se 3 grandes grupos de materiais aquíferos:

- i. Aquíferos porosos – a água circula e é armazenada nos vazios interparticulares e por vezes nos vazios intraparticulares (grão poroso);
- ii. Aquíferos fissurados – a água circula e é armazenada nas fissuras;

- iii. Aquíferos cársicos - a água circula e é armazenada nas cavidades cársicas;
- iv. Aquíferos mistos – resulta da combinação dos três tipos anteriores.

O desempenho dos aquíferos é igualmente influenciado pela disposição e inter-relação entre as diferentes formações geológicas presentes (características hidráulicas e estruturais), podendo classificar-se como aquíferos livres, confinados e semiconfinados.

O desenvolvimento de modelos hidrogeológicos representativos que permitam a avaliação e simulação de movimentos da água associados a rebaixamentos do nível piezométrico, impactos da obra nos regimes de escoamento local e regional, potencial de riscos de inundação e de efeitos de marés, entre outros, depende largamente da quantificação da capacidade de um sistema aquífero para armazenar e transmitir a água, isto é, da sua parametrização.

Os principais parâmetros hidrogeológicos associados a estes modelos compreendem a porosidade eficaz ( $S_y$ ), o coeficiente de armazenamento ( $S$ ), o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) e a transmissividade ( $T$ ). A porosidade eficaz e o coeficiente de armazenamento estão diretamente relacionados com o volume de vazios disponível para o armazenamento de água, isto é, com a porosidade, enquanto a transmissividade está associada à capacidade de transmissão de água e é igual ao produto do coeficiente de permeabilidade pela espessura do aquífero. Para além destes parâmetros, as posições e variações do nível piezométrico constituem igualmente informação fundamental para a modelação de problemas associados à gestão da água subterrânea no solo e subsolo.

## 6.2 SISTEMAS AQUÍFEROS E UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

A área urbanizada de Lisboa localiza-se na Massa de Água Subterrânea da Orla Ocidental Indiferenciado da Bacia do Tejo (O01RH5) em terrenos genericamente compostos por formações detríticas, carbonatadas e por rochas ígneas. De acordo com o atual conhecimento da hidrogeologia do concelho de Lisboa, a M.A. Subterrânea O01RH5 divide-se em cinco formações hidrogeológicas pertencentes a quatro períodos geológicos: Sistema aluvionar, Sistema multicamada Miocénico, Complexo Oligocénico, Complexo Vulcânico de Lisboa e o Complexo Cretácico.

A geologia interessada serve de suporte a três sistemas hidrogeológicos distintos: o aluvionar, o Complexo Vulcânico de Lisboa e o Complexo Cretácico.

As aluviões no Concelho de Lisboa incluem os depósitos diretamente associados ao leito principal do Rio Tejo e a todas as ribeiras e linhas de água que neste desaguam, na sua margem direita. As aluviões do rio Tejo são caracterizadas por serem predominantemente lodosas, com bastante matéria orgânica, ou arenosas e mais lavadas, sendo a sua espessura bastante variável de local para local. As aluviões das ribeiras e linhas de água

interiores, afluentes do Tejo, são caracterizadas por uma composição litológica muito diversificada, em que as areias e as cascalheiras poderão fornecer caudais significativos.

O sistema hidrogeológico aluvionar é caracterizado por unidades lenticulares de condutividade hidráulica relativamente elevada, com comportamento de aquífero; os lodos e as argilas, de condutividade hidráulica muito baixa, com comportamento de aquífero ou de aquífero, origina uma estrutura aquífera complexa com camadas mais ou menos contínuas e espessas de lodos ou areias lodosas semiconfinando e delimitando as areias.

O sistema hidrogeológico do Complexo Vulcânico de Lisboa é constituído por escoadas lávicas alternando com níveis de piroclastos, constituindo uma massa de água subterrânea com acentuada heterogeneidade litológica. As formações do Complexo Vulcânico de Lisboa caracterizam-se por níveis freáticos baixos e permeabilidades baixas a médias.

O sistema hidrogeológico Carbonatado Cretácico é constituído por um espesso conjunto de calcários, calcários margosos, calcários dolomíticos, margas e argilas margosas, com alguns níveis fossilíferos agrupados pelo “Complexo carbonatado Cenomaniano” [8]. Os calcários do topo do Cenomaniano estão muito carsificados e são cobertos, em discordância, pelos basaltos do CVL. Têm permeabilidades médias a altas. A Formação da Bica (C<sup>2</sup><sub>Bi</sub>), apresenta uma captação de água subterrânea (furo) na freguesia de Belém com uma profundidade de 59 m [8].

## 6.3 NÍVEIS DE ÁGUA

### 6.3.1 Área prospectada

O dispositivo investigado mostrou-se produtivo do ponto de vista hidrogeológico no decorrer da campanha de prospeção (dezembro de 2021 e janeiro de 2022), tendo sido registados níveis de água entre 1,82 e 3,31 m de profundidade, que correspondem a cotas entre +1,27 e +0,89 m. As leituras realizadas nos piezómetros encontram-se apresentadas na Tabela 3.

*Tabela 3 - Leituras realizadas nos piezómetros [2]*

Data   Hora	Pz-S1		Pz-S2		Pz-S3		Pz-S4	
	Nível (m)	Piez. (m)	Nível (m)	Piez. (m)	Nível (m)	Piez. (m)	Nível (m)	Piez. (m)
28-12-2021   12:50	1,80	+1,29	1,88	+0,94	2,55	+0,95	3,30	+1,03
05-01-2022   09:30 – 11:30	1,82	+1,27	1,83	+0,99	2,61	+0,89	3,31	+1,02

De uma maneira geral verifica-se que a posição dos níveis de água registados não apresenta uma grande variação, como tal não será espetável a existência de gradientes hidráulicos significativos.

### 6.3.2 Rio Tejo

Face à proximidade ao rio Tejo, deve ser considerada a influência dos ciclos de maré.

Neste enquadramento, reportam-se de seguida os níveis máximo, mínimo e médio das marés consultados na tabela de marés do Porto de Lisboa [7]:

- i. Nível máximo: +4,20m (zero hidrográfico) / +1,12m (zero terrestre);
- ii. Nível mínimo: +0,40m (zero hidrográfico) / -1,68m (zero terrestre);
- iii. Nível médio: +2,20m (zero hidrográfico) / +0,12m (zero terrestre);

## 6.4 PROPRIEDADES HIDRÁULICAS

De modo a avaliar a permeabilidade do substrato terroso foram realizados, *in situ*, ensaios de permeabilidade Lefranc a carga variável, nas sondagens S1 e S6, em particular ao nível dos tufos vulcânicos, cujos resultados se apresentam na Tabela 4.

Tabela 4 - Ensaios de permeabilidade Lefranc [2]

Sond.	Trecho ensaiado (m)		K (m/s)	K (cm/s)	Natureza dos terrenos ensaiados
	Prof.	Comp.			
S1	4,50 – 5,50	1.00	$6,91 * 10^{-6}$	$6,91 * 10^{-4}$	<i>Tufos vulcânicos profundamente decompostos deitando-se em solos residuais areno-silto-argilosos</i>
S6	5,50 – 6,50	1.00	$6,20 * 10^{-6}$	$6,20 * 10^{-4}$	

Foram ainda realizados ensaios de permeabilidade pontual do tipo “*slug test*” realizados nos quatro piezómetros instalados, cujos resultados se apresentam na Tabela 5.



Tabela 5 - Resultados obtidos de condutividade hidráulica ( $k$ ), em cm/s, nas diferentes formulações utilizadas [2]

Piezómetro	Met.	Slug in 1	Slug Out 1	Slug in 2	Slug Out 2	Média
Pz-S1	a)	5,75E-03	1,42E-02	2,66E-02	1,71E-02	1,87E-02
	b)	7,48E-03	1,69E-02	3,94E-02	2,19E-02	
Pz-S2	a)	7,29E-03	1,14E-02	6,68E-03	9,53E-03	1,00E-02
	b)	1,00E-02	1,45E-02	8,99E-03	1,17E-02	
Pz-S3	a)	4,88E-03	6,38E-03			6,50E-03
	b)	5,92E-03	8,82E-03			
Pz-S4	a)	8,88E-03	1,67E-02	2,28E-02	1,82E-02	2,08E-02
	b)	1,10E-02	2,20E-02	3,18E-02	2,29E-02	

Após a análise e interpretação de todos os elementos disponíveis, a Memória descritiva e justificativa do Estudo Geológico-Geotécnico [2], refere as seguintes considerações, relativas às principais características hidrogeológicas da área em estudo:

- Presença de formação com comportamento de aquífero livre, com permeabilidade alta;
- Nível de água detetado entre as cotas +1,27 e +0,89m;
- A condutividade hidráulica pontual média calculada entre 6,50E-03 e 1,00E-02 cm/s, deverá ser encarada como referência para a Formação da Bica e eventualmente como referência para o conjunto aterros / aluviões / Formação da Bica;
- A medição da temperatura, pH e condutividade elétrica no meio aquoso, demonstrou a existência de uma água com condutividade elétrica entre 1411 e 6030  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (águas mesossalinas a hipersalinas - verificando-se que os valores superiores correspondem aos piezómetros mais próximos do rio Tejo) e temperatura entre 19,2 e 20,6°C.
- Relativamente ao pH são águas de perfil alcalino. O valor da temperatura medida enquadra-se no presente ambiente hidrogeológico, não se considerando anómalo;
- Dada a natureza de circulação da água neste tipo de aquíferos e topografia do local, estima-se que o fluxo subterrâneo tenha direção aproximada de N para S em direção ao rio Tejo, embora se admita que possa existir algum efeito de maré, com mais expressividade zona mais próxima ao rio.

## 7. MODELO DE CÁLCULO

### 7.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estudo do impacto no regime hidrogeológico provocado pela construção do piso enterrado, teve por base a realização de análises de elementos finitos tridimensionais, recorrendo-se ao *software* PLAXIS 3D, particularmente vocacionado para o efeito.

Para o desenvolvimento do modelo, estabeleceram-se as seguintes fases fundamentais:

1. Criação do modelo geológico, com base na informação obtida nas sondagens realizadas no âmbito desta obra;
2. Indexação das propriedades hidrogeológicas às unidades geológicas definidas no ponto anterior;
3. Calibração do modelo para a fase de referência, em regime estacionário, tendo por base a piezometria levantada durante a campanha de prospeção e para os valores mínimos e máximos do nível de água do rio Tejo;
4. Simulação da construção do piso enterrado para as condições em regime estacionário e verificação do respetivo impacto.

Nas subsecções seguintes, apresenta-se a geometria do modelo numérico e a parametrização adotada.

### 7.2 GEOMETRIA DO MODELO

A análise efetuada consistiu na realização de um modelo tridimensional que engloba a área de implantação do piso enterrado, bem como a área envolvente.

Para este efeito, a geometria do modelo de cálculo numérico, no que concerne à geometria das diversas camadas que compõem o maciço geológico, foi definida atendendo à interpretação da informação proporcionada pelos trabalhos de prospeção geológica e geotécnica apresentados e analisados na Memória Descritiva e Justificativa do estudo geológico geotécnico [2].

Note-se que a informação geológica e hidrogeológica disponível se encontra principalmente concentrada em redor da área de implantação do piso enterrado a construir, constituindo uma importante limitação, no que diz respeito à definição do modelo na área envolvente.

O domínio de análise, em planta, corresponde a uma área de 230m (direção x) x 380m (direção y). Refere-se que a dimensão do modelo de cálculo foi definida de modo a anular os efeitos das fronteiras para os resultados das análises.

A malha de elementos finitos utilizada resultou de um refinamento progressivo de forma a avaliar os efeitos da mesma para os resultados.

Nas Figura 9, Figura 10 e Figura 11, apresenta-se a geometria e malha de elementos finitos do modelo desenvolvido.

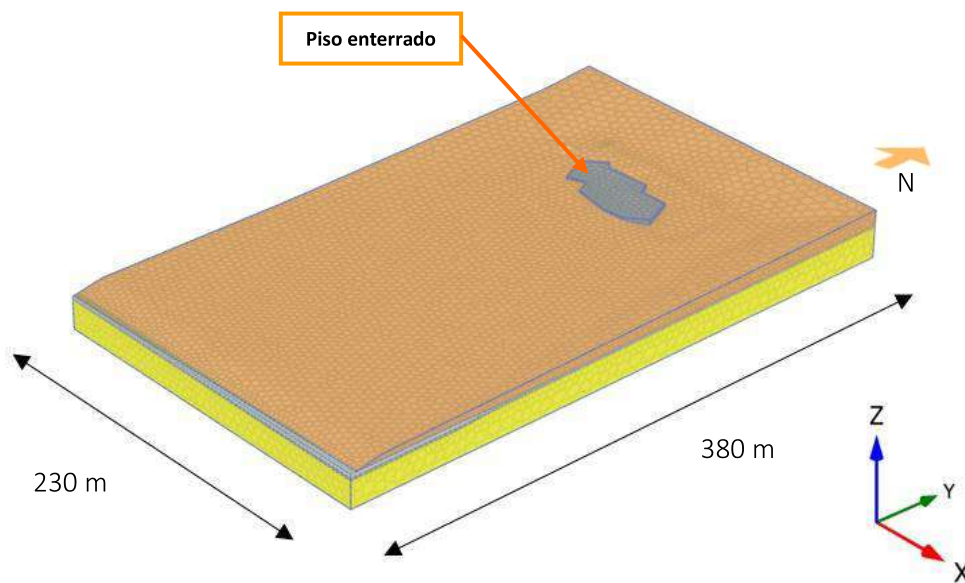


Figura 9 - Geometria e malha de elementos finitos do modelo tridimensional de cálculo (PLAXIS 3D)

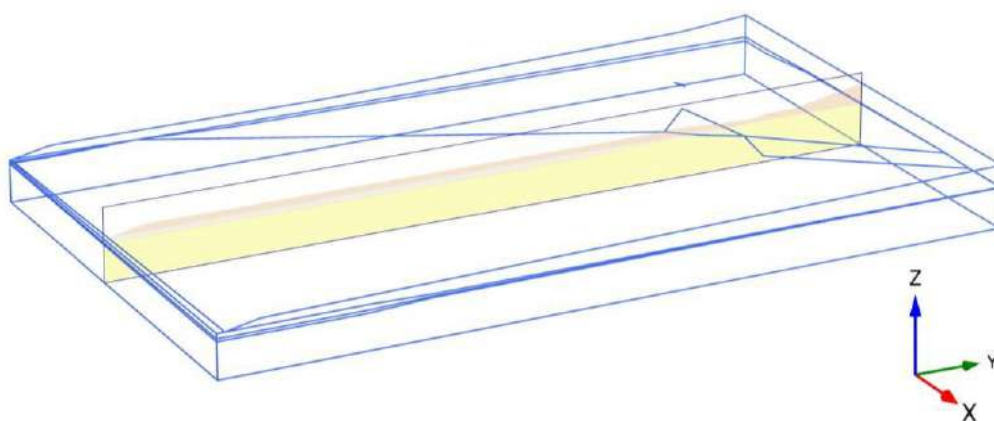


Figura 10 - Geometria do modelo tridimensional de cálculo (PLAXIS 3D) - Secção N-S

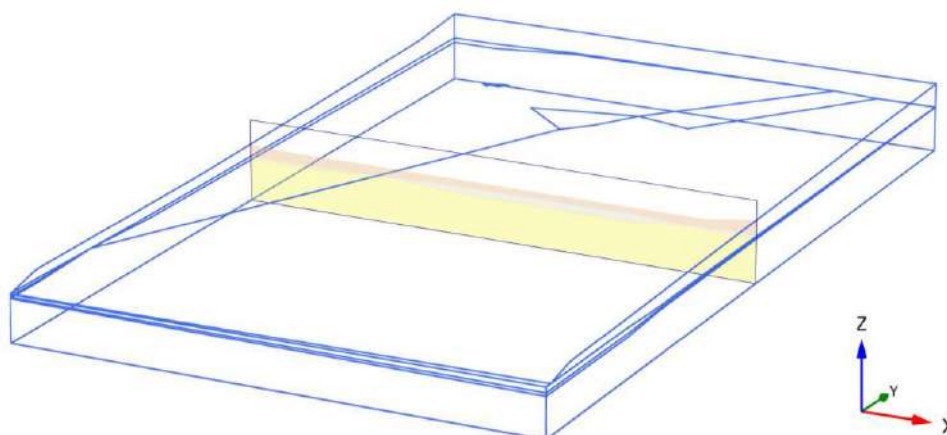


Figura 11 - Geometria do modelo tridimensional de cálculo (PLAXIS 3D) - Secção W-E

### 7.3 PARAMETRIZAÇÃO HIDRÁULICA

De um modo geral, a cada uma das unidades geológicas existentes no terreno estudado, fez-se corresponder uma unidade hidrogeológica, permitindo uma fácil associação dos resultados dos ensaios de permeabilidade com as variações geológicas detetadas nas sondagens.

Conforme evidenciado em capítulo anterior, os valores de permeabilidade obtidos nos ensaios *in situ* do tipo *Slug* não permitiram a distinção das características dos aterros, aluviões e Formação da Bica, sendo os resultados obtidos representativos da Formação de Bica.

Deste modo optou-se por considerar, para os depósitos de aterro e aluviões, valores indicados em [6] para areias siltsas, em conformidade com a granulometria dos materiais intersetados. Os valores de referência mencionados, são os apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores típicos de coeficientes de permeabilidade em solos [6]

Soil	Coefficient of Permeability, $k$ (m/sec)	Relative Permeability
gravel	$> 10^{-3}$	high
sandy gravel, clean sand, fine sand	$10^{-3}$ to $10^{-5}$	medium
sand, dirty sand, silty sand	$10^{-5}$ to $10^{-7}$	low
silt, silty clay	$10^{-7}$ to $10^{-9}$	very low
clay	$< 10^{-9}$	practically impermeable

Na Tabela 7, apresentam-se os valores dos parâmetros hidráulicos associados a cada unidade hidrogeológica, utilizados na modelação numérica.

*Tabela 7 – Parâmetros hidráulicos considerados no modelo numérico de cálculo [2].*

	Tipo de terreno	k [m/s]
<b>At</b>	Depósitos de Aterro, por vezes intensamente pedregosos envoltos em matriz areno-siltosa	1,00x10 <sup>-5</sup>
<b>a</b>	Depósitos aluvionares arenosos, algo siltosos	1,00x10 <sup>-5</sup>
<b>β<sup>1</sup></b>	Tufos vulcânicos profundamente decompostos deitando-se em solos residuais areno-silto-argilosos	6,56x10 <sup>-6</sup>
<b>C<sup>2</sup><sub>Bi</sub></b>	Calcários	1,02x10 <sup>-4</sup>

k – coeficiente de permeabilidade

## 7.4 CENÁRIOS DE CÁLCULO

No presente estudo considera-se três cenários de cálculo distintos, procurando avaliar o impacto da presença do piso enterrado no regime de escoamento subterrâneo.

Sucintamente, os referidos cenários, visam a simulação das seguintes situações:

- Cenário 0: situação existente, tendo por base os níveis de água detetados nos piezómetros instalados no âmbito da campanha de prospeção. Neste cenário, considerou-se o nível médio da maré no rio Tejo (condição hidráulica de fronteira na extremidade sul do modelo);
- Cenários 1 e 2: correspondente à instalação, respetivamente, dos níveis máximo e mínimo no rio Tejo. Com estes cenários, pretende-se avaliar a influência da maré no regime hidrogeológico local.

Na Tabela 8, sintetiza-se as condições de fronteira aplicadas em cada cenário.

*Tabela 8 – Cenários de cálculo considerados.*

	Cenário de cálculo	Carga hidráulica a montante	Carga hidráulica a jusante
<b>0</b>	Situação atual (Piezometria)	+1,00 m <sup>(1)</sup>	+0,12 m
<b>1</b>	Nível máximo de maré do rio Tejo	+1,00 m <sup>(1)</sup>	+1,12 m
<b>2</b>	Nível máximo de maré do rio Tejo	+1,00 m <sup>(1)</sup>	-1,68 m

<sup>(1)</sup> Valor aproximado da cota dos níveis de água registado nos piezómetros instalados no âmbito da campanha de prospeção.

## 8. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

O resultado da modelação numérica é apresentado nas subsecções seguintes. Para este efeito, os *outputs* gráficos apresentados, correspondem à seção identificada na Figura 12.

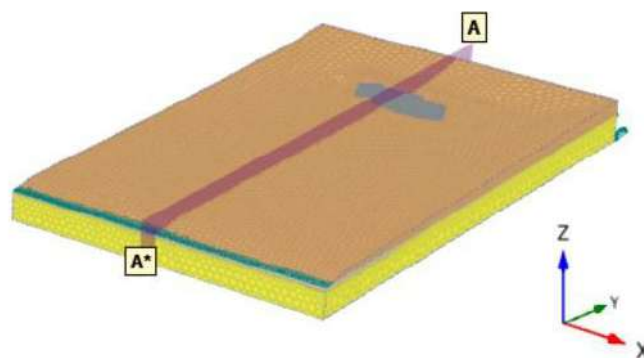
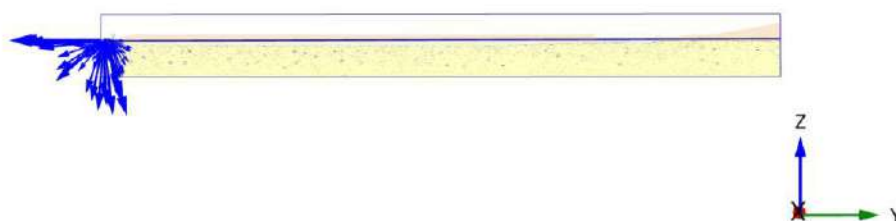


Figura 12 - Identificação das secções no modelo de cálculo (PLAXIS 3D)

Nas figuras seguintes, apresenta-se os níveis de água e caudais de escoamento, estimados no modelo numérico de cálculo, para o cenário 0.



Groundwater flow $ q $ (scaled up 50,0 times) (Time 0,000 day)
Maximum value = 1,031 m/day
Minimum value = 0,000 m/day
Total discharge is 2,166 m <sup>3</sup> /day

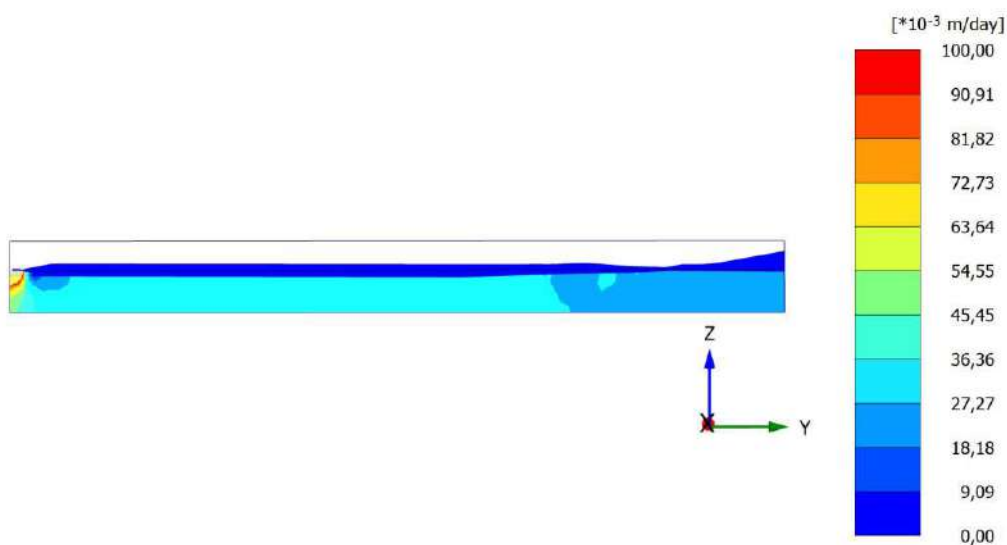
Figura 13 - Cenário 0 – Linhas de trajetória do escoamento – Secção A-A\* – Fase de referência (PLAXIS 3D)



**Groundwater flow |q| (scaled up 50,0 times) (Time 0,000 day)**

Maximum value = 1,031 m/day  
 Minimum value = 0,000 m/day  
 Total discharge is 2,179 m<sup>3</sup>/day

Figura 14 - Cenário 0 – Linhas de trajetória do escoamento – Secção A\*-A – Construção do piso enterrado (PLAXIS 3D)



**Groundwater flow |q| (scaled up 50,0 times) (Time 0,000 day)**

Maximum value = 1,031 m/day  
 Minimum value = 0,000 m/day  
 Total discharge is 2,183 m<sup>3</sup>/day

Figura 15 - Cenário 0 – Caudal – Secção A\*-A – Fase de referência (PLAXIS 3D)

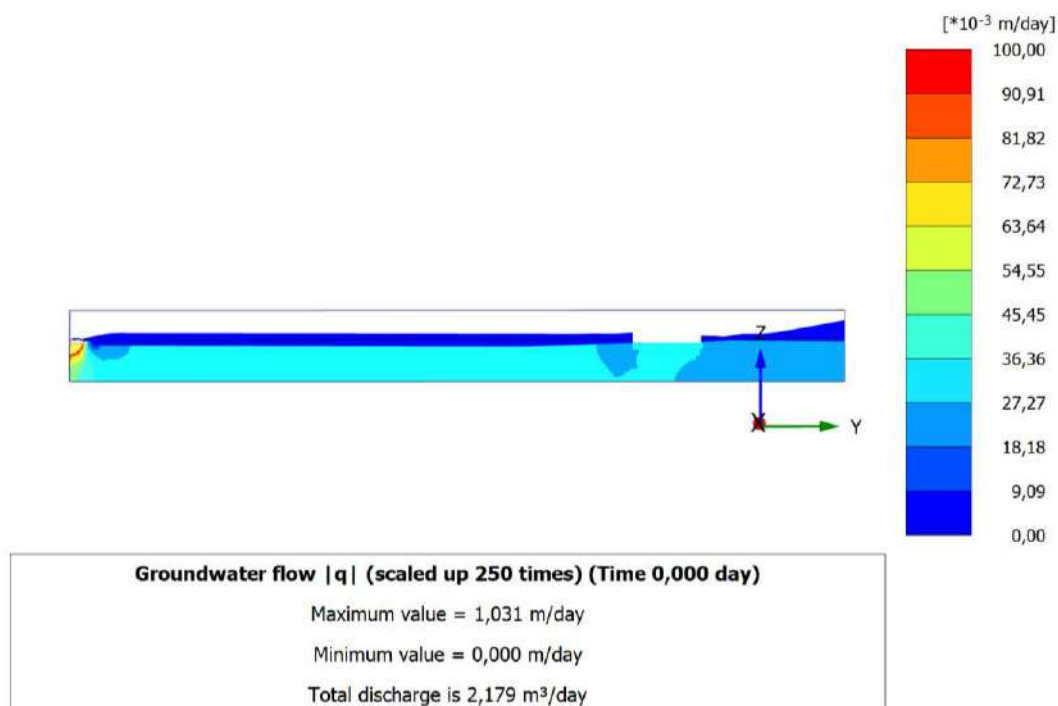


Figura 16 - Cenário 0 - Caudal – Secção A\*-A – Construção do piso enterrado (PLAXIS 3D)

Nas figuras seguintes, apresenta-se os níveis de água e caudais de escoamento, estimados no modelo numérico de cálculo, para o cenário 1.

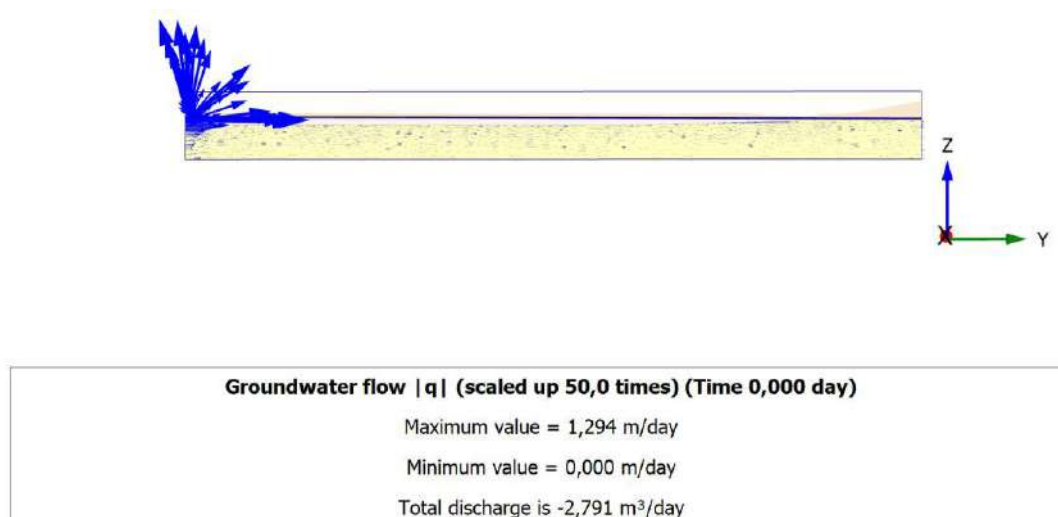


Figura 17 - Cenário 1 – Linhas de trajetória do escoamento – Secção A-A\* – Fase de referência (PLAXIS 3D)



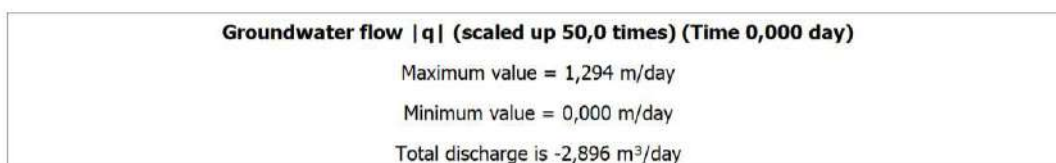
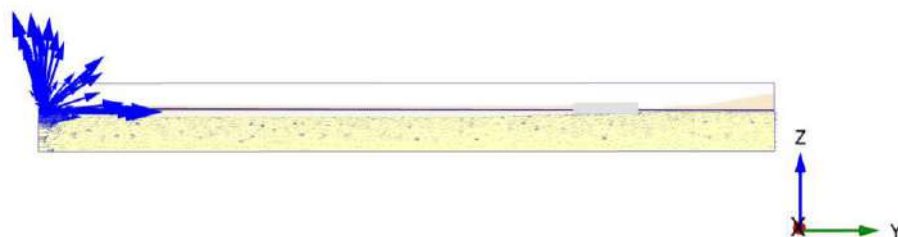


Figura 18 - Cenário 1 – Linhas de trajetória do escoamento – Secção A-A\* – Construção do piso enterrado (PLAXIS 3D)

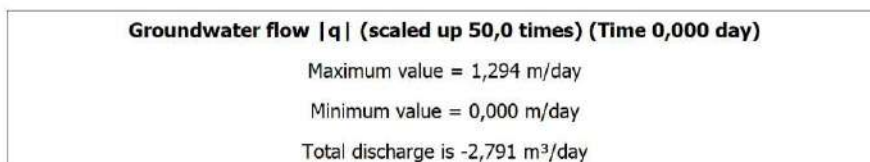
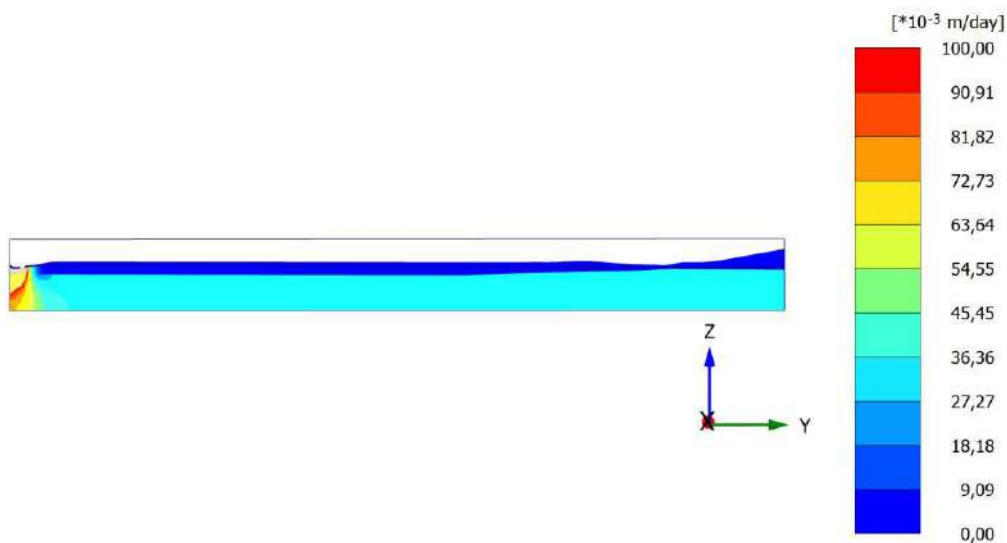


Figura 19 - Cenário 1 – Caudal – Secção A-A\* – Fase de referência (PLAXIS 3D)

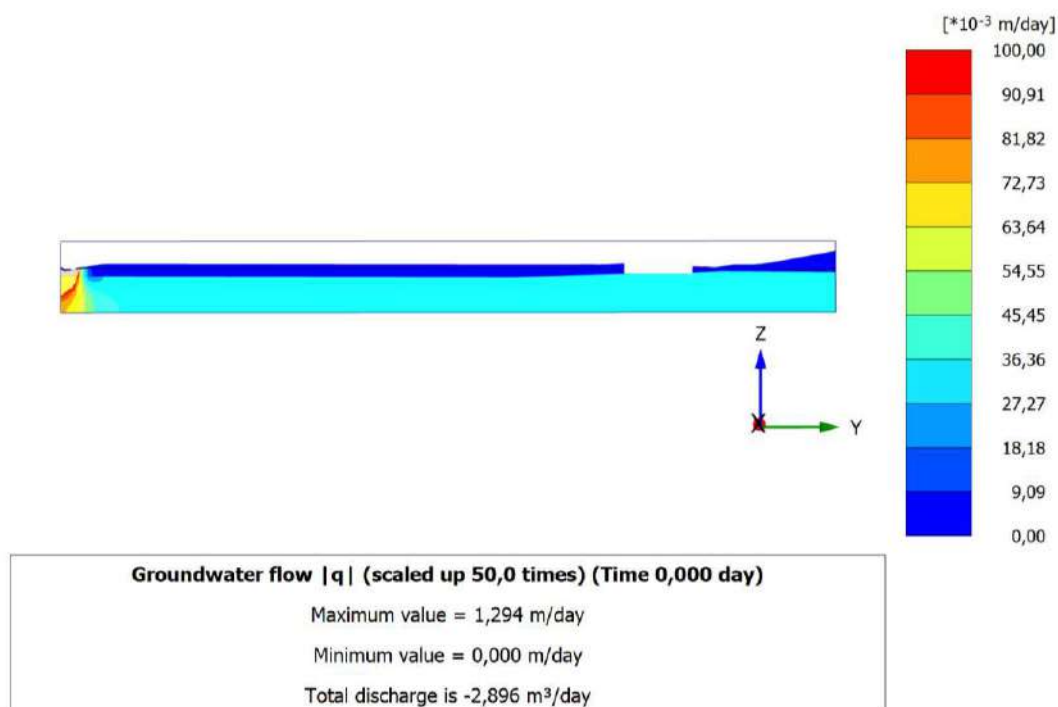


Figura 20 - Cenário 1 - Caudal – Secção A-A\* – Construção do piso enterrado (PLAXIS 3D)

Nas figuras seguintes, apresenta-se os níveis de água e caudais de escoamento, estimados no modelo numérico de cálculo, para o cenário 2.

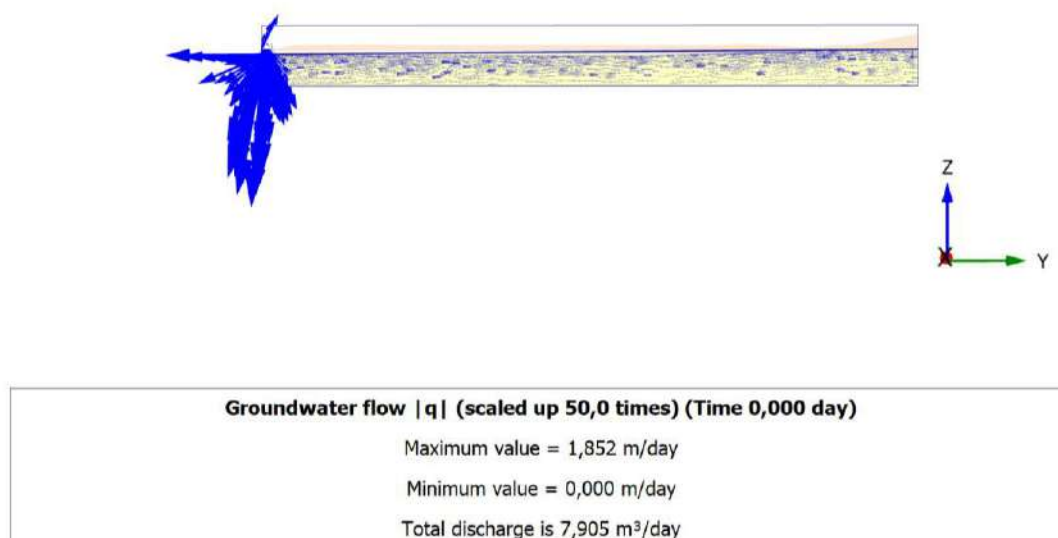


Figura 21 - Cenário 2 – Linhas de trajetória do escoamento – Secção A-A\* – Fase de referência (PLAXIS 3D)

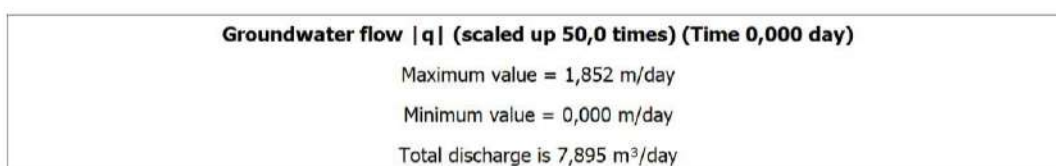
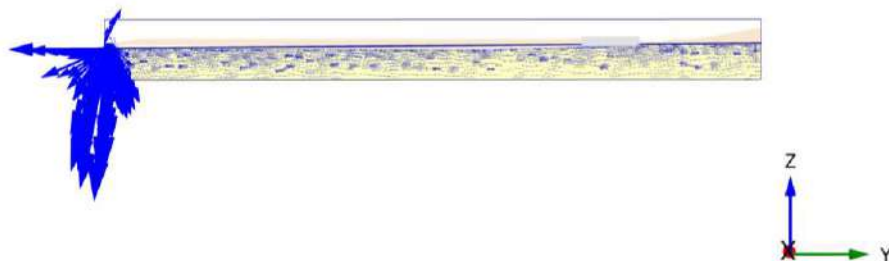


Figura 22 - Cenário 2 – Linhas de trajetória do escoamento – Secção A-A\* – Construção do piso enterrado (PLAXIS 3D)

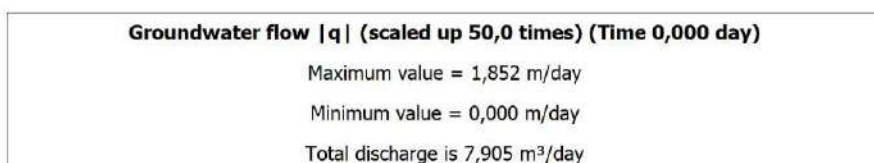
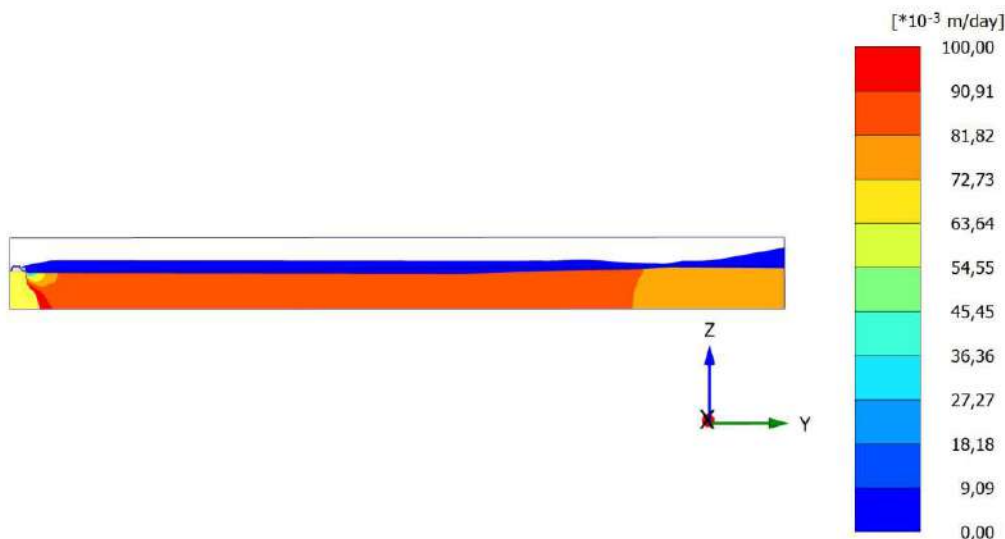


Figura 23 - Cenário 2 – Caudal – Secção A-A\* – Fase de referência (PLAXIS 3D)

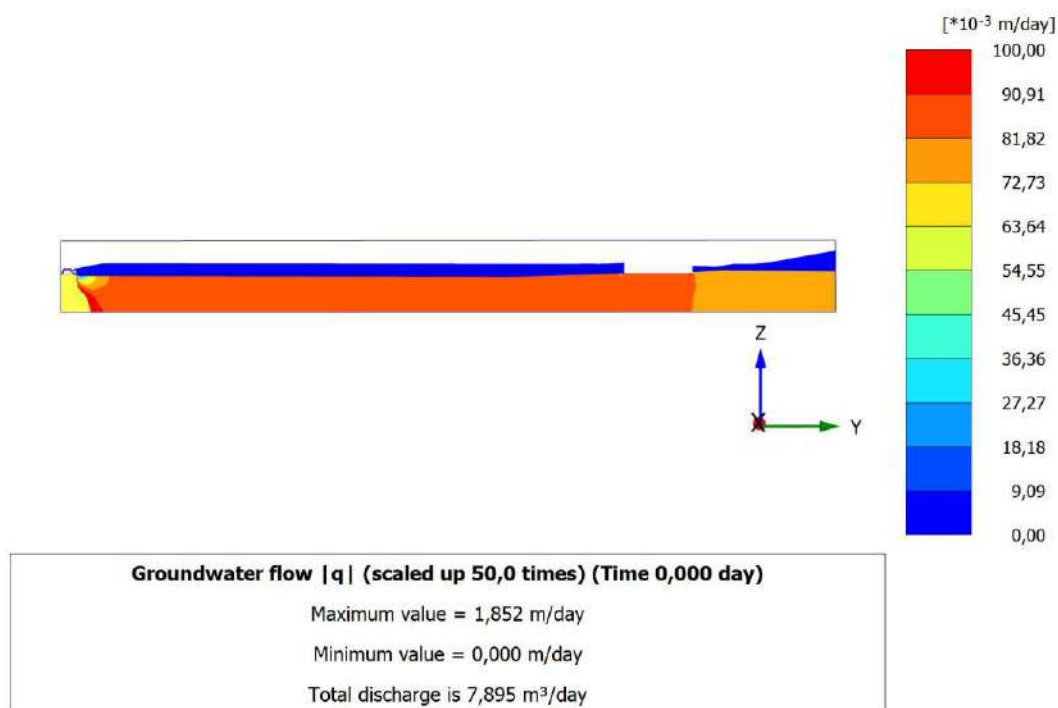


Figura 24 - Cenário 2 - Caudal – Secção A-A\* – Construção do piso enterrado (PLAXIS 3D)

A introdução do piso enterrado foi realizada considerando que a estrutura se trata de um objeto impermeável, como tal, é espectável que a introdução da estrutura nestas condições, gere as seguintes implicações no fluxo subterrâneo:

- i. Considerando que a principal recarga do sistema aluvionar é essencialmente proveniente do rio Tejo, a nova estrutura condicionará apenas a penetração da água vinda do rio para montante da construção, mantendo-se o movimento da água idêntico ao que se verifica atualmente;
- ii. A água proveniente dos terrenos de cotas mais altas continuará a circular livremente no seio das formações calcárias da Formação da Bica, uma vez que em geral, esta unidade não será afetada consideravelmente pela estrutura da obra.

Os resultados gerados pelo modelo numérico permitem o seguinte conjunto de considerações:

- i. No cenário 0, no que concerne à posição do nível de água, refere-se que o mesmo sofre uma variação máxima de +0,02m, a montante do piso enterrado, e de -0,01m, a jusante;

- ii. No cenário 1, relativamente à posição do nível de água, refere-se que o mesmo não sofre nenhuma variação, quando comparando a situação com e sem a presença do piso enterrado. Denota-se, no entanto, conforme esperado, uma clara inversão do sentido do escoamento, verificando-se que o mesmo decorre de Sul para Norte, como consequência da subida do nível de água no rio Tejo;
- iii. No cenário 2, estima-se uma variação da posição do nível de água de +0,01 m a montante do piso enterrado e -0,02 m a jusante;
- iv. No que concerne aos caudais estimados, não se identificam variações significativas causadas pela presença do piso enterrado;
- v. Relativamente ao substrato rochoso, constituído pela Formação da Bica, verifica-se que em geral a água que entra nas fronteiras Norte e Sul, consoante o cenário considerado, tende a movimentar-se no interior das camadas do maciço rochoso seguindo um fluxo (preferencialmente horizontal) que acompanha o desenvolvimento em cotas da evolução espacial desta camada;
- vi. Os movimentos da água, ao nível dos depósitos de aterro e aluvionares, apenas são significativos quando se fazem do rio para o interior. A representatividade desta modelação é suportada pela convergência entre os valores da piezometria observada e gerada pelo modelo, bem como pelo aumento das condutividades elétricas da água dos piezómetros observadas na aproximação ao rio. A eventual contribuição de alguma recarga do sistema aluvionar, quer por parte das formações rochosas, quer por parte de perdas nos sistemas de abastecimento através de águas pluviais e infiltrações superficiais, considera-se incipiente, tendo por base as cotas dos níveis de água detetados nos piezómetros instalados.

## 9. ANÁLISE DE RISCO DE INUNDAÇÃO

A análise apresentada nos capítulos anteriores permite concluir que a presença do piso enterrado não decorre em impactos significativos ao nível do regime hidrogeológico local, como tal, não se antecipa qualquer agravamento do risco de inundação da área envolvente, capaz de afetar as estruturas e infraestruturas vizinhas.

Refere-se também que a introdução de uma área impermeável (área de implantação da estrutura) no lote em apreço, não deverá, atendendo à aparente reduzida permeabilidade dos solos superficiais, causar um agravamento do risco de inundação da área envolvente.

## **10. RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS**

### **10.1 ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA**

Durante a fase de construção do piso enterrado, admitindo escavações até à cota +1,00 m (cota de fundação), será espectável a afluência de água ao recinto de escavação com caudais reduzidos, uma vez que a profundidade do nível de água identificada se encontra acima da cota máxima de escavação, prevendo-se que os rebaixamentos necessários se encontrem compreendidos entre 0,39 e 1,18m (face aos resultados obtidos nos piezómetros).

Como tal, deverá ser prevista a instalação de equipamentos de bombagem de água durante os trabalhos de escavação. Os mecanismos de bombagem a mobilizar terão de ser compatíveis com as permeabilidades referenciadas pelo presente estudo.

Atendendo que a escavação decorrerá, na sua maioria, ao nível de depósitos de aterro e aluvionares, de características geomecânicas desfavoráveis, deverão ser preconizadas medidas de contenção adequadas ao nível de segurança exigível em obras deste tipo, que minimizem as interferências com arruamentos, infraestruturas, serviços ou edifícios existentes no perímetro da obra, permitindo que o ligeiro cone de rebaixamento se localize integralmente dentro dos limites da obra.

Neste âmbito, importa salientar que as ocupações periféricas existentes, aliadas às características geológico-geotécnicas das formações interessadas pela eventual escavação a realizar, aconselham a adoção de elementos ativos de estabilização horizontal (ancoragens pré-esforçadas) ou a aplicação de escoramentos de rigidez adequada ao travamento das estruturas de contenção periférica a construir, como forma de evitar eventuais descompressões do terreno envolvente que possam pôr em causa a estabilidade das infraestruturas e estruturas contíguas existentes.

### **10.2 FUNDAÇÕES**

Atendendo às profundidades a que se detetam as formações calcárias e os tufos vulcânicos, associado à posição do nível freático, poderá equacionar-se a viabilidade de uma solução de fundação direta.

Visando a uniformização do seu comportamento, em particular no que concerne a assentamentos diferenciais, será aconselhável que os elementos de fundação se encontrem, na sua totalidade, apoiados ao nível do substrato calcário.

### **10.3 DRENAGEM**

Nas condições descritas no presente trabalho, importa referir que não será espectável que presença do piso enterrado altere significativamente o escoamento subterrâneo local, como tal não se considera necessária a execução de medidas mitigadoras para fazer face a este impacto.

Deverá, no entanto, ser garantida uma solução técnica que minimize a entrada das águas para os pisos enterrados.

### **10.4 PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO**

Dado o enquadramento do local da obra, com estruturas existentes e arruamentos circundantes, recomenda-se a definição de um plano de instrumentação e observação.

Particularmente, deverão ser instalados e monitorizados periodicamente piezómetros instalados a jusante e montante do recinto da escavação, de forma a detetar eventuais oscilações nos níveis de água. Essas oscilações deverão ser convenientemente analisadas de forma a prever os condicionalismos que poderão impor à obra em apreço, bem como para validar, em tempo útil, os pressupostos referidos ao longo do presente documento e que sustentam as análises efetuadas.

## 11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises apresentadas foram desenvolvidas a partir dos elementos base, citados no capítulo 2, assim como nos pressupostos igualmente referidos no presente documento. Conforme prática corrente em intervenções com o enquadramento e a complexidade da presente, todos os pressupostos e todos os elementos de base considerados no presente documento deverão ser confirmados com base num Plano de Instrumentação e Observação. Caso algum destes pressupostos ou elementos não se venha a confirmar, deverão ser averiguadas as suas consequências na segurança da obra e das zonas envolventes e, se justificável, deverão ser efetuadas as necessárias revisões.

Dos resultados das análises efetuadas, é possível concluir que, durante a fase de exploração da obra (admitindo o estabelecimento das cotas de soleira da cave às profundidades de escavação anteriormente mencionadas), se prevê que a superfície de escoamento de água subterrânea se readapte às estruturas enterradas e tenda para um novo equilíbrio sem afetar significativamente as estruturas e infraestruturas existentes, considerando a presença de um único piso enterrado. Nesse pressuposto, não será exatável que os constrangimentos ao fluxo subterrâneo provoquem variações significativas nos níveis freáticos ou no padrão de escoamento subterrâneo situado a “montante” e a “jusante” dos pisos enterrados a construir. Como tal e de acordo com todos os pressupostos considerados no presente estudo, não se considera necessária a execução de medidas mitigadoras para fazer face a este impacto.

Neste enquadramento, importa referir que a construção de uma barreira ao fluxo de água, materializada por mais do que um piso enterrado, poderia configurar num fator de risco acrescido, na medida que a probabilidade de interseção do sistema hidrogeológico Carbonatado Cretácico, de permeabilidade mais elevada, seria maior, pois a referida intervenção deixaria de intersectar apenas o sistema aluvionar superficial, de permeabilidade, em geral, mais reduzida.

No que ao enquadramento regulamentar diz respeito, em particular, ao referido no Plano diretor municipal (PDM) de Lisboa, cujo excerto se transcreve abaixo, faz-se, no âmbito do presente estudo, o seguinte conjunto de considerações:

- Artigo 13º Sistema húmido e sistema de transição fluvial-estuarino

*7. “Nas situações em que a Câmara Municipal não dispõe de dados de caracterização hidrogeológica, exige-se a prévia apresentação desses dados, para efeitos do disposto no número anterior, nas operações de loteamento e obras de edificação de impacte relevante ou semelhante a operação de loteamento nos termos definidos no Regulamento Municipal da Urbanização e Edificação de Lisboa (RMUEL), localizadas em áreas integradas em bacias hidrográficas com área superior a 75ha, assinaladas na Planta de riscos naturais e antrópicos I.”*



Conforme exigência do PDM, foram desenvolvidos trabalhos de prospeção geotécnica (descritos em [2]) visando a caracterização hidrológica local que serviu de base aos cálculos efetuados.

– Artigo 22º Vulnerabilidade a inundações e suscetibilidade ao efeito de maré direto

1. *“Em áreas de muito elevada vulnerabilidade a inundações e suscetibilidade ao efeito de maré direto, em especial junto aos pontos de máxima acumulação situados em bacias de dimensão superior a 500ha, identificadas na Planta de riscos naturais e antrópicos I, é interdita a ocupação do subsolo, salvo o disposto no número seguinte.”*

2. *“Excetua-se do disposto no número anterior a instalação de rodovias e ferrovias subterrâneas e a construção no subsolo quando se trate de equipamentos com exigências técnicas especiais, infraestruturas e para estacionamento, desde que:*

*a) Seja apresentado projeto de drenagem que inclua medidas e soluções que assegurem a eficaz drenagem da água e a salvaguarda das condições de total segurança de pessoas e bens;*

*b) Sejam apresentados dados de caracterização hidrogeológica, conforme o disposto no n.º 7 do artigo 13.º do presente Regulamento, quando a Câmara Municipal não disponha deles;*

*c) Seja elaborado estudo que comprove tecnicamente que a construção não agrava a vulnerabilidade à inundações nos edifícios confinantes e na zona envolvente;*

*d) Seja garantida solução técnica que impeça a entrada das águas para os pisos em cave.”*

5. *“No âmbito dos planos de urbanização e de pormenor e das unidades de execução que abrangem áreas com vulnerabilidade a inundações ou de suscetibilidade a efeito de maré direto, devem ser elaborados estudos hidrogeológicos para a respetiva área de intervenção, nos termos definidos no Regulamento Municipal da Urbanização e Edificação de Lisboa (RMUEL).”*

A análise desenvolvida permite concluir que a presença do piso enterrado não decorre em impactos significativos ao nível do regime hidrogeológico local, não se antecipando assim qualquer agravamento do risco de inundações da área envolvente, capaz de afetar as estruturas e infraestruturas vizinhas.

Relativamente ao projeto de drenagem de águas pluviais do edifício, o mesmo deverá garantir uma solução técnica que minimize a entrada das águas para os pisos enterrados.

## 12. EQUIPA PROJETISTA

O presente estudo foi desenvolvido com base na seguinte equipa técnica:

Miriam Lopes (Eng.ª Civil)

Alexandre da Luz Pinto (Eng.º Civil)

Lisboa, 15 de março de 2022

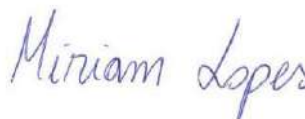
JetSJ Geotecnia, Lda



(Alexandre Pinto, Eng.º Civil)  
(Especialista Geotecnia – OE Portugal)



JetSJ Geotecnia, Lda



(Miriam Lopes, Eng.ª Civil)



---

Página deixada em branco intencionalmente