

IP4 (A4) - TÚNEL DO MARÃO. CONDIÇÃOANTES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS NO LANÇAMENTO DO EMPREENDIMENTO EM CONCEÇÃO CONSTRUÇÃO

MARÃO TUNNEL ON THE MOTORWAY IP4 (A4). GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL CONDITIONINGS IN THE PREPARATION OF THE DESIGN-BUILD TENDER

Monteiro, Bernardo P. B.; *IP Engenharia, Lisboa, Portugal, bernardo.monteiro@ipengenharia.pt*
Azevedo, João C. C.; *IP Engenharia, Lisboa, Portugal, joao.azevedo@ipengenharia.pt*

RESUMO

O túnel do Marão é constituído por dois túneis paralelos, designados por Túnel Norte e Túnel Sul, com aproximadamente 5 667 m cada um, perfazendo um total de 11 335 m de túnel, que atravessam a Serra do Marão no sentido aproximado Oeste / Este, e insere-se na Autoestrada do Marão, entre Amarante e Vila Real. A secção transversal corrente de cada um dos túneis foi definida de modo a assegurar uma área útil mínima de 97,50 m², garantindo que em fase de exploração, a altura útil mínima é de 5,00 m. No presente artigo, são apresentadas as principais condicionantes, designadamente nos aspetos de índole geológica e geotécnica, que presidiram ao lançamento deste concurso e as suas consequências nas soluções adotadas, nomeadamente na escolha do procedimento de concurso, na elaboração do caderno de encargos bem como no desenvolvimento do restante processo de concurso.

ABSTRACT

The Marão tunnel consists of two parallel tunnels, called North Tunnel and South Tunnel, with approximately 5 667 m each, for a total of 11 335 m of tunnel, crossing the Serra do Marão in the approximate direction West / East, and is part of the Marão Freeway, between Amarante and Vila Real. The current cross-section of each of the tunnels was set to ensure a minimum area of 97.50 m², to ensure that, in the exploration stage, the minimum effective height is 5.00 m. In this article, are presented the main constraints, particularly those of geological and geotechnical nature, which governed the launch of this tender and its consequences on the adopted solutions, including the choice of the tender procedure in the preparation of the specifications, and the development of the remaining tendering procedure.

1 - INTRODUÇÃO

O túnel do Marão é constituído por dois túneis paralelos, designados por Túnel Norte e Túnel Sul, com aproximadamente 5 665 m cada um, perfazendo um total de 11 330 m de túnel, que atravessam a Serra do Marão no sentido aproximado Oeste / Este, e insere-se na Autoestrada do Marão, entre Amarante e Vila Real. A secção transversal corrente de cada um dos túneis foi definida de modo a assegurar uma área útil mínima de 97,50 m², de modo a garantir que, em fase de exploração, a altura útil mínima é de 5,00 m. Os trabalhos de escavação do túnel do Marão tiveram o seu início em julho de 2009 e foram definitivamente suspensos em julho de 2011, altura em que no lado Poente se encontravam escavados 1239 m no túnel Norte e 1360 m no túnel Sul. No lado Nascente encontravam-se escavados 2475 m no túnel Norte, enquanto no túnel Sul encontravam-se escavados 2267 m (Figura 1)

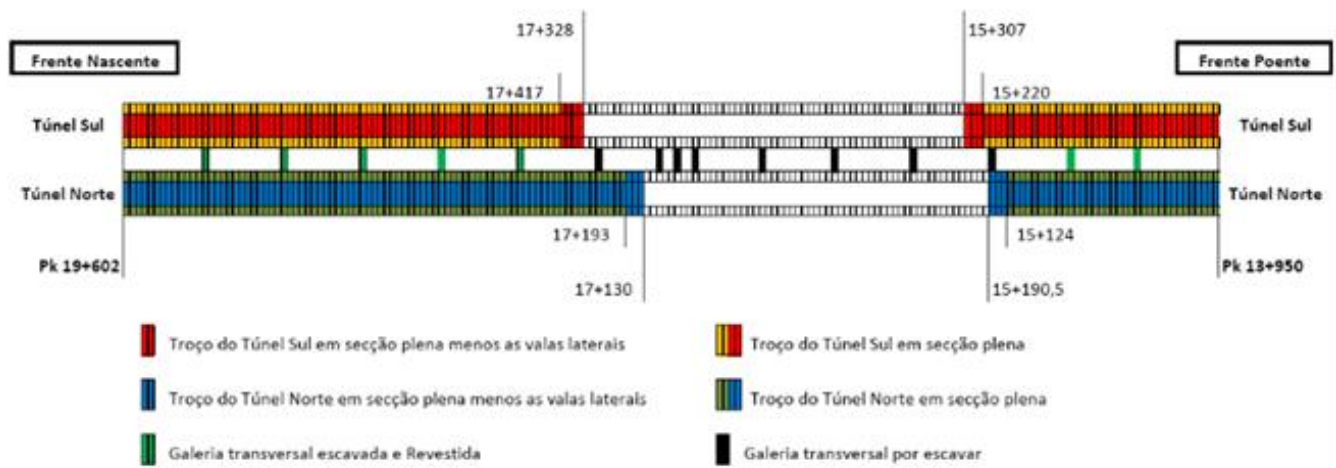


Figura 1 – Posição das frentes de trabalho à data de suspensão dos trabalhos

Após julho de 2011 realizaram-se exclusivamente trabalhos de manutenção e preservação da obra já executada.

Em fevereiro de 2014 foi realizado um novo concurso para a conclusão do túnel em regime de conceção / construção.

No presente artigo, são apresentadas as principais condicionantes, designadamente nos aspetos de índole geológica e geotécnica, que presidiram ao lançamento deste concurso e as suas consequências nas soluções adotadas, nomeadamente na escolha do procedimento de concurso, na elaboração do caderno de encargos bem como no desenvolvimento do restante processo de concurso.

2 - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O túnel atravessa a Serra do Marão no seu flanco sul, a pouco mais de 1 km da portela do Alto de Espinho. O relevo é bastante acidentado, com linhas de crista muito elevadas e uma rede hidrográfica muito encaixada. Esta morfologia decorre quer das características litológicas das formações geológicas presentes, quer do dispositivo tectónico-estrutural instalado.

O substrato é constituído por formações do Ordovícico e do Complexo Xisto-grauváquico (CXG) do Câmbrico. O CXG está representado pela Formação de Desejosa do Grupo do Douro. A passagem do CXG ao Ordovícico faz-se através de uma superfície de discordância estratigráfica (**Error! Reference source not found.**).

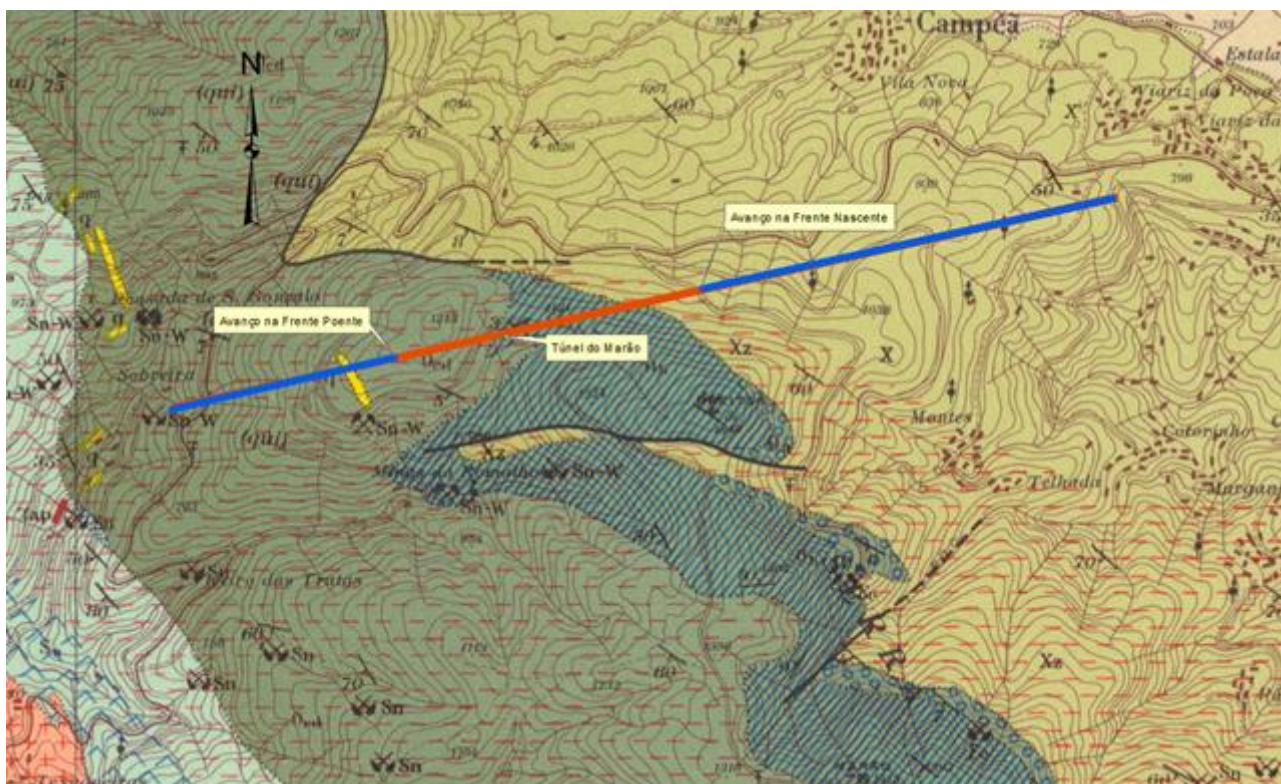


Figura 2 - Enquadramento Geológico do traçado do túnel de acordo com a Folha 10 C à escala 1/50000 da Carta Geológica de Portugal

A estrutura das formações da Serra do Marão constitui no seu conjunto um anticlinório em que as dobras têm direção WNW-ESE e vergência para NNE. Correspondem à primeira fase de deformação varisca e à qual está também associada uma forte clivagem com a mesma direção WNW-ESE. Estas estruturas são consideradas as mais expressivas que afetam as formações ordovícicas (Conceição *et al.*, 2016a, 2016b).

O sistema de compartimentação regional é bastante complexo, encontrando-se os maciços interessados pelo túnel cortados por várias falhas, identificando-se na zona em apreço 4 famílias de falhas principais, nomeadamente, falhas normais com uma forte componente de desligamento direita bem representadas no intervalo $N10^{\circ} - 20^{\circ}W$; falhas inversas com uma importante componente de desligamento esquerda e direções entre $N70^{\circ} - 80^{\circ}W$, desligamentos esquerdos com a distribuição das direções muito concentrada segundo o intervalo $N60^{\circ} - 70^{\circ}W$ e que teriam como conjugados os desligamentos direitos cujas direções mais representativas se distribuem pelo intervalo $N30^{\circ} - 40^{\circ}E$.

As falhas com direção N70°W (WNW-ESE) e inclinação superior a 70° correspondem originalmente a zonas de cisalhamentos esquerdos, que foram posteriormente reativadas. Pertencem a esta família a falha de Manta, intersectada pelo túnel e a falha de Freitas, situada a 1 km mais para sul. Estas falhas têm direções paralelas ao dobramento e põem em contacto direto as Formações do Ordovícico e a Formação de Desejosa do Câmbrico.

As falhas com direções próximas de N-S (N10°-20°W) são falhas normais com uma forte componente de desligamento direito e são mais recentes que as falhas descritas anteriormente. São provavelmente subverticais e tornam ainda mais complexa a estrutura das Formações Ordovícicas e da Desejosa intersectadas pelo túnel. Pertence a esta família a falha de Gaiva, que intersecta o túnel próximo do PK15+900.

3 - CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS

De acordo com os estudos geológicos e geotécnicos realizados no âmbito do projeto inicial do túnel (INFRATÚNEL, 2011), foram definidas zonas de comportamento geomecânico similar utilizando para o efeito o "Geological Strength Index" (Marinos & Hoek, 2000).

O processo de escavação previsto em projeto e adotado na escavação subterrânea foi o NATM (New Austrian Tunnelling Method), que considera a interação entre o maciço rochoso e o suporte primário, mobilizando a resistência interna do maciço como parte integrante do sistema de suporte, contribuindo ambos, em conjunto, para a estabilidade do túnel.

A definição dos suportes primários a utilizar foi efetuada com base na definição de secções tipo e da sua correspondência com as zonas geotécnicas, de acordo com o indicado no Quadro 1.

Quadro 1 - Zonamento geotécnico e suportes primários utilizados no túnel

Zonamento geotécnico		Suporte primário
Zona ZG3	GSI<15 (very poor)	Secção tipo A - A utilizar nos emboquilhamentos e zonas de falha. Cambotas metálicas com 30cm de betão projetado; escavação em 2 etapas (meia secção e rebaixo); soleira com arco invertido provisório; avanços de 0,6m a 1,0m.
	15<GSI<35 (poor)	Secção tipo B - 15cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas ou de polipropileno; pregagens sistemáticas com 5,0m de comprimento; escavação em duas etapas (1/2 secção e rebaixo); avanços de 1,4m a 2,0m.
Zona ZG2	35<GSI<50 (good, fair)	Secção tipo C - 10cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas ou de polipropileno; pregagens sistemáticas com 5,0m de comprimento; escavação em secção plena ou em duas etapas (1/2 secção e rebaixo) dependendo das condições do maciço; avanços de 1,8m a 3,0m.
Zona ZG1	50<GSI<70 (very good, good)	Secção tipo D - 5cm a 10cm de betão projetado reforçado com fibras metálicas ou de polipropileno; utilização eventual de pregagens com 5,0m de comprimento; escavação em secção plena ou em duas etapas (1/2 secção e rebaixo) dependendo das condições do maciço; avanços 2,6m a 4,0m

A escavação dos túneis decorreu em quatro frentes encontrando-se escavados, à data da suspensão dos trabalhos em julho de 2011, 65% do seu comprimento total (INFRATÚNEL, 2012). No Quadro 2 sintetiza-se os comprimentos de escavação executados, até à paragem dos trabalhos, por tipo de secção de suporte primário e zona geotécnica.

Quadro 2 - Comprimentos escavados por tipo de secção de suporte primário e zona geotécnica

Túnel	Lado	Escavado por tipo de secção e ZG (m)				Escavado (m)	Por escavar (m)
		A/ZG3	B/ZG3	C/ZG2	D/ZG1		
Norte	Poente	127	208	137	767	1241	1942
	Nascente	24	81	78	2292	2472	
Sul	Poente	48	155	322	835	1357	2024
	Nascente	36	79	30	2218	2274	

À data da suspensão dos trabalhos encontrava-se unicamente instalado o suporte primário, também designado como provisório.

O controlo das deformações induzidas pelas escavações é garantido pela aplicação correta dos suportes preconizados para o revestimento primário, num tempo adequado e com a rigidez necessária. A verificação destas condições foi efetuada através de instrumentação do maciço e da estrutura do túnel mediante a instalação no interior das galerias de dispositivos para a leitura de assentamentos e deslocamentos horizontais (convergências), em secções transversais com espaçamentos regulares ao longo da extensão

dos túneis (~ 40,00m a 70,00m) ou em pontos singulares, nos quais, durante o acompanhamento de obra o projetista julgasse necessária a implantação de novas secções instrumentadas.

4 - CONDICIONANTES GEOTÉCNICAS QUE ENQUADRARAM O LANÇAMENTO DESTA CONCESSÃO

O procedimento adotado para o lançamento da empreitada do túnel do Marão, em modalidade de conceção/construção decorreu também da complexidade técnica dos processos construtivos da obra a realizar, que requeriam, em razão da tecnicidade própria dos concorrentes, a especial ligação destes à conceção daquela.

Neste contexto destacam-se como condicionantes relevantes para a conceção do projeto e concretização da obra, aquelas que se encontram associadas ao ambiente geológico da região onde se insere o túnel, bem como as condições geotécnicas da obra a realizar.

Concretamente no que respeita ao ambiente geológico da região onde se insere o túnel, salienta-se que as escavações ainda por realizar se inseriam em zona de grandes estruturas tectónicas regionais identificadas quer na bibliografia quer na cartografia geológica existente, desconhecendo-se o seu desenvolvimento e características às profundidades atravessadas pelo túnel.

Tendo em atenção que se encontravam escavados 65% do total do túnel, no conjunto de ambas as galerias, tal obrigava à manutenção dos traçados originais independentemente do enquadramento geológico e das condições geotécnicas, limitando igualmente a distância entre galerias que era já inferior a dois diâmetros da secção escavada.

Desde a suspensão dos trabalhos do túnel, em julho de 2011, até à data do término da concessão, a concessionária realizou exclusivamente trabalhos de inspeção, manutenção e preservação da obra executada (INFRATÚNEL, 2011), tendo sido desde logo identificadas por aquela entidade zonas com patologias associadas que careciam de reabilitação e reforço (Figura 3, Figura 4 e Figura 5).



Figura 3 – Vista do Emboquilhamento Poente após suspensão dos trabalhos

Esta avaliação indicava a necessidade de, previamente à retoma dos trabalhos, implementar soluções de reforço das zonas deterioradas do túnel, por forma a repor e manter a funcionalidade do suporte primário e, conseqüentemente, o seu funcionamento estrutural em conjunto com o maciço rochoso.

Adicionalmente, o recurso a financiamento comunitário para a conclusão desta infraestrutura obrigou a um constrangimento no prazo de duração da empreitada.



Figura 4 – Interior da galeria sul poente observando-se no hastear direito algumas das patologias decorrentes da paragem dos trabalhos



Figura 5 – Frente de escavação da galeria sul poente

5 - ESTRATÉGIAS ADOTADAS NA PREPARAÇÃO DO CONCURSO

Tendo em consideração todos os condicionalismos inerentes à realização de uma empreitada como a do túnel do Marão, aos quais acresciam aquelas que decorreram do tempo de paragem da obra, procurou-se na fase de preparação dos elementos de concurso, salvaguardar a incerteza e o risco de natureza geotécnica normalmente associados à conceção e construção de obras subterrâneas (Estradas de Portugal, 2013a).

Primeiramente, com a disponibilização aos interessados de toda a informação, tanto a relativa aos projetos aprovados mas sobretudo aquela que, de modo sistemático, foi recolhida durante os trabalhos de escavação e colocação de suporte primário, a qual se encontrava sistematizada em fichas, referenciadas ao quilómetro de avanço por desmonte a fogo, bem como em relatórios periódicos, que incorporavam também os resultados da observação e a sua análise, e aos quais, se encontravam associadas as sucessivas plantas contendo a cartografia de frente.

Neste conjunto de informação encontrava-se presente o levantamento das patologias e a sua análise crítica efetuada pela Concessionária no âmbito da suspensão dos trabalhos.

Procurou-se, de igual modo, salvaguardar no Estudo Prévio a apresentar em fase de concurso um conjunto de situações (Estradas de Portugal, 2013b), designadamente com:

- a. A exigência de reavaliação e aferição/confirmação da informação geológica e geotécnica, compilada ao longo de todo o empreendimento, quer durante as várias fases de estudos anteriores, quer a recolhida durante a sua execução. Obrigando ainda que essa verificação incidisse sobre todos os pontos da obra que o Concorrente julgasse necessários para completar o conhecimento relativo às características geológicas (litologia, estrutura, hidrogeologia, etc.) e ao zonamento geotécnico.
- b. A exigência de avaliação das condições do estado da obra procedendo para o efeito à identificação do construído e do seu estado, quer no interior da infraestrutura, no conjunto das galerias, englobando tudo o que se encontrava escavado, o suporte instalado, a instrumentação colocada, bem como todos os equipamentos presentes, quer no exterior, na zona dos emboquilhamentos incluindo equipamentos, acessos, obras contenção e os taludes de escavação e de aterro adjacentes.
- c. A obrigação da verificação de segurança do revestimento primário previsto para as zonas por escavar, para todas as secções tipo preconizadas e para as diversas fases construtivas, bem como para a fase de exploração, caso se considerasse que o revestimento primário era colaborante.
- d. A obrigação de considerar o revestimento primário como não colaborante, para as zonas já escavadas que não fossem objeto de reforço. Na hipótese de reforço do revestimento primário para zonas já escavadas, apenas poderia ser considerado como colaborante o reforço e, nunca o conjunto com o existente.
- e. A obrigatoriedade de apresentação de um modelo que representasse as condições geológicas do maciço que deveria incluir, nomeadamente, a descrição das unidades geológicas presentes e a sua configuração; as suas características litológicas, estruturais e tectónicas (incluindo variações locais), bem como a definição de quaisquer descontinuidades estruturais do maciço; a caracterização hidrogeológica das unidades e do maciço em geral; os aspetos hidrológicos e geomorfológicos relevantes e a sismicidade.
- f. A obrigatoriedade de apresentação de um modelo geomecânico, construído a uma escala adequada ao problema de engenharia em estudo, que considerasse parâmetros de deformabilidade, resistência e permeabilidade, e a partir dos quais se avançasse para a definição da relação entre tensões e deformações e critérios de rotura mais apropriados.
- g. A exigência de apresentação de um zonamento que discretizasse o maciço, à escala da obra, em zonas geotecnicamente homogéneas, baseado em parâmetros: simples, representativos e facilmente verificáveis durante a construção; que representassem o grau de complexidade do maciço, e que permitissem uma descrição quantitativa das propriedades e ações ocorrentes no maciço.
- h. A obrigatoriedade de realizar a análise do faseamento das escavações para as condições previstas em que estas seriam realizadas, tendo em conta o zonamento geotécnico do maciço e as suas condições particulares como sejam as condições hidrogeológicas locais e, bem como as medidas de eventual reforço ou tratamento.
- i. A exigência de realização de uma análise de estabilidade dos taludes de escavação e de aterro nos emboquilhamentos, bem como as medidas de eventual reforço ou tratamento.

- j. A exigência de verificação das condições de fundação do pavimento, com uma análise do tipo de terrenos ocorrentes ao nível da fundação dos pavimentos e das suas características geotécnicas, que permitissem o pré-dimensionamento do tipo de leito do pavimento e as eventuais medidas de tratamento e/ou reforço/estabilização dos terrenos de fundação, caso se julgassem necessárias.

Importa referir que na apreciação técnica dos Estudos Prévio apresentados no âmbito das propostas dos concorrentes, era analisada e valorizada a articulação entre os diversos projetos de especialidades.

6 - CONCLUSÕES

As estratégias adotadas na elaboração e preparação das peças do concurso de conceção / construção do Túnel do Marão conduziram a que os Estudos Prévio submetidos pelos concorrentes apresentassem um elevado grau de desenvolvimento no que respeita à identificação e avaliação dos condicionalismos de natureza geológica e geotécnica, que se refletiam nas opções construtivas por eles assumidas.

O grau de desenvolvimento exigido na fase de Estudo Prévio possibilitou ao adjudicatário desenvolver em tempo útil um Projeto de Execução que permitiu, com rigor, efetuar um zonamento geotécnico e definir revestimentos primários adequados às condições geológicas vigentes na zona onde se insere o Túnel do Marão.

O decorrer da empreitada com a natural adaptação do projeto às reais condições dos maciços rochosos interessados pelo túnel, permitiu constatar que, globalmente, o modelo geológico assumido em projeto coincidiu com as condições verificadas em obra.

REFERÊNCIAS

- Conceição, M.F.M., Aldeias, J.B., Barbosa, P.J.N.F., Baião, C.J.O., Luís, R.F., Santa, C.M.M., Russo, C.M.C., Gonçalves, L.P.C.C., Monteiro, B.P.B. e Azevedo, J.C.C. (2016a). IP4 (A4) - *Túnel do Marão. Do estudo geológico e geotécnico à definição das soluções de projecto*. 15º Congresso Nacional de Geotecnia, Porto.
- Conceição, M.F.M., Aldeias, J.B., Barbosa, P.J.N.F., Baião, C.J.O., Luís, R.F., Santa, C.M.M., Russo, C.M.C., Gonçalves, L.P.C.C., Monteiro, B.P.B. e Azevedo, J.C.C. (2016b). *Túnel do Marão. Das soluções de projeto à realidade em obra*. 15º Congresso Nacional de Geotecnia, Porto.
- EP – Estradas de Portugal, S. A. (2013a). Concurso Público para adjudicação da empreitada "IP4 (A4) – TÚNEL DO MARÃO" (Em regime conceção/construção). PROGRAMA DO CONCURSO.
- EP – Estradas de Portugal, S. A. (2013b). Concurso Público para adjudicação da empreitada "IP4 (A4) – TÚNEL DO MARÃO" (Em regime conceção/construção). PROGRAMA PRELIMINAR.
- INFRATÚNEL (2011). AUTO-ESTRADA DO MARÃO. Projecto de Execução – Túnel.
- INFRATÚNEL (2012). Relatório do estado da obra – Túnel.
- Marinos, P e Hoek, E. (2000). GSI – *A geologically friendly tool for rock mass strength estimation*. Proc. GeoEng2000 Conference, Melbourne, pp. 1422-1442.