

TÚNEL DE ÁGUAS SANTAS: NOVO TÚNEL NORTE E REABILITAÇÃO DAS GALERIAS EXISTENTES

Pistone, R.¹, Ferreira, S.¹, Bento, J.¹, David, J.¹, Lorena, M.¹, Magalhães, J.², Barros, P.³

¹ COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, Lisboa, Portugal

² SENER-ENGIVIA, Consultores de Engenharia, S.A., Lisboa, Portugal

³ BRISA Engenharia e Gestão, Lisboa, Portugal

Sumário

*São abordados alguns aspectos das obras subterrâneas do projecto de alargamento e beneficiação para 2x4 vias, do sublanço Águas Santas-Ermesinde, incluído na A4 * Auto-Estrada Porto-Amarante, inserida na rede de auto-estradas da Brisa, no qual se localiza o túnel de Águas Santas (2 galerias), actualmente em serviço. Em termos de obras subterrâneas, preconiza-se a construção de um novo túnel, localizado a Norte do túnel existente, destinado ao tráfego que circula no sentido Nascente-Poente, (Amarante-Porto) e a reabilitação das galerias existentes, as quais se destinam ao tráfego que circula no sentido Poente-Nascente. O novo túnel Norte é caracterizado por uma galeria de grandes dimensões (~25m de largura total) e apresenta riscos geotécnicos relevantes, pelo facto de se localizar numa zona urbana, localizada a **escassa profundidade das escavações**. A reabilitação das actuais galerias gémeas unidireccionais, com cerca de 360 m de extensão cada, implica a reabilitação dos pavimentos e passeios, do sistema de drenagem, do reforço da estrutura de revestimento nas zonas com patologias detectadas, do tratamento de protecção contra o fogo e dos acabamentos. No que respeita aos equipamentos, a elaboração do estudo de reabilitação teve enquadramento semelhante ao previsto no novo túnel Norte, com o qual partilha algumas das infraestruturas, como sejam, os reservatórios da rede de incêndio ou ainda os postos de transformação.*

1 - INTRODUÇÃO

A presente comunicação incide sobre as obras subterrâneas do projecto de alargamento e beneficiação para 2x4 vias do sublanço Águas Santas-Ermesinde, incluído na A4 * Auto-Estrada Porto-Amarante, inserida na rede de auto-estradas da Brisa Concessão Rodoviária, S.A., no qual se localiza o túnel de Águas Santas, actualmente em serviço.

O Projecto de Execução do alargamento da auto-estrada foi concluído no ano de 2015 [1], com base no Estudo Prévio [2], elaborado em Novembro de 2006, tendo como principal objectivo o aumento da capacidade de escoamento do tráfego, recorrendo à duplicação do número de vias, das actuais 2 para 4 em cada sentido de tráfego, incluindo a reabilitação das duas galerias do túnel existente e a construção de um novo túnel, localizado a Norte das actuais.

2 - DESCRIÇÃO DO TRAÇADO EXISTENTE E DA INTERVENÇÃO PREVISTA

Actualmente, o túnel de Águas Santas é constituído por duas galerias unidireccionais, com duas vias de circulação cada, servindo a galeria Sul, o tráfego que circula com direcção Poente/Nascente e a galeria Norte, o tráfego que circula em sentido inverso. Estas galerias serão alvo de reabilitação específica, mantendo a geometria actual, com plataforma unidireccional com duas vias de circulação cada.

Dada a configuração do nó de Águas Santas, o qual estabelece a ligação entre a A3 e a A4, a galeria Sul do túnel, que serve actualmente a totalidade do tráfego que circula no sentido Poente/Nascente, após a reformulação preconizada, mantém o sentido de circulação mas passa a servir exclusivamente o tráfego proveniente da A3 – Sul (Porto).

Quanto à galeria Norte, que actualmente serve a totalidade do tráfego que circula no sentido oposto, com a reformulação preconizada, altera o seu sentido de circulação, passando a funcionar de modo a servir o tráfego Poente/Nascente, proveniente da A4 – Poente (Matosinhos) e da A3 – Norte (Braga).

O perfil transversal-tipo no interior das galerias existentes, com 7.40 m de largura total de plataforma, é constituído pelos seguintes elementos:

- Berma do lado esquerdo com 0.20 m de largura, com inclinação transversal e estrutura de pavimento idêntica à faixa de rodagem;
- Faixa de rodagem com 7.00 m de largura, correspondente a duas vias com 3.50 m de largura cada;
- Berma do lado direito com 0.20 m de largura, com inclinação transversal e pavimento idêntico à faixa de rodagem.
- De ambos os lados da plataforma, serão mantidos os passadiços existentes (com largura variável, em média igual a 0.85 m).

Relativamente à inclinação transversal, na galeria Sul será mantida a situação existente, com inclinação para o lado direito da plataforma e valor igual a 2.0%. Na galeria Norte, devido à inversão do sentido de circulação, será alterada a pendente (ficando com inclinação para o lado direito da plataforma), mantendo-se no entanto o valor actual igual a 2.0%.

Quanto ao *gabarit* livre, dadas as condicionantes físicas resultantes da geometria das galerias, é garantida a altura vertical de 5.00 m, na largura correspondente à faixa de rodagem (7.00 m), razão pela qual se manteve o valor de 2.0% (existente) como inclinação transversal.

O novo túnel a construir, localizado a Norte das galerias existentes, terá 4 vias e será destinado à totalidade do tráfego que circule no sentido Nascente/Poente (Amarante – Porto).

O seu perfil transversal-tipo, com 16.65 m de largura total de plataforma, é constituído pelos seguintes elementos:

- Berma do lado esquerdo com 2.00 m de largura, com inclinação transversal e estrutura de pavimento idêntica à faixa de rodagem;
- Faixa de rodagem com 14.00 m de largura, correspondente a quatro vias com 3.50 m de largura cada;
- Berma do lado direito com 0.65 m de largura, com inclinação transversal e pavimento idêntico à faixa de rodagem.
- De ambos os lados da plataforma, são considerados passadiços com 1.00 m de largura mínima.

Quanto ao *gabarit* livre é garantida uma altura vertical de 5.25 m.

No que respeita às condições de fluidez do tráfego, considera-se que o tráfego médio diário anual, TDMA, relativo ao novo túnel Norte de Águas Santas, corresponde a 50% do tráfego médio diário anual total.

Assim, para o ano 2015 prevêem-se 42 776 veículos/dia, com uma percentagem de veículos ligeiros (VL) de 85% e uma percentagem de veículos pesados (VP) de 15%. Para o ano 2030, prevêem-se 53 683 veículos/dia, com uma percentagem de veículos ligeiros (VL) de 85% e uma percentagem de veículos pesados (VP) de 15%.

3 - NOVO TÚNEL NORTE

O concurso, do novo túnel Norte, lançado na modalidade de concepção-construção, teve por base o Estudo Prévio Detalhado [3]. O Projecto de Execução [4] e a realização da obra são de responsabilidade do Consórcio Construtor [5], sob fiscalização do próprio Dono de Obra [6] apoiado numa Assessoria Técnica Especial [3].

Trata-se de um túnel de grandes dimensões, com cerca de 367 m de desenvolvimento total (Quadro 1), com riscos geotécnicos relevantes, pelo facto de se situar numa zona urbana, com escasso recobrimento de terras.

Cut & Cover Secção Tipo I			Túnel Subterrâneo			Cut & Cover Secção Tipo II		
Início	Fim	Total (m)	Início	Fim	Total (m)	Início	Fim	Total (m)
8+834.35	8+869.35	35	8+869.35	9+175.00	305.65	9+175.00	9+201.25	26.25

Quadro 1. Novo túnel Norte – Principais características [4].

3.1 - Ocupação de superfície e principais condicionamentos

Conforme já mencionado, o túnel localiza-se em zona urbana, com ocupação em geral dispersa, mais densa e com infra-estruturas junto aos emboquilhamentos. No emboquilhamento Nascente assinala-se a Rua D. Afonso Henriques/Estrada Nacional EN105, com edificações de pequeno/médio porte, com cerca de 10 m de recobrimento sobre a abóbada.

No emboquilhamento Poente, o principal condicionamento, prende-se com a presença da linha ferroviária da Ligação Leixões – Ermesinde. O recobrimento entre a via-férrea e a abóbada do túnel é da ordem dos 5 m.

Outro condicionamento importante diz respeito à necessidade de respeitar o Plano de Gestão de Tráfego quando da utilização de explosivos, o qual delimita em linhas gerais, a suspensão da circulação automóvel nas 2 galerias existentes, durante a detonação das pegas de fogo (apenas permitida em períodos específicos: 10h30m/11h30m, 15h30m/16h e período nocturno, a partir das 20h30m, desde que se cumpra a legislação em vigor), a necessidade de medição da velocidade das partículas, assim como a monitorização das deformações das edificações/infra-estruturas. A reabertura do tráfego é efectuada após a verificação das adequadas condições de segurança para a circulação automóvel.

3.2 - Aspectos geológico-geotécnicos

Com base nos resultados de um vasto programa de prospecção e ensaios, foi definido o zonamento e parametrização do maciço rochoso, que serviu de base às soluções desenvolvidas e aos métodos construtivos adoptados para as obras.

Quadro 2. Zonamento geotécnico adoptado para o novo túnel Norte [3].

Zona Geotécnica	RMR	Características do Maciço				
		Grau de Alteração (W)	Grau de Fracturação (F)	Recuperação (%)	RQD (%)	N _{SPT}
ZG3	< 30	W ₅ a W ₄	F _{4.5} a F ₅	-	-	5 - 60
ZG2	30 – 60	W _{3.4} a W ₃	F _{3.4} a F ₄	< 70	< 50	-
ZG1	> 60	W _{2.3}	F ₂ a F ₃	> 70	> 50	-

Litologicamente, o túnel interessa o denominado “Granito do Porto”, definido por granito alcalino de grão médio a grosseiro, leucocrata, de duas micas. As principais características das três zonas geotécnicas que encontram-se identificadas no Quadro 2, na Figura 1, na Figura 2 e na Figura 3.

A zona geotécnica ZG3 (maciço de menor qualidade), ocorre essencialmente junto às imediações do emboquilhamento Nascente, sendo caracterizada essencialmente por granito decomposto a muito alterado (W₅ a W₄), incluindo saibros arenosos compactos, a muito compactos em profundidade (N_{SPT} > 60 pancadas, em geral, a partir dos 10 m de profundidade) e ainda por aterros de saibro granítico.

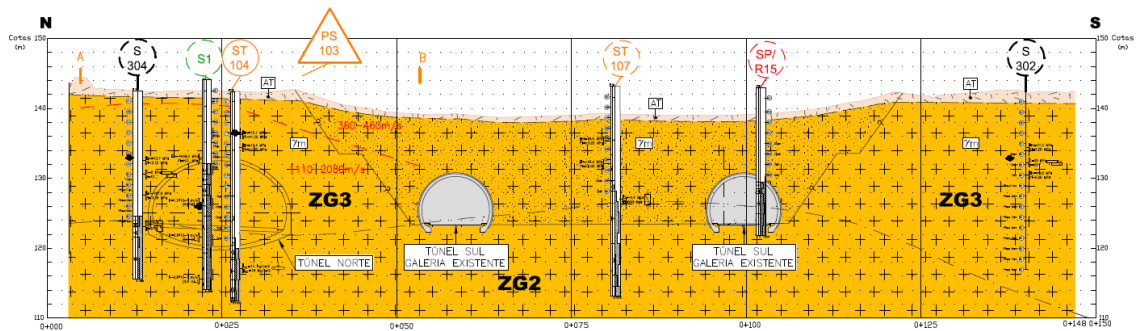


Fig. 1. Perfil geológico transversal – Emboquilhamento Nascente [3] [4].

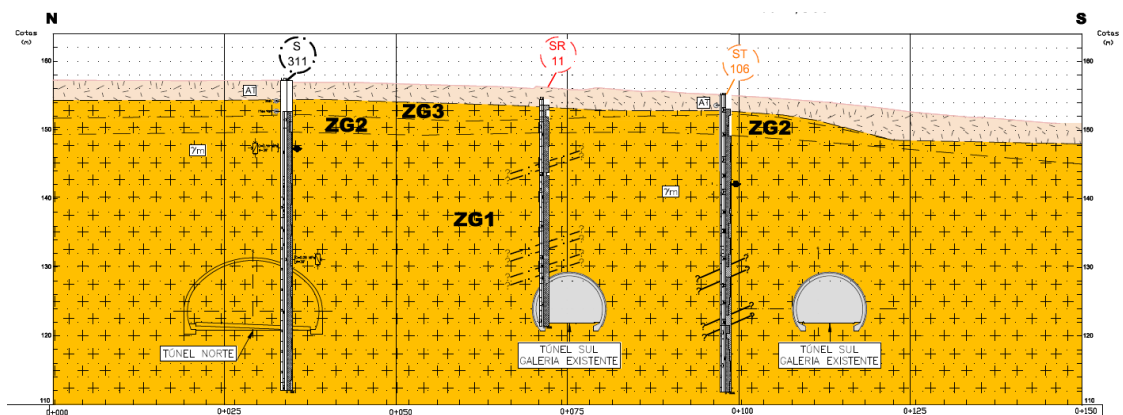


Fig. 2. Perfil geológico transversal – Túneis [3] [4].

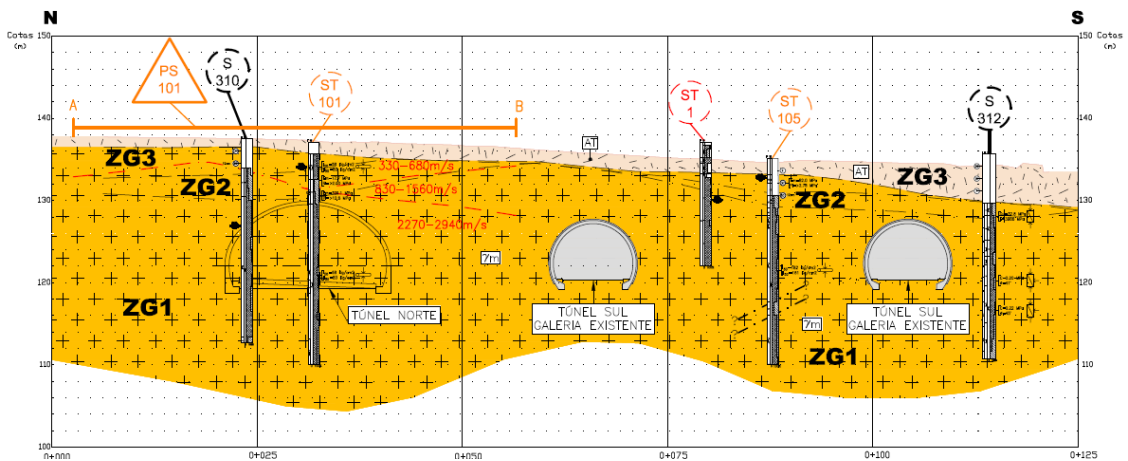


Fig. 3. Perfil geológico transversal – Emboquilhamento Poente [3] [4].

3.3 - Características geométricas das secções tipo

Face às condicionantes rodoviárias impostas, a geometria interior das secções tipo apresentadas a concurso foi definida de forma a circunscrever o *gabarit* rodoviário, incluindo os passeios e o espaço necessário para a instalação de equipamento de segurança, procurando manter uma certa proporção entre a área útil e a área total de escavação, assim como manter um factor de forma mais adequado ao provável carregamento dos terrenos envolventes. As secções tipo I e II foram geometricamente definidas com recurso a curvas policêntricas de raios internos de 11.00 m, 5.70 m e 6.70 m (Figura 4).

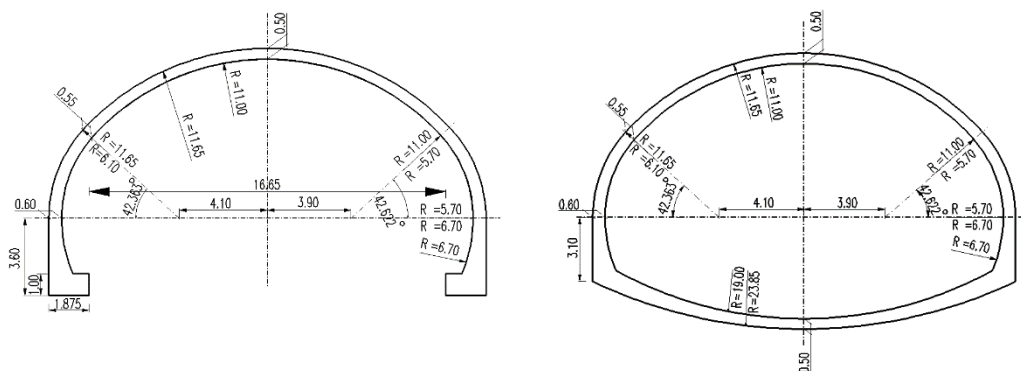


Fig. 4. Definição geral das secções tipo I (para ZG1 e ZG2) e tipo II (para ZG3) do novo túnel Norte [3].

Como as características do maciço condicionam o tipo de fundação associado a cada zona geotécnica, foram adoptadas duas secções tipo, diferenciando as mesmas no processo construtivo e no modo de fundação.

Para instalar as diversas redes e sistemas - abastecimento de energia, iluminação, sinalização e segurança - foram previstas, sob os passeios, caleiras contínuas para colocação das condutas.

3.4 - Nichos

As galerias subterrâneas são dotadas de dispositivos de segurança, albergados em nichos, espaçados de 75 m (designados por N1 e N1A). Alguns nichos (N1) permitem, através de caixas de visita, a manutenção dos drenos dos hasteais. As suas dimensões são 2,10 x 1,30 m, por 0,80 m de profundidade (Quadro 3).

Quadro 3. Localização dos nichos do Novo Túnel Norte [4].

pk	Lado Esq. (Sul)	Lado Dir. (Norte)
8+910		N1A
8+985	N1	N1A
9+055		N1A
9+125		N1A

3.5 - Emboquilhamentos

3.5.1 - Emboquilhamento Poente

No coroamento do talude frontal do emboquilhamento Poente localiza-se a linha de caminho de férreo da Ligação Leixões-Ermesinde, que continuará em exploração ao longo do decorrer da obra, sendo este um aspecto condicionante na definição das soluções de projecto. Paralelamente à linha férrea e adjacente às escavações a efectuar, situa-se a Rua Nossa Senhora de Fátima, com uma faixa de rodagem (uma via em cada sentido).

Nesta zona, a solução construtiva consiste essencialmente em fazer uma suspensão provisória da via férrea, em funcionamento até a construção do revestimento definitivo do emboquilhamento, incluindo reaterro do local. Será construído um pórtico composto por vigas metálicas, com um vão de cerca de 25m, onde assentarão os carris, por sua vez apoiado em microestacas de aço de alta resistência, com secção em coroa circular, de 139.7 mm de diâmetro exterior e espessura de parede de 10 mm.

Por se tratar de escavação em maciço essencialmente rochoso, as soluções de estabilização são caracterizadas por um revestimento de betão projectado, armado com fibras metálicas, com 15 cm de espessura (zona de escavação provisória, a reaterrar) e rede de dupla torção contra a queda de pequenos blocos (zona de escavação definitiva). Em ambas as situações, o reforço do maciço é efectuado recorrendo a pregagens de aço tradicional, com 32 mm de diâmetro, 6 m de comprimento, dispostas numa malha de 3 m x 3 m. Por condicionamentos de espaço, é ainda executado um muro de gabiões, com 24 m de desenvolvimento, que vencerá um desnível de terras máximo de 6 m.

3.5.2 - Emboquilhamento Nascente

No coroamento do talude frontal do emboquilhamento Nascente situa-se a Rua D. Afonso Henriques, caracterizada por faixa de rodagem bidirecional com duas vias de circulação, ladeada por edifícios de pequeno/médio porte e por uma zona de estacionamento, adjacente a um muro de alvenaria de pedra, a preservar.

No troço inicial e lateral do emboquilhamento localizam-se três edifícios, um edifício de habitação de pequeno/médio porte, com 3 pisos elevados, um edifício mais afastado, igualmente de habitação, de grande porte com 7 pisos elevados e 1 cave semi-enterrada e um edifício tipo armazém de pequeno porte com 1 piso elevado. No seguimento das edificações anteriores, existem um conjunto de arruamentos secundários.

A solução proposta no projecto consiste essencialmente na construção, ao longo do talude Norte do emboquilhamento, de uma cortina de estacas, secantes, com 1.00 m de diâmetro, espaçadas de 0.85 m, ancorada definitivamente, com forma de “L”, no sentido de também conter o talude frontal do túnel. A solução desenvolve-se num total de 150 m de extensão, sendo caracterizada por 2 a 4 níveis de ancoragens definitivas, espaçadas de cerca de 5 m, com pré-esforço variável entre 500 kN e 700 kN. Na extremidade oposta ao túnel, a escavação é efectuada através de um talude definitivo, reforçado internamente com pregagens auto-perfurantes, com 38 mm de diâmetro, com 15 m de comprimento e dispostas numa malha de 2 m x 2 m. O revestimento superficial do talude é assegurado por uma geomalha.

3.6 - Programa de instrumentação e observação

Tratando-se de um túnel de grande dimensão, executado em meio urbano, a monitorização assume um papel central, não apenas no que respeita ao controle do comportamento e segurança da obra, como também no que respeita à afectação dos edifícios e infra-estruturas existentes na envolvente do túnel.

No sentido de avaliar, com razoável precisão e em redundância, o modo de deformação do maciço e, consequentemente, confirmar a validade do suporte primário preconizado, torna-se fundamental estabelecer, em fase de obra, um programa de observação baseado em:

No interior do túnel:

- Medições de deslocamentos absolutos e convergências com alvos ópticos.

Desde o exterior do túnel, incluindo emboquilhamentos:

- Medições de deslocamentos absolutos com alvos ópticos (contenções e edificações);
- Medições de deslocamentos absolutos e convergências com alvos ópticos (galeria existente);
- Medições de deslocamentos com extensómetros de varas;
- Medição de deslocamentos horizontais recorrendo a inclinómetros;
- Medições de assentamentos com marcas topográficas de nivelamento de precisão;
- Medição do nível de água através de piezómetros;
- Medição de vibrações utilizando sismógrafos (edificações e galeria existente);
- Medições de deformações através de extensómetros de corda vibrante (galeria existente e estrutura de suspensão de via);
- Medições de rotações através de clinómetros (edificações);
- Medição de fissuras com medidores de fissuras eléctricos (edificações);
- Medição de variações de pré-esforço recorrendo a células de carga eléctricas (ancoragens definitivas).

Das estruturas a instrumentar à superfície com plano específico, destaca-se a estrutura de suspensão da via do caminho-de-ferro do emboquilhamento Poente, as estruturas de contenção previstas no emboquilhamento Nascente, incluindo as edificações e particularmente, a galeria existente, ambas suficientemente próximas para serem influenciadas pela construção do novo túnel, utilizando para o efeito, entre outras, medições de convergência, de deformação com barras extensométricas e de vibrações com sismógrafos.

3.7 - Suporte primário

Em linhas gerais, o suporte primário é adoptado em função da qualidade do maciço, sendo de destacar os seguintes aspectos, função da zona geotécnica:

- ZG1: Escavação executada em duas fases distintas (rebaixo máximo de 3.6 m); Revestimento de betão projectado, armado com fibras metálicas (0.25 m de espessura mínima); Reforço do maciço com pregagens

- expansivas de 200 kN, com 6 m de comprimento, dispostas numa malha de 2.0 m x 2.0 m.
- ZG2: Escavação executada em duas fases distintas (rebaixo máximo de 3.60 m); Revestimento de betão projectado, armado com fibras metálicas (0.30 m de espessura mínima); Reforço do maciço com pregagens expansivas de 200 kN, com 6 m de comprimento, dispostas numa malha de 1.5 m x 1.5 m. Colocação de cambotas metálicas treliçadas, espaçadas de 1.5 m.
 - ZG3: Escavação executada altimetricamente em 3 fases distintas (5.80 m – 4.00 m – 4.50 m); Revestimento de betão projectado, armado com fibras metálicas (0.30 m de espessura mínima); Reforço do maciço com chapéu duplo troncocónico de enfilagens, espaçadas de 0.35 m, com 12.00 m de comprimento, em aço de alta resistência, com secção de coroa circular, de diâmetro exterior de 88.9 mm e espessura de parede de 6.50 m. Colocação de cambotas metálicas, espaçadas de 0.8 m, apoiadas nas fases intermédias da escavação através de microestacas, de secção semelhante às enfilagens; Execução de soleira provisória, de betão armado com fibras metálicas, nas secções intermédias da escavação; Reforço da frente de escavação com pregagens de fibra de vidro e execução de drenos sub-horizontais.

3.8 - Revestimento definitivo

O revestimento definitivo do túnel, em betão armado, é definido em função das duas secções tipo, adoptadas de acordo com o zonamento geotécnico interessado (ver § 3.3). Como espessura mínima tem-se 0,50 m em ZG1/ZG2 e máxima de 1,15 m em ZG3. Quando existente, a espessura mínima da soleira é de 0.50 m (ZG3).

3.8.1 - Protecção do betão contra o fogo

No caso da eventual ocorrência de um incêndio no interior do túnel, o betão será submetido a elevado gradiente de aquecimento. Para minimizar o efeito de expansão explosiva do betão, foi prevista a adição de fibras de polipropileno, com monofilamento de diâmetro $\leq 18 \mu$, na dosagem de 1 kg/m³. Considerou-se um recobrimento nominal mínimo das armaduras de 5 cm.

Na zona do emboquilhamento Nascente, numa extensão de 71 m, a fase interior do revestimento de betão do túnel, será ainda prevista a execução de uma protecção passiva contra a acção do fogo, no sentido de evitar a sua deterioração mecânica e eventual colapso, em consequência da acção de um incêndio. A protecção será constituída por uma argamassa de base **comentícia**, aplicada por projecção, satisfazendo, para a acção da curva da evolução de temperaturas do fogo RWS (recomendações holandesas), os seguintes requisitos:

- Taxa máxima da temperatura no betão adjacente à protecção $< 4^\circ\text{C}/\text{min}$;
- Temperatura máxima atingida pelo betão na interface com a protecção $\leq 300^\circ\text{C}$, durante 240 minutos.

3.9 - Sistema de impermeabilização e drenagem

Reconhecida a possibilidade de presença de água no maciço a atravessar pelo túnel, toda a sua estrutura será dotada de um sistema de impermeabilização e drenagem.

O sistema fará a colecta de água subterrânea afluyente à zona do túnel, evitando a sua entrada, protegendo simultaneamente os materiais usados nas estruturas, prolongando a sua vida útil e minorando os aspectos de conservação, bem como evitando o aparecimento de pressões hidrostáticas sobre o revestimento.

Ao longo de toda a galeria subterrânea, a solução prevista é definida por uma membrana impermeabilizante de PVC de 2mm de espessura, associada a um geotêxtil com funções de protecção e de drenagem, não tecido, agulhado, em polipropileno. O geotêxtil de protecção será aplicado entre o suporte primário e a membrana, no sentido de a proteger e simultaneamente captar e transportar a água subterrânea que eventualmente, exista na zona envolvente.

Na base dos hasteais, estão localizados, longitudinalmente, drenos DN 200, em PVC, lisos interiormente e corrugados exteriormente, envolvidos em geotêxtil, com a finalidade de receber as águas infiltradas, encaminhando-as para o sistema de drenagem longitudinal do emboquilhamento de saída (ligação ao sistema de drenagem da plataforma rodoviária exterior) (Figura 5).

Para além da drenagem da envolvente da galeria, a drenagem da soleira será constituída por um dreno/colector longitudinal, em PVC, envolvido por geotêxtil e material drenante, que será implantado na segunda via de cada faixa de rodagem, permitindo a intervenção para manutenção sem corte da totalidade das vias, nos dois sentidos. Foram previstas caixas de visita não acessíveis, afastadas aproximadamente de 100 m. A implantação deste tipo

de caixas, pretende evitar qualquer problema relacionado com a implantação de tampas de caixas de visita, ao nível do pavimento rodoviário (Figura 5).

3.10 - Drenagem superficial da plataforma rodoviária

Com a função de recolher as águas provenientes do pavimento do túnel (muitas vezes contaminadas), será prevista a colocação de uma caleira (caleira de rasgo lateral com colector incorporado, com capacidade de vazão equivalente a um colector de secção circular de diâmetro de 300 mm), localizada na extremidade da plataforma (face à sobre-elevação da plataforma, a caleira será implantada na berma direita do túnel), acompanhando todo o desenvolvimento do túnel. Este elemento encontra-se dotado de caixas sifonadas para prever a eventualidade de derrames e espalhamento de materiais inflamáveis no interior do túnel.

A cada 70 m, as águas recolhidas pelas caleiras laterais serão conduzidas, por um colector circular de 315 mm de diâmetro, a um separador de hidrocarbonetos coalescente (Classe 1). Após descarga, as águas tratadas serão encaminhadas para um sistema de colector e caixas de visita, prevendo-se a ligação ao colector existente, que descarrega através de boca de lobo, no terreno natural (Figura 5).

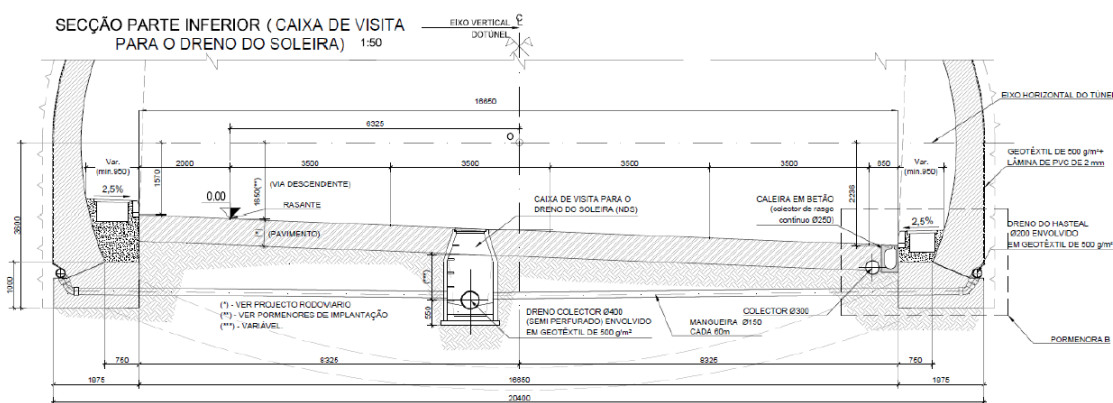


Fig. 5. Órgãos de drenagem do novo túnel Norte. Secção tipo [4].

3.11 - Equipamentos

Os sistemas de equipamentos de segurança, controlo e conforto previstos para o túnel são:

- Rede de incêndio;
- Sistema de videovigilância (CCTV);
- Sistema de ventilação longitudinal;
- Iluminação;
- Sistema de fornecimento de energia eléctrica;
- Sistema de detecção de incêndio;
- Sistema de rádio;
- Chamada de emergência, SOS;
- Painéis de mensagens variáveis, PMV;
- Sinalização vertical luminosa;
- Sistemas de monitorização atmosférica (sensores CO/OP/NO e anemómetros);
- Sistemas de controlo de tráfego;
- Sistema de controlo geral (Building Management System, BMS).

4 - REABILITAÇÃO DAS GALERIAS EXISTENTES

A construção dos túneis existentes, duas galerias gémeas unidireccionais com cerca de 360 m de desenvolvimento (Quadro 4), remonta ao ano de 1989.

Quadro 4. Galerias existentes. Principais características [3].

Galeria	Estrutura (Hasteais)			Estrutura (Abóbada)		
	Início	Fim	Total (m)	Início	Fim	Total (m)
Norte	8+820.7	9+181.6	360.9	8+828.9	9+173.4	344.5
Sul	8+816.2	9+173.1	356.9	8+824.5	9+164.8	340.3

No âmbito da beneficiação do actual sublanço, as anomalias detectadas nas inspecções realizadas justificam uma intervenção que incrementará a longevidade do túnel, melhorando a sua capacidade, funcionalidade e segurança, nomeadamente nos aspectos rodoviários, de segurança e conservação da estrutura; de drenagem e ainda de equipamentos.

Os aspectos a melhorar, quer seja por reforço, substituição ou ainda por instalação inicial são os seguintes:

- Pavimento e passeios (a substituir);
- Drenagem (a substituir e reforçar, incluindo a criação de drenagem separativa de águas limpas e sujas com sifonamento da recolha das últimas e condução a câmara de separação de óleos);
- Estrutura (a reforçar nas zonas com deficiências de funcionamento estrutural, tratamento de fissuras e de juntas, instalação de protecção contra o fogo e renovação do acabamento);
- Cablagens (a substituir);
- Sinalização (introdução de sinalização de emergência, incluindo iluminação de balizamento e evacuação, painéis seta-cruz e pictogramas);
- Rede de combate a incêndios (instalação da rede com postos de incêndio no interior do túnel, munidos de mangueira e extintores);
- Chamadas de emergência (instalação de SOS no interior do túnel);
- Iluminação (substituição da iluminação existente);
- Videovigilância (instalação de CCTV);
- Detecção de incêndios (instalação de fibro-laser);
- Alimentação eléctrica e colocação de tomadas.

4.1 - Zonamento geotécnico

As zonas geotécnicas definidas para estas galerias são idênticas às apresentadas para o novo túnel Norte. No Quadro 5 é apresentada uma estimativa do zonamento geotécnico dos túneis, tendo em conta os comprimentos e as percentagens estimadas para cada trecho. O zonamento foi definido a partir dos dados da prospecção, uma vez que não se dispõe dos registos da cartografia geológica da fase de escavação das galerias.

Quadro 5. Zonamento geotécnico. Estimativa [7].

%	ZG1	ZG2	ZG3
Galeria Norte	50	33	17
Galeria Sul	43	29	28

4.2 - Gabarit rodoviário

Com base no levantamento LaserScan, foi possível apurar o *gabarit* disponível em cada uma das secções transversais. A análise dos dados geométricos permitiu concluir que o *gabarit* actual na galeria Norte, encontra-se condicionado pontualmente por uma altura de mínima de 4.86 m e, por uma largura mínima de 7.35 m. Na galeria Sul, a altura condicionante é de 4.97 m e em termos de largura, tem-se o valor mínimo 7.37 m. Esta análise permitiu validar o traçado de Projecto de Execução e a inserção, em toda a extensão das galerias do *gabarit* adoptado de 7,00x5,00 m.

4.3 - Trabalhos realizados nas galerias

Em 2006 foi realizada uma inspeção detalhada das galerias. Em 2011 foi executada uma nova vistoria e mapeamento, incluindo a realização de uma campanha de ensaios nas estruturas existentes. Tendo por base a informação contida no relatório de inspeção e mapeamento de 2005 [9], houve a preocupação de se apurar se teria ocorrido alguma evolução nas patologias já identificadas, em especial no que respeita à fissuração existente na abóboda e nas escorrências e infiltrações localizadas nas juntas e em fissuras abertas. Concluiu-se que não era perceptível qualquer agravamento no valor da abertura das fissuras estruturais existentes no tecto da abóboda das duas galerias, contudo, o sistema de drenagem continuava a apresentar sérios problemas de funcionamento (Figura6).

Os trabalhos de campo realizados, no âmbito do Projecto de Execução da reabilitação das galerias [6] foram:

- Inspeção visual das galerias;
- Campanha de ensaios de caracterização do estado de conservação do revestimento;
- Inspeção com georadar;
- Levantamento a LaserScan 3D.



Fig. 6. Aduela 28 da galeria Norte. Escorrências e depósitos ao longo de fissura situada no tecto da abóboda. Caixa de inspeção colmatada, nos drenos de descarga [7].

4.4 - Patologias e solução geral de reabilitação

4.4.1 - Drenagem existente

O sistema existente de impermeabilização e drenagem da estrutura é constituído pelos seguintes elementos:

- Geotêxtil de polipropileno e geomembrana em PVC de 1,5 mm ao longo do perímetro da galeria de cada um dos túneis, envolvendo o dreno da base do hasteal;
- Dreno longitudinal em PVC DN 80, colocado no exterior de cada galeria (2 por galeria) e ao longo destas;
- Geodrenos transversais que atravessam a parede da galeria e descarregam no colector/dreno longitudinal;
- Material drenante sob o pavimento com espessura que varia 0.15 m e 0.27 m, com uma inclinação de 4%, a descarregam no dreno longitudinal DN 300;
- Dreno longitudinal, em PVC DN 300, protegido por geotêxtil, assente num coxim de betão, colocado sob o pavimento e junto do passeio (2 por galeria);
- Caixas de visita cegas do dreno longitudinal DN 300.

As principais anomalias do sistema detectadas nas galerias foram:

- Presença de água no interior das caixas de visita de inspeção dos drenos (Figura 6);
- Cabos eléctricos no interior das caixas, mergulhados dentro de água;
- Presença de sedimentos dentro das caixas de visita de inspeção dos drenos, colmatando o tubo de descarga;
- Tubos de descarga do caudal afluyente às caixas, obstruídos com sedimentos;
- Saída de água e de sedimentos através das juntas de betonagem que cai sobre as vias de circulação;
- Aparecimento de lombas no pavimento;
- Aparecimento de saída de água na zona de ligação do passeio ao pavimento e pavimento degradado.

Face ao exposto, o sistema de drenagem da estrutura e da plataforma que existe na zona do pavimento e dos passeios, será removido e substituído por um novo sistema de drenagem subterrânea e superficial. A recolha e transporte de águas passam a ser efectuados, de modo separativo, em águas limpas e em águas de lavagem/derrames (contaminadas).

4.4.2 - Drenagem a instalar

O caudal do sistema de drenagem da estrutura, incluindo o dos geodrenos radiais, a perfurar na plataforma dos passeios, será recolhido e encaminhado em caleira longitudinal, em betão polímero com grelha em ferro fundido. Esta caleira longitudinal é ligada ao sistema de drenagem pluvial da auto-estrada, nos emboquilhamentos (Figura 7).

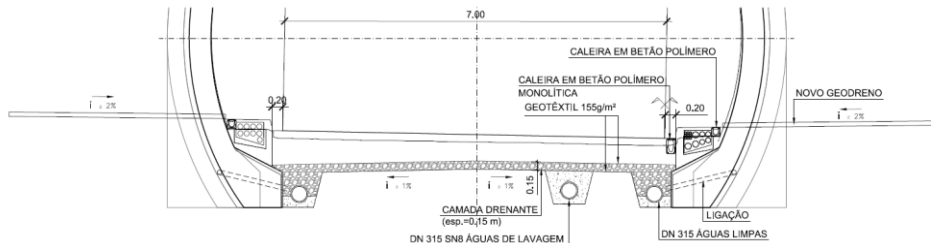


Fig. 7. Novos órgãos de drenagem previstos [7].

O sistema de drenagem superficial irá recolher as águas de lavagem/derrames do pavimento dos túneis e encaminha-las para um separador de hidrocarbonetos.

Em caso de incêndio, para permitir o corte da frente do fogo, foi previsto instalar um sistema sifonado, ligado pelo fundo, à caleira em betão polímero, que por sua vez descarregará numa caixa de visita do colector longitudinal, em polipropileno (Figura 8).

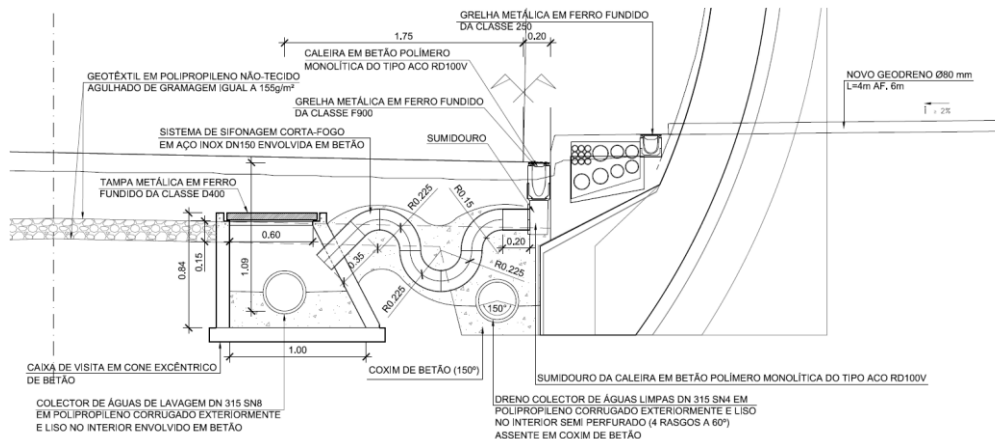


Fig. 8. Ligação sifonada entre a caleira do pavimento e o colector [7].

4.4.3 - Aspectos estruturais

Os túneis apresentam um revestimento definitivo em betão, em geral armado, com intradorso circular em arco de centro único. Os cerca de 360 m de extensão de revestimento definitivo, foram construídos em 29 troços de betonagem (aduelas), cujo comprimento é de cerca de 12 m (Figura 9).

Foi realizado um mapeamento de patologias sobre o levantamento a LaserScan 3D da superfície interna do revestimento das galerias, como o objectivo de caracterizar o estado de fissuração da estrutura (Figura 10).

Conforme já mencionado, constatou-se na inspecção realizada em 2011 que, a abertura das fissuras não se se tinha agravado, comparativamente aos valores observados na inspecção realizada em 2005 [9].

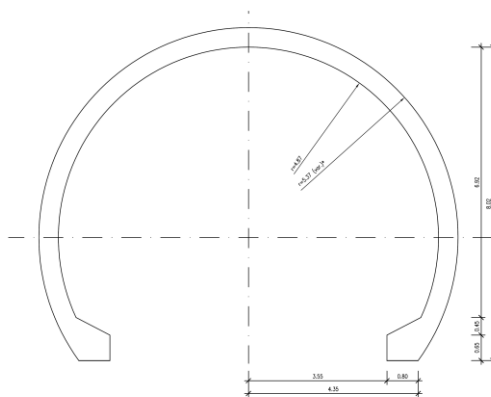


Fig. 9. Secção tipo das galerias existentes. [8].

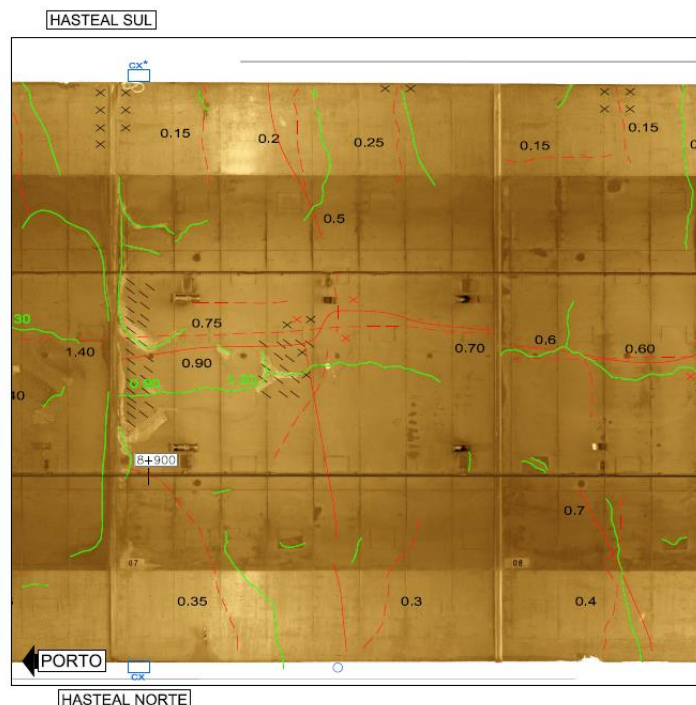


Fig. 10. Extracto do mapeamento de anomalias realizado sobre base LaserScan 3D [7].

Por forma a caracterizar o estado de conservação dos betões de revestimento, foram realizados ensaios não destrutivos, ou reduzidamente intrusivos, tendo também sido extraídas carotes do revestimento de betão (ϕ 56mm), criteriosamente localizadas, para caracterização da espessura dos revestimentos (revestimento definitivo e suporte primário), para identificação dos materiais constituintes e para detecção de eventuais anomalias. Foram realizados ensaios de compressão simples, análise petrográfica dos betões, medição da camada de recobrimento das armaduras e da profundidade de carbonatação, medição do potencial eléctrico das armaduras, ensaios de resistividade e humidade do betão e testes com esclerómetros.

A realização dos ensaios teve como objectivo fundamental, a avaliação do estado de conservação das estruturas, em particular sobre o estado de passivação das armaduras, em relação à corrosão e sobre a qualidade em termos de durabilidade e resistência dos betões existentes.

Em termos de durabilidade, o betão do revestimento das galerias apresenta uma frente de carbonatação de cerca 11 mm, revelando assim que a deterioração do betão está em curso, contudo, as armaduras continuam a dispor de

protecção, encontrando-se passivadas. A profundidade média de recobrimento das armaduras detectadas foi de cerca de 30 a 35 mm.

Em função dos resultados obtidos, foram propostas as seguintes intervenções na estrutura do revestimento definitivo:

- Reforço estrutural em zonas específicas, com recurso a uma estrutura com fibras de carbono e execução de pregagens de amarração do revestimento ao maciço, em zonas com potencial desenvolvimento de blocos destacáveis (do revestimento);
- Reparação, tratamento de fissuras e protecção contra a carbonatação do betão, aplicando revestimentos de argamassa de base cimentícia e tratamento das fissuras estruturais com abertura superior a 0,3 mm, com recurso a injeções de resina epóxi;
- Renovação do acabamento da superfície mediante a aplicação de pinturas epóxicas;
- Protecção do betão contra o fogo;

4.4.4 - Protecção contra o fogo

Devido às graves consequências à superfície provocadas por um eventual colapso da estrutura, foi considerada uma protecção ao fogo, projectada no intradorso do revestimento definitivo de betão, colocada nos trechos críticos, junto aos emboquilhamentos sob a via-férrea (lado Poente) e sob as habitações (lado Nascente). A protecção será constituída por uma argamassa de base cimentícia, aplicada por projecção, com características semelhantes às do novo túnel Norte.

4.4.5 - Equipamentos

Integrados na solução de reabilitação, procurando nivelar o grau de serviço proporcionado pelo novo túnel Norte e pelas actuais galerias após a sua reabilitação, prevê-se complementar estas últimas com uma série de equipamentos, incrementando desta forma o conforto e a segurança.

Alguns dos equipamentos a instalar, não existiam na operação das galerias, como, por exemplo, a detecção e a rede de combate a incêndios. Outros, vem actualizar equipamentos existentes, como, por exemplo, a iluminação.

Assim, os equipamentos a considerar na reabilitação são os seguintes:

- Rede de incêndio
- Sistema de detecção de incêndio;
- Sistema de videovigilância (CCTV);
- Sistema de sinalização de via – Painéis seta/cruz e de velocidade;
- Sistema de chamada de emergência - SOS;
- **Iluminação.**

Na figura 11 pode observar-se a distribuição dos espaços, após a intervenção de reabilitação.

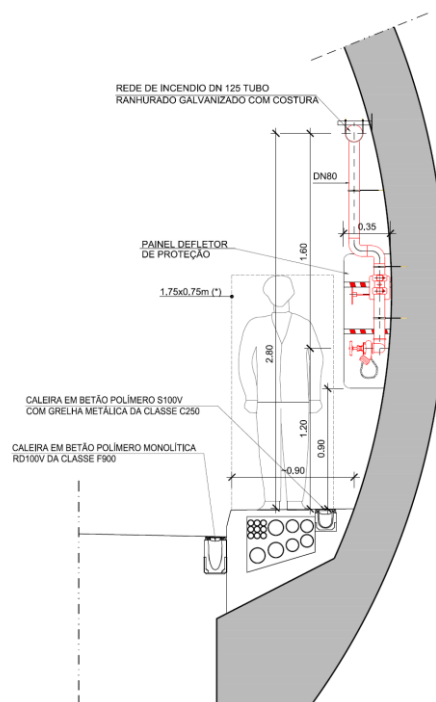


Fig. 11. Distribuição de espaços no passeio e hasteal, após a intervenção de reabilitação [7].

5 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à BRISA Engenharia e Gestão, a devida autorização para publicar este trabalho, assim com a todas as pessoas que participaram na elaboração dos estudos aqui apresentados.

6 - REFERÊNCIAS

1. Projecto de Execução do traçado, desenvolvido pela empresa Sener-Engivia, Lisboa, Portugal, 2015.
2. Estudo Prévio do traçado, desenvolvido pela empresa Sener-Engivia, Lisboa, Portugal, 2006.
3. Estudo Prévio Detalhado e Assessoria Técnica, desenvolvido pelas empresas Sener-Engivia e Coba, Lisboa, Portugal, 2007.
4. Projecto Execução da nova galeria Norte, desenvolvido pela empresa Geodata Engineering, Torino, Itália, 2015.
5. Consórcio Construtor, agrupamento de empresas: Ramalho Rosa Cobetar, Conduril e Amândio Carvalho, Portugal.
6. Dono de Obra, Brisa Engenharia e Gestão, São Domingos de Rana, Portugal.
7. Projecto Execução da reabilitação das galerias existentes, desenvolvido pela empresa Coba, Lisboa, Portugal, 2015.
8. Projecto de Execução das galerias actualmente existentes, desenvolvido pela empresa Profabril, Centro de Projectos, S.A., Portugal, 1989.
9. Relatório de Inspeção (Mapeamento de Patologias) da BRISA, Portugal, 2005.
10. Estudo Prévio Detalhado da Reabilitação dos Actuais Túneis de Águas Santas, desenvolvido pelas empresas Engivia e Coba, Lisboa, Portugal, 2011.