



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

ASSESSORIA TÉCNICA À IP – INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, S.A. PARA A CONCLUSÃO DO EMPREENDIMENTO DO TÚNEL DO MARÃO NO ÂMBITO DOS EQUIPAMENTOS E SISTEMAS DE SEGURANÇA

Parecer sobre a segurança

IP – Infraestruturas de Portugal, S.A.

Lisboa • outubro de 2016

OAC&T CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO
CIENTÍFICA

RELATÓRIO 298/2016 – **CIC/NSEM**

Título

ASSESSORIA TÉCNICA À IP – INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, S.A. PARA A CONCLUSÃO DO EMPREENDIMENTO DO TÚNEL DO MARÃO NO ÂMBITO DOS EQUIPAMENTOS E SISTEMAS DE SEGURANÇA

Parecer sobre a segurança

Autoria

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

Carlos Oliveira Costa

Investigador Principal, Diretor do Centro

João Carlos Pires Palma

Investigador Principal, Chefe do Núcleo de Sistemas Eletrotécnicos e Mecânicos

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS

João Carlos Viegas

Investigador Principal com Habilitação, Chefe do Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

DEPARTAMENTO DE BARRAGENS

José Muralha

Investigador Principal, Núcleo de Modelação e Mecânica das Rochas

Colaboração

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS

António José Costa dos Santos

Investigador Auxiliar, Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 298/2016

Proc. 0903/121/19028, 0809/121/1902801, 0402/121/1902802

ASSESSORIA TÉCNICA À IP - INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, S.A. PARA A CONCLUSÃO DO EMPREENDIMENTO DO TÚNEL DO MARÃO NO ÂMBITO DOS EQUIPAMENTOS E SISTEMAS DE SEGURANÇA

Parecer sobre a Segurança

Resumo

O presente relatório apresenta o Parecer sobre a Segurança do Túnel do Marão, com a respetiva fundamentação, no âmbito do Decreto-Lei n.º 75/2006, de 27 de março [2], com a redação que lhe foi conferida pelo Decreto-Lei n.º 75/2014, de 13 de maio [3], que estabelece os requisitos mínimos de segurança para os túneis da rede rodoviária transeuropeia e da rede rodoviária nacional.

Este parecer resultou das atividades desenvolvidas pela equipa do LNEC que acompanhou a colocação em funcionamento dos equipamentos de segurança e a realização dos ensaios finais. Resulta da concretização de um conjunto de condições e recomendações que a equipa do LNEC, através de documentos e verbalmente, foi transmitindo à IP nesse período que precedeu a entrada em funcionamento do túnel.

Palavras-chave: Túnel rodoviário / Túnel do Marão / Equipamentos e sistemas de segurança

TECHNICAL SUPPORT TO IP - INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL, S.A. FOR THE COMPLETION OF THE TÚNEL DO MARÃO PROJECT CONCERNING EQUIPMENT AND SAFETY SYSTEMS

Advice on Tunnel Safety

Abstract

This report presents the Advice on the Safety of Tunnel of Marão, with the corresponding justification, under Decree-Law No. 75/2006 of March 27 [2], with the wording given to it by Decree-Law No. 75/2014 of 13 May [3] establishing the minimum safety requirements for tunnels in the trans-European road network and the national road network.

This advice has resulted from activities developed by LNEC team that followed the commissioning of safety equipment and has carried out the final tests. It results from the implementation of a set of conditions and recommendations that LNEC team transmitted to IP, through documents and verbally, in the period preceding the entry into operation of the tunnel.

Keywords: Road tunnel / Tunnel of Marão / Safety equipment and systems

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Âmbito da intervenção do LNEC	2
2	Descrição Sumária da Conformidade	4
2.1	Identificação do túnel	4
2.2	Descrição do Túnel	4
2.2.1	Número de Galerias e de Vias	4
2.2.2	Geometria do Túnel	4
2.2.3	Tráfego	5
2.3	Vias de Evacuação e Saídas de Emergência	5
2.4	Acessos dos Serviços de Emergência	5
2.5	Áreas de Paragem de Emergência	6
2.6	Drenagem	6
2.7	Segurança Estrutural incluindo Resistência das Estruturas aos Incêndios	6
2.8	Iluminação	7
2.9	Ventilação	8
2.10	Postos de Emergência	12
2.11	Alimentação de Água	13
2.12	Sinalização Rodoviária	14
2.13	Centro de Controlo	15
2.14	Sistemas de Vigilância	16
2.15	Equipamento para Encerramento do Túnel	17
2.16	Sistemas de Comunicação	18
2.17	Alimentação de Energia de Emergência	19
2.17.1	Sistema de Alimentação Normal	19
2.17.2	Sistema de Alimentação Socorrida	20
2.17.3	Sistema de Alimentação de Emergência (para evacuação)	20
2.17.4	Recursos Indispensáveis ao Controlo dos Sistemas de Alimentação	21
2.17.5	Circuitos Elétricos, de Medição e de Comando	21
2.18	Resistência do Equipamento aos Incêndios	22
2.19	Medidas Respeitantes ao Funcionamento	24
2.20	Sistema de Automação	25
2.21	Documentação de Segurança	26
3	Conclusões	27
	Referências Bibliográficas	29

1 | Introdução

1.1 Enquadramento

A assessoria do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) à empresa contratante IP - Infraestruturas de Portugal, S.A. (doravante designada abreviadamente por “IP”) para o empreendimento de conclusão do Túnel do Marão nas áreas de equipamentos e sistemas de segurança ativa, teve início em 2013 (quando a empresa contratante ainda era a EP - Estradas de Portugal, S.A.) e envolveu as seguintes fases:

- Colaboração no processo concursal. No âmbito desta primeira fase a equipa do LNEC contribuiu para a formulação das especificações técnicas para o programa de concurso, nomeadamente as relativas aos equipamentos e sistemas de segurança ativa e à análise de riscos [4]. Nessa fase de especificações ficaram estipuladas não só as características essenciais dos equipamentos e sistemas mas também as exigências de desempenho e de comprovação final do mesmo.
- Acompanhamento da elaboração do projeto de execução. Nesta fase a equipa do LNEC participou em reuniões e na apreciação dos documentos correspondentes às diversas componentes de projeto e à análise de riscos, em iterações que conduziram à consolidação de versões finais dos respetivos documentos:
 - PE 4.8 – Equipamentos e Sistemas de Segurança Ativa
 - PE 4.8-01 – Edifícios Técnicos
 - PE-04.8-01-03 – Instalações Eletromecânicas
 - PE-04.8-01-03-01 – Instalações Elétricas, Telecomunicações, Segurança e AVAC
 - PE 4.8-02 – Energia Elétrica, Iluminação e Evacuação de Pessoas
 - PE 4.8-03 – Sistemas de Comando, Automação, Controlo, Gestão e Sensorização
 - PE-04.8-03-01 – Sistema de Automação e Gestão Técnica
 - PE-04.8-03-02 – Sistema de Sinalização e Sensorização
 - PE-04.8-03-03 – Sistema de Gestão, Comunicações e Emergência
 - PE 4.8-04 – Ventilação e Controlo de Fumo
 - PE 4.8-05 – Rede de Combate a Incêndio
 - PE 10.2 – Análise de Riscos.

Na sequência, o LNEC emitiu um parecer favorável sobre a segurança do túnel em fase de projeto [7].

- Acompanhamento da execução e dos ensaios finais. No decurso desta fase o LNEC ficou a par dos trabalhos de construção correspondentes aos equipamentos e sistemas de segurança ativa, tendo acompanhado a realização de alguns ensaios preliminares de equipamentos e de subsistemas em fábrica, bem como dos ensaios finais *in loco* por si

indicados, relativos aos principais equipamentos e sistemas de forma integrada. Participou ainda na realização de ensaios de drenagem de líquidos derramados no pavimento. Não tendo acompanhado a escavação e execução do túnel, efetuou uma inspeção visual sumária aos revestimentos definitivos das galerias rodoviárias. Observou também o Plano de Emergência Interno elaborado para o túnel, na versão 0.1.3, de março de 2016 [10]. Esta fase culmina na apresentação do presente parecer sobre a segurança.

No relatório LNEC [5] consta uma descrição detalhada da intervenção deste Laboratório nas etapas do processo concursal.

No relatório LNEC [6] está descrita a apreciação das peças de projeto de execução de equipamentos e sistemas de segurança ativa, bem como do relatório do estudo de análise de riscos específicos [14], apresentados pelo adjudicatário, o Consórcio Teixeira Duarte, Engenharia e Construções, S.A. – EPOS, Empresa Portuguesa de Obras Subterrâneas, S.A. (entidade que será doravante designada abreviadamente por “Consórcio”).

O relatório LNEC [7] apresenta o Parecer sobre a Segurança do Túnel do Marão em Fase de Projeto, com a respetiva fundamentação, no âmbito do Decreto-Lei 75/2006, de 27 de março [2], com a redação que lhe foi conferida pelo Decreto-Lei n.º 75/2014, de 13 de maio [3], que estabelece os requisitos mínimos de segurança para os túneis da rede rodoviária transeuropeia e da rede rodoviária nacional, e o qual corresponde à transposição para a ordem jurídica nacional da Diretiva n.º 2004/54/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de abril de 2004 [1]. Doravante este âmbito (abrangendo os documentos [1], [2] e [3]) será abreviadamente designado por Decreto-Lei.

A síntese do acompanhamento da execução será apresentada em relatório ainda em preparação. No relatório LNEC [8] – ainda em preparação – serão apresentados os resultados dos ensaios finais que foram acompanhados pela equipa do LNEC. O relatório LNEC [9] – ainda em preparação – apresentará a verificação da conformidade deste túnel com o Decreto-Lei.

O presente Parecer destina-se a instruir o processo de pedido de licenciamento ao Instituto da Mobilidade e do Transporte (IMT) para entrada em serviço e refere-se ao funcionamento global dos sistemas de segurança do túnel incluindo todos os recursos humanos e materiais previstos. O LNEC emite este Parecer sobre a Segurança na qualidade de Entidade Fiscalizadora conforme o n.º 1 do Art, 13º do Decreto-Lei, atividade para a qual foi designado através do n.º 3 desse Artigo.

Por razões de premência de calendário, o presente Parecer sobre a Segurança do Túnel do Marão é emitido em 2016-04-29, sendo o Relatório de Verificação da Conformidade, que complementa e aprofunda aspetos abordados neste Parecer, publicado posteriormente.

1.2 Âmbito da intervenção do LNEC

Para elaboração do presente Parecer, o LNEC interveio nas fases atrás referidas com uma equipa multidisciplinar fixa constituída por três investigadores, dois da especialidade de engenharia

eletrotécnica e um de engenharia mecânica. Para permitir uma avaliação abrangendo medidas de infraestrutura que não foram cobertas pela equipa permanente, na verificação da conformidade e participação em ensaios finais a equipa contou com um investigador da especialidade de engenharia civil. Ao longo da intervenção do LNEC a equipa ainda teve a colaboração pontual de um investigador da especialidade de engenharia mecânica para aspetos relativos ao efeito do vento nos emboquilhamentos do túnel e um investigador da especialidade de física tecnológica para os ensaios luminotécnicos finais.

A atividade do LNEC para este fim compreendeu:

- a apreciação feita à documentação de projeto relativa aos equipamentos e instalações de segurança, incluindo o estudo de análise de riscos [6] [7];
- a utilização dos pareceres elaborados pela equipa do LNEC ao longo das fases de análise do projeto, de acompanhamento da construção e de ensaios finais, relativas aos equipamentos e instalações de segurança [8];
- a consulta de documentação complementar destinada à equipa de operação do túnel, quer para a exploração normal quer para a resposta de emergência – em particular o Plano de Emergência Interno [10] – bem como a verificação sumária, in loco, das condições para essa equipa desempenhar as suas funções;
- a consulta de documentação de projeto relativa à parte estrutural;
- a realização de visitas para inspeção visual sumária do revestimento das galerias rodoviárias; o acompanhamento de testes de drenagem do pavimento.

Este parecer sobre a segurança do Túnel do Marão consubstancia-se, essencialmente, na verificação da conformidade deste túnel rodoviário com os requisitos mínimos de segurança do Decreto-Lei, conforme será descrito no relatório [9]. Em todos os aspetos onde se identifique a necessidade ou conveniência de melhorias para benefício da segurança tal será explicitado.

2 | Descrição Sumária da Conformidade

2.1 Identificação do túnel

Nome – Túnel do Marão.

Localização – A4, lanço Amarante - Vila Real.

Autoridade Administrativa – IMT- Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P.

Entidade Gestora – IP - Infraestruturas de Portugal, S.A.

Operador – IP - Infraestruturas de Portugal, S.A.

Agente de Segurança – Dr. Bernardo Monteiro.

2.2 Descrição do Túnel

2.2.1 Número de Galerias e de Vias

Número de galerias – 2.

Distância entre os eixos das galerias – 22,12 m (nas secções em reta do perfil transversal tipo).

Número de faixas – 2 (uma por galeria rodoviária).

Número de vias por galeria – 2 para tráfego; 1 berma de emergência.

2.2.2 Geometria do Túnel

Extensão nominal do túnel: 5 680 m.

Extensão total das galerias: 11 329 m (galeria ascendente com 5634 m e galeria descendente com 5635 m).

Declive longitudinal máximo: +2,5 % de pendente (ascendente) no sentido de Amarante para Vila Real; -2,5 % de pendente (descendente) no sentido de Vila-Real para Amarante.

Declives longitudinais máximos nos lanços imediatamente antes do túnel: +5.0 % na aproximação do lado de Amarante; +2.0 % na aproximação do lado de Vila-Real, anulando-se dentro do túnel, a cerca de 150 m do emboquilhamento nascente, e evoluindo para -2,5 % dentro do túnel.

Declive transversal: 2,5% para a berma direita, nas secções em reta do perfil transversal tipo.

Secção transversal: 74,6 m².

Perfil transversal tipo na secção reta:

2 vias com 3,50 m cada;

- 1 berma de emergência com 2,50 m à direita;
- 1 berma (com 0,30 m) à esquerda;
- 2 passeios elevados (com 1,04 m à direita e 1,02 à esquerda);
- largura total da plataforma: 11,86 m;

Gabarito de circulação: 5,00 m.

2.2.3 Tráfego

Tráfego diário médio anual por via – 6 213 veículos/dia/via (previsto para 2031 na Análise de Riscos);
4 429 veículos/dia/via (previsto para 2016 no Plano de Emergência Interno).

Percentagem de veículos pesados – 11,9 % (prevista para 2016).

Limite de velocidade – 100 km/h.

Ultrapassagem – Existe proibição de ultrapassagem para veículos pesados de mercadorias.

Transporte de mercadorias perigosas – De acordo com informação verbal recebida da entidade gestora, existe permissão para transporte de mercadorias perigosas suportada pelos resultados da análise de riscos (cf. secção 2.9).

Congestionamento de tráfego – Não está previsto com carácter regular, podendo ocorrer excecionalmente.

2.3 Vias de Evacuação e Saídas de Emergência

Vias de emergência – Existe uma berma de emergência com 2,50 m de largura, no lado direito da faixa de rodagem.

Passeios – Existem dois passeios elevados para peões em cada galeria, com a largura aproximada de 1 m.

Saídas de emergência – Existem treze ligações entre as galerias rodoviárias, com afastamentos entre si de cerca de 400 m, 7 das quais servindo apenas para a evacuação de peões e 6 para a evacuação de peões e a passagem de veículos de emergência, todas elas munidas de portas corta-fogo e de meios ativos de controlo do fumo. A adequação dos meios de controlo de fumo é analisada na secção 2.9.

2.4 Acessos dos Serviços de Emergência

Galerias transversais – Existem seis, mencionadas na secção anterior, distando cerca de 800 m entre si e cerca de 830 m dos emboquilhamentos. Permitem o acesso a veículos dos serviços de emergência.

Travessia do separador central – É possível no exterior do túnel junto de cada um dos emboquilhamentos.

2.5 Áreas de Paragem de Emergência

Existe uma berma de emergência ao longo de toda a extensão de cada galeria.

No exterior do túnel, próximo de cada entrada, existe um espaço reservado, devidamente assinalado, para permitir o estacionamento de viaturas com altura superior à permitida, enquanto aguardam a chegada dos agentes da autoridade e do pessoal de assistência à operação do túnel (UMIA) para organizar a sua retirada do local através da sua condução para a faixa de rodagem de sentido contrário.

2.6 Drenagem

Foram realizados testes à eficácia da drenagem do pavimento em 10 zonas (5 em cada galeria rodoviária), tendo-se observado o escoamento de água derramada na via esquerda da faixa de rodagem. Verificou-se que, na maioria dos testes, parte da água era absorvida pelo pavimento drenante, mas que a maior parte escoava em direção à caleira. Em alguns casos, alguma dessa água tinha dificuldade em transpor a banda sonora pintada a limitar a berma e percorria ainda alguns metros ao longo da galeria.

No teste realizado na galeria ascendente, nas proximidades da passagem de emergência de peões e veículos PE6, verificou-se que, ao longo de cerca de 50 m, existia um ressalto de cerca de 5 cm entre o pavimento e a caleira que impedia o adequado escoamento da água para a caleira. Em visita posterior observou-se que tinham sido executados rasgos na caleira para corrigir esta situação.

Na galeria ascendente, no teste efetuado na zona próxima do emboquilhamento nascente, em que se verifica a inversão da pendente longitudinal, a água não escoou para a caleira; esta situação ocorreu apenas numa extensão limitada do túnel (de cerca de 30 m).

2.7 Segurança Estrutural incluindo Resistência das Estruturas aos Incêndios

O projeto considerou “dispensável proceder à verificação estrutural à ação do fogo uma vez que o tipo de estrutura em análise não se enquadra regulamentarmente no tipo de estruturas para as quais a resistência a incêndios é exigida”.

Dado que na maior parte da sua extensão as galerias rodoviárias do túnel do Marão se desenvolvem sob recobrimentos relativamente elevados, afigura-se muito improvável que uma rotura estrutural

numa das galerias produza efeitos que se estendam até à superfície. Acresce que, atualmente, nas áreas sobre o túnel não existe ocupação e, conseqüentemente, bens expostos a esse risco.

2.8 Iluminação

O túnel possui as componentes de iluminação interior com as funções de segurança exigidas no Decreto-Lei:

- iluminação normal;
- iluminação de emergência;
- iluminação de evacuação.

A iluminação normal destina-se a permitir aos utentes a entrada no túnel e a circulação segura no seu interior até à saída do mesmo, a qualquer hora do dia ou da noite. A sua existência é essencial para os períodos diurnos de elevado brilho solar, em que, na ausência dessa iluminação, a entrada rápida para o interior (com muito menor brilho do que o exterior) colocaria os automobilistas em risco de encandeamento. Por outro lado, aquando da saída para o exterior, este recurso contribui para reduzir o risco de deslumbramento (transição de baixo para alto brilho).

Este subsistema de iluminação consiste numa parte permanente, que abrange toda a extensão das galerias rodoviárias, com função equivalente à iluminação de emergência, assegurando também uma pequena parcela de iluminação de reforço nas entradas e nas saídas. A parte de iluminação normal consiste na iluminação de emergência atrás citada, acrescida de três parcelas aditivas de reforço da iluminação ao longo de algumas centenas de metros, formando zonas de entrada e de transição. A iluminação de reforço diurno é servida por alimentação socorrida, através de grupos eletrogéneos de emergência; a parcela noturna/permanente é alimentada por fonte estática não interrompível. A ativação e desativação dos vários níveis de iluminação de reforço diurno é feita por oito escalões, ao nível da automação, recorrendo à informação recolhida de luminancímetros, instalados no exterior do túnel, com os respetivos sensores orientados para os emboquilhamentos.

A iluminação, sendo um dos recursos de segurança ativa do túnel, é controlada pelo sistema de automação, o qual tem fiabilidade acrescida através da redundância de controladores e de vias de transmissão de dados. Está previsto o diagnóstico de falhas com emissão de alarmes na supervisão em caso de deteção de anomalia nos luminancímetros.

A iluminação de emergência, correspondente ao nível noturno/permanente atrás referido, permite aos condutores dos veículos em circulação no interior do túnel, em caso de falta de energia para suportar a plena iluminação normal, a continuação da marcha até saírem do túnel em segurança. Conforme já foi referido, este subsistema é servido eletricamente por fonte de alimentação não interrompível.

A iluminação de evacuação permite aos utentes que tenham de abandonar os seus veículos no interior do túnel, em situações de emergência, a orientação na sua marcha a pé até às saídas de

emergência e no interior destas. Consiste em luzes de marcação nas paredes das galerias rodoviárias e ladeando as saídas de emergência. Tal como o anterior, este subsistema é servido por alimentação não interrompível.

Além da iluminação interior do túnel existe iluminação exterior, na autoestrada, nas zonas de aproximação ao túnel e após a saída deste, destinada a proporcionar aos automobilistas iluminação noturna da via nesses locais.

O projeto da iluminação foi feito em concordância com a recomendação CIE 88:2004, da Comissão Internacional de Luminotecnia. Foi acompanhada a realização de testes de comprovação fotométrica do desempenho da iluminação normal após a construção. Os resultados obtidos por essas medições, reportadas pela entidade que as realizou no documento [15], confirmam a satisfação dos objetivos de projeto. Qualitativamente a iluminação de reforço tem características confortáveis de cor e de uniformidade; por outro lado, a iluminação interior afigura-se satisfatória quanto à intensidade, embora tenha pior uniformidade de que resulta alguma tremulação, na gama das velocidades de circulação autorizadas no interior do túnel.

Foi reportado verbalmente que o sistema de iluminação de reforço, controlado a partir dos sinais dos luminancímetros, se encontra operacional.

As fontes de luz adotadas são, na sua maioria, de tecnologia LED (*light emission diode*), permitindo manutenções mais afastadas no tempo e menores consumos de energia do que as soluções praticadas anteriormente em túneis rodoviários.

O sistema de iluminação existente no túnel cumpre os requisitos mínimos exigidos no Decreto-Lei. Para além disso, mercê da disponibilidade de energia socorrida por grupos eletrogéneos, permite a manutenção da iluminação normal e, por conseguinte, do túnel em serviço, mesmo em caso de faltas de energia elétrica na rede de distribuição.

2.9 Ventilação

O Túnel do Marão foi dotado de um sistema de ventilação longitudinal, com ventiladores de impulso. Dado que se trata de um túnel de autoestrada situado numa zona rural, considera-se que é pouco provável a ocorrência de trânsito congestionado. Ainda assim, foi ponderada a possibilidade de ocorrência de um evento secundário de incêndio, correspondendo à existência de acidente com incêndio na cauda de uma fila formada devido a um acidente ou avaria. Note-se que a análise de riscos [14] indica que o número esperado de vítimas mortais neste tipo de acidentes é três vezes inferior ao do túnel de referência e que o risco de incêndio é vinte vezes inferior. Neste contexto, o túnel é operado em situação de incêndio de acordo com os seguintes princípios:

- o sistema de controlo de fumo é acionado no sentido do tráfego assegurando uma velocidade superior à crítica, com controlo da velocidade para se evitar que em cenários menos desfavoráveis sejam atingidas velocidades do escoamento muito elevadas;

- é adotado um intervalo de 2 minutos após o arranque dos primeiros quatro (na galeria ascendente) ou cinco (na galeria descendente) ventiladores, que tem por objetivo reduzir a possibilidade de ativação dos ventiladores próximo do local de incêndio com perda de estratificação do fumo (relevante em caso de evento secundário).

Os sistemas de ventilação instalados nas duas galerias têm características diversas. No caso da galeria ascendente, são utilizados 8 ventiladores de impulso de 769 N, instalados em 4 grupos de 2 ventiladores, e 6 ventiladores de impulso bidirecionais de 808 N, instalados em 3 grupos de 2 ventiladores. No caso da galeria descendente, são utilizados 26 ventiladores de impulso de 769 N, instalados em 13 grupos de 2 ventiladores, e 6 ventiladores de impulso bidirecionais de 808 N, instalados em 3 grupos de 2 ventiladores.

O túnel tem declive que varia, junto do emboquilhamento de nascente. Para efeitos do estudo do sistema de ventilação e de controlo de fumo é essencialmente relevante a diferença de nível entre os emboquilhamentos, que é de 135 m (correspondendo a um declive médio de 2,38%). Esta diferença de cotas é relevante para o estabelecimento do efeito de chaminé.

As condições ambientais em cada galeria rodoviária são avaliadas por oito estações de medição de CO e de visibilidade e sete estações de medição de NO_x e de visibilidade. Estas estações de medição estão dispostas, alternadamente, distanciadas de 400 m entre si. Adicionalmente existem em cada galeria, três anemómetros ultrassónicos, estando situados um junto de cada emboquilhamento e um sensivelmente a meio da galeria. Existem ainda duas estações meteorológicas colocadas no exterior, junto de cada emboquilhamento, que integram detetores de nevoeiro (inf. verbal). No projeto estão indicados os valores de concentração de poluentes que alteram o estado do sistema de ventilação, nomeadamente CO (35 ppm para ativação da ventilação com 4 ventiladores, 65 ppm para intensificação da ventilação com 10 ventiladores, 150 ppm para intensificação da ventilação, com 14 ventiladores e para encerramento do túnel), de visibilidade (0,003 m⁻¹ para ativação da ventilação com 4 ventiladores, 0,006 m⁻¹ para intensificação da ventilação, com 10 ventiladores, e 0,012 m⁻¹ para intensificação da ventilação, com 14 ventiladores, e para encerramento do túnel) e de NO (4 ppm para ativação da ventilação com 4 ventiladores, 7 ppm para intensificação da ventilação, com 10 ventiladores, e 12 ppm para intensificação da ventilação, com 14 ventiladores).

No projeto está também especificada a forma como as medições realizadas pelos anemómetros ultrassónicos são utilizadas pela automação para o comando do sistema de ventilação e de controlo de fumo. No caso da poluição, o sentido do escoamento preexistente é utilizado para definir o sentido do escoamento imposto pelos ventiladores no nível 1 (ativação de 4 ventiladores; para os restantes níveis a ativação é sempre feita no sentido do tráfego). No caso do controlo de fumo, a medição de velocidade feita pelos anemómetros é utilizada para controlar a velocidade do escoamento (limites entre 2,5 m/s e 3,5 m/s).

Em caso de incêndio é ativado o sistema de controlo de fumo na galeria não-sinistrada de forma a impedir a contaminação desta galeria através dos emboquilhamentos.

A aquisição dos sinais provenientes dos sensores referidos, bem como as funções de controlo e comando automático associadas à ventilação, estão a cargo do sistema de automação.

No que respeita ao controlo de fumo, o projeto [12] assume que o cenário de incêndio corresponde a uma potência calorífica libertada de 70 MW. Com base nestes cenários e na geometria do túnel, o projeto calcula a velocidade crítica para cada galeria rodoviária e dimensiona o sistema de controlo de fumo de forma a ser assegurada, em cada caso, uma velocidade superior à crítica no sentido do tráfego.

Existe possibilidade de controlo manual da ventilação, em modos local e remoto. No decurso dos ensaios realizados verificou-se que foi possível acionar a ventilação remotamente a partir do centro de controlo instalado no Edifício Técnico 1.

As treze galerias de emergência, 7 pedonais e 6 veiculares, permitem a comunicação entre as duas galerias rodoviárias. Em caso de incêndio a galeria rodoviária não-sinistrada é utilizada como caminho de evacuação, sendo o acesso entre ambas as galerias assegurado pelas galerias de emergência. Estas galerias estão dotadas de um sistema de controlo de fumo por pressurização, de acordo com as exigências funcionais estabelecidas na Portaria 1532/2008 [13] (nomeadamente que, com as portas fechadas, a pressão no seu interior esteja compreendida entre 20 Pa e 80 Pa e que, com uma porta aberta, a velocidade média do escoamento seja superior a 1,00 m/s).

Verifica-se que as pressões estabelecidas nas galerias rodoviárias, quando os respetivos ventiladores entram em funcionamento, se sobrepõem às pressões estabelecidas pelo sistema de pressurização das galerias de emergência, quando as portas de comunicação para ambas as galerias rodoviárias se encontram simultaneamente abertas. Foi estabelecida uma matriz de comando, em situação de incêndio, que privilegia o arranque dos ventiladores mais próximos da saída na galeria sinistrada, que tendem a colocar a galeria sinistrada com pressões inferiores às da galeria não-sinistrada. Na maior parte das galerias de emergência o escoamento que é gerado em situação de incêndio (com as duas portas abertas) é no sentido que impede a admissão de fumo nas galerias de emergência. Nos casos em que as pressões na galeria sinistrada são superiores às da galeria não-sinistrada, o seu valor é limitado e não impede o fecho das portas, pelo que o caudal de fumo escoado para a galeria de emergência é limitado. Note-se que este efeito só é relevante a jusante do incêndio, onde só haverá necessidade de ocorrer evacuação no caso de incêndios secundários (de muito baixa probabilidade de ocorrência). Considera-se assim este princípio de funcionamento adequado.

Foram realizados ensaios, presenciados pelo LNEC, de medição das velocidades do escoamento impostas pelo sistema de ventilação e de controlo de fumo das galerias rodoviárias.

Os sensores de opacidade, de CO e de NO_x foram objeto de comparação com padrões para verificação do seu estado de calibração. Esta ação enquadra-se nos ensaios iniciais do fornecedor destes equipamentos. No túnel foi realizada a verificação de equipamentos deste tipo, que foi presenciada por elementos do LNEC. Constatou-se que a deteção de CO, de redução da visibilidade e de NO (neste caso o sinal foi simulado no sensor) nos sensores do túnel ativa o sistema de ventilação de acordo com a matriz de comando e, quando atingido o nível crítico, gera o

encerramento do túnel. Verificou-se, todavia, que os sensores de CO não estavam a medir corretamente os valores dos padrões utilizados, tendo sido esta situação corrigida pelo instalador (informação verbal). Este tipo de deficiências introduz erros na medição que podem impedir a determinação fiável do nível de poluição existente nas galerias rodoviárias, o que pode conduzir a respostas incorretas do sistema de ventilação, com riscos para a segurança dos utentes. O instalador declarou ter corrigido estas deficiências e o LNEC assistiu à realização de ensaios em dois sensores de opacidade e de CO aleatoriamente escolhidos, tendo sido observado o seu correto funcionamento.

Foi detetado que existia um ventilador indisponível na galeria rodoviária ascendente. Este ventilador deverá ser repostado em serviço com a maior brevidade possível (tal como deverá ser feito no futuro sempre que ocorram avarias), desejavelmente antes da entrada do túnel em funcionamento.

Os anemómetros ultrassónicos do túnel foram também objeto de uma comparação inicial com a velocidade média da galeria. Essa comparação, testemunhada pelo LNEC, permitiu encontrar fatores de correção para corrigir as velocidades locais medidas pelos anemómetros do túnel de forma a que os seus valores correspondam efetivamente às velocidades médias nas galerias rodoviárias. Foi inserido no sistema de automação um fator selecionado de forma a assegurar que a velocidade do escoamento é regulada para proporcionar em média valores superiores à velocidade crítica.

O funcionamento do sistema de deteção de incêndio (cabo *fibrolaser*) foi objeto de verificação e, no decurso desses ensaios, foi confirmada a correta implementação da matriz de comando do sistema de controlo de fumo do túnel.

O Decreto-Lei 75/2014 obriga à existência de ventilação mecânica para túneis de extensão superior a 1000 m com um volume de tráfego superior a 2000 veículos por via. Este túnel, tendo 5600 m de comprimento, foi dotado de um sistema de ventilação e de controlo de fumo longitudinal em cada galeria rodoviária (§2.9.2 do anexo II do Decreto-Lei). Dado tratar-se de um túnel de autoestrada em ambiente rural e sem nós de acesso contíguos aos emboquilhamentos do túnel, a possibilidade de existir tráfego congestionado é reduzida. Ainda assim, foi realizada uma análise de risco [14] que concluiu que a possibilidade de ocorrência de eventos de incêndio secundários corresponde um risco aceitável (§2.9.2 do anexo II do Decreto-Lei).

Com base nos resultados experimentais e nos elementos documentais disponíveis, verificou-se analiticamente que as velocidades que o sistema de controlo de fumo tem capacidade de impor nas duas galerias rodoviárias, considerando vento desfavorável e tráfego parado no interior do túnel, são satisfatórias para assegurar o controlo de fumo para um cenário de incêndio com a potência de 70 MW.

Também com base nos resultados experimentais, conclui-se que o algoritmo de controlo do sistema de ventilação e de controlo de fumo implementado é adequado, tendo em conta o estado da técnica e os conhecimentos atuais sobre o desempenho do sistema.

Assim, considera-se que o sistema existente nas galerias rodoviárias tem condições técnicas para assegurar o controlo de fumo – capacidade exigida no §2.9.1 do Anexo II do Decreto-Lei – pelo que o

túnel está em conformidade com a exigência do Decreto-Lei no que respeita ao controlo do fumo e do calor pelo sistema de ventilação.

As velocidades medidas em regime aproximadamente isotérmico no túnel, em conjunto com os respetivos cálculos de projeto, evidenciam a capacidade de o sistema de ventilação assegurar o escoamento dos caudais necessários para garantir o controlo das emissões de poluentes.

Assim, é possível concluir que também há conformidade do sistema de ventilação com as exigências do Decreto-Lei em termos de:

- controlo das emissões poluentes dos veículos rodoviários, em condições de tráfego normal e muito intenso;
- controlo das emissões poluentes dos veículos rodoviários no caso de o tráfego parar devido a acidente ou incidente.

Face a estas conclusões, considera-se que o Túnel do Marão está em conformidade com todas as exigências aplicáveis especificadas no §2.9 do Anexo II do Decreto-Lei.

Os sistemas de pressurização das galerias de emergência foram submetidos a verificação do desempenho. Foram entregues ao LNEC os registos dos ensaios realizados pelo instalador, que evidenciam a conformidade com a especificação de caderno de encargos e de projeto. Para além disso, o LNEC procedeu à realização de ensaios em galerias de emergência selecionadas aleatoriamente, tendo também sido constatado que a resposta do sistema de pressurização está conforme com a especificação de caderno de encargos e de projeto. Tendo sido inicialmente dada a informação de que o sistema de pressurização de uma das galerias de emergência não tinha a pressurização ativa, foi entretanto transmitida, pela IP, a informação de que este sistema de pressurização se encontra com o seu funcionamento regularizado. Nestas condições, considera-se que está garantida a segurança das pessoas em situação de incêndio nas galerias de emergência (§2.3.9 do Anexo II do Decreto-Lei).

2.10 Postos de Emergência

Nas entradas do túnel, ao longo das galerias rodoviárias (de 150 em 150 m) e no interior de cada uma das 13 galerias de emergência, existem postos SOS que, em caso de necessidade, permitem aos utentes dialogar com a operação do túnel. Estes postos estão equipados com um sistema telefónico de alta fiabilidade, *full-duplex*, podendo as chamadas telefónicas ser estabelecidas por iniciativa do utente (carregando num botão do posto SOS) ou por iniciativa do operador do túnel.

A localização dos postos SOS ao longo das galerias rodoviárias é facilmente identificável pelos utentes pois os referidos postos dispõem de sinalização luminosa adequada, colocada por cima do nicho onde se encontra o armário do posto SOS, visível qualquer que seja o sentido do movimento da pessoa que procura este recurso.

Os postos SOS no interior do túnel têm um armário lateral, devidamente assinalado, onde estão disponíveis dois extintores de incêndio de 6 kg para uso dos utentes em caso de necessidade.

No caso de abertura da porta do armário dos extintores é gerado um alarme no Centro de Controlo onde se encontra o operador de serviço, sendo automaticamente exibida no vídeo-wall a imagem da câmara vídeo mais próxima, a fim de o operador poder observar de imediato o local da ocorrência. Enquanto este encadeamento automático não estiver implementado na totalidade dos postos SOS o operador deverá ser instruído para selecionar imediatamente a câmara mais próxima a montante do posto SOS ativado e observar a imagem.

No decurso dos ensaios finais que precederam a emissão deste parecer a equipa do LNEC testou, por amostragem, alguns postos SOS, tendo os mesmos evidenciado estar em bom estado de funcionamento, permitindo um diálogo facilmente inteligível com o operador. Foi prestada informação verbal pela Fiscalização de que os postos SOS foram testados na totalidade, com sucesso, tendo sido encontradas deficiências num pequeno número de unidades para as quais foi solicitada correção.

2.11 Alimentação de Água

O sistema de alimentação de água é composto por trinta e três bocas-de-incêndio, em cada galeria rodoviária (situadas às entradas/saídas das galerias rodoviárias e espaçadas de 180 m entre si), dotadas de uniões Storz de 75 mm. A alimentação destas bocas é assegurada por um depósito de 240 m³, situado a uma cota mais elevada do que a do túnel (cerca de 42 m acima da boca de incêndio de cota mais elevada), permitindo assim o abastecimento gravítico de água. A rede de distribuição de água foi projetada para assegurar a alimentação de um caudal de 8,0 l/s por boca, com duas bocas em funcionamento simultâneo, com uma pressão mínima de 350 kPa na boca hidráulicamente mais desfavorável. Nestas condições, o volume de água armazenada no reservatório garante um período de funcionamento de 4 horas. O depósito de água é abastecido pela rede pública municipal e, dado que o caudal disponível nesta rede é muito reduzido, pode também ser abastecido diretamente por autotanques.

De modo a evitar o congelamento da água no interior da tubagem, foi previsto que toda a tubagem e acessórios expostos no exterior do túnel tenham isolamento térmico. No interior do túnel as tubagens e acessórios não têm isolamento térmico por ter sido justificado em projeto que não serão atingidas temperaturas que causem o congelamento da água. Nas proximidades do emboquilhamento (numa extensão de cerca de 136 m e de 145 m a partir, respetivamente, dos emboquilhamentos nascente e poente) e no percurso até ao depósito a tubagem corre enterrada, para evitar o congelamento. São utilizadas válvulas redutoras de pressão, ao longo do túnel, para se assegurar que, devido ao incremento de cota, a pressão estática máxima na rede não ultrapassa o valor de 600 kPa. A tubagem está dotada de válvulas de seccionamento para evitar que a destruição da conduta pelo fogo possa condicionar a alimentação de água. Existem compensadores de dilatação, dimensionados

para a ação local do fogo e para as variações de temperatura de origem climática. O dimensionamento da rede teve em conta a possibilidade de ocorrência de golpe de ariete.

A rede de combate a incêndio foi submetida a ensaios de pressão máxima e de estanquidade, bem como a ensaios de desempenho. Nos ensaios de desempenho foram medidos os caudais obtidos em duas bocas-de-incêndio consecutivas (à entrada, a meio e à saída de cada galeria rodoviária) à pressão de 350 kPa, tendo sido verificado que os caudais obtidos são similares ou superiores aos de projeto. Os ensaios foram realizados pelo instalador e o desempenho foi verificado pelo LNEC em bocas aleatoriamente escolhidas.

Considera-se que este sistema satisfaz os requisitos mínimos do Decreto-Lei, pelo que se considera que satisfaz as exigências de segurança.

2.12 Sinalização Rodoviária

Nas entradas do túnel existe o sinal de túnel rodoviário com indicação da extensão do mesmo.

Não existe sinalização de proibição de transporte de mercadorias perigosas. De acordo com informação verbal recebida da entidade gestora existe permissão para transporte de mercadorias perigosas suportada pelos resultados da análise de riscos.

Existe sinalização de proibição de ultrapassagem para os veículos pesados no túnel. No acesso pelo lado ponte o respetivo sinal está à distância de 300 m recomendada no estudo de Análise de Riscos.

A distância mínima a observar entre veículos dentro do túnel e o limite de velocidade estão sinalizados.

Existe sinalização indicando aos utentes que podem receber informações através dos rádios dos seus veículos e indicação de um dos postos de radiodifusão (Antena 1) disponíveis dentro do túnel.

Não existe sinalização ou painel informativo que informe os condutores dos veículos que, no caso de o tráfego parar dentro do túnel, devem manter uma distância de 5 m em relação ao veículo da frente.

Os postos de emergência ostentam sinais informativos da sua existência, bem como de telefone e extintor, sendo sinais do tipo F nos termos da Convenção de Viena.

As saídas de emergência possuem a respetiva sinalização.

A sinalização das duas saídas de emergência mais próximas está feita através de sinais retroluminiscentes colocados nas paredes laterais, a cerca de 1,5 m de altura acima do passeio e a distâncias de 25 m entre si. Foram utilizados sinais G nos termos da Convenção de Viena.

2.13 Centro de Controlo

Existe um Centro de Controlo, localizado junto do emboquilhamento de ponte, no Edifício Técnico 1, a partir do qual pode ser feita a operação normal do túnel e a gestão de situações de emergência. O equipamento disponível para esta tarefa, por um lado, e as características dos locais onde a mesma pode decorrer, por outro, afiguram-se adequados. Incluem-se nesta apreciação tanto os recursos de monitorização, comando e comunicação como as características ergonómicas e as condições para a presença permanente de pessoas.

Existem dois postos de trabalho cada um equipado com dois monitores; existe também um *video-wall*.

A operação do Centro de Controlo será assegurada em regime de turnos, cobrindo as 24 horas, com a presença permanente de, pelo menos, dois operadores.

De um modo geral, no Centro de Controlo os operadores podem interagir com todos os recursos de segurança ativa do túnel, os quais lhes conferem a perceção das ocorrências relativas ao tráfego e do estado dos próprios equipamentos e instalações. Citam-se os principais, apesar de lhes ser feita alusão específica noutras secções:

- um sistema de videovigilância cobrindo a totalidade das galerias (rodoviárias e de emergência) e as zonas de entrada e de saída;
- um sistema de deteção automática de incidentes (DAI), por processamento das imagens proveniente das câmaras instaladas no interior das galerias rodoviárias, para identificar diversas situações de perigo;
- um sistema específico de deteção de incêndios por medição de temperatura local e de gradientes de variação da mesma ao longo das galerias rodoviárias (*fibrolaser*);
- um sistema de megafonia capaz de transmitir mensagens para a totalidade das galerias;
- um sistema de atendimento dos postos de emergência situados no interior do túnel e nas entradas;
- um sistema de sobreposição de mensagens verbais em comunicações de radiodifusão no interior do túnel;
- recursos telefónicos de rede fixa e/ou de rede móvel;
- meios de supervisão das infraestruturas de energia e de automação, bem como da instrumentação para sensorização e dos recursos de ventilação e de iluminação;
- um sistema automático de deteção de veículos com excesso de altura nos lanços de aproximação do túnel, em ambos os sentidos, com afixação automática de mensagens em painéis de mensagem variável (PMV) para os respetivos condutores e emissão de alarme no Centro de Controlo;
- um sistema automático de deteção de veículos com mercadorias perigosas nos lanços de aproximação do túnel, em ambos os sentidos, com afixação automática de mensagens em PMV para os respetivos condutores e emissão de alarme no Centro de Controlo.

O centro de controlo tem de possuir meios de comunicação suficientemente fiáveis que assegurem o contacto com o exterior, nomeadamente os bombeiros e as forças de segurança. Foi dada a informação de que está disponível uma ligação telefónica fixa com essa finalidade.

Ainda se encontra em formação a equipa de operadores que assegurará a condução do túnel no centro de controlo. Na secção 2.19 este assunto é tratado em detalhe.

Os sistemas automáticos de segurança ativa estão implementados por forma a atuarem em conjugação com a operação humana, auxiliando os operadores com a deteção de ocorrências às quais estes tenham de dar resposta, mas permitindo a ação automática das cadeias de segurança no caso de ausência da intervenção humana (estão compreendidos neste modelo os cenários que requeiram intervenção rápida, como a ocorrência de veículos em contramão ou a aproximação de veículos com excesso de altura).

No sistema de automação foram previstas diversas funções de diagnóstico de falha dos principais órgãos intervenientes na segurança ativa, com a emissão de alarmes e a realização automática de algumas ações de contingência, que são importantes para mitigar os riscos decorrentes da perda de recursos que afetem a eficácia do Centro de Controlo.

Nos edifícios técnicos exteriores (ET1 e ET3) os riscos associados a descargas atmosféricas são mitigados por sistemas de proteção com captores, condutores de ligação e elétrodos de terra para ondas de choque. Os condutores instalados, com troços horizontais e verticais, proporcionam uma cobertura de tipo gaiola de Faraday aos edifícios.

2.14 Sistemas de Vigilância

Os espaços interiores do túnel estão sob monitorização de um conjunto superior a uma centena de câmaras de vídeo em sistema de televisão em circuito fechado (CCTV). No interior das galerias rodoviárias as câmaras são fixas, com um afastamento de cerca de 120 m entre si. No exterior há quatro câmaras fixas junto dos emboquilhamentos, e quatro câmaras móveis, de orientação motorizada comandável, duas nas zonas dos emboquilhamentos e duas nos dois pontos de deteção de excesso de altura. Existe ainda uma câmara móvel comandável dentro de cada galeria de emergência. Os sinais de imagem provenientes das câmaras são tratados no Centro de Controlo por servidor específico que permite efetuar o seu encaminhamento, automático ou solicitado, para os ecrãs de operação.

A observação das câmaras pelos operadores é feita no *video-wall* do Centro de Controlo. A vídeo vigilância é um recurso essencial para a perceção das condições do tráfego e de ocorrências no túnel em tempo real. Mas a informação proveniente de um conjunto tão vasto de câmaras de vídeo não é propícia ao acompanhamento exaustivo e permanente das imagens pelos operadores. Para facilitar esta tarefa existe um sistema específico de processamento automático das imagens de todas as câmaras fixas e estão implementados alguns automatismos descritos seguidamente.

Os automatismos desencadeiam a exibição para os operadores das imagens de câmaras que mostram os locais das ocorrências correspondentes, nomeadamente: quando existe comunicação a partir de algum posto SOS ou o acesso aos extintores aí colocados, quando ocorre abertura de portas de galerias de emergência ou de edifícios técnicos, quando existe deteção da passagem de veículo com excesso de altura ou de veículo com mercadorias perigosas

Foi previsto um sistema de videogravação digital que permite o registo horodatado das imagens captadas pela totalidade das câmaras vídeo do projeto durante cerca de 48 horas.

Em acréscimo existe um sistema de deteção automática de incidentes (DAI) que, por processamento das imagens provenientes das câmaras fixas nas galerias rodoviárias, permite identificar automaticamente diversas situações de perigo, nomeadamente: veículos parados, veículos em marcha lenta, em contramão e em marcha atrás, presença de peões, objetos caídos, líquidos derramados, fumo e fogo, servindo assim também para detetar incêndio. Quando é detetada uma das ocorrências referidas existe a emissão imediata de um alarme para os operadores e a exibição da imagem da câmara correspondente.

Considera-se que, do ponto de vista de conceção, o sistema de vigilância previsto, com os recursos de deteção automática associados, tem características adequadas para o túnel.

Não foi possível realizar testes *in situ* a este sistema, tendo-se recebido informação verbal de que, de momento, o mesmo já se encontra afinado para detetar veículos parados, veículos em marcha atrás e veículos em contramão, não existindo ainda a exibição automática de imagens das câmaras respetivas no *video-wall*.

Dada a importância que este sistema tem para a deteção precoce de situações de emergência, num contexto em que existe mais de uma centena de câmaras, considera-se que é urgente o seu funcionamento com plenas capacidades. Enquanto tal não se concretizar, será indispensável dispor de pessoal a conduzir a operação que seja experiente quanto a ocorrências de tráfego (por observação de imagens das câmaras de vídeo) e com elevada destreza na utilização dos recursos de supervisão (por forma a fazer rapidamente a correta seleção de câmaras quando existam alarmes de ocorrências).

2.15 Equipamento para Encerramento do Túnel

Antes das entradas das duas galerias rodoviárias existem semáforos que permitem proibir a entrada de tráfego no túnel em caso de emergência. Para além destes semáforos existem ainda barreiras metálicas móveis (cancelas motorizadas comandáveis a partir do Centro de Controlo) que permitem bloquear as entradas.

Uma vez tomada a decisão de encerrar o túnel os semáforos nas entradas passam a vermelho e são automaticamente afixadas mensagens de aviso do encerramento nos PMV que antecedem cada entrada.

O fecho das cancelas é uma operação que exige a concordância expressa do operador que só a deve executar depois de se certificar (via CCTV) que a ordem de encerramento (semáforos de entrada a vermelho e mensagem nos PMV antecedentes) está a ser obedecida pelos condutores.

No interior do túnel existem semáforos a cada 800 m, aproximadamente, e meios adicionais para apoiar a operação de encerramento, como sejam painéis de mensagem variável, sinais cruz/seta e sistema de megafonia. Em caso de acidente que leve ao encerramento do túnel os semáforos que ficam para jusante da zona do sinistro manter-se-ão com a cor verde ou apagados e os que antecedem a zona do sinistro irão passar a vermelho. No caso do encerramento ser devido a excesso de poluição, só os semáforos de entrada da galeria rodoviária respetiva passam a vermelho.

2.16 Sistemas de Comunicação

O túnel está equipado com equipamento de retransmissão de radiodifusão (via cabo radiante) através do qual são retransmitidas para o interior das galerias rodoviárias as emissões de quatro estações radiofónicas: Antena 1, Antena 3, TSF e Rádio Renascença. Foi observado que o operador dispõe da possibilidade de interromper as emissões destas estações no interior do túnel e usar as respetivas frequências para difundir mensagens de emergência para o interior das viaturas que se encontrem dentro do túnel e tenham alguma dessas emissoras sintonizadas.

O equipamento de retransmissão de radiodifusão instalado (através de cabo radiante) permite ainda que os Bombeiros, a Polícia, o INEM e os Serviços de Emergência e Proteção Civil comuniquem entre si e com o exterior do túnel através do Sistema Integrado de Redes de Emergência e Segurança de Portugal (SIRESP) com que estão equipados.

Está previsto que as três operadoras de telefone celular estejam acessíveis no interior do túnel através do equipamento de retransmissão por elas instalados. A primeira operadora a ficar ativa foi a Vodafone. Este facto assegura que todos os utentes do túnel já podem comunicar com o número de emergência nacional 112.

O túnel está equipado com um sistema de megafonia que permite ao operador endereçar 28 zonas independentes em cada galeria rodoviária e emitir mensagens automáticas (memorizadas) ou específicas (de viva voz) para cada uma delas. Os altifalantes no interior de cada galeria rodoviária estão espaçados de 25 m entre si. Existe um altifalante independente em cada galeria de emergência e em cada entrada das galerias rodoviárias.

No decurso dos ensaios efetuados procurou-se avaliar a inteligibilidade das mensagens difundidas pelo sistema de altifalantes com os ventiladores parados e em funcionamento. Os resultados desses testes mostraram que as mensagens difundidas com os ventiladores parados são facilmente inteligíveis por utentes no exterior ou no interior das respetivas viaturas. Com os ventiladores em funcionamento a inteligibilidade depende significativamente da posição dos ouvintes em relação aos altifalantes.

O desempenho deste sistema assume particular importância em caso de incêndio, uma vez que constitui o meio mais simples de utilizar que permite orientar a evacuação dos utilizadores do túnel de acordo com o sentido da desenfumagem.

No interior de cada galeria de interligação entre as galerias rodoviárias existe também um posto de emergência equipado com um telefone.

2.17 Alimentação de Energia de Emergência

2.17.1 Sistema de Alimentação Normal

A alimentação pela rede elétrica de média tensão (MT) é realizada por dois ramais que chegam aos postos de transformação e seccionamento (PTS) situados nos edifícios técnicos exteriores (ET1 e ET3) e, a partir destes, a um posto de transformação (PT) situado no edifício técnico interior (ET2). A alimentação deste último é sempre realizada a partir de um só dos PTS de cada vez, estando impedido o funcionamento em anel por sistema inversor com encravamento.

O PT e os PTS estão equipados com quadros de MT, formados por conjuntos de celas com equipamento em SF₆ com órgãos de manobra, medição e proteção, que antecedem transformadores secos de 630 kVA. Existem dois transformadores de 630 kVA no ET1 e no ET3, um dos quais se destina ao abaixamento de tensão para o respetivo quadro geral de baixa tensão (QGBT) e o outro para a elevação de tensão, inserido na cadeia de alimentação socorrida (ver secção 2.17.2). No ET2 existe apenas um transformador abaixador de 630 kVA. É a partir dos QGBT que se realiza a distribuição da energia pelas instalações elétricas de utilização, nas áreas afetadas a cada PT/PTS: os PTS exteriores servem os respetivos edifícios técnicos, as zonas exteriores adjacentes e uma extensão de cerca de 1,5 km de ambas as galerias rodoviárias e as três galerias de emergência mais próximas; o PT interior serve o respetivo edifício técnico e uma extensão de cerca de 2,5 km de ambas as galerias rodoviárias e sete galerias de emergência.

O regime de neutro utilizado em baixa tensão é TN-S (elétrodo de terra único, mas com condutores de neutro e de terra separados). Foi informado verbalmente que o eletrodo de terra apresenta, no lado do ET1 uma resistência de 0,3 ohm e, no lado do ET3, uma resistência de 0,7 ohm. Os QGBT estão munidos de uma proteção global contra descargas atmosféricas no barramento e outra na saída específica para a unidade de alimentação não interrompível.

A maior parte da potência de carga nesta instalação corresponde à força motriz de ventilação e desenfumagem; trata-se de equipamento de segurança, requerendo por isso elevada disponibilidade, mas é previsível que o seu funcionamento seja raro. A grande parcela de energia, contudo, será consumida em iluminação do túnel: a sua potência é menor mas tem uma parte de funcionamento permanente (em toda a extensão do túnel) e outra parte, de iluminação de reforço, que tem bastantes horas diárias de funcionamento; pela sua função de segurança toda a iluminação do túnel requer elevada disponibilidade de energia elétrica.

2.17.2 Sistema de Alimentação Socorrida

O sistema de alimentação (normal) de energia elétrica não permite ultrapassar os problemas decorrentes de anomalias na rede de MT. Para fazer face a falhas de rede e interrupções breves existe uma central elétrica de emergência em cada PTS, nos edifícios técnicos exteriores, com dois grupos eletrogéneos de socorro, cada um com a potência nominal de 605 kVA/484 kW, proporcionando energia elétrica de regime socorrido para o funcionamento seguro do túnel, quer em exploração normal quer em cenários de emergência (nomeadamente de incêndio, em que seja necessário ativar a ventilação de desenfumagem).

Os grupos eletrogéneos possuem motorização primária Diesel, dispondo de pré-aquecimento por forma a permitir arranque rápido (tipicamente inferior a 15 s, como se observou nos testes finais). Os dois grupos de cada central funcionam quer em paralelo quer individualmente: alimentam o QGBT local por esquema de inversão com a energia proveniente do PT e ainda podem fornecer energia para o transformador elevador existente que permite a transmissão em MT para o PT do ET2. Cada grupo eletrogéneo possui tanque de combustível incorporado que proporciona uma autonomia de cerca de 24 horas a plena carga.

A existência de um sistema de alimentação socorrida não faz parte dos requisitos mínimos de segurança dos túneis previstos no Decreto-Lei. Com efeito, para fazer face ao corte do fornecimento de energia elétrica de serviço normal, o Decreto-Lei preconiza “um sistema de alimentação de energia de emergência capaz de assegurar o funcionamento do equipamento de segurança indispensável à evacuação, até que todos os utentes tenham evacuado o túnel”. Como se compreende, esta condição de “recurso mínimo” destina-se a permitir que todos os utentes abandonem o túnel em segurança, mas é insuficiente para o manter em serviço (mais utentes a entrarem) quando não há fornecimento de energia da rede: ou seja, implica o fecho do túnel. Com a alimentação socorrida é possível dispor dos recursos necessários para que o túnel permaneça em serviço mesmo com falhas de alimentação de rede elétrica.

Os testes finais a que o LNEC assistiu revelaram o correto arranque, a transferência de carga e a estabilidade dos dois pares de grupos eletrogéneos dos dois PTS (no ET1 e no ET3). O mesmo se verificou com a transferência de carga em MT do PT do ET2 entre os dois PTS exteriores, quer em alimentação pela rede quer em regime socorrido.

2.17.3 Sistema de Alimentação de Emergência (para evacuação)

A alimentação de energia de emergência – capaz de assegurar o funcionamento do equipamento de segurança indispensável à evacuação dos utentes do túnel – está a cargo de unidades estáticas de alimentação não interrompível (UPS – *uninterruptible power supply*) com a potência nominal de 160 kVA, instaladas nos edifícios técnicos.

Este recurso permite garantir que a alimentação de cargas sensíveis não é afetada por micro-cortes e perturbações na alimentação normal e socorrida. Tem, por isso, a seu cargo o sistema de automação, de comunicações e de instrumentação, os recursos críticos nos locais técnicos e a iluminação interior

de regime emergência nas galerias rodoviárias. A autonomia declarada de cada UPS, com os bancos de baterias que lhes estão adstritos e com carga de 140 kVA é de 20 minutos. A verificação por ensaio confirmou que o regime de descarga exibido no equipamento é coerente com o intervalo de tempo da observação.

Os ensaios finais do sistema de alimentação elétrica revelaram o correto funcionamento das UPS nos ET1, ET2 e ET3 perante cortes de alimentação em MT. Este sistema foi projetado para cumprir a função a que se fez alusão na secção 2.17.2 e que é exigida no (Anexo II, § 2.17.1 do) Decreto-Lei. Mas, para além disso, destina-se a garantir o funcionamento em condições mais fiáveis dos sistemas de segurança mais sensíveis às perturbações da alimentação.

Dado que as UPS são críticas para garantir a permanência do túnel em funcionamento, no futuro, para que este recurso tenha disponibilidade adequada, deve ser assegurada a existência de órgãos de reserva que permitam a sua manutenção corretiva tão rápida quanto possível.

2.17.4 Recursos Indispensáveis ao Controlo dos Sistemas de Alimentação

Os QGBT estão munidos de autómatos programáveis, integrados no sistema global de automação do túnel, para realizarem as funções de automatismo local, de aquisição de dados e de gestão técnica.

No âmbito da gestão técnica são feitos não só a monitorização de estado e a veiculação de comandos, mas também o diagnóstico de falhas. Esta última função utiliza a alarmística de supervisão para alertar sobre anomalias detetadas no funcionamento dos equipamentos de potência, disparo de circuitos de utilização de energia e ocorrências em UPS e nos grupos de emergência.

Os grupos eletrogéneos de socorro são autocontrolados com controladores dedicados para arranque, regulação e colocação em paralelo. As unidades de alimentação de regime não interrompível são autocontroladas e autoprotégidas contra defeitos de origem externa e efetuam autodiagnósticos para detetar falhas internas.

2.17.5 Circuitos Elétricos, de Medição e de Comando

Os circuitos elétricos de energia são ramificados e protegidos individualmente e de modo seletivo, por forma a que uma avaria num circuito não afete os outros circuitos que se encontrem ainda em funcionamento. No caso da ventilação e desenfumagem existe um circuito elétrico individual por cada ventilador, com órgãos exclusivos de arranque e de proteção e existe redundância capaz de tolerar a perda de um deles sem afetar os restantes. No caso da iluminação, cada nível é obtido com vários circuitos divergentes, de modo que a falha num deles não implica a desligação de outros nem uma supressão considerável da iluminação.

O mesmo acontece com os circuitos de sinal dos instrumentos de medição, cujas entradas se fazem para autómatos locais distintos e, quando num mesmo autómato, são separadas entre si. Os circuitos de comando também são provenientes de saídas independentes nos autómatos.

Nos QGBT existem ainda proteções contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas. No equipamento eletrónico dos sistemas de deteção de excesso de altura e de mercadorias perigosas, situados no exterior, também existe proteção contra sobretensões.

2.18 Resistência do Equipamento aos Incêndios

O conjunto de equipamento situado no interior do túnel que é estritamente essencial para manter as funções de segurança necessárias em caso de incêndio¹ consiste em:

- grupos de ventilação necessários à desenfumagem da galeria rodoviária sinistrada e às galerias de emergência;
- iluminação de evacuação no interior da galeria sinistrada (regime permanente/noturno) e das galerias de emergência, bem como a respetiva iluminação de sinalização;
- postos SOS.

Os grupos de ventilação das galerias rodoviárias têm a especificação de resistência à temperatura de 250 °C / 2 horas (tendo sido verificado que a sua etiquetagem indica a classe de desempenho F300, de acordo com a norma EN12101-3), a qual abrange os seccionadores incorporados nos ventiladores (foi verificado que apresentam etiquetagem que indica resistência ao fogo). As cablagens que servem estes equipamentos, no percurso exposto, têm resistência ao fogo para 180 minutos seguindo encaminhadas por sob os passeios no restante trajeto em que consistem em cabos sem halogéneos.

Os circuitos de iluminação de evacuação possuem cabos sem características de resistência ao fogo, mas que seguem encaminhados em tubos embebidos na parede, pelo que satisfazem aquele requisito.

Os postos SOS estão protegidos em nichos e são servidos por cabos elétricos resistentes ao fogo que seguem protegidos por sob os passeios, tal como os cabos de sinal/fibra ótica de comunicação de dados deste sistema. A eventual perda por incêndio de algum destes equipamentos não interfere com a operacionalidade dos outros.

Dentro de um posto SOS das galerias rodoviárias está instalado um autómato que realiza a interface do sistema de automação com algum equipamento de campo: para além da deteção de abertura de porta, em alguns locais é feita a ligação a instrumentação das galerias rodoviárias (medidores de concentração de CO, NO_x e de opacidade, e anemómetros), bem como a equipamento de sinalização rodoviária.

Um incêndio que ocorra junto do armário de um posto SOS pode provocar a perda de acesso aos órgãos de medição atrás referidos. Os anemómetros são importantes em caso de incêndio, na fase

¹ Deduzido a partir do conteúdo do Decreto-Lei, mas não enumerado explicitamente neste,

em que a desenfumagem se encontrar no modo de “regime contínuo”²; todavia, a falta de um anemómetro nas proximidades do incêndio foi considerada no estabelecimento do algoritmo de ventilação e não se torna crítica.

Com exceção dos autómatos de campo já referidos, os órgãos principais do sistema de automação e os respetivos cabos de transmissão não têm exposição a incêndios no túnel (os controladores ficam instalados em edifícios técnicos e os cabos de fibra ótica estão colocados por sob os passeios).

Embora não seja estritamente exigido no Decreto-Lei, em termos da segurança dos utentes considera-se importante que, em caso de incêndio, os seguintes subsistemas da galeria sinistrada possam continuar em serviço, intactos ou com perda pouco significativa dos seus recursos:

- iluminação de segurança (permanente);
- câmaras de videovigilância;
- sistema de megafonia;
- sistema de sinalização e mensagens variáveis.

A iluminação de segurança é servida em regime UPS por cabos resistentes ao fogo, pelo que satisfaz o objetivo pretendido.

As câmaras de videovigilância estão ligadas por cablagens de sinal que podem ser destruídas em caso de incêndio e deixar inoperativa, no máximo, uma câmara a montante do incêndio. Alguma câmara que fique muito próxima do local do incêndio pode ficar rapidamente inoperativa, bem como outras a jusante do mesmo, por efeito da temperatura do fumo; no entanto essa perda não se afigura crítica, pois nesses locais a própria presença de fumo impede a visibilidade. Nestas condições a videovigilância poderá continuar a ser exercida com as câmaras do lado de montante do incêndio, facto que, em combinação com a disponibilidade de recursos de megafonia, é de grande importância para a gestão da situação de emergência.

Os amplificadores do sistema de megafonia ficam situados em galerias de emergência e, por conseguinte estão protegidos de incêndio nas galerias rodoviárias. As respetivas cablagens, resistentes ao fogo, seguem nos caminhos de cabos existentes nos hasteais.

Pode haver destruição de equipamento de sinalização rodoviária no local de um incêndio, mas tal não implica a indisponibilidade desse sistema em qualquer outro ponto.

Quanto ao equipamento necessário ao encerramento do túnel não se afigura que esteja exposto ao efeito de incêndios no interior do mesmo.

² controlo em cadeia fechada da velocidade média do escoamento do ar.

2.19 Medidas Respeitantes ao Funcionamento

A exploração do túnel do Marão deve estar organizada para garantir a continuidade e a segurança do tráfego. No que respeita à existência de meios adequados para garantir estes mesmos objetivos, subsiste a dúvida sobre se os recursos humanos associados à exploração imediata do túnel estarão devidamente treinados e serão conhecedores das particularidades do túnel e da sua inserção na A4 onde se encontra. Este aspeto poderá ser mitigado se o pessoal operador a quem irá incumbir a operação do túnel nos 2 primeiros meses for adequada e permanentemente tutelado por outros operadores com experiência e conhecimentos similares aos evidenciados pelos operadores presentes durante os ensaios integrados realizados pelo LNEC.

Foi informado pela IP que a exigência expressa no Caderno de Encargos de que o Consórcio garantisse o acompanhamento da operação nos primeiros três meses com pessoal tecnicamente habilitado, foi contratualmente prolongada para seis meses. Os técnicos do Consórcio encarregados de assumir estas funções são aqueles que o LNEC observou a conduzir a operação durante os ensaios finais. Incluem-se nestes alguns dos técnicos que têm vindo a conduzir a formação dos novos operadores.

Assim, considera-se que fica salvaguardada a segurança da operação que, durante os primeiros meses, será assegurada pelos referidos técnicos do Consórcio e pelos operadores que se encontram em formação. O Agente de Segurança deve confirmar que a forma como será organizada a operação do túnel nestes moldes será feita garantindo que os operadores em formação só ficarão autónomos quando evidenciarem ser suficientemente experientes.

A operação das UMIA será assegurada em regime de turnos, cobrindo as 24 horas, com a presença permanente de, pelo menos, dois veículos. O pessoal afeto às UMIA teve formação / treino para o exercício das suas funções (incluindo formação de utilização de extintores de 50 kg para combate a incêndio), mas a sua experiência é ainda reduzida (informação verbal).

Em termos genéricos foi dada a informação de que as equipas disponíveis ficarão uma estacionada junto a um Edifício Técnico exterior (ET1 ou ET3) e a outra em circulação. Em resultado dos testes realizados foi possível observar que o tempo necessário para uma UMIA estacionada no ET1 chegar ao local de um incidente situado na galeria descendente, sensivelmente a meio do túnel, foi de 12,5 minutos. Em consequência, recomenda-se que o estacionamento da UMIA seja preferencialmente feito junto do edifício ET3 pois o percurso a realizar para atingir a totalidade dos pontos no interior das duas galerias rodoviárias do túnel será reduzido em cerca de 5 minutos.

A comunicação entre o pessoal operador no Centro de Controlo e o pessoal de assistência de estrada que se desloque ao interior do túnel é feita com recurso a uma rede de rádio digital própria.

O túnel do Marão dispõe de um plano de emergência interno [10], em fase de aprovação final, que descreve a instalação existente, os recursos humanos e materiais disponíveis e os procedimentos a seguir em caso de cenários de emergência no túnel. Importa manter atualizado este plano de emergência interno e articulá-lo com um plano de emergência externo onde fiquem definidos os meios a utilizar e os recursos humanos e materiais a disponibilizar pelas autoridades de segurança e

pelos serviços de emergência nos cenários de incidente grave no túnel. A elaboração deste plano deve ser feita pela Concessionária em conjunto com os serviços de emergência e deve ter em conta as pessoas com mobilidade reduzida e as pessoas com deficiência (Anexo III - §2.4 do Decreto-Lei).

Na configuração atual o encerramento do túnel por semáforos em situação de incêndio é automático após confirmação do operador. Tendo em atenção que a Equipa de Operação é constituída por dois operadores, julga-se que é possível garantir que seja quase nula a probabilidade de indisponibilidade transitória da operação num cenário em que a sua avaliação da situação e tomada de decisão não deva exceder os primeiros três minutos do incidente.

Considera-se que a exploração do túnel do Marão está organizada para garantir a continuidade e a segurança do tráfego. Todavia, subsistem algumas dúvidas relativamente à experiência inicial do pessoal de operação. Esta debilidade deve ser mitigada conforme referido acima.

2.20 Sistema de Automação

Este recurso é essencial para o funcionamento dos meios de segurança ativa do túnel, embora não esteja explicitamente referido no Decreto-Lei. Consiste num conjunto de controladores e de redes para transmissão de dados entre eles. As duas unidades controladoras principais são redundantes e fisicamente afastadas (uma no ET1 e outra no ET3) e a rede de dados em fibra ótica também é redundante e tem topologia em anel. Abrangidos na mesma rede estão os autómatos programáveis (não redundantes) alojados em armários técnicos de todos os postos SOS interiores ao túnel, os quais realizam a interface física de ligação aos dispositivos e equipamentos de campo, bem como algumas funções de automatismo local.

As funções de controlo mais importantes, como é o caso dos algoritmos de ventilação corrente das galerias rodoviárias, de iluminação diurna de reforço e de desenfumagem em caso de incêndio, estão a cargo das unidades controladoras principais.

Associados ao sistema de automação existem os recursos de supervisão que incluem a interface humano-máquina (HMI) para os operadores realizarem a monitorização de estado e a aplicação de comandos, e um sistema de informação para a gestão de alarmes e o registo e acesso a dados. Aqui assume especial importância a preparação que os operadores devem possuir para realizar as tarefas inerentes à interação com os automatismos.

Outra função igualmente essencial a sistemas de segurança e que está a cargo da automação é a deteção (ou diagnóstico) de falhas, que é feita através da monitorização de estados e comportamentos dos equipamentos e subsistemas. Mesmo não sendo possível garantir uma cobertura plena de todos os modos de falha, a deteção de falhas no grau possível permite reduzir a indisponibilidade de recursos de segurança do túnel, ou o seu funcionamento impróprio, quando forem chamados a atuar. À deteção de falhas segue-se a emissão de alarmes para os operadores e, subsequentemente, para o pessoal de manutenção, através da supervisão. Em alguns casos de falha, é feito o lançamento automático de modos operativos para condições degradadas, com ou sem

assistência humana. Estão nesta situação as falhas de luminancímetros, de anemómetros e de sensores de controlo ambiental, de controladores de megafonia e dos próprios elementos do sistema de automação.

A arquitetura do sistema de automação deste túnel e a forma como está estruturada a supervisão afiguram-se adequados. Pressupõe, contudo, uma forte interação com operadores devidamente preparados³ e responsáveis. Pressupõe igualmente a disponibilidade de recursos humanos e materiais de manutenção que possam reduzir os tempos de indisponibilidade de elementos cuja falha seja detetada.

2.21 Documentação de Segurança

A documentação técnica e de segurança do túnel deve ficar organizada e arquivada em local específico devidamente preparado para o efeito.

Não há referência a medidas relativas a pessoas com deficiência e mobilidade reduzida.

No que respeita ao projeto existem elementos relativos à estrutura, ventilação e equipamentos, às previsões de tráfego originais e corrigidas. Existe um Dossier Técnico [11] com dados referentes a equipamentos e, para alguns subsistemas, memórias de projeto. Foi efetuada uma análise de riscos relativa a cenários de acidente [14], tendo sido adotadas medidas com vista a reduzir a sua probabilidade de ocorrência e as suas consequências.

Existe um Plano de Emergência Interno [10] em fase final de aprovação.

³ quer para a utilização do próprio programa de supervisão quer para a interpretação das informações dos equipamentos de campo.

3 | Conclusões

O presente parecer emitido pelo LNEC (que é Entidade Fiscalizadora no enquadramento dado pelo Art, 13º do Decreto-Lei 75/2014) tem em conta o acompanhamento que o LNEC fez na assessoria à IP para o Túnel do Marão, conforme descrito em 1.1 e refere-se ao funcionamento do túnel globalmente com todos os recursos humanos e materiais previstos.

A avaliação da segurança tem como referencial os requisitos mínimos de segurança dos túneis da rede rodoviária transeuropeia e da rede nacional, estipulados do Decreto-Lei 75/2014.

De acordo com a fundamentação exposta no capítulo precedente, e salvaguardando as medidas preventivas complementares indicadas e as recomendações ou medidas de mitigação especificadas (designadamente nas secções 2.9, 2.10, 2.14, 2.17.3, 2.19 e 2.21), emite-se o presente parecer favorável quanto à segurança do Túnel do Marão com vista à sua passagem à fase de exploração, conforme o estabelecido no Decreto-Lei n.º 75/2014.

O parecer refere-se às condições materiais e humanas em que o túnel irá operar no imediato. Deixa-se desde já assinalada a necessidade de verificação futura, por parte do Agente de Segurança, das condições de exploração, bem como da persistência de boas práticas de operação e de manutenção, e seu constante aperfeiçoamento, para fazer face a quaisquer alterações, deficiências ou vulnerabilidades que se venham a revelar no futuro.

Vila Real, 29 de abril de 2016

Lisboa, LNEC, setembro de 2016

VISTOS

AUTORIA

O Diretor do Departamento de Edifícios



Jorge Grandão Lopes



Carlos Oliveira Costa
Investigador Principal

O Diretor do Departamento
de Barragens de Betão



António Lopes Batista



João Carlos Pires Palma
Investigador Principal
Chefe do Núcleo de Sistemas Eletrotécnicos e
Mecânicos

O Diretor do Centro
de Instrumentação Científica



Carlos Oliveira Costa



João Carlos Viegas
Investigador Principal com Habilitação
Chefe do Núcleo de Acústica, Iluminação,
Componentes e Instalações



José Muralha
Investigador Principal

Referências Bibliográficas

- [1] **Diretiva n.º 2004/54/CE**, do Parlamento Europeu e Conselho Europeu – de 29 de abril de 2004.
- [2] **Decreto-Lei 75/2006**, de 27 de março.
- [3] **Decreto-Lei n.º 75/2014**, de 13 de maio.
- [4] LNEC, 2014 – **Assessoria Técnica à EP - Estradas de Portugal, S.A. para a Conclusão do Empreendimento do Túnel do Marão no Âmbito dos Equipamentos e Sistemas de Segurança. Relatório de síntese das contribuições para o Caderno de Encargos.** LNEC - Proc. 0903/121/19028. Relatório 290/2014 – CIC/NSEM.
- [5] LNEC, 2015 – **Assessoria Técnica à EP - Estradas de Portugal, S.A. para a Conclusão do Empreendimento do Túnel do Marão no Âmbito dos Equipamentos e Sistemas de Segurança. Relatório de análise técnica de propostas.** LNEC - Proc. 0903/121/19028. Relatório 152/2015 – CIC/NSEM.
- [6] LNEC, 2015 – **Assessoria Técnica à EP - Estradas de Portugal, S.A. para a Conclusão do Empreendimento do Túnel do Marão no Âmbito dos Equipamentos e Sistemas de Segurança. Relatório de Análise do Projeto de Execução.** LNEC - Proc. 0903/121/19028. Relatório 168/2015 – CIC/NSEM.
- [7] LNEC, 2015 – **Assessoria Técnica à EP - Estradas de Portugal, S.A. para a Conclusão do Empreendimento do Túnel do Marão no Âmbito dos Equipamentos e Sistemas de Segurança. Parecer sobre a Segurança em Fase de Projeto.** LNEC - Proc. 0903/121/19028. Relatório 191/2015 – CIC/NSEM.
- [8] LNEC, 2016 – **Assessoria Técnica à IP - Infraestruturas de Portugal, S.A. para a Conclusão do Empreendimento do Túnel do Marão no Âmbito dos Equipamentos e Sistemas de Segurança. Acompanhamento dos ensaios finais.** LNEC - Proc. 0903/121/19028. Relatório xxx/2016 – CIC/NSEM, em fase de edição.
- [9] LNEC, 2016 – **Assessoria Técnica à IP - Infraestruturas de Portugal, S.A. para a Conclusão do Empreendimento do Túnel do Marão no Âmbito dos Equipamentos e Sistemas de Segurança. Verificação da conformidade do túnel com o Decreto-Lei 75/2014.** LNEC - Proc. 0903/121/19028. Relatório xxx/2016 – CIC/NSEM, em fase de edição.
- [10] IP-Infraestruturas de Portugal, S.A. – **Túnel do Marão. Plano de Emergência Interno**, março de 2016, versão 0.1.3.
- [11] Teixeira Duarte, EPOS – **Túnel do Marão. Sistemas e Equipamentos de Segurança Ativa. Dossier Técnico**, versão 0.1, fevereiro 2016.
- [12] Teixeira Duarte, EPOS – **Túnel do Marão. Projeto de Execução. Sistemas e Equipamentos de Segurança Ativa. Pe-04.8-04 - Ventilação e Controlo de Fumo**, Rev. A, janeiro 2015.
- [13] **Portaria n.º 1532/2008**, de 29 de dezembro.

- [14] Teixeira Duarte, EPOS – **Túnel do Marão. PE 10.2 Análise de riscos**, Rev. 0, dezembro de 2014.
- [15] Schmetz, D. – **Lighting Measurement, 19.04.2016, Túnel do Marão Vila Real**. Siteco.