

# **SOLUÇÕES ADOPTADAS NA BENEFICIAÇÃO DO TÚNEL DE MONTEMOR – A9 / CREL**

## **SOLUTIONS ADOPTED AT THE REHABILITATION OF THE MONTEMOR TUNNEL - A9 / CREL**

Pinto, Alexandre, *JetSJ Geotecnia, Lisboa, Portugal, apinto@jetsj.pt*  
Guimarães, João (\*), *JetSJ Geotecnia, Lisboa, Portugal, joao.guimaraes@oniduo.pt*  
Saraiva, Jorge (\*), *JetSJ Geotecnia, Lisboa, Portugal, dinamica@netcabo.pt*  
Vieira, Campos (\*), *JetSJ Geotecnia, Lisboa, Portugal, acvieira@netcabo.pt*  
Serras, Lopes (\*), *JetSJ Geotecnia, Lisboa, Portugal, serraslopes@netcabo.pt*  
Oliveira, Pedro (\*), *JetSJ Geotecnia, Lisboa, Portugal, pedro.olivenca@cege.pt*  
Tomásio, Rui, *JetSJ Geotecnia, Lisboa, Portugal, rtomasio@jetsj.pt*

### **RESUMO**

Refere-se o presente artigo à descrição dos principais critérios que orientaram o Projecto de Beneficiação do Túnel de Montemor, inserido na A9 – CREL, Sublanço Radial da Pontinha / Radial de Odivelas, com o objectivo de assegurar os requisitos mínimos de segurança do referido Túnel, em conformidade com o Decreto - Lei nº 75/2006. Este último, corresponde ao documento legal que transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva nº 2004/54/CE do Parlamento Europeu, para túneis da rede rodoviária transeuropeia com desenvolvimento superior a 500m. Neste enquadramento são apresentadas, em particular, as soluções adoptadas no âmbito das seguintes especialidades: hidrogeologia e estruturas (incluindo resistência ao fogo), segurança rodoviária, instalações eléctricas, instalações mecânicas e redes de águas.

### **ABSTRACT**

The aim of this paper is to present the main design criteria adopted for the rehabilitation of the Montemor Tunnel, located at the motorway A9 – CREL, at the section Radial da Pontinha / Radial de Odivelas. The Tunnel rehabilitation has been designed in order to fulfill the safety requirements, according to the Portuguese law: Decreto - Lei nº 75/2006. This one was issued in order to allow the application to the Portuguese law of the E.U. Directive nº 2004/54/CE, proposed by the European Parliament for tunnels of the Trans – European Road Network, with an overall length bigger than 500m. In this scenario, the following issues are pointed out: hydrogeology and structures (including fire safety), road safety, electrical and mechanical devices and hydraulics.

### **1. INTRODUÇÃO**

A publicação do Decreto - Lei nº 75/2006 de 27 de Março, que entrou em vigor em 20 de Abril de 2006, transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva Europeia nº2004/54/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Abril, relativa aos requisitos mínimos de segurança para os túneis da rede rodoviária transeuropeia, com comprimento superior a 500m. Nos termos do seu artigo 2º, o referido Decreto - Lei estabelece ainda que o seu âmbito de aplicação é respeitante a todos os túneis da rede rodoviária nacional com extensão superior a 500m, que se encontram em serviço, em construção ou em fase de projecto.

(\*) – Colaboração com a JetSJ Geotecnia na qualidade de Consultor

Esta legislação surge na sequência dos incêndios que ocorreram, num curto intervalo de tempo em túneis rodoviários europeus, em particular no Túnel Mont Blanc, em 1999, no Túnel de St. Gotthard, em 2001, assim como no Túnel de Tauern, em 1999, dos quais não só resultaram diversas perdas humanas e materiais, mas sobretudo uma maior sensibilidade e tomada de consciência para a importância de incrementar a segurança em túneis rodoviários europeus, dotando-os de um nível de protecção uniforme e constante.

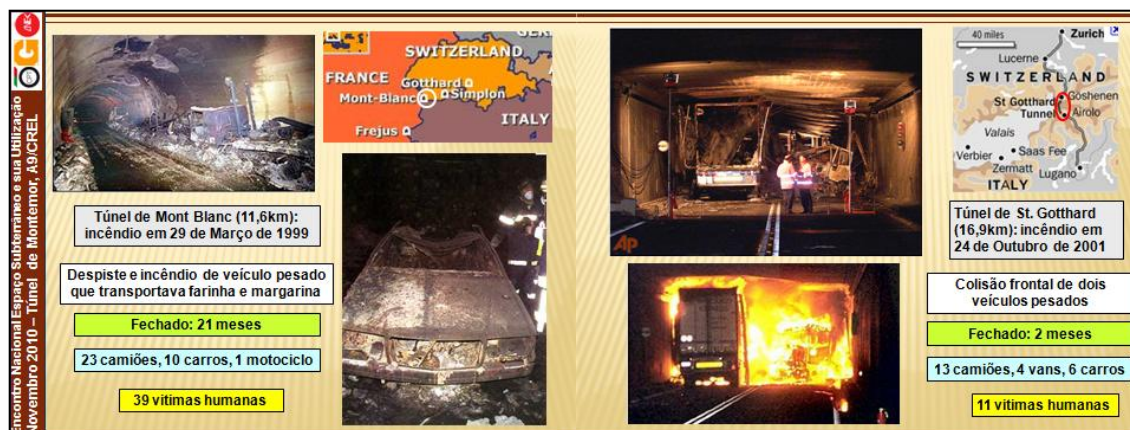


Figura 1 – Principais dados dos acidentes nos túneis de Mont Blanc e de St. Gotthard

A mesma legislação reconhece que existem na Europa vários túneis em serviço há muitos anos, concebidos em épocas em que as competências tecnológicas e as exigências de tráfego eram bastante inferiores às actuais, dispondo, em consequência, de condições de segurança desajustadas face ao enquadramento actual. Destaca ainda que a segurança nos túneis exige uma série de medidas relacionadas com aspectos como: geometria do Túnel, incluindo a respectiva concepção e equipamentos de segurança. Nestes últimos, podem ser incluídos: a sinalização, a gestão do tráfego, a formação do pessoal dos serviços de emergência, a gestão dos incidentes, as informações a fornecer aos utentes sobre o comportamento mais adequado a assumir no interior dos túneis, a comunicação entre as autoridades responsáveis e os serviços de emergência, como polícia, bombeiros e equipas de salvamento. Sublinha ainda a mesma legislação a importância do comportamento dos utentes para a segurança dos túneis, devendo as medidas de segurança possibilitar o auto – salvamento das pessoas envolvidas no incidente, permitir a intervenção imediata dos utentes rodoviários para prevenir o agravamento das consequências do mesmo incidente, garantir a eficácia da acção dos serviços de emergência, proteger o ambiente e limitar os danos materiais (Jornal Oficial da União Europeia, 2004).

Como já referido, a Directiva Europeia nº2004/54/CE, relativa aos requisitos mínimos de segurança para os túneis da rede rodoviária transeuropeia com comprimento superior a 500m, foi transposta para a ordem jurídica portuguesa através do Decreto – Lei nº 75/2006 (Diário da República – I Série – A, 2006). O art.º 17º deste Decreto - Lei define para os túneis já em serviço, nomeadamente para os túneis abertos à circulação pública até 20 de Abril de 2006, que a Autoridade Administrativa deveria efectuar a avaliação de conformidade até 20 de Outubro de 2006. O Gestor do Túnel deveria propor à Autoridade Administrativa a aprovação dum plano de medidas correctivas a tomar para adaptar o Túnel às disposições da referida legislação. As autoridades administrativas deveriam, por sua vez, apresentar à Comissão Europeia, até 20 de Abril de 2007, um relatório com o modo como seria previsto cumprir os requisitos jurídicos e as medidas planeadas. Ainda segundo o art.º 18º do mesmo Decreto – Lei, a renovação de túneis, já em serviço, deveria ser planeada de forma a poder estar concluída até 20 de Abril de 2014.

É neste enquadramento que surge o Projecto de Beneficiação do Túnel de Montemor, com o objectivo de avaliar a conformidade do referido Túnel com o Decreto - Lei nº 75/2006, em particular ao nível dos requisitos mínimos de segurança.

## 2. BREVE DESCRIÇÃO DO TÚNEL DE MONTEMOR

O Túnel de Montemor localiza-se na A9 - CREL, integrado no sublanço Radial da Pontinha – Radial de Odivelas, foi construído em 1994 e dispõe de duas galerias com uma extensão, cada, de cerca de 740m (figura 2). Cada galeria apresenta três vias, com largura de 3,75m, berma esquerda com 1,0m e berma direita com 4,0m. Os passeios, de ambos os lados de cada galeria, são elevados com 0,75m de largura. A área da secção transversal de cada galeria é de 130m<sup>2</sup>, com gabarito de circulação de 4,70m. O declive transversal é constante de 2,5% e o declive longitudinal médio é de 5,3%, corresponde a um desnível de cerca de 38m entre os emboquilhamentos. O perfil longitudinal desenvolve-se em concordância convexa, com a cota máxima junto ao emboquilhamento do lado SW (Radial da Pontinha). O tráfego diário médio anual por galeria é de 13.449 veículos, sendo a percentagem de veículos pesados de 3%.

No âmbito do Projecto de Beneficiação foram analisadas as seguintes principais situações, que se passam a descrever, de forma resumida, nos capítulos seguintes:

- Hidrogeologia e estruturas: análise e eventual necessidade de reforço estrutural, tendo por base a verificação da capacidade resistente da estrutura do Túnel, em particular aos impulsos hidrostáticos e ao incêndio, incluindo o risco de colapso de estruturas vizinhas, em particular as localizadas sobre o mesmo Túnel.
- Segurança integrada e rodoviária: análise de riscos, incluindo ultrapassagem por veículos pesados e circulação de veículos de mercadorias perigosas, sinalização de emergência e evacuação e ainda apoio à redacção do Plano de Emergência.
- Instalações eléctricas: análise dos sistemas de iluminação normal, de segurança e de evacuação, e ainda de automação, incluindo reformulação / substituição de cablagem e circuitos, com adequada protecção ao fogo. Implementação de um novo sistema para detecção automática de incidentes e incêndios.
- Instalações mecânicas: substituição dos sistemas de ventilação e de desenfumagem, incluindo, os cenários de incêndio e de evacuação, em regime de automação.
- Rede de águas e drenagem: rede de águas para combate a incêndios e drenagem de líquidos inflamáveis e tóxicos, compatível com a permissão de circulação de veículos de mercadorias perigosas.
- Sinalização rodoviária: análise e reformulação da sinalização rodoviária.



Figura 2 – Localização em planta e vista dos emboquilhamentos e sistemas de ventilação e iluminação



### 3. HIDROGEOLOGIA E ESTRUTURAS

#### 3.1. Hidrogeologia

De acordo com a Carta Geológica de Portugal 34-B – Loures, na escala 1/50.000, o maciço rochoso interessado pelo Túnel de Montemor é constituído por formações datadas do Albiano-Cenomaniano médio, designadas por Calcários e Margas (“Belasiano”) -  $C^2_{AC}$ , sobre as quais assentam os calcários do Turoniano -  $C^3_C$ . Sobre estes materiais, podem, ainda, ocorrer em discordância os materiais pertencentes ao Complexo Vulcânico de Lisboa, compostos essencialmente por basaltos e tufos vulcânicos. As formações ocorrentes são caracterizadas pela sua disposição em bancadas que podem apresentar-se com espessuras variáveis, sendo compostas por calcários compactos que vão alternando com margas e calcários, mais ou menos margosos, por vezes com zonas reticuladas de natureza dolomítica ou com intercalações de alguns níveis gresosos. Aquando dos trabalhos de escavação do Túnel confirmou-se que predominam entre a zona do emboquilhamento do lado SW e a zona central do Túnel materiais essencialmente margosos (margas esverdeadas e margas argilosas) e que da zona central até ao emboquilhamento do lado NE ocorrem os calcários e calcários margosos mais brandos, com intercalações argilosas de pequena espessura. Este conjunto de materiais apresenta uma inclinação de cerca de 15° para SE. A zona interessada pelo Túnel caracteriza-se ainda, sob o ponto de vista geomorfológico, por se encontrar próximo do sopé de várias encostas circundantes da região e da superfície, formada pelos terrenos de recobrimento, com espessura máxima de cerca de 30m e uma ligeira inclinação para NE (figuras 3, 4 e 5).



Figura 3 – Vista do terreno sobre o Túnel e pontos de afluência de água ao interior do Túnel

Na zona envolvente do Túnel de Montemor destaca-se ainda a existência de duas linhas de água, afluentes do Rio de Loures e da Ribeira de Caneças, cujo traçado passa a curta distância dos emboquilhamentos NE e SW do Túnel. Face aos materiais interessados, a presença de fracturação do maciço, essencialmente rochoso, gerou um aquífero por permeabilidade secundária, podendo ocorrer alguns níveis confinados devido à existência de níveis argilo - margosos. A circulação local das águas subterrâneas deverá ser de NE para SW, seguindo a estratificação. As litologias da zona em estudo poderão fornecer caudais consideráveis, uma vez que a carga hidráulica sobre o Túnel poderá ainda ser apreciável. Muito embora predomine a recarga por permeabilidade secundária, considerou-se que esta poderá ser aliviada através da instalação e manutenção de um sistema de drenagem adequado. Durante a campanha de prospecção hidrogeológica efectuada para apoio ao Projecto de Beneficiação do Túnel, a qual incluiu a instalação de nove piezómetros em três secções transversais, confirmou-se que o nível freático se encontra a profundidades variáveis, acima da abóbada do Túnel, o que está de acordo

com a observação no interior do Túnel de afluência de água através dos sistemas de drenagem instalados (figura 3).

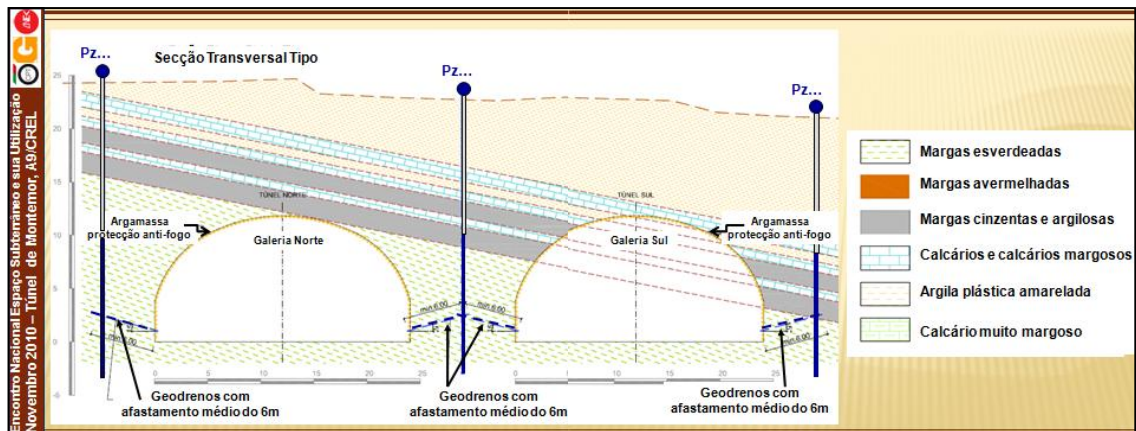


Figura 4 – Secção transversal tipo, com piezómetros

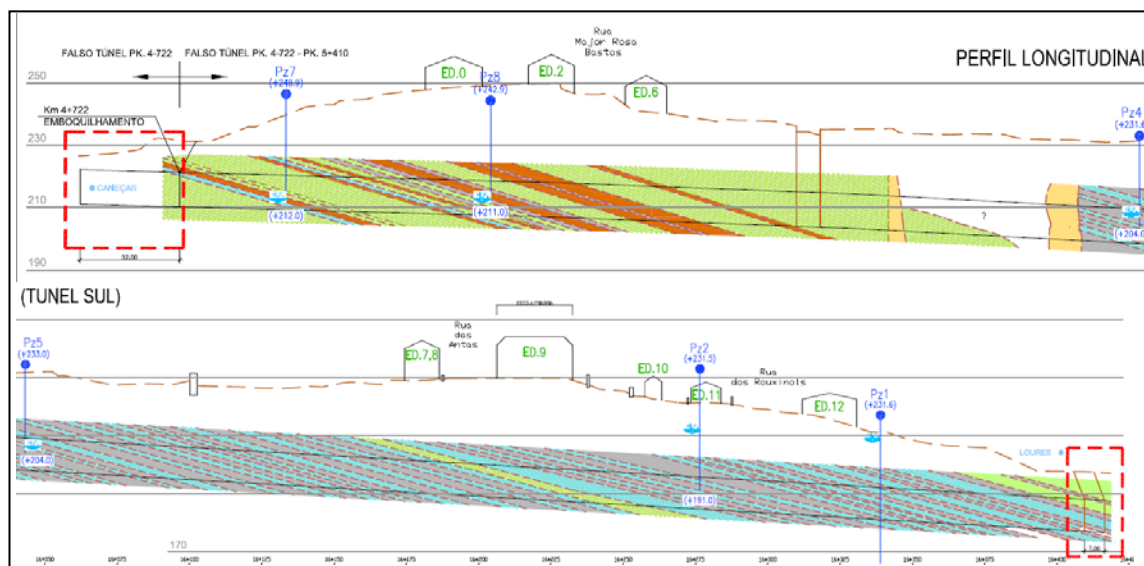


Figura 5 – Perfil longitudinal da galeria Sul, incluindo ocupações de superfície

Como já referido, com base na análise dos resultados dos nove piezómetros instalados foi possível confirmar que o nível freático se encontrava acima da cota da soleira, sendo a posição mais elevada no lado NE (secção transversal com os piezómetros Pz1, Pz2 e Pz3), onde este se situa acima ou próximo da cota da abóbada. Na zona mais central do Túnel, corresponde a uma zona mais drenada, foi detectado o nível freático a uma cota mais baixa, mas ainda acima da cota da soleira (secção transversal com os piezómetros Pz4, Pz5 e Pz6), enquanto no lado do emboquilhamento SW o nível freático foi igualmente observado ligeiramente acima da cota da soleira (secção transversal com os piezómetros Pz7, Pz8 e Pz9).

### 3.2. Ocupações de superfície

O recobrimento do Túnel dispõe na respectiva superfície de alguns edifícios de médio a reduzido porte, objecto de um levantamento individualizado, em particular nos troços de extremidade, destacando-se, do lado NE, a Escola EB1/JI de Montemor (figura 5 – edifício ED.9).

### 3.3. Avaliação estrutural

De acordo com o Projecto de Execução, o Túnel é constituído por uma estrutura em betão armado (secção dos falsos túneis junto aos emboquilhamentos, 41m do lado SW e de 5m do lado de NE) e em betão simples (secção corrente, com excepção dos arranques dos hasteais) com espessura mínima de 30cm, revestimento definitivo, aplicada sobre o revestimento primário, o qual terá sido materializado por betão projectado, cambotas, enfilagens e pregagens, e executado ao abrigo da tecnologia de NATM. Numa zona central e localizada da galeria Norte, correspondente à transição geológica, foi executado um reforço do revestimento definitivo com chapas metálicas. Foram admitidos pressupostos relativos à geometria e à resistência do revestimento primário, que foi necessário tentar confirmar através de campanhas de diagnóstico complementares. Do ponto de vista estrutural e geotécnico, as seguintes duas situações foram particularmente analisadas, tendo por base os resultados da campanha de prospecção hidrogeológica e das campanhas de diagnóstico estrutural realizadas:

- a) Cota do nível freático em relação à cota de soleira, tendo como referencia os pressupostos considerados na concepção e no dimensionamento do Túnel.
- b) Resistência ao fogo da estrutura do Túnel e consequências nas edificações localizadas sobre o Túnel.

No âmbito da avaliação e diagnóstico estrutural foram realizadas duas campanhas de ensaios. A primeira consistiu na execução de ensaios de avaliação sumária da corrosão das armaduras e da resistência actual dos betões, através de ensaios não destrutivos ou reduzidamente intrusivos “in-situ” e em laboratório, em particular: detecção de armaduras exteriores e medição do respectivo recobrimento com pacómetro, determinação da profundidade de carbonatação dos betões e do teor em cloretos a diferentes profundidades. Foram ainda recolhidas carotes para ensaios de compressão uniaxial não confinada. Os resultados obtidos confirmaram, em geral, condições de durabilidade e de resistência dos betões de acordo com o estipulado no Projecto do Túnel (figura 6).



Figura 6 – Ensaios realizados no interior do Túnel durante a primeira campanha: recolha de carotes e detecção de armaduras com pacómetro

No que se refere às armaduras, os mesmos foram menos conclusivos, tendo justificado a necessidade de uma segunda campanha, com vista à tentativa de uma melhor caracterização das eventuais armaduras e perfis metálicos integrados nos revestimentos definitivo e, sobretudo, no primário, incluindo ainda verificação da geometria dos dois revestimentos. Para tal, recorreu-se à prospecção geofísica, através de georadar, utilizando o sistema 2D, com antenas blindadas de 800 MHz e 1,6 GHz, em dois alinhamentos longitudinais contínuos, a todo o desenvolvimento e do lado direito de cada galeria (figura 7).



Após o processamento da informação recolhida através do georadar, prevê-se a execução, para fins de calibração, de algumas carotes de reduzido diâmetro (40mm).



Figura 7 – Ensaios realizados no interior do Túnel durante a segunda campanha com recurso a georadar

### 3.4. Cota do nível freático

A cota do nível freático, aferida através da leitura, no final do bastante chuvioso inverno de 2010, dos nove piezómetros instalados, foi sempre detectada acima da cota da soleira do Túnel, contrariando os pressupostos de concepção do mesmo Túnel. Neste enquadramento e no âmbito do Projecto de Beneficiação, foi proposta a instalação de um sistema de geodrenos, incluindo um programa de observação e manutenção dos mesmos, que permitissem o rebaixamento da cota do nível freático, de acordo com os pressupostos da concepção inicial do Túnel.



Figura 8 – Execução de furos para a instalação de piezómetros e cotas piezométricas

### 3.5. Resistência ao fogo

De acordo com a legislação é obrigatória a verificação da resistência ao fogo da estrutura de um Túnel sempre que o colapso local da mesma estrutura possa dar origem ao colapso de estruturas vizinhas importantes, devendo, em consequência, o Túnel apresentar um nível suficiente de resistência a incêndios. A partir da informação disponibilizada e das análises efectuadas, a estrutura do Túnel foi classificada com a classe de resistência ao fogo R180. As verificações de segurança dos elementos em betão armado e das estruturas vizinhas foram efectuadas a partir da curva de Incêndio Padrão, proposta pelo Eurocódigo nº1 (parte 1-2), e dos gráficos de evolução da temperatura com a profundidade e de redução da resistência com a evolução da temperatura,

propostos pelo Eurocódigo nº2 (parte 1-2), considerando a metodologia baseada na isotérmica de 500°C (figura 9).

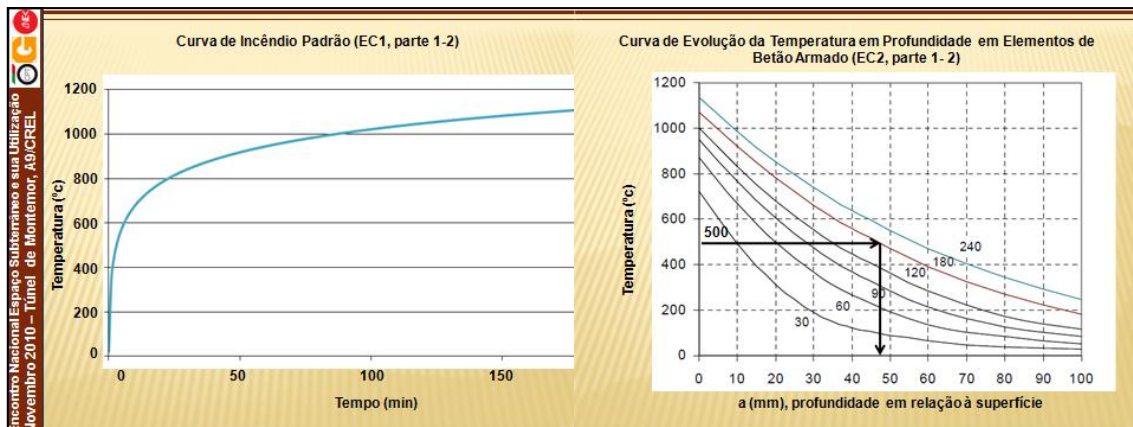


Figura 9 – Curva de incêndio padrão e variação da temperatura em profundidade em elementos de betão armado

Tendo por base os resultados das inspecções realizadas e os resultados das análises efectuadas, foi proposto, nas zonas onde foi realizado o reforço com chapas metálicas e nas zonas em falso Túnel, junto aos emboquilhamentos (onde a estrutura dispõe de armaduras no seu intradorso e extradorso) o revestimento do Túnel com uma argamassa anti – fogo, à base de cimento de vermiculite expandida, com espessura mínima de 25mm. Este tipo de produto apresenta, entre outras, as seguintes vantagens:

- Retarda o aquecimento da estrutura do Túnel, até um intervalo de tempo superior a 240 minutos, compatível com classe de resistência ao fogo R180 e com a segurança dos edifícios vizinhos, localizados sobre o Túnel (Do-Hyung Kim, 2007).
- Apresenta espessura reduzida de forma a não penalizar o gabarito do Túnel.
- Permite projecção automática por via húmida e acabamento final.

Nas restantes zonas do Túnel, onde, de acordo com a informação disponível e ensaios, até à data realizados, a estrutura do Túnel não dispõe de armaduras no revestimento definitivo não se considerou, tendo por base os pressupostos admitidos em relação à geometria e à resistência do revestimento primário e definitivo, como necessária a medida preventiva de projecção da argamassa anti – fogo. Complementarmente, refere-se ainda a necessidade de criar juntas de dilatação, a cada 25m no revestimento definitivo, como forma de melhor acomodar as variações diferenciais de temperatura na estrutura do Túnel provocadas pelo incêndio (figura 10).

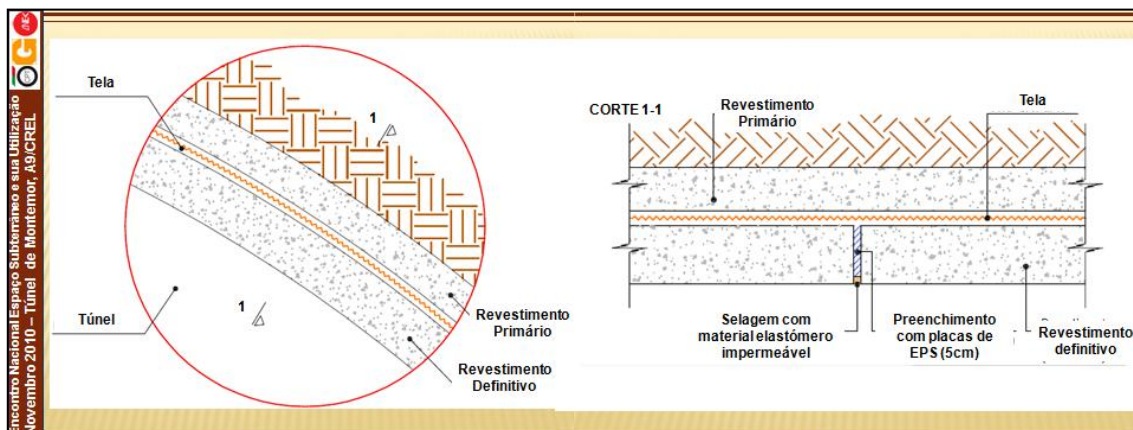


Figura 10 – Pormenor de protecção anti – fogo: juntas de dilatação no revestimento definitivo



## 4. SEGURANÇA INTEGRADA E RODOVIÁRIA

### 4.1. Análise de riscos

A metodologia adoptada na análise de riscos, condicionada pelo facto de ainda não existir qualquer metodologia adoptada ou proposta pela Autoridade Nacional, ao contrário do que já sucede em outros países de Europa (Kohl, 2006 e 2010 e Molang, 2006), como a Áustria e a Eslovénia (figura 11)), foi baseada no princípio de que os requisitos mínimos, adoptados na Directiva Europeia e na correspondente legislação nacional, determinam o risco social aceitável para os acidentes associados à ocorrência de um incêndio no interior de um túnel rodoviário. Neste enquadramento e numa situação limite, considerou-se que a probabilidade de ocorrência de um acidente deste tipo deverá ser inferior à que se verifica em via abertas equivalentes, de forma a que as consequências por quilómetro de via sejam independentes do ponto em que ocorrem.

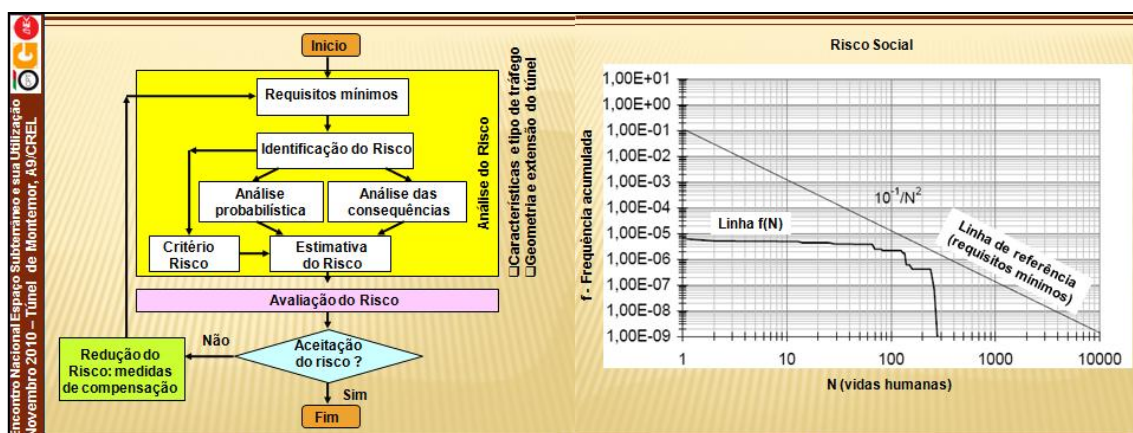


Figura 11 – Fluxograma de análise e avaliação do risco e gráfico de risco social (Kohl, 2006 e 2010)

O procedimento de aplicação decorrente deste pressuposto foi levado a cabo nas quatro etapas seguintes:

1. Análise da forma como todos e cada um desses requisitos mínimos são satisfeitos, incluindo a adopção de medidas mitigadoras e a instalação de equipamentos específicos.
2. Determinação, face à análise anterior, de um “peso” determinado pela relação (suportada, sempre que possível, por dados estatísticos) entre a situação efectivamente implementada e a que decorre da adopção do correspondente requisito mínimo.
3. Combinação dos valores dos pesos determinados, admitindo que os diferentes requisitos são independentes e que a sua definição, em termos da Directiva, está feita de forma a considerá-los equivalentes. A título de exemplo, refere-se que a inclinação da rasante, ligeiramente superior a 5%, pesa de forma negativa, face aos 3% indicados como limite nos requisitos mínimos, enquanto um tráfego em que a percentagem de pesados efectivamente registada é de apenas 3% pesa de forma positiva face ao valor de 15% considerado na definição dos requisitos mínimos.
4. Com base no valor combinado obtido, foi analisado se o risco decorrente de permitir a circulação de veículos com mercadorias perigosas e a ultrapassagem de pesados, sem restrições, poderia conduzir a uma não conformidade com os valores de risco social considerados como aceitáveis.

Tendo por base a análise efectuada, foram adoptadas os seguintes pressupostos e medidas:

- Uma potência máxima de incêndio de projecto de 30 MW.
- Uma solução de ventilação (higiénica e de segurança) baseada na minimização dos consumos energéticos.

- Um procedimento de evacuação/desenfumagem, em caso de incêndio, que determina que a desenfumagem seja feita sempre no sentido ascendente, independentemente da galeria acidentada, e a evacuação das pessoas em sentido descendente.
- A livre circulação de veículos pesados transportando mercadorias perigosas, bem como a ultrapassagem de pesados (exigindo esta a adopção de algumas medidas complementares).

#### **4.2. Sinalização, emergência e evacuação**

Ao longo de todo o Túnel prevê-se a colocação de nova sinalização que permita identificar os postos de segurança e extintores, de acordo com o estipulado regulamentarmente. É igualmente proposta a sinalização das duas saídas mais próximas, de qualquer local, com indicação da distância a percorrer. Estes sinais não poderão distar entre si mais do que 25 m e deverão localizar-se a uma altura de 1m a 1.5m acima do nível das vias de evacuação, esta sinalização será coordenada com a iluminação de emergência para que possa ser efectuada uma correcta leitura da mesma, em caso de sinistro.

#### **4.3. Plano de emergência**

O Plano de Emergência (PE) para o Túnel será um instrumento de que os serviços virão a dispor para o desencadeamento das operações de protecção civil, com vista a possibilitar uma unidade de direcção e controlo, para a coordenação das acções a desenvolver, assim como uma adequada gestão de meios e recursos mobilizáveis, face a um acidente grave, catástrofe ou calamidade. O PE integrará um conjunto de documentos organizados que, com base na avaliação das condições de operação do Túnel e dos seus riscos, estabelecerá:

- A estrutura de organização de segurança.
- Os procedimentos a seguir nas acções para salvar a população, bens e ambiente.
- As responsabilidades dos diversos intervenientes.

O objectivo da criação do PE será assim o de criar condições para que, nas situações de desastre que assolem a área do Túnel, se possa actuar de uma forma coordenada e eficaz no salvamento de pessoas e bens, mormente pela mais correcta e optimizada afectação dos meios, recursos e esforços mobilizáveis. O PE será concebido para organizar a intervenção das entidades e recursos disponíveis e com responsabilidade na área da segurança, em situações de emergência que se possam gerar ou ter influência na área do Túnel. O PE estabelecerá o quadro orgânico e funcional de intervenção em situações de grave risco, catástrofe ou calamidade pública, bem como o dispositivo de funcionamento dos diversos serviços chamados a intervir em situação de emergência, assim como a coordenação entre as várias forças intervenientes no Plano. O PE definirá os mecanismos que permitam a gestão dos meios e recursos para intervir em situações de emergência. O PE será desenvolvido com o Agente de Segurança do Túnel, tal como previsto no Decreto - Lei 75/2006.

### **5. INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS**

#### **5.1. Redes de alimentação de energia**

A remodelação das instalações eléctricas teve por base a necessidade de actualizar as seguintes redes de alimentação de energia:

- a) Alimentação de energia – rede normal.
- b) Alimentação de energia – rede de emergência.
- c) Alimentação de energia – rede no break.

## **5.2. Instalações diversas**

A remodelação das instalações eléctricas incidiu ainda sobre os seguintes principais elementos e sistemas:

- a) Grupos geradores de emergência.
- b) Canalizações eléctricas.
- c) Caminhos de cabos.
- d) Tomadas de usos gerais.
- e) Postos de emergência.
- f) Sistema de videovigilância (CCTV) e de detecção automática de incidentes e/ou incendios.
- g) Sinalização rodoviária.
- h) Sistemas de automação, incluindo instalação de luminancímetros em substituição dos luxímetros existentes.
- i) Sistema de gestão técnica local.
- j) Sistemas de iluminação (normal, segurança e evacuação).

Todos os dispositivos eléctricos, não enterrados, foram concebidos de forma a dispor de uma definição de resistência ao fogo apropriada.

## **6. INSTALAÇÕES MECÂNICAS**

No que se refere à ventilação e desenfumagem, foram propostos modelos compatíveis com os resultados da análise de riscos, considerando-se, como referido, uma taxa de libertação de calor máxima de 30 MW (valor típico de um pesado carregado) e uma componente radiativa de 20%, valor este claramente conservativo. Embora a extensão total do Túnel seja inferior a 1000m, o sistema de ventilação existente será assim integralmente substituído por outro, devidamente compatibilizado com as novas exigência de segurança e de automação.

### **6.1. Situação de incêndio**

No âmbito do dimensionamento das instalações mecânicas para a situação de incêndio foi, como já referido, considerado que o sistema de desenfumagem será sempre lançado no sentido ascendente, isto é, no sentido do tráfego para a galeria ascendente e em sentido contrário para a galeria descendente. Entre as razões que justificaram esta opção podem ser destacadas: a grande secção transversal das galerias (cerca de 130m<sup>2</sup>), o reduzido comprimento do túnel (aproximadamente 740m o que equivale a cerca de 55 diâmetros equivalentes), a repartição efectiva de tráfego (cerca de 3% de veículos pesados), a existência de 3 vias de rodagem em cada sentido com 3,5 m cada e uma berma de acostagem contínua e com largura superior à das vias de rodagem; a existência de um centro de controlo com acesso imediato a imagens em caso de incidentes no interior do túnel e, ainda, o facto de a velocidade de auto-evacuação das pessoas sem limitações físicas poder ser estimada em cerca de três vezes superior no sentido descendente à que se verifica para o sentido ascendente (para o caso de pessoas com limitações físicas essa diferença é ainda maior). Importa ainda referir que esta estratégia cumpre integralmente o que é a prática correntemente adoptada para galerias ascendentes (desenfumagem no sentido do tráfego), contrariando essa prática no sentido descendente, demonstrando a análise de riscos levada a cabo que o eventual agravamento é mais do que compensado pela mitigação introduzida por outros factores, nomeadamente os atrás referidos. Para evitar a reversão do escoamento do fumo quando este sai pelo portal de exaustão, reentrando na galeria não acidentada, considerou-se que o seu sistema de ventilação/desenfumagem deveria ser lançado, pelo menos, a carga parcial.



No que se refere ainda à ventilação, verifica-se que os valores dos caudais estimados para a ventilação higiénica e de segurança são cerca de um terço dos valores necessários para garantir condições de desenfumagem, ou seja, é possível concluir que as necessidades de ventilação de cada galeria podem ser satisfeitas pela operação, parcial, do sistema de desenfumagem (com a dupla função de ventilação e de desenfumagem). Dado que a operação do sistema de ventilação pode ser corrente, enquanto a operação do modo de desenfumagem será muito rara, optou-se por uma solução que reduz os consumos energéticos, já que se promove a ventilação sempre no sentido do escoamento que se verificar no interior das galerias.

## **6.2. Ventiladores e outros equipamentos**

No âmbito do Projecto de Beneficiação foi proposta a instalação de ventiladores de impulso unidireccionais, de uma velocidade, à excepção de quatro em cada galeria, que deverão ser reversíveis a 100% e dispor de duas velocidades de rotação. Os ventiladores deverão ainda dispor de geometria compatível com o gabarito dinâmico do Túnel. Dado que o eventual incêndio poderá destruir o par de ventiladores na sua vizinhança imediata, ou que poderá interferir no funcionamento do par mais próximo (distâncias inferiores a cerca de 80 m), aos valores iniciais de dimensionamento foram sempre adicionados dois ventiladores. Os quatro ventiladores reversíveis e de duas velocidades, deverão assim ser instalados na posição central de cada galeria, de forma a assegurar a cobertura de todas as condições de ventilação (higiénica e de segurança) face à forma como serão operados (entrarão ao serviço em função do sentido do escoamento do ar no interior da galeria e da concentração detectada de poluentes e partículas).

Foi ainda proposto que a instalação do sistema de ventilação/desenfumagem fosse ainda complementada, em cada galeria, com os seguintes equipamentos:

- Dois sistemas de medida de concentração de CO, instalados a uma distância de 50 a 70m dos emboquilhamentos, já que o sentido de ventilação será determinado pelas condições de balanço das acções promotoras do escoamento em cada momento (acção do vento, impulso do tráfego e componente térmica).
- Dois sistemas de medida de concentração de visibilidade, igualmente instalados a uma distância de 50 a 70m dos emboquilhamentos, devendo permitir a distinção da situação de nevoeiro.
- Um sistema de medição da velocidade do ar, localizado, sensivelmente, a meio de cada galeria.

Foi proposta a adopção de sistemas do tipo de “feixe de infravermelhos” para os poluentes e de “doppler” para a velocidade e sentido do fluxo (atravessamento do Túnel para uma definição de velocidade média). O sistema de ventilação será accionado de forma automática, sendo considerados tipicamente 3 níveis de visibilidade e de concentração de poluentes distintos.

O medidor de velocidade (valor absoluto deste parâmetro e sentido do fluxo de ar no interior da galeria) será uma peça importante nos procedimentos de gestão da ventilação, já que os quatro ventiladores reversíveis de duas velocidades serão, no que respeita aos regimes de ventilação, lançados no sentido do fluxo de ar que se verifica no interior do Túnel. Não se deverá, nestas condições, de ter em conta o efeito do tráfego já que o sistema detectará, em cada momento, a situação real do balanço do impulso gerado pelo tráfego, do impulso térmico e da acção do vento, isto é, o impulso máximo disponibilizado pelos quatro ventiladores permitirá garantir caudais que deverão assegurar claramente os valores estimados para manter a qualidade do ar e a segurança de circulação no interior do Túnel.

## **7. REDE DE ÁGUAS E DRENAGEM**

### **7.1. Rede de águas para combate a incêndios**

No âmbito do Projecto de Beneficiação foi proposto que a extinção de incêndios pudesse ser efectuada por extintores ou por água. O sistema de primeira intervenção será constituído por extintores de pó químico. A rede de combate a incêndios terá como objectivo funcionar como meio de segunda intervenção, em caso de sinistro e será constituída por uma tubagem de 100mm de diâmetro e por bocas-de-incêndio, homologadas pelo Organismo correspondente, afastadas de 250m, em toda a extensão do Túnel. Foi ainda proposto que a rede fosse instalada em toda a extensão do Túnel, à vista, com tubagem em aço galvanizado e alimentada, preferencialmente, a partir da rede pública.

Como já referido, a alimentação da rede de incêndios deverá vir a ser assegurada via rede pública, através de ligação no emboquilhamento SW, localizado a cota superior, a partir de uma conduta existente com diâmetro de 160 mm. No caso de não existir disponibilidade de caudal na rede pública, a alimentação deverá ser efectuada por auto tanques do corpo de bombeiros, cuja responsabilidade deverá ficar definida no âmbito do Plano de Emergência.

### **7.2. Drenagem**

A beneficiação das condições de drenagem do Túnel, onde cada galeria já dispõe de sistema de drenagem próprio, contempla as seguintes principais situações:

- a) Águas de infiltração. O sistema de drenagem de águas de infiltração compreenderá a colectas das águas de infiltração das paredes do Túnel para as canaletas. Sendo, posteriormente, encaminhadas para a zona do emboquilhamento NE (à cota mais baixa), e, finalmente, para a rede de drenagem. À partida, prevê-se a manutenção do sistema existente, por se verificar que o mesmo tem cumprido de forma satisfatório a sua função.
- b) Drenagem de líquidos derramados. Foi prevista a drenagem de líquidos inflamáveis e tóxicos através das sarjetas existentes, com remodelação total dentro da secção transversal do Túnel. Além disso, o sistema de drenagem foi concebido e mantido por forma a impedir que o fogo e os líquidos inflamáveis e tóxicos se possam vir a espalhar dentro de uma galeria e entre galerias. Os líquidos transportados por veículos que eventualmente possam ser derramados, devido a acidentes, serão destinados a sumidouros sifonados, com o objectivo de interromper a propagação do fogo ao longo do Túnel, em substituição das actuais sarjetas de lancil, ligando a uma rede de drenagem constituída por um colectador longitudinal localizado ao eixo dos passeios, na berma dos túneis e por caixas de visita existentes e a remodelar, espaçadas em geral de 50m. Estes mesmos líquidos terão como destino final a linha de água mais próxima, tal como acontece actualmente, sendo, contudo, interposta uma caixa retentora de hidrocarbonetos, como forma de reduzir o impacto ambiental, em caso de eventual derrame, apesar da não obrigatoriedade regulamentar. A acumulação de água sobre o pavimento será impedida pela sua pendente transversal, que a conduzirá para uma caleira de recolha, junto ao ponto mais baixo do perfil transversal.

## **8. SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA**

A sinalização e segurança que se prevê instalar no Túnel teve por base os resultados da análise de riscos, respeitando o estipulado no Regulamento de Sinalização do Trânsito, em particular no que se refere ao trânsito de mercadorias perigosas em túneis, com a inclusão de um painel adicional que contém a categoria, de A a E, representativa do potencial de risco. Não sendo alteradas as condições actuais de circulação, serão igualmente mantidas as características dos

elementos de sinalização e de segurança instalados. Neste enquadramento, prevê-se a instalação do sinal de perigo A20 - Túnel, devendo este ser complementado com a indicação da categoria do Túnel em painel adicional. Prevê-se ainda o reforço da sinalização de informação a utentes, em particular nas situações de emergência e evacuação.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Projecto de Beneficiação do Túnel de Montemor, constitui um exemplo de um projecto piloto a nível nacional, com o objectivo de assegurar a implementação dos requisitos mínimos de segurança de acordo com o Decreto – Lei 75/2006. No decorrer do desenvolvimento do Projecto tiveram que ser ultrapassadas algumas dificuldades, que se admite possam vir a servir de referencial para futuros estudos do mesmo tipo, das quais se podem destacar:

- a) Dificuldades na avaliação das principais características do Túnel, em particular nas componentes geométrica e de resistência estrutural, determinado a necessidade de realização de campanhas de diagnóstico estrutural.
- b) Ausência de um referencial normativo nacional, de apoio à análise de riscos no interior do Túnel, com a desejável inclusão de critérios objectivos de quantificação de probabilidades de ocorrência e de aceitação do correspondente risco.

Considera-se ainda importante destacar a necessidade de ponderar o eventual ajustamento do disposto na Directiva Europeia nº2004/54/CE, em termos de medidas e dos respectivos prazos de implementação, à realidade dos diversos países europeus, tendo por base razões técnicas e económicas, associadas às práticas de gestão e de conservação de obras de engenharia, como é o caso dos túneis com desenvolvimento superior a 500m. Refere-se, por último, que à data da redacção do presente artigo, o Projecto de Beneficiação do Túnel de Montemor se encontra na sua fase de conclusão, e vai ainda ser submetido pela à aprovação das entidades oficiais, pelo que algumas das considerações apresentadas poderão, ainda, vir a carecer de ajustamentos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à BRISA a autorização para a redacção e publicação do presente artigo.

## REFERÊNCIAS

- Kohl, B., Botschek K., Horhan R. (2006). Austrian Risk Analysis for Road Tunnels. *Proceedings of 3rd International Conference – Tunnel Safety and Ventilation*, Graz, Austria, pp. 204–211.
- Kohl, B., Zibert M. (2010). Risk analysis study for Slovenian motorway tunnels. *Proceedings of 10th Slovenski Kongress o Cestah in Prometu*, Portoroz, Slovenia, pp. 606–617.
- Molang, M., Trijssenaar-Buhre I.J.M. (2006). Risk Assessment Guidelines for Tunnels. *Proceedings of 2nd International Symposium – Safe & Reliable Tunnels. Innovative European Achievements*, Lausanne, Switzerland, pp. 204–211.
- Do-Hyung Kim, Chang-Rim Choi, Sea-Joon Oh (2007). Risk analysis and evaluation considering geotechnical stability and environmental effect in tunnel design. *Underground Space – the 4<sup>th</sup> Dimension of Metropolises*, Barták, Hrdina, Romancov & Zlámal (eds), Taylor & Francis Group, London.
- Jornal Oficial da União Europeia (2004). Directiva 2004/54/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 29 de Abril de 2004 relativa aos requisitos mínimos de segurança para os túneis da Rede Rodoviária Transeuropeia, pp. L 167/39 – L 167/91.
- Diário da República – I Série – A (2006). Decreto - Lei nº 75/2006 de 27 de Março, pp. 2268 – 2279.