

A GEOTECNIA NO CICLO DE VIDA DAS INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTE

Geotechnics throughout the life cycle of the transportation infrastructures

António Pinelo*

RESUMO – Esta palestra foi organizada com o objetivo de satisfazer essencialmente três propósitos: mostrar a necessidade de considerar a importância da Geotecnia ao longo de cada uma das fases do Ciclo de Vida das Infraestruturas de Transportes e discutir os aspetos relevantes a ter em conta em cada uma dessas fases, apresentar as principais alterações introduzidas nos últimos anos nos requisitos do projeto de estradas com impacto na geotecnia, e ainda salientar a importância determinante que as atividades de projeto têm sobre a qualidade da infraestrutura, discutindo a forma como se pode garantir a qualidade do projeto, através da implementação de uma adequada metodologia de revisão do Projeto.

SYNOPSIS – This keynote lecture has been organized with three major objectives: to show the need to consider the importance of geotechnics along each stage of the life cycle of a transportation infrastructure and discuss main issues to be taken in due consideration in each stage; to discuss the main requirements set up along the last three decades for each stage, with relevant impact on the geotechnical issues; and to stress the crucial importance of the design activities on the quality of the infrastructure, discussing an appropriate methodology implemented to review the design stage.

Palavras Chave – Geotecnia; Ciclo de Vida; Infraestruturas de Transporte.

Keywords – Geotechnics; Lifecycle; Transportation Infrastructure.

1 – AS FASES DO CICLO DE VIDA DAS INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTE

A adesão de Portugal à CEE (1985) veio, entre outros aspetos, acentuar as fragilidades da rede de estradas existente e reforçar a necessidade de projetar, construir e conservar uma nova rede de estradas que satisfizesse os novos requisitos de mobilidade. Foi assim necessário proceder a uma completa revisão e atualização de todo o processo relativo à estrada, envolvendo cada uma das fases do seu ciclo de vida.

Uma vez que os novos requisitos de traçado tiveram um impacto relevante sobre os maciços e aumentaram a importância de realizar uma adequada análise dos problemas geotécnicos, foi necessário rever, e complementar quando necessário, todas as questões relacionadas com a geotecnia ao longo do ciclo de vida da estrada.

Neste trabalho discutem-se os novos requisitos e o seu impacto na geotecnia, referem-se os assuntos relevantes relacionados com a geotecnia que foram aprofundados e novos processos e procedimentos mais relevantes que foram introduzidos em cada uma das fases do ciclo de vida, com o objetivo de contribuir para que a nova rede responda às necessidades de mobilidade da sociedade e dos seus utilizadores.

Consideraram-se as seguintes três fases do Ciclo de Vida das Infraestruturas de Transporte (Figura 1).

* Eng.º Civil, Investigador Coordenador do LNEC. E-mail: apinelo@gmail.com

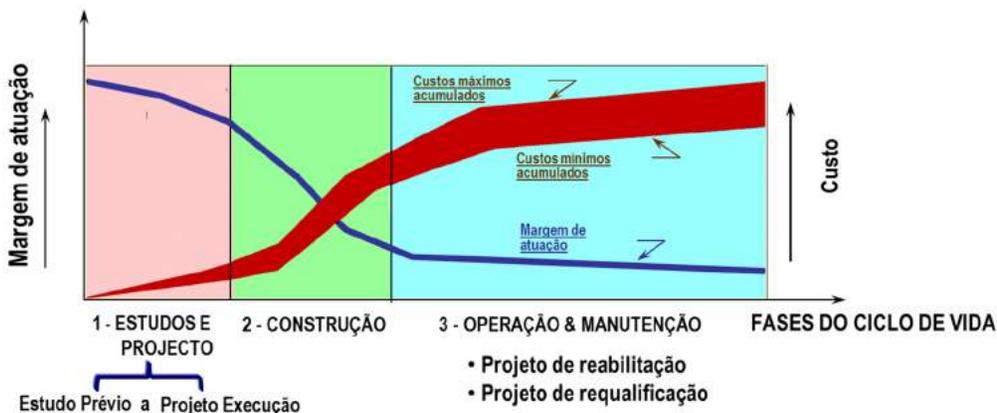


Fig. 1 - Ciclo de vida das infraestruturas de transporte.

A 1ª fase, de **Estudos e Projeto (E&P)**, que se desenvolve normalmente em duas etapas: a de Estudo Prévio e a de Projeto de Execução. Observa-se que o Estudo Prévio pode ser antecedido de um Estudo de Viabilidade ou de Planeamento, e que o Projeto de Execução pode ser precedido de um Projeto Base, quando as condições o justifiquem.

Na primeira etapa procede-se ao levantamento e análise dos elementos necessários ao estudo de soluções, e em particular para comparar alternativas de traçado que tenham sido estabelecidas, tendo em atenção os requisitos existentes; na segunda etapa desenvolve-se o projeto da solução escolhida, satisfazendo os requisitos estatutários (tipo de estrada), regulamentares (legislação) e funcionais (condições de circulação na infraestrutura).

Durante as duas etapas realizam-se, com desenvolvimento requerido em cada uma delas, os **Estudos de Apoio**, nomeadamente de Tráfego, Geológico-Geotécnico, Hidrológico, e ainda os Estudos de Avaliação Ambiental: Impacte Ambiental, quando decorre o Estudo Prévio, e Relatório de Conformidade Ambiental durante o Projeto de Execução.

A 2ª fase é a de **Construção da Infraestrutura** de acordo com o Projeto de Execução resultante da fase de E&P. Concluída a construção, a infraestrutura é colocada em serviço, depois de verificado que a Construção está em conformidade com o Projeto de Execução.

A 3ª fase corresponde ao período de utilização da infraestrutura e é designada de **Operação e Manutenção (O&M)**. Esta designação mostra de forma clara os dois grandes tipos de atividades a desenvolver após entrada em serviço: de operação, envolvendo as atividades relacionadas com a circulação e a assistência e informação aos utilizadores; e de manutenção, destinadas a garantir que a infraestrutura satisfaça os requisitos de circulação (funcionais).

Observa-se que também se desenvolvem atividades de projeto na fase de **O&M**, de que são exemplo os projetos de **Reabilitação** e os de **Requalificação**.

No primeiro caso tem-se em vista **repor características** em componentes da infraestrutura, melhorando as condições de circulação, mormente no domínio da segurança, sem aumentar as suas características de capacidade, como é o caso da reabilitação dos pavimentos.

Os **projetos de requalificação** destinam-se a promover o aumento da capacidade de circulação na infraestrutura. Podem prever alterações do traçado e/ou dos perfis transversal e longitudinal, no caso do aumento do número de vias ou do alargamento de vias existentes, ou ainda incluir a melhoria da circulação nas intersecções ou condicionar os acessos marginais.

A Figura 1 procura ilustrar uma importante realidade ligada à margem de atuação e aos custos, a ter sempre em consideração, qualquer que seja a fase do ciclo de vida em apreciação. Consta-se que, à medida que se avança da fase de **E&P** para a de **O&M**, se verificam duas situações penalizantes, e que são cumulativas: por um lado a margem de atuação para realizar alterações na

estrada vai diminuindo, e, por outro, os custos necessários para as concretizar crescem significativamente.

Tem-se assim que a fase de **E&P** assume uma importância decisiva nas fases subsequentes, em particular na de **O&M**, quando questões não ponderadas ou mal resolvidas se tornam visíveis com a utilização da infraestrutura. Por isso as diversas atividades a realizar na 1ª fase devem ser conduzidas com o necessário detalhe, de modo a ponderar as diversas questões em presença, e justificando a adoção de medidas destinadas a garantir a qualidade do projeto.

2 – OS TEMAS GEOTÉCNICOS FULCRAIS

No tratado sobre a Construção de Estradas em Portugal, escrito no final do Séc. XVIII, Neto (1790) identifica os dois temas geotécnicos a ponderar ao longo do Ciclo de Vida das Infraestruturas de transporte: os materiais de construção a utilizar, e a necessidade de garantir a estabilidade dos taludes escavados.

Atualmente, o tema dos materiais de construção, que inclui os materiais a utilizar em todas as componentes da infraestrutura e nos equipamentos, assume um papel ainda mais importante, em resultado dos requisitos ambientais existentes, nomeadamente para preservação de recursos naturais e para promover a reciclagem de materiais disponíveis, tais como subprodutos industriais ou os próprios materiais utilizados na construção da infraestrutura.

O § XXXIX (Figura 2) sugere que se utilizem os saibros, tufos e terras calcárias e arenosas que se encontram à superfície ou a reduzida profundidade, o que contribuirá para fazer em Portugal – com menos despesa do que em Inglaterra e na maior parte de França – estradas susceptíveis de toda a velocidade possível no transporte e na viagem.

Observa-se que os referidos materiais eram empregues nos aterros e nos pavimentos, e que à data havia essencialmente duas técnicas para construir pavimentos: a colocação de blocos de pedra, largamente utilizada pelos Romanos na rede e visível em estradas ainda existentes; ou a utilização de terrenos escavados, predominantemente solos, dado que os processos de escavação eram muito rudimentares.

Ao tratar da construção de estradas em zonas montanhosas (“terreno não plano”) o autor do tratado refere a grande quantidade de mão-de-obra de que se tem que dispor para realizar as escavações e construir os aterros, de modo a “nivelar” a estrada (Figura 3).

Em tais circunstâncias alerta também para a necessidade de formar com grandes escarpas os cortes nos montes, os quais devem obedecer a dois critérios: por um lado evitar escorregamentos

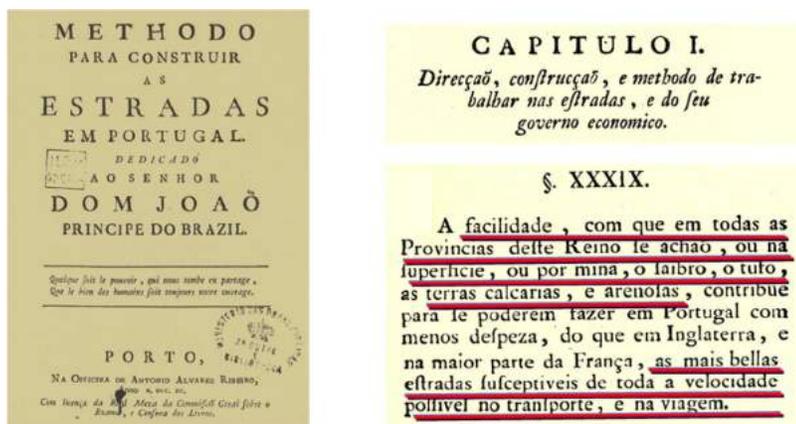


Fig. 2 - 1º Tema Geotécnico: a adequação dos terrenos como material de construção.

§. XXVII.

As estradas construidas em terrenos de-
ficeaes, tem bastante mão d'obra; por-
que para o fim de as reduzir a possível
planicie, ou á elevação demonstrada na
fig. N, he necessario cortar a parte eleva-
da do terreno, e levantar tanto da baixa,
quanto for sufficiente para anivelar a es-
tra-

§ XXVIII.

Nestas circunstancias he necessario sem-
pre formar com grandes elcarpas os cor-
tes dos montes, para que nesses sitios não
fique a estrada nimiamente fombria, e escura;
e para evitar que pelo inverno cáiaõ
as barreiras, o que succede facilmente len-
do o corte perpendicular, e por isso me
parece, que a elcarpa em taes circumstan-
cias deve ler na razão da sua altura, co-
mo hum para tres: fig. B.



Fig. 3 - 2º Tema Geotécnico: a estabilidade dos taludes.

durante o inverno (“queda de barreiras”) e, por outro, permitir que a estrada ficasse minimamente sombria e escura. Sugeria a adoção de inclinações para os taludes de 1:3 (H/V).

A questão das inclinações é, ainda hoje, uma questão central do projeto de terraplenagem. A definição da geometria dos taludes escavados deve ser ponderada tendo em atenção a natureza e estado dos materiais, a estrutura geológica existente, e aspetos de resistência mecânica, de resistência à erosão e de segurança da circulação. Inclinações de 1:3 só excepcionalmente se poderão adotar, quer por questões de estabilidade quer pelo requisito ambiental de efetuar, sempre que possível, o revestimento vegetal dos taludes.

3 – A EVOLUÇÃO DOS REQUISITOS ESTATUTÁRIOS E A GEOTECNIA

3.1 – Os requisitos estatutários antes da adesão à CEE

À data da adesão de Portugal à CEE (Junho de 1985), a maior parte das estradas que integravam os cerca de 18 500 km da Rede Nacional construída depois da publicação do Plano Rodoviário de 1945, tinham sido projetadas para satisfazer os requisitos estatutários e geométricos dele decorrente. Estes últimos foram objeto de diversas revisões efetuadas pela JAE a partir da década de 70, nomeadamente no que respeita às características do traçado.

De uma forma geral podem caracterizar-se essas estradas como não possuindo área adjacente à faixa de rodagem devidamente tratada e protegida, verificando-se, pelo contrário, uma forte ocupação marginal nessa área, consequência do crescimento desordenado dos aglomerados urbanos quando estes se desenvolveram ao longo das estradas (Figura 4).

Além disso, os traçados acompanhavam o desenvolvimento do terreno natural, o que se traduzia em estradas muito sinuosas e com inclinações longitudinais acentuadas. Os traçados eram não homogéneos, as ligações eram de nível, e as estradas não eram vedadas. Desta forma os acessos à estrada eram difíceis de controlar, assim como era difícil de controlar a ocupação marginal.

O aumento da circulação rodoviária, em particular de veículos pesados, para volumes de tráfego muito superiores àqueles para que foram projetadas e construídas essas estradas, e o aumento da velocidade de circulação associado à melhoria tecnológica dos veículos, contribuíram para a degradação acentuada das vias e para a insegurança da circulação, traduzida no elevado número de vítimas mortais que se registava anualmente.

A Figura 5 (Cardoso e Roque, 2016) mostra a evolução do volume de circulação (em milhão de veículos x km) e do número de vítimas mortais registado na primeira década após adesão à CEE (1985-1995).



Ausência de área adjacente à faixa de rodagem



Ocupação marginal

Fig. 4 - Requisitos estatutários de meados do Séc. XX: ausência de área adjacente à faixa de rodagem e ocupação marginal.

Para ter uma melhor percepção dos aumentos da circulação registados, a Figura 6 mostra a evolução do Tráfego Médio Diário Anual (TMDA) na Rede Nacional, entre 1980 e 2009: antes da adesão a taxa média de crescimento anual do TMDA rondava os 3%, tendo-se registado um aumento, para mais do dobro desse valor, após a adesão. Os valores médios de crescimento anual do TMDA superiores a 6% manter-se-ão até 2004.

Embora tivesse sido previsto o crescimento do tráfego como consequência da adesão, não se admitiu registar valores de crescimento como os acima indicados, e durante um período tão alargado. Observa-se que, tratando-se de valores médios na RRN, em diversas estradas os valores de crescimento anual do tráfego foram superiores aos indicados.



Fig. 5 - Volume de circulação e número de vítimas mortais na primeira década após adesão à CEE (1985 e 1995).

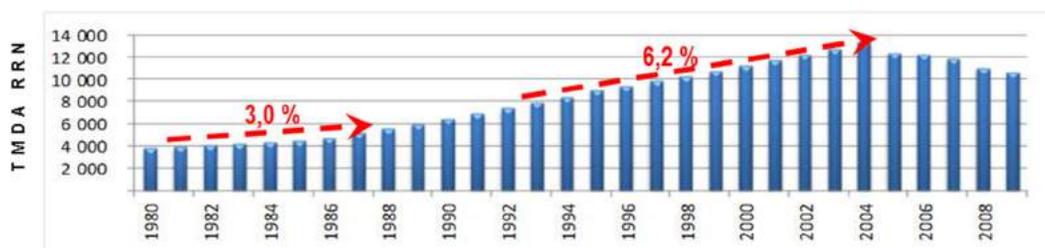


Fig. 6 - Evolução da circulação na RRN, expressa pelo valor do Tráfego Médio Diário Anual na RRN.

A par de uma elevada sinistralidade na rede, era também reconhecido que o tempo das deslocações era, de um modo geral, demasiado elevado, quer se circulasse no interior do País quer na orla costeira. Tal era consequência de as velocidades de circulação serem baixas, o que era largamente atribuível às deficientes características geométricas, nomeadamente de traçado das estradas existentes.

Com efeito, as estradas construídas de acordo com os requisitos do Plano Rodoviário de 1945 (PR 1945) tinham em vista, em primeiro lugar, satisfazer necessidades de acessibilidade, e a minimização do custo de construção, e caracterizavam-se por acompanhar o desenvolvimento do terreno natural. Nestas condições os impactes geotécnicos eram reduzidos, uma vez que as escavações e os aterros eram de pequena dimensão.

Em face do exposto, pode concluir-se que os requisitos utilizados no projeto e na construção da Rede Nacional tinham necessariamente que ser revistos para responder às novas necessidades de mobilidade, nomeadamente; i) reduzir os custos de operação dos veículos e os tempos de percurso; ii) promover uma indispensável redução da sinistralidade; e iii) aumentar o conforto dos utentes durante as deslocações.

3.2 – Os novos requisitos estatutários após adesão à CEE

Do grande aumento do tráfego a circular nas estradas após a adesão à CEE, resultaram novas necessidades de renovação da rede de estradas, de forma a garantir adequadas condições de mobilidade de pessoas e mercadorias, o que levou à elaboração de um novo Plano Rodoviário Nacional, publicado inicialmente em 1985 (PRN 85, Decreto-Lei n.º 380/85 de 26 de Setembro) e revisto em 1998 (PRN 2000, Decreto-lei n.º 222/98, de 17 de Julho).

Os novos requisitos estatutários estabelecidos no PRN – em particular os respeitantes à hierarquização das vias e à definição de níveis de serviço diferenciados por tipo e função da via – colocaram os utilizadores no centro das preocupações e obrigaram à adoção de novos requisitos de traçado. Tais requisitos visaram a melhoria das condições de circulação, para atender às novas necessidade de mobilidade indicadas, e também para a redução de impactes ambientais.

Na verdade, aos novos requisitos de mobilidade indicados, vieram juntar-se os requisitos ambientais, para cada fase do ciclo de vida, os quais foram progressivamente introduzidos a partir da última década do Século XX.

Indicam-se na sequência os aspetos relevantes das alterações introduzidas:

- **Redução da sinistralidade:** estabelecendo novos requisitos para o traçado (por exemplo obrigando à existência de uma zona adjacente à faixa de rodagem convenientemente tratada), colocando vedações ao longo da estrada, estabelecendo critérios de funcionalidade e segurança para o desnivelamento das intersecções e utilizando disposições de projeto que tornassem a estrada autoexplicativa e tolerante. Foram ainda publicadas novas normas de sinalização do trânsito (sinalização vertical e marcas rodoviárias);

- **Redução dos tempos de percurso e aumento do conforto da viagem:** através do estabelecimento de Níveis de Serviço adequados à função de cada tipo de estrada, que implicaram a fixação de novos requisitos para o traçado e para as condições de circulação, de que são exemplo as características funcionais mínimas exigidas para os pavimentos;
- **Redução de Impactes Ambientais:** A partir da última década do século XX, passaram a ser introduzidos requisitos ambientais, incluídos no D. L. n.º 186/90 de 6 de Junho e em diversos diplomas que transpuseram para o direito nacional diretivas comunitárias, a última das quais em 2013. Estão estabelecidos requisitos ambientais para cada uma das fases do ciclo de vida:
 - **Procedimento de AIA** (Vd. 4.4)
 - **Procedimento de verificação da conformidade ambiental do projeto de execução** (Vd. 4.4)
 - **Procedimento de Pós – Avaliação:** abrange as fases de construção, de exploração e de desativação da estrada, de que se destacam os seguintes planos:
 - Fase de Construção: o **Plano de Gestão Ambiental** impõe condicionantes à ocupação de terrenos, obriga ao tratamento de resíduos, indica quais os aspetos que serão objeto de plano de acompanhamento específico (arqueologia, fauna, etc.), bem como os aspetos sensíveis da construção que devem ser desde logo monitorizados, como por exemplo os recursos hídricos, o ruído e a fauna;
 - Fase de Exploração (O&M): o **Plano de Monitorização Ambiental** é estabelecido com dois propósitos: por um lado, recolher informação que permita verificar a eficácia das medidas projetadas visando a proteção do ambiente (ruído, qualidade das águas subterrâneas, fauna, etc.) e, por outro, identificar eventuais insuficiências, para posterior correção.

Pode dizer-se que a introdução de requisitos ambientais ao longo do ciclo de vida visou contribuir para que a rede de estradas sirva melhor os interesses económicos e sociais dos utilizadores e das populações, preservando recursos naturais e o património construído, com o objetivo último de promover a existência de uma rede de estradas ambientalmente sustentável.

A influência dos novos requisitos estatutários no traçado das novas estradas, em particular em zonas montanhosas, é grande e bem visível, conforme se pode constatar na Figura 7. A essa influência, facilmente visível em planta, está associada uma grande influência em perfil longitudinal, mais difícil de ilustrar.

Quando comparados com os antigos, os novos requisitos de traçado têm impacto geotécnico muito superior: a nova geometria em planta e perfil, o facto de as ligações serem desniveladas e de ter sido vedado o acesso à estrada, implicaram uma grande alteração nos anteriores trabalhos de terraplenagem e traduziu-se na necessidade de realizar escavações mais profundas e de construir aterros mais altos. Acresce que, em certas zonas, foi necessário construir túneis ou obras de contenção importantes (Figura 8).

Observa-se que nas estradas existentes antes da publicação do novo PRN não foram construídos túneis, tendo apenas sido construídos túneis em linhas de caminho-de-ferro, alguns ainda durante a segunda metade do Século XIX.

Tendo em atenção apenas o custo dos trabalhos de terraplenagem, é inequívoco que os novos requisitos implicaram a realização de escavações e de aterros de maiores dimensões e a adoção de novos processos construtivos, tendo-se verificado acréscimos de custo muito significativos na área da terraplenagem. A forma como decorrem as atividades na fase de Estudos e Projetos passou a ser considerada de primordial importância para a qualidade no final da Construção, nela incluindo o controlo de custos e de prazos de construção.

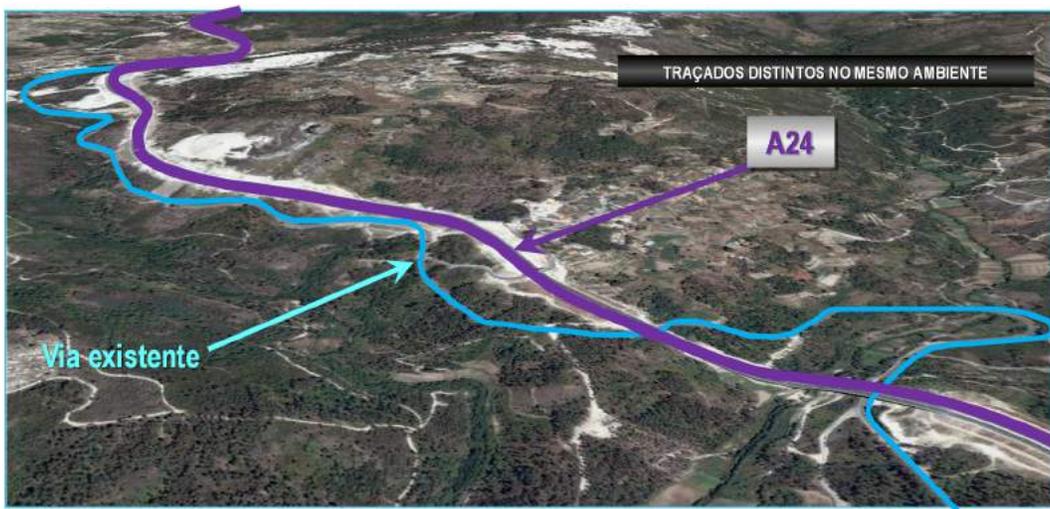


Fig. 7 - Comparação de traçados obedecendo aos antigos requisitos, com traçados obedecendo aos novos requisitos: caso da A24 e da estrada antiga.



Obras de contenção



Túneis em zonas montanhosas

Fig. 8 - Obras de Contenção e de Túneis associadas aos novos requisitos geométricos.

Naturalmente que à melhoria da qualidade das infraestruturas se traduziu num acréscimo significativo de custo em cada uma das fases do ciclo de vida. Observa-se, porém, que após a adesão, o Estado passou a dispor de financiamento da CEE para apoio à construção da nova RRN, cuja concretização constituiu um verdadeiro desígnio Nacional até 2010. Nestas condições foi possível adotar novos requisitos para o traçado, adequados à hierarquização das vias, nomeadamente no que respeita às velocidades de projeto a considerar.

A fase de E&P foi, porventura, a mais influenciada pela introdução dos novos requisitos. Foi assim necessário rever os processos desta fase, adotar novos requisitos e procedimentos de projeto (como por exemplo para as áreas de terraplenagem e de pavimentação) e medidas destinadas a garantir a qualidade na fase Projeto, nomeadamente a implementação da Revisão de Projeto e a publicação de documentos de apoio às atividades que se realizam nesta fase.

Relativamente à fase de Construção foram também introduzidas diversas melhorias, de que se destacam a inclusão de novos processos construtivos (em particular nas áreas de Pavimentação e Terraplenagem), a revisão e atualização das especificações técnicas do Caderno de Encargos da Construção e a introdução de medidas visando melhorar a gestão da qualidade.

Na parte final do trabalho ilustra-se a importância da geotecnia na Fase de O&M. Refere-se a necessidade de ponderação das condições geotécnicas no estabelecimento de planos de inspeção e

ensaios, discute-se com exemplos a necessidade de proceder à observação do comportamento e à instrumentação de obras geotécnicas e apresentam-se os aspetos relevantes a ter em conta no projeto de reabilitação de pavimentos, com especial destaque para os geotécnicos.

4 – A GEOTECNIA NA FASE DE ESTUDOS E PROJETO

4.1 – A especificidade da fase de Projeto de Infraestruturas de Transporte

Uma infraestrutura de transporte, estrada ou caminho-de-ferro, é uma via que atravessa certa extensão territorial, ligando dois ou mais pontos, e através da qual os veículos transitam. Para sua implementação constrói-se um conjunto de obras – terraplenagem, drenagem, pontes e viadutos, pavimentos, túneis – e colocam-se equipamentos com propósitos diversos: sinalização e segurança, iluminação, telecomunicações, vedações e barreiras acústicas.

Ao longo do traçado variam as condições de relevo do terreno e a natureza dos materiais ocorrentes, os quais exibem comportamentos não elásticos e são em geral heterogéneos.

A fase de E&P de uma infraestrutura requer o envolvimento e participação de uma equipe multidisciplinar, com forte presença dos aspetos geotécnicos - aterros, escavações, fundações das obras de arte, fundação dos pavimentos, túneis, fundação dos pórticos de sinalização - mas também com a participação de outras áreas da engenharia, tais como as relacionadas com o traçado e a segurança da circulação, com as estruturas dos viadutos e pontes, com a drenagem, com os materiais de construção, com a avaliação ambiental e com as condições de circulação do trânsito.

O projeto que serve de base à construção realiza-se por etapas (estudo prévio / projeto de execução), sobre uma cartografia adequada a cada etapa. Em cada uma, efetua-se um conjunto de estudos de base, cujo grau de desenvolvimento é também função de cada etapa (Quadro 1). O facto de o projeto ser realizado por etapas significa que as decisões são tomadas progressivamente.

Quadro 1 - As principais áreas de projeto e os estudos de base

ÁREA DE PROJETO	ESTUDOS DE BASE			
	GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO	TRÁFEGO	IMPACTE AMBIENTAL	HIDROLÓGICO
Traçado	X	X	X	X
Terraplenagem	X			X
Pavimentação	X	X	X	
Drenagem	X		X	X
Obra de arte	X	X		X
Túneis	X	X		
Sinalização e Segurança	X	X	X	
Mitigação Ambiental	X		X	X

Os Estudos de Base a realizar para apoio ao projeto são quatro: geológico-geotécnico, tráfego, hidrológico e avaliação ambiental. Na mesma figura estão listadas as oito principais áreas de projeto: traçado, terraplenagem, drenagem, pavimentação, obras de arte, túneis, sinalização e segurança e mitigação ambiental. Constata-se que o estudo geológico-geotécnico é importante para desenvolver as oito áreas de projeto indicadas, inclusive a de sinalização e segurança, uma vez que a segurança da circulação exige a ponderação das inclinações a adotar para os taludes.

Podem ainda constatar-se existirem diversas interações entre cada uma das áreas de projeto e os estudos de base, o que aponta para a necessidade de tomar decisões depois de ponderados os diversos aspetos em causa, uma vez que a informação consta dos vários estudos de base.

Do exposto, pode concluir-se que o projeto de engenharia de uma infraestrutura de transportes tem especificidades diversas, de que se salientam:

- Necessidade de considerar o ciclo de vida da infraestrutura
- Variabilidade das condições ao longo do traçado
- Heterogeneidade dos materiais ocorrentes
- Multidisciplinaridade
- Realização por fases: Estudo Prévio e Projeto de Execução
- Progressividade da tomada de decisões
- Interação entre os estudos base e as áreas de projeto

Com este conjunto de especificidades, pode concluir-se que o processo de projeto rodoviário justifica a implementação de um sistema de informação visando o seu aperfeiçoamento contínuo e a adoção de medidas de gestão adequadas, com vista a garantir a qualidade do projeto, a estimular a necessária profundidade de cada atividade e a acautelar a indispensável coordenação das várias atividades.

4.2 – Requisitos e processo de Projeto de Infraestruturas de Transporte

Podem agrupar-se os requisitos de uma infraestrutura em quatro grandes grupos: estatutários, que são função do tipo de estrada; regulamentares que incluem os documentos legais aplicáveis; funcionais e de desempenho, que têm a ver com as condições de utilização; e específicos, onde se incluem os requisitos particulares de um dado projeto. Estabelecidos os requisitos para uma dada estrada procede-se à recolha dos dados para realizar o projeto.

O Processo está esquematizado na Figura 9, onde estão assinalados os estudos de base com componente geotécnica que serão desenvolvidos – Estudo Geológico Geotécnico e Estudo de Impacte Ambiental – e distinguidas as duas áreas de projeto que serão tratadas: Terraplenagem e Drenagem e Pavimentação.

Na Figura 10 apresenta-se um desenvolvimento dos requisitos da Pavimentação, sem indicação dos regulamentares, os quais incluem todos os documentos legais aplicáveis às infraestruturas, em particular os que transpõem para o direito nacional as diretivas comunitárias.

É interessante constatar que propriedades geotécnicas dos terrenos estão presentes desde logo na base da pirâmide, através de requisitos de granulometria e de natureza dos materiais.



Fig. 9 - Requisitos e o processo de projeto.



Fig. 10 - Pirâmide de Requisitos para os Pavimentos.

Os requisitos funcionais são incluídos nos contratos de Concessão, e estabelecem os valores mínimos das diversas propriedades dos pavimentos associadas às condições de circulação, nomeadamente atrito, rugosidade, regularidade geométrica longitudinal, regularidade transversal e inclinações.

A partir da última década do Séc. XX este tipo de requisitos passou também a ser incluído nos contratos de construção da Administração Rodoviária (JAE;ICOR;EP), permitindo assim dispor de resultados de ensaios relativos a uma “caracterização inicial” dos pavimentos.

A realização periódica de campanhas de ensaios na fase de O&M, permite analisar a evolução dessas propriedades, e programar a realização de trabalhos de conservação sempre que os valores medidos não satisfaçam os requisitos (vd. 7.3).

4.3 – Estudo Geológico e Geotécnico

O Estudo Geológico e Geotécnico realiza-se por etapas correspondentes ao estudo prévio e ao projeto de execução com a sequência e desenvolvimento necessários à satisfação dos respetivos requisitos. Tem como objetivos principais:

- Caracterizar as condições geológicas e geotécnicas ao longo do traçado
- Estabelecer um modelo das formações geológicas
- Identificar e caracterizar propriedades dos materiais ocorrentes, para fundamentar as opções de projeto nas áreas de:
 - Terraplenagem (aterros; escavações)
 - Pavimentação
 - Fundações de viadutos e outras O.A.
 - Mitigação ambiental

Como principais condicionantes à realização destes estudos, resultantes dos novos requisitos introduzidos, podem indicar-se:

- Traçados com características geométricas mais exigentes
- Traçados inseridos em zonas urbanas (Figura 11)
- A inclusão de necessidades ambientais, condicionando as soluções de projeto: aterros vs viadutos; técnicas de estabilização de taludes; modelação dos materiais colocados a depósito, etc.



Fig. 11 - Intersecção desnivelada na SCUT do Grande Porto.

4.4 – Estudo de Impacte Ambiental (EIA) e Verificação da Conformidade Ambiental do Projeto de Execução

Os requisitos de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) ao longo das várias fases do Ciclo de Vida têm uma forte interação com as condições geotécnicas. Na verdade, na fase de Estudo Prévio, aquela em que se desenvolve o Estudo de Impacte Ambiental (EIA), alguns dos principais descritores nele utilizados são de carácter geotécnico, como por exemplo a Geologia e Geomorfologia e os Recursos Hídricos (Figura 12).

Um dos aspetos mais importantes do EIA é a avaliação ambiental de corredores (Figura 12), no âmbito da qual os aspetos geotécnicos, designadamente os associados à realização das escavações e à construção dos aterros (Terraplenagem), assumem um papel relevante na escolha das soluções, em particular no que respeita aos previsíveis impactes ambientais, que ocorrerão nas fases subsequentes,

EIA: Principais Descritores Analisados

- Geologia e Geomorfologia
- Solos e RAN
- Clima
- Recursos Hídricos
- Qualidade do Ar e Ruído
- Componente Social
- Planeamento e Ordenamento Territorial
- Condicionantes ao Uso do Solo
- Património Cultural
- Paisagem

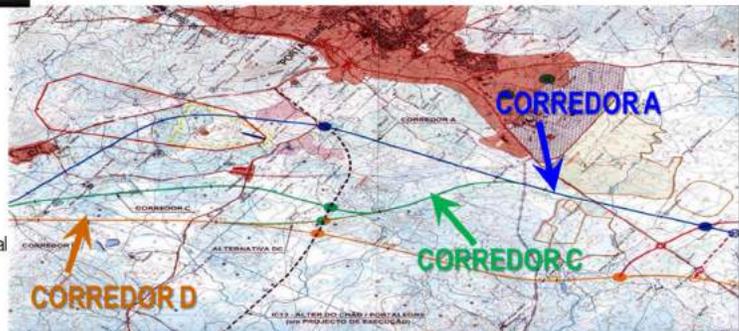


Fig. 12 - Avaliação Ambiental de Corredores.

de construção e de O&M e, naturalmente, também no que respeita aos previsíveis custos da Terraplenagem.

O processo de EIA envolve a participação do público, e termina com a emissão da Declaração de Impacte Ambiental (DIA), que inclui a indicação do corredor selecionado para o traçado e requisitos específicos a respeitar na etapa de Projeto de Execução, com vista a eliminar, minimizar ou compensar impactes ambientais identificados.

Nestas condições, o Projeto de Execução passou a incluir: i) a seleção e definição das disposições construtivas a adotar para satisfazer aos requisitos ambientais da DIA; ii) Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE), onde se apresentam e justificam as disposições de projeto adotadas para ter em consideração os requisitos ambientais indicados na DIA.

Na etapa de Projeto de Execução, os aspetos geotécnicos voltam a ter uma forte presença, nomeadamente nas áreas de Terraplenagem e de Pavimentação. O primeiro caso envolve a definição do tipo de estrutura a construir no atravessamento dos vales - aterro ou viaduto - e a ponderação da reutilização dos materiais escavados, evitando dessa forma o consumo de materiais de empréstimo e/ou a realização de depósitos de materiais escavados e não reutilizados.

Além dos requisitos ambientais com impacte geotécnico já referidos, a infraestrutura de transporte deve obedecer a muitos outros, de que se destaca a necessidade de um adequado enquadramento paisagístico. É interessante apontar aquilo a que hoje se poderia chamar um requisito paisagístico, enunciado no Tratado de Estradas do Séc. XVIII e transcrito na Figura 13.

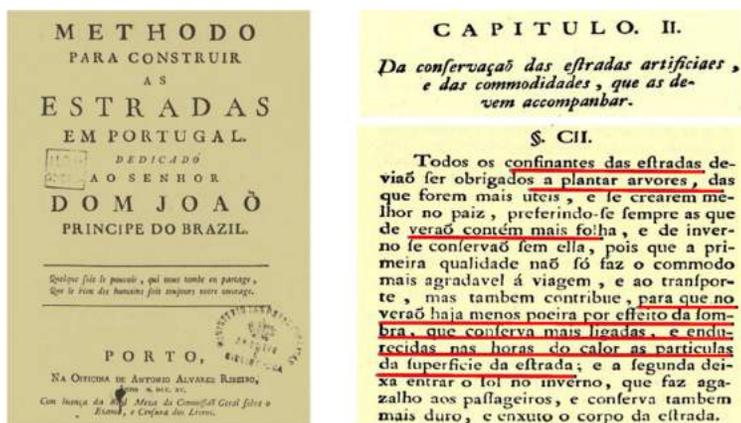


Fig. 13 - Requisito ambiental do SEC XVIII: plantação de árvores ao longo da estrada.

Com efeito, a disposição §CII daquele documento preconiza a plantação de árvores ao longo da estrada, de modo a que a viagem seja mais cómoda, e indica o critério a adotar na seleção dessas árvores: serem da região, aquelas que no verão tenham mais folhas, e de inverno se conservam sem elas. O propósito é tornar a viagem mais agradável no verão, e contribuir para que haja menos “poeira” por efeito da sombra, a qual permite conservar mais ligadas e endurecidas as partículas da superfície da estrada. Por esta razão, a disposição implicava também, embora sem a mencionar, uma redução das intervenções de conservação da estrada.

4.5 – Terraplenagem e Drenagem

A maior relevância dos trabalhos de terraplenagem, o seu elevado custo e a importância da qualidade desses trabalhos no futuro comportamento da estrada, levaram a que, a partir da última década do séc. XX, tivesse sido criada uma nova área de projeto: Terraplenagem. A intenção da sua criação foi fomentar uma desejável ponderação dos aspetos relacionados com a realização de escavações mais profundas e aterros de maior dimensão, e a posterior adoção de disposições de

projeto adequadas, tendo naturalmente em consideração os resultados do Estudo Geológico e Geotécnico e do Estudo de Impacte Ambiental.

Na verdade, até aquela data, as questões relativas a escavações e aterros eram tradicionalmente tratadas no Estudo Geológico Geotécnico, desde a sua introdução a partir dos anos sessenta.

A adoção de novos requisitos traduziu-se em grandes alterações no traçado, as quais tiveram como consequência a necessidade de realizar escavações mais profundas e aterros de maior dimensão do que os construídos até então, e evidenciaram a necessidade de adotar disposições de projeto que permitissem uma adequada drenagem dos trabalhos de terraplenagem, logo desde a fase de construção.

Acresce que as exigências ambientais de utilização, na construção da estrada, de materiais não tradicionais - em particular a reutilização dos materiais escavados e a valorização de subprodutos industriais na construção dos aterros - implicou o estudo das condições em que tais materiais poderiam ser empregues, e a especificação do processo construtivo a utilizar em cada caso.

Entre os materiais não tradicionais que passaram a ser empregues nos aterros destacam-se: i) materiais pétreos de grandes dimensões, do tipo enrocamento, provenientes de escavações realizadas na linha; ii) subprodutos industriais, como é o caso de materiais provenientes de escombros de mármore; iii) misturas de solo e enrocamento; iv) materiais evolutivos.

Também se introduziram novas práticas na classificação dos materiais, uma vez que tradicionalmente estava generalizada a utilização da Classificação Rodoviária para os materiais, tendo passado a utilizar-se a Classificação Unificada e a Classificação francesa RTR. Observa-se que esta última foi desenvolvida com o objetivo de apoiar as decisões que são tomadas na fase de construção, sendo a única classificação, das três referidas, que visa as condições de reutilização dos materiais escavados.

No que respeita às Escavações, o projeto de Terraplenagem contempla os seguintes aspetos principais: i) o processo de desmonte a empregar (processo mecânico ou fogo) e a identificação das zonas a escavar onde se previa a utilização de fogo; ii) estudo das propriedades dos materiais a escavar e sua classificação, tendo em vista a posterior reutilização; iii) a estabilidade dos taludes; iv) drenagem (provisória e definitiva); e v) camada de leito do pavimento.

No projeto dos aterros estabeleceram-se os seguintes assuntos relevantes a ponderar: i) condições de fundação dos aterros, especialmente em zonas de solos compressíveis ou a meia encosta; ii) materiais a colocar na parte inferior dos aterros, em particular em zonas inundáveis; iii) corpo dos aterros, nomeadamente a constituição e a inclinação; iv) drenagem; v) revestimento dos taludes; vi) camada de coroamento; e vii) leito do pavimento.

A Figura 14 mostra, numa AE na região de Lisboa, trabalhos de terraplenagem e diversas componentes do sistema de drenagem: valas de drenagem profunda, máscaras drenantes e órgãos de drenagem superficial.

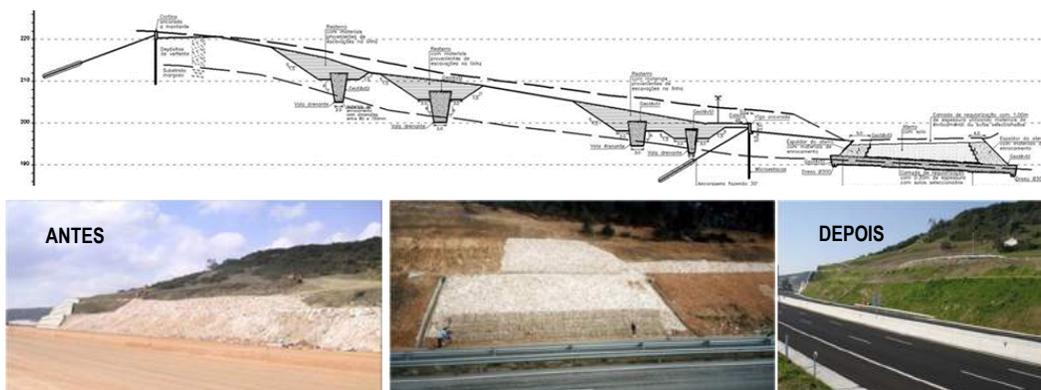


Fig. 14 - Sistema de drenagem de uma infraestrutura.

4.6 – Pavimentação

Com a adesão à CEE, além dos importantes acréscimos de tráfego registados, em particular dos veículos pesados que muito contribuiu para a acelerada degradação de pavimentos, verificou-se um aumento no valor autorizado das cargas máximas transportáveis por eixo, a qual veio também contribuir para a referida degradação. A título de exemplo, indica-se que o eixo simples de rodado duplo passou a poder circular com 130kN, em vez dos 100kN anteriormente autorizados.

Nessa altura, havia a perceção de um deficiente comportamento dos pavimentos em algumas estradas, em parte atribuível à sua reduzida capacidade de carga. Para tal perceção contribuiu a ocorrência da ruína prematura de pavimentos em trechos de estrada pouco tempo depois de abertas ao tráfego. Além disso, recebiam-se as consequências do aumento legal das cargas por eixo na degradação acelerada dos pavimentos.

A generalidade das estruturas de pavimento eram flexíveis e de reduzida capacidade de carga, o seu estado de conservação era em geral deficiente. A reduzida capacidade de carga era consequência de vários fatores, ligados a deficientes condições de fundação e à natureza dos materiais empregues nas camadas e respetivas espessuras. O seu dimensionamento era baseado em métodos empíricos, em particular nos desenvolvidos em Inglaterra e França.

Na verdade, as condições de fundação dos pavimentos eram por vezes inadequadas, não sendo preconizada a colocação sistemática de uma camada de leito do pavimento, JAE NORMA P7.1-78 (1978), JAE NORMA P7.2.1-78 (1978), JAE NORMA P7.2.2-85 (1985). A camada de sub-base era constituída por “solos selecionados”, e na camada de base empregava-se exclusivamente material britado de granulometria extensa, com uma espessura de 30cm. Sobre a base eram colocadas uma ou duas camadas de misturas betuminosas, cuja espessura total não ultrapassava os 8 a 11 cm nas estradas e 14cm no caso das autoestradas.

Com frequência, os projetos não indicavam os maciços a escavar ao longo da linha onde era previsível a obtenção de “solos selecionados”. Essa omissão traduzia-se, por vezes, na dificuldade em encontrar, nas referidas escavações, solos que satisfizessem as propriedades indicadas no Caderno de encargos para “solos selecionados”.

Nestas condições, a JAE decidiu proceder, em colaboração com o LNEC, a uma profunda revisão e reformulação do processo de projeto de pavimentação. O desenvolvimento do novo processo atendeu a cinco requisitos principais: i) definição de condições de fundação; ii) inclusão de novos tipos de materiais das camadas, que permitissem a seleção do tipo de estrutura mais adequado a cada caso (flexível, rígido e semi-rígido); iii) processo de cálculo com base racional e assente na análise da estrutura constituída pelas camadas do pavimento e a respetiva fundação; iv) as propriedades das camadas a adotar nos cálculos tinham que ser estabelecidas tendo em atenção as especificações de construção, bem como as previsíveis propriedades a ocorrer nas mesmas camadas na fase de O&M; e v) ser adaptado às condições existentes, nomeadamente no que respeita a materiais e processos construtivos, tráfego pesado e clima (Pinelo, 1991).

Relativamente às condições de fundação introduziu-se a necessidade de projetar uma camada de **leito do pavimento**, cujo principal objetivo é proporcionar uma adequada e homogénea capacidade de suporte para o pavimento ao longo do traçado. A existência dessa camada é importante logo desde a fase de construção, permitindo as necessárias condições de circulação para o tráfego de obra, e tem também como objetivo contribuir para um adequado desempenho do pavimento após entrada em serviço.

Definiram-se 4 classes de fundação (F1 a F4) com base no valor do módulo pretendido. Para o dimensionamento do leito têm-se em consideração as propriedades do terreno de fundação (Classes S1 a S5), as características dos materiais a utilizar na camada (possibilidade de utilizar materiais não ligados ou materiais tratados com ligantes) e ainda a classe de plataforma pretendida para a fundação do pavimento (Figura 15) (JAE, 1995). Esta é selecionada tendo também em atenção o tráfego pesado.

Estudo da Fundação:

Solo		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
existente	E _r (MPa)	30 < E _r ≤ 50	50 < E _r ≤ 80	80 < E _r ≤ 150	E _r > 150
S ₀	CBR < 3	estudo especial			(2)
S ₁	3 ≤ CBR < 5	30 S ₂ 20 S ₃	60 S ₃ 40 S ₄ 40 ST ₁ 25 ST ₂	40 ST ₂	(2)
S ₂	5 ≤ CBR < 10	(1)	30 S ₃ 15 S ₄	60 S ₃ 30 S ₄ 40 ST ₁ 25 ST ₂	40 ST ₂ (2)
S ₃	10 ≤ CBR < 20	---	(1)	20 S ₄	25 ST ₂ (2)
S ₄ , S ₅	CBR ≥ 20	---	---	(1)	(2)

Classificação unificada de solos (norma ASTM D 2487)

(1) em escavação deve ser escarificado e recompactado na profundidade necessária à garantia de uma espessura final de 30 cm bem compactada; em aterro as condições de fundação estão garantidas.
 (2) situação especial em pedraplenos.
 ST1 - solo tratado com cal (CBR imediato > 8 %; valor determinado em laboratório, s/ sobrecargas e sem embebição).
 ST2 - solo tratado com cimento ou cal (CBR imediato > 15 %; resistência à tração por compressão diametral aos 28 dias > 0,2 MPa).

Fig. 15 - Fundação do Pavimento: classes definidas (F1 a F4), solo existente (S0 a S5) e possíveis camadas de leito.

O desenvolvimento do novo processo de projeto assentou em quatro pilares: Conceção, Dimensionamento, Especificações de Construção e Desempenho (Figura 16).

Para avaliar o desempenho das novas estruturas de pavimento, implementaram-se trechos Piloto de Pavimentação, em estradas cujos pavimentos tinham sido projetados de acordo com o novo processo. Entre as atividades a realizar em tais trechos incluíam-se: i) o acompanhamento da fase de construção, nomeadamente no que respeita aos ensaios de materiais, ao processo construtivo e ao controlo da qualidade, o que permitiu a avaliação de pressupostos de projeto durante a construção; ii) a posterior observação do comportamento dos pavimentos desses trechos durante alguns anos após entrada em serviço, o que permitiu a recolha de elementos sobre o seu desempenho.

A etapa de Conceção compreende a seleção do tipo de pavimento a construir – flexível, rígido ou semi-rígido – tendo em consideração as condicionantes de projeto, nomeadamente o tráfego pesado, as condições climáticas, os materiais de construção e as técnicas construtivas disponíveis, e também os previsíveis custos a suportar nas fases de Construção e de O&M. Anota-se que

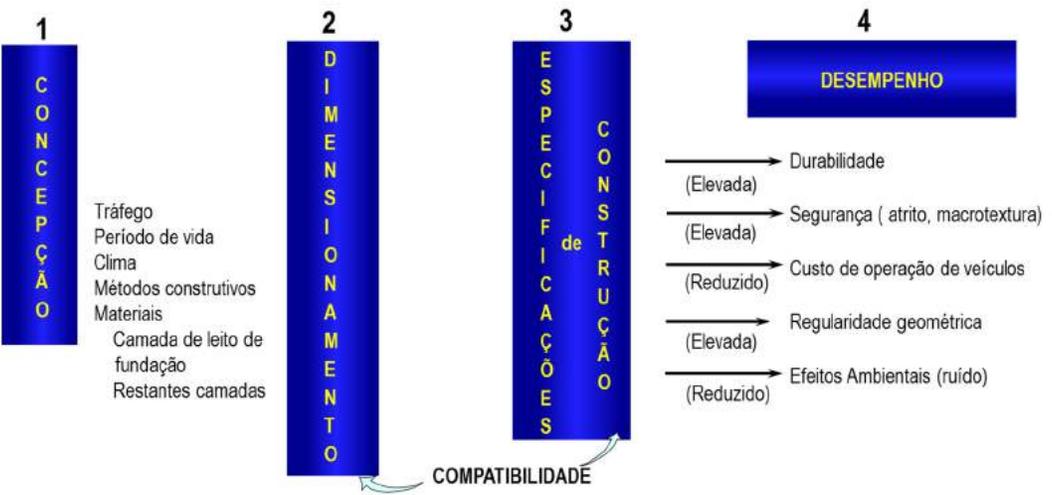


Fig. 16 - Os quatro pilares do processo de projeto de pavimentação.

atualmente é cada vez mais frequente estudar soluções de pavimentação com base em análises de custo ao longo do ciclo de vida.

Para permitir o projeto e construção de pavimentos de vários tipos, previu-se a utilização de materiais não tradicionais entre nós, com a introdução de novos materiais para as camadas: i) materiais britados na camada de sub-base, em substituição dos “solos selecionados”; ii) novas misturas betuminosas a colocar nas camadas de base; iii) misturas com cimento, a utilizar nos pavimentos rígidos e semi-rígidos.

Tendo em vista a comparação do desempenho de estruturas de pavimento flexíveis, construídas com recurso a ligantes betuminosos, com estruturas rígidas e semi-rígidas onde era empregue cimento, passaram a incluir-se nos requisitos dos projetos de pavimentação estruturas dos vários tipos. Tal comparação incluía as novas estruturas flexíveis, com o emprego de camadas de misturas betuminosas na base.

No Dimensionamento estabelece-se a geometria das camadas do pavimento e da fundação, e procede-se à verificação da capacidade de carga do pavimento projetado (constituído por camadas dos materiais escolhidos com as espessuras determinadas) tendo naturalmente em conta todos os dados e requisitos do projeto. A verificação da capacidade de carga é feita tendo em atenção as propriedades dos materiais das camadas após entrada em serviço. A especificação das propriedades das camadas faz parte do processo de projeto, de modo a que haja compatibilidade entre as propriedades admitidas no cálculo e as propriedades das camadas a construir.

No final do processo de projeto de pavimentação, o que se pretende é ter uma estrutura que venha a exibir propriedades para um bom desempenho: elevada durabilidade, elevado atrito e rugosidade para garantir a segurança da circulação e a indispensável regularidade geométrica, e, por outro lado, reduzidos custos de operação de veículos e de ruído de circulação.

O facto de as propriedades de desempenho não serem relacionáveis com as propriedades adotadas no dimensionamento introduz uma dificuldade acrescida ao projeto de pavimentação e conduz à necessidade de implementar planos de Inspeção e Ensaios para a fase de O&M, com vista a obter informação sobre o seu desempenho.

A Figura 17 ilustra o processo de dimensionamento estrutural desenvolvido.

Como estados de ruína do pavimento para a verificação da capacidade de carga, consideraram-se os associados aos dois mecanismos clássicos de degradação: por fadiga das misturas betuminosas e por deformação excessiva da fundação.

O modelo de resposta utilizado para calcular as tensões e deformações nas camadas do pavimento quando solicitado por um eixo padrão, é constituído por um conjunto de camadas sobrepostas e aderentes, de materiais elásticos e homogéneos, caracterizadas por um módulo de deformabilidade E e por um coeficiente de Poisson ν .

Observa-se que os valores E_i a considerar nos cálculos devem ser estabelecidos tendo em consideração os valores que ocorrerão na fase de O&M. Com efeito, é conhecido que tais propriedades sofrem alterações, nomeadamente em consequência de variações climáticas: as das temperaturas, que influenciam os módulos das camadas betuminosas, e as do estado hídrico dos solos e materiais granulares, que influencia a sua deformabilidade.

A Figura 18 mostra a variação no valor do módulo de deformabilidade da fundação de um pavimento do aeroporto de Lisboa, medido em campanhas de ensaio de carga com defletómetro de impacto, realizadas entre Janeiro de 1992 e Junho de 1993, no âmbito de um plano de observação do comportamento do pavimento (Antunes, 1993).

Na mesma figura estão indicadas as precipitações registadas no aeroporto, bem como os valores da pressão intersticial medida na fundação. O pavimento observado era constituído por 25 cm de camadas de misturas betuminosas e 60cm de camadas granulares, assentes sobre uma areia argilosa, classificada como A 4 (1); SC.

Constata-se que durante o período de cerca de um ano e meio em que decorreu a observação do pavimento, mediram-se importantes variações no valor do módulo da fundação (até 30%) com a variação da pressão intersticial. Esta, por sua vez, depende do estado hídrico, o qual é influenciado

por diversos fatores, nomeadamente pelo tipo de solo, pela pluviosidade e pelas condições de drenagem.

Mecanismos de Degradação

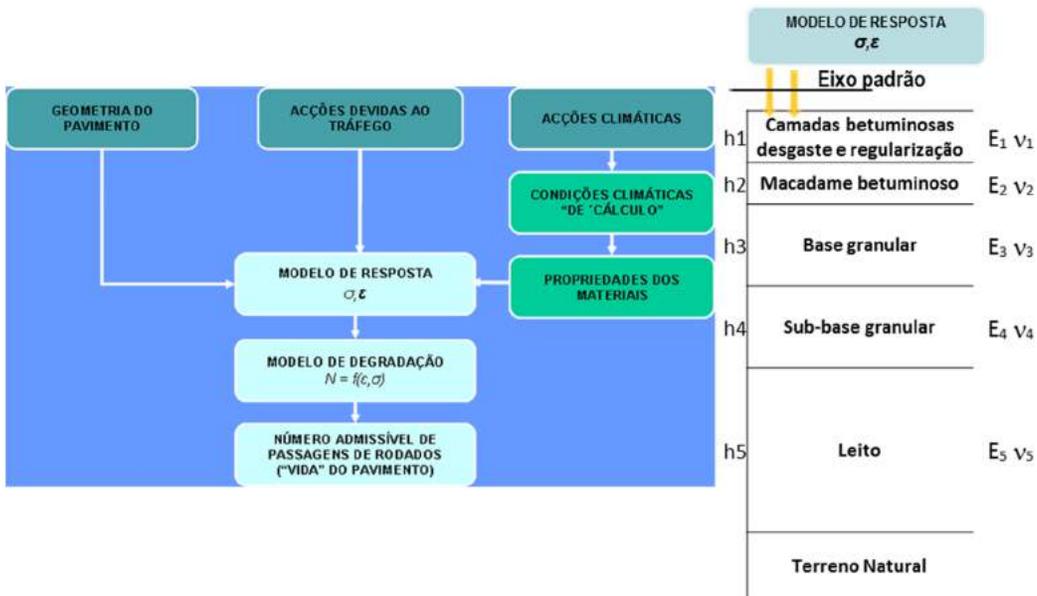
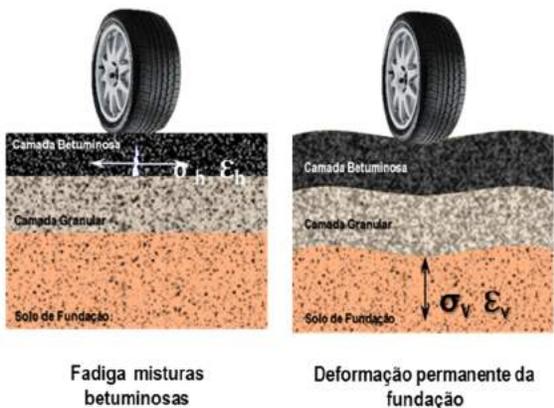


Fig. 17 - Dimensionamento estrutural de pavimentos.

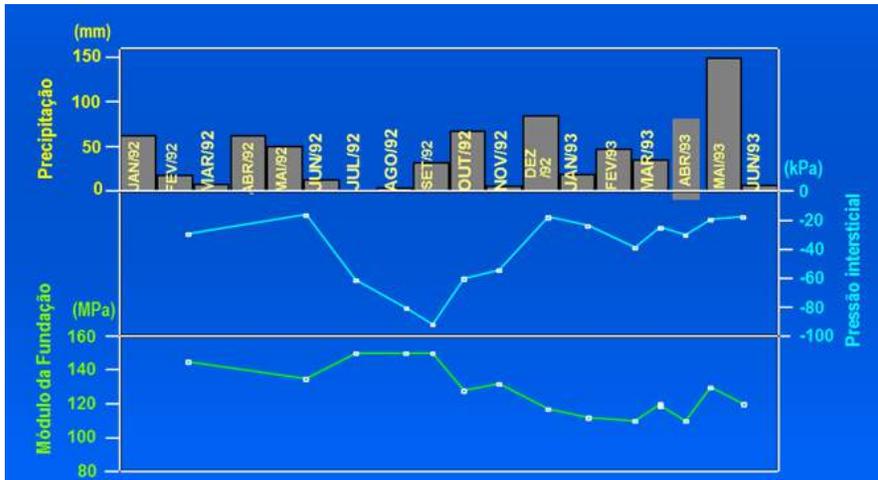


Fig. 18 - Observação do Comportamento de um Pavimento do Aeroporto de Lisboa: Variação do módulo da fundação com a pressão intersticial.

5 – A GARANTIA DA QUALIDADE DO PROJETO. PROCESSO DE REVISÃO.

Quando se discute o estabelecimento do plano da qualidade para uma infraestrutura de transporte, é corrente considerar dois grupos de questões, ligadas às duas primeiras fases do seu ciclo de vida: as relacionadas com a qualidade na fase de Estudos e Projeto e as relativas à qualidade da Construção. Na sequência referem-se apenas os aspetos relevantes da qualidade na primeira fase, simplificada designada de projeto.

Pela sua própria natureza, as atividades de projeto só podem ser objeto de medidas visando a garantia da qualidade. Entres essas medidas referem-se:

- Existência de documentos de apoio ao projeto
- Ações de formação dos intervenientes no processo
- Implementação de um processo de revisão do projeto.

Sendo mais tradicionais os dois primeiros tipos de medidas, passam a apresentar-se os aspetos relevantes da revisão de projeto, tanto mais que as áreas de projeto em que intervêm as questões geotécnicas são particularmente adequadas para o efeito.

A Norma Portuguesa Sistemas de Gestão da Qualidade. Requisitos, NP EN ISO 9001 (2000), define **revisão da conceção e do desenvolvimento**:

§7.3.4 Revisão da conceção e do desenvolvimento

Em etapas apropriadas, revisões sistemáticas da conceção e do desenvolvimento devem ser realizadas de acordo com as disposições planeadas (veja-se 7.3.1):

- Para avaliar a aptidão dos resultados da conceção e do desenvolvimento para ir ao encontro dos requisitos;*
- Para identificar quaisquer problemas e propor as ações necessárias*
Entre os participantes nessas revisões devem ser incluídos representantes de funções envolvida(s) na(s) etapa(s) de conceção e desenvolvimento que está(ão) a ser revista(s). Os registos dos resultados de revisões e de quaisquer ações necessárias devem ser mantidos (veja-se 4.2.4).

Considerando a fase de projeto uma fase de conceção e desenvolvimento, e como suficientes as indicações dadas sobre os objetivos da revisão, sobre os participantes nas revisões e sobre a necessidade de manter registos dos resultados, importa indicar um conjunto de etapas apropriadas para as realizar:

- Plano de recolha de dados para o Projeto
- Interpretação dos dados recolhidos
- Síntese de resultados
- Incorporação da síntese no projeto
- Processo de cálculo a adotar
- Análise de soluções e seleção da solução a adotar

O conceito de “revisão” da NP EN ISO 9001 implica, para cada etapa da fase de Estudos e Projetos, o acompanhamento pormenorizado de todas as atividades a desenvolver para cada uma das áreas de projeto, não sendo suficiente realizar um processo de revisão apenas mediante análise de documentos produzidos no final dessa etapa.

Com efeito, e a título de exemplo, podem ser identificadas insuficiências no projeto resultantes de uma caracterização geotécnica deficiente, a qual resulte de uma escassa recolha de dados, prevista no Plano de Prospeção do Estudo Geológico e Geotécnico. Em tais condições, da insuficiência de dados podem resultar atrasos e acréscimos de custo importantes, inerentes a nova recolha de dados. Uma tal situação poderia ser evitada caso tivesse havido “revisão” do Plano e atempadamente introduzidas as necessárias medidas corretivas.

6 – A GEOTECNIA NA FASE DE CONSTRUÇÃO

Para ilustrar a importância dos aspetos geotécnicos na fase de construção, selecionaram-se alguns dos tópicos que foram mais discutidos nos últimos anos: a contratação das obras, a classificação dos materiais de terraplenagem, a utilização de materiais alternativos, o papel do aterro experimental na construção de aterros e a vantagem de introduzir na prática corrente especificações de desempenho.

6.1 – Contratação de obras com importante componente geotécnica

Em geral, a contratação da construção tem sido feita por concurso público, com base no projeto de execução. Atualmente há já alguma experiência de contratar infraestruturas com base em concursos de Conceção-Construção, que foram utilizados no processo de atribuição das Concessões rodoviárias. Nesses casos o concurso foi feito com base no estudo prévio, estando a elaboração do projeto de execução incluída nas responsabilidades do consórcio selecionado.

Quando as obras a realizar envolvam trabalhos geotécnicos com peso relevante e que impliquem a utilização de técnicas especializadas, pode ser vantajosa a contratação dos trabalhos através de um concurso de Conceção – Construção, que pode ser lançado a partir de um estudo prévio, ou a partir de um projeto base. Os concorrentes são responsáveis pela seleção das técnicas a adotar, ficando o concorrente escolhido responsável pela elaboração do projeto de execução.

Um concurso de Conceção-Construção pode também ser vantajoso para reduzir os prazos de conclusão de uma dada obra, uma vez que reduz o número de concursos e os correspondentes prazos de apreciação.

A Figura 19 refere-se aos taludes da estrada do Portinho da Arrábida, cuja estabilização foi feita recorrendo a uma contratação deste tipo.

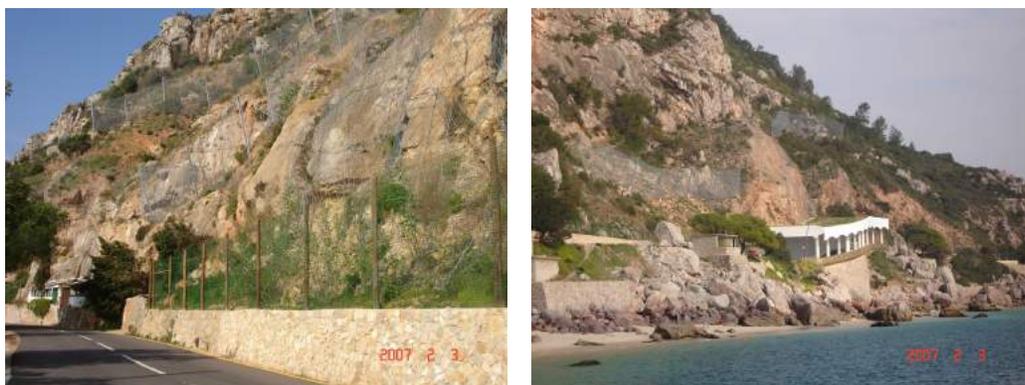


Fig. 19 – Estabilização da Encosta da Estrada do Portinho da Arrábida

6.2 – Classificação dos materiais de terraplenagem visando a fase de construção

A realização dos trabalhos de terraplenagem é sempre uma tarefa complexa, pois envolve vários tipos de materiais heterogêneos, verificando-se, além disso, que as suas propriedades variam frequentemente de acordo com as condições climáticas. Torna-se assim indispensável considerar a aleatoriedade dos materiais, e selecionar equipamentos e processos construtivos que permitam realizar os trabalhos com a indispensável qualidade e o necessário rendimento.

A literatura francesa dá indicações de valor inestimável para a programação e realização dos trabalhos de terraplenagem (LCPC e SETRA, 1992 e 2000).

A partir da última década do Séc. XX essas indicações passaram a ser consideradas nas fases de Projeto de terraplenagem, e na de Construção. As indicações assentam numa classificação dos materiais de terraplenagem, desenvolvida visando a fase de construção, que inclui:

- Distinção entre solos e materiais rochosos, e a definição de parâmetros de identificação
- A classificação do estado hídrico de solos sensíveis à água em cinco classes
- A caracterização do carácter evolutivo de certos materiais rochosos
- Condições de reutilização dos materiais em aterro e em camadas de coroamento
- Tipos de compactação e caracterização dos cilindros

6.3 – Construção de aterros com materiais alternativos. Aterro experimental

A realização de escavações em zonas mais profundas dos maciços, para satisfação dos novos requisitos de traçado, teve como consequência a obtenção de blocos de dimensões apreciáveis (com frequência superiores a 1m) e de materiais do tipo enrocamento, uma vez que as escavações passaram a realizar-se em materiais mais sãos, menos fraturados e alterados do que os que surgem, em geral, na parte superior dos maciços. A Figura 20 ilustra os três tipos de material escavado.

O processo construtivo especificado para os aterros de blocos e para as misturas solo-enrocamento, consiste essencialmente em:

- Espalhamento do material da camada em cordão, e taqueamento dos blocos de maiores dimensões;
- Molhagem do material;
- Compactação com cilindro adequado;
- Controlo da Compactação, através de ensaios para medição do peso volúmico “in situ” (“ensaio macro”).

Granulometria: peneiração e cubicagem de blocos

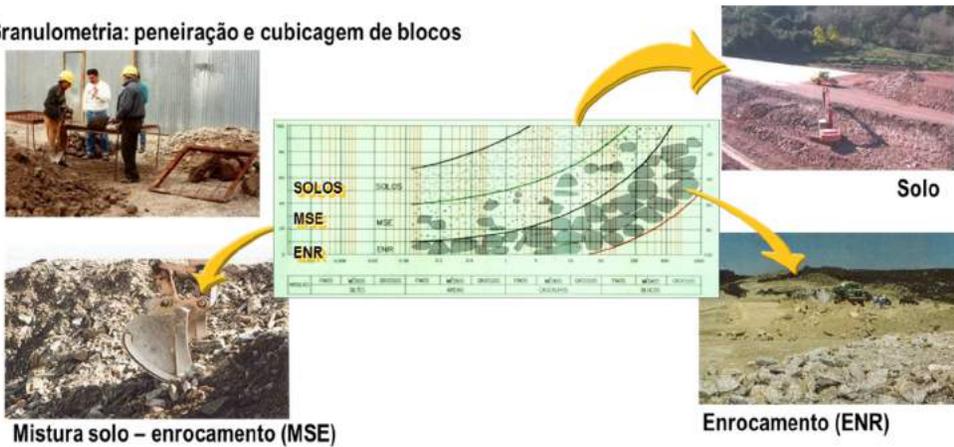


Fig. 20 - Classificação dos materiais de aterro com base na granulometria.

Uma vez que, em laboratório, não é possível proceder a uma compactação de provetes representativos para estabelecer as condições de compactação, é necessário determiná-las “in situ”. Procedede-se assim à construção de aterros experimentais para especificar a espessura das camadas a espalhar, o teor em água da fração fina e o número de passagens do cilindro (Figura 21).

Durante o aterro experimental, para cada espessura de camada espalhada e para cada teor em água da fração fina, mede-se a evolução das deformações da superfície da camada com o número de passagens do cilindro. A determinação do peso volúmico seco da camada compactada envolve a escavação de uma dada porção da camada em apreço, a qual é depois pesada, sendo o volume escavado medido com recurso a uma folha de plástico e água.

A Figura 22 refere-se à construção de aterros com blocos de mármore provenientes de escombreira, na variante à EN 255 entre Borba e Vila Viçosa, onde se pode ver a medição do volume escavado com água.

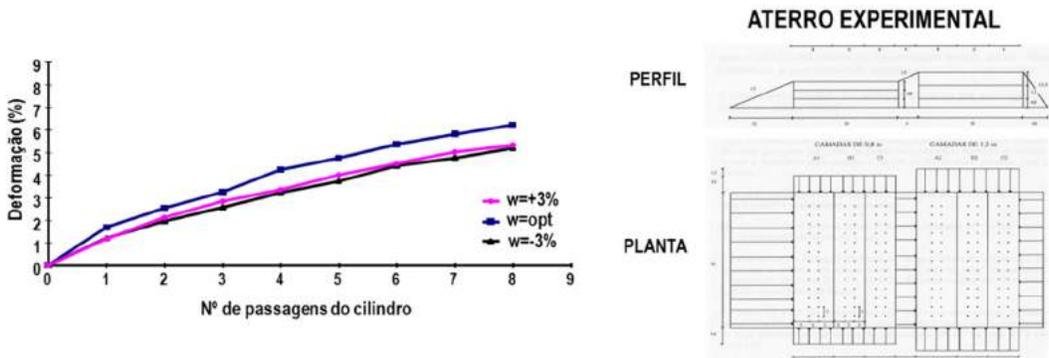


Fig. 21 - Esquema do aterro experimental.



Fig. 22 - Variante à EN 255, entre Borba e Vila Viçosa: aterros de enrocamento com blocos provenientes de escombreiras de mármore e determinação “in situ”.

6.4 – Especificações de desempenho

O projeto de pavimentação é feito admitindo um determinado valor do módulo E_f para a fundação, que é estabelecido tendo em atenção a classe de plataforma, as propriedades do terreno natural e os materiais da camada de leito. É assim desejável que durante a fase de construção se realizem ensaios destinados a medir o referido módulo, de modo a poder atempadamente adotar medidas corretivas, caso os valores medidos o recomendem. Estes ensaios podem ser incluídos nas medidas de garantia da qualidade a adotar na Fase de Construção.

Além de proporcionar uma avaliação da adequação do módulo adotado no projeto, os valores obtidos serão úteis na análise dos valores de E_f que resultarão da interpretação dos resultados das campanhas de ensaios de carga. Estes realizar-se-ão na fase de O&M para avaliar a capacidade de carga do pavimento e projetar o seu reforço, quando necessário.

O módulo, tal como definido na Figura 23, pode ser obtido através de ensaios de carga – com placa, com defletómetro de impacto ligeiro, com defletómetro de impacto pesado (FWD) – ou a outros tipos de ensaio, como por exemplo recorrendo à medição de ondas, desde que seja correlacionável com o valor medido em ensaio de carga com placa.

Atendendo a que, em geral, nas camadas de leito se empregam materiais granulares, é indispensável ter em atenção os valores dos teores em água quando da realização dos ensaios, em particular durante a época quente. Com efeito, uma redução significativa do teor em água de

Ensaio de carga com placa

$$E = 0,75 d \sigma / \varepsilon_r$$

E – módulo de deformabilidade

d – diâmetro da placa

σ – pressão aplicada pela placa

ε_r – deformação medida

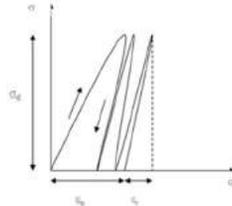


Fig. 23 - Módulo da fundação E_f e ensaios de carga para o obter.

compactação, por evaporação associada a temperatura elevada ou ao vento, terá como consequência a medição de valores do módulo superiores, o que pode induzir em erro.

O requisito de dotar os pavimentos de adequadas condições de fundação mantém-se quando se trata da fundação da superestrutura ferroviária. No entanto, neste caso, há uma condição mais desfavorável no caso das vias balastradas, que resulta da facilidade com que a água da chuva, penetrando através do balastro, atinge o topo da plataforma ferroviária. No entanto, o processo a adotar para estudar a fundação de ambas as estruturas é semelhante.

Na Figura 24 apresentam-se resultados de ensaios de carga realizados em obras de modernização da Linha do Norte, com o propósito de avaliar a conformidade de módulos obtidos em obra – na **plataforma de terraplenagem** e na **plataforma ferroviária** – com os valores especificados em projeto. A figura apresenta três séries de valores: i) módulo na antiga fundação, antes de colocar a camada de leito; ii) módulo no topo do leito; módulo no topo do sub-balastro (construído com material britado), (Fortunato, 2005).

A figura indica também os módulos adotados em Projeto: para o topo da terraplenagem mínimo de 80 MPa, e para o topo do sub-balastro mínimo de 120 MPa, valores que são especificados pela UIC para vias férreas.

Observa-se que na maior parte dos casos se verificou conformidade entre os valores medidos (no leito e no sub-balastro) e os de projeto, sendo os desvios aceitáveis nos casos de não conformidade.

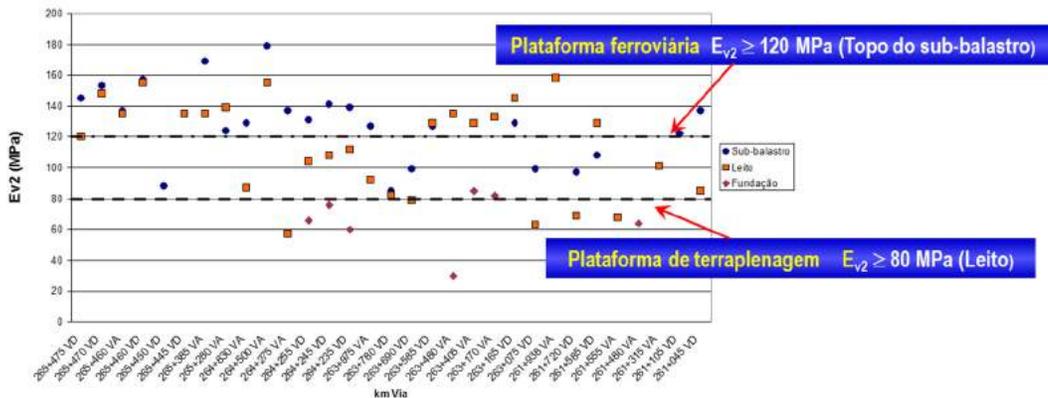


Fig. 24 - Verificação da conformidade dos módulos obtidos em obra com os valores especificados no projeto.

Atenta a multiplicidade de condicionantes e de incertezas com que se procede, na fase de projeto de pavimentos, à seleção da Classe de Fundação e ao dimensionamento da camada de leito, afigura-se altamente desejável, pelas razões apresentadas, implementar medidas de garantia da qualidade para a fase de construção da terraplenagem, como por exemplo a realização de campanhas de medição do módulo da fundação, antes de iniciar a colocação das camadas do pavimento.

7 – A GEOTECNIA NA FASE DE OPERAÇÃO & MANUTENÇÃO

A finalizar ilustra-se a importância de aspetos geotécnicos na fase de O&M e discutem-se questões a ponderar no estabelecimento de Planos de Inspeção e Ensaio, os quais podem ser implementados apenas para observação do comportamento, ou também para verificação da conformidade do estado do pavimento com os requisitos contratuais.

Tais planos são estabelecidos para diversas componente da estrada, nomeadamente para os aterros, escavações e pavimentos. Incluem listas de possíveis defeitos a identificar, especificam as grandezas a medir e respetivo processo de medição, e estabelecem as periodicidades das campanhas medição.

A identificação de defeitos na componente inspecionada permite desencadear atempadamente a realização de trabalhos de conservação, sempre que o defeito seja grave e/ou essa componente seja classificada como não conforme com os requisitos.

A implementação de planos de observação do comportamento da componente terraplenagem - aterros e escavações - pode ainda ser feita com outros propósitos:

- a) A recolha de dados para projeto;
- b) A verificação de pressupostos de projeto;
- c) Evitar perturbações ou acidentes na circulação resultantes da queda de blocos.

No caso dos aterros e escavações, os planos preveem a realização de inspeções, e com frequência incluem a instalação de equipamentos destinados a medir grandezas, tais como deslocamentos (na superfície ou no interior de maciços) e indicadores do regime hidrológico (piezómetros, caudais, etc.).

7.1 – Inspeção da Terraplenagem e Drenagem

Com as imagens da Figura 25 ilustra-se a importância de proceder à cuidadosa inspeção de todas as componentes do sistema de drenagem, uma vez que, com frequência, a obstrução de tubos de drenagem ou a sua degradação, implicam acidentes graves nos aterros, que podem significar a sua rotura.

A Figura 26 mostra defeitos num pavimento, resultantes da insuficiência do sistema de drenagem instalado numa estrada. Não sendo adequadamente recolhida e conduzida pelos dispositivos de drenagem, a circulação da água superficial provocou a erosão nas bermas e nas camadas do pavimento subjacentes à camada de desgaste, e ainda a ocorrência de fendas



Fig. 25 - Defeitos observáveis no sistema de drenagem.



Fig. 26 - Defeitos no pavimento resultantes de insuficiência no sistema de drenagem.

longitudinais e roturas de zonas do pavimento. Pode ainda observar-se que a deposição, na faixa de rodagem, de parte do material erodido teve como consequência a redução da largura da faixa de rodagem.

Em ambas as situações mostradas é notória a influência dos defeitos nas condições de circulação, e tem-se a percepção que as inspeções são atividades particularmente adequadas para detetar e corrigir este tipo de defeitos.

7.2 – A observação do Comportamento de Aterros e Escavações

A Figura 27 refere-se a um aterro de enrocamento construído com blocos graníticos, na A24, que foi monitorizado para validação de hipóteses de projeto, em particular no que respeita aos valores dos assentamentos que iriam ocorrer após a construção. Além da colocação de marcas superficiais para medição de assentamentos, foram instalados tubos de inclinómetro para medição de deslocamentos horizontais no interior do aterro.

A mesma figura apresenta um resumo de resultados de assentamentos medidos em diversos aterros rodoviários – de enrocamento e de misturas solo-enrocamento – durante períodos de observação que variaram entre 5 a 10 anos após construção. Os resultados apresentados correspondem à deformação máxima medida em aterros construídos com enrocamento

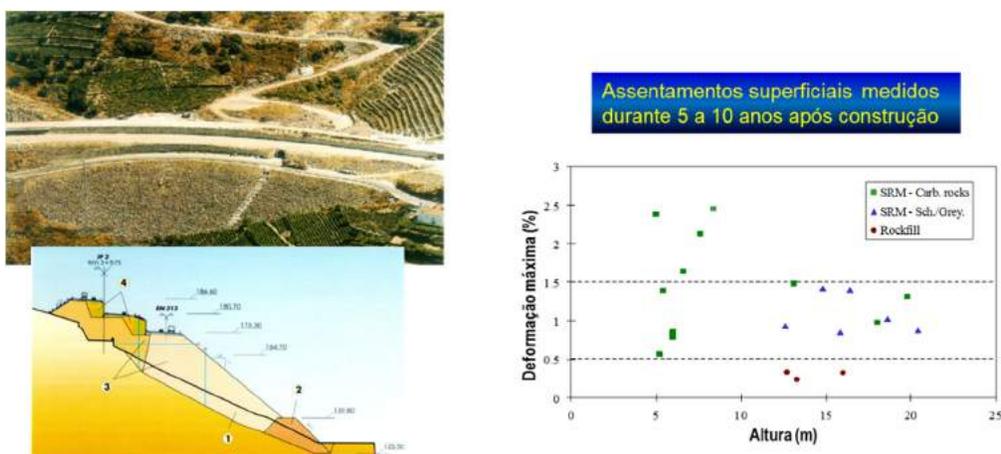


Fig. 27 - Observação do comportamento de um aterro de enrocamento na A24 e resultados de deformações superficiais máximas, medidas em aterros de enrocamento (Rockfill) e de mistura solo-enrocamento (SRM) de rochas calcárias e de rochas xistosas.

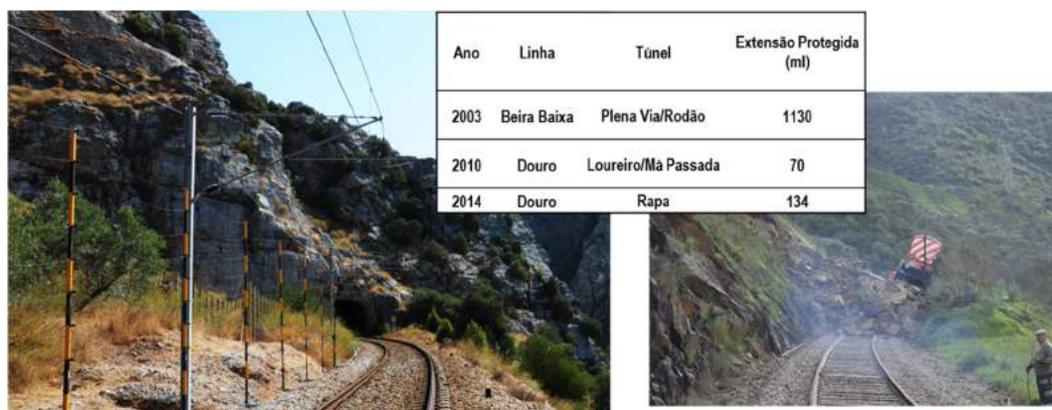


Fig. 28 - Monitorização de Escavações: Sistema de deteção da queda de blocos instalado em diversas linhas férreas.

(Rockfill) e com misturas solo - enrocamento (SRM), e foram calculados a partir dos assentamentos superficiais medidos e das alturas desses aterros. Os valores das deformações máximas observados variaram em geral entre 0,5 e 2% (Fortunato e Veiga Pinto, 1998).

A Figura 28 refere-se à monitorização de escavações, com o objetivo de localizar instabilizações de taludes de caminho de ferro. O sistema utiliza barreiras com malhas de rede elásticas como tecnologia de deteção e pode ser complementado por camaras de videovigilância. Está instalado em trechos de linhas, e visa detetar ocupações da linha resultantes de escorregamentos ou da queda de blocos, de forma a adotar medidas de gestão da circulação, reduzindo a probabilidade da ocorrência de acidentes ou perturbações na circulação (Silva, 2016).

7.3 – Projeto de Reabilitação de Pavimentos

No caso dos pavimentos, a programação e a realização de trabalhos de conservação – Corrente e Periódica – faz-se com base nos resultados obtidos nas campanhas de inspeção e ensaio realizadas periodicamente.

Os trabalhos de conservação corrente são, regra geral, listados e especificados com base nos resultados dessa inspeção, e incluem a limpeza de pavimentos, o tratamento de covas, a eliminação de depressões que afetem a circulação, a selagem de fendas isoladas, a remendagem de pequenas zonas com fendas ou desagregação.

As intervenções de Conservação Periódica no pavimento, nas quais se incluem os trabalhos de reabilitação, são realizadas com base num projeto, no qual intervêm necessariamente os aspetos geotécnicos relacionados com as condições de fundação e com as camadas de material granular. O projeto é feito com base em informações recolhidas nas campanhas de inspeção e ensaio, durante as quais se medem indicadores relativos ao desempenho do pavimento, estrutural e funcional.

É a importância dos aspetos geotécnicos no projeto de reabilitação estrutural de pavimentos que se pretende salientar, ao apresentar sucintamente o processo de avaliação da capacidade de carga de pavimentos, e de projeto de reforço, que foi implementado no âmbito da revisão e reformulação do processo do projeto de pavimentação o qual obedece aos requisitos indicados os pavimentos novos (vd. 4.6).

Por inspeção direta localizam-se os defeitos existentes na camada de desgaste do pavimento, tais como fendas, desagregação, deformação excessiva, ninhos, remendos, etc. Esta operação é geralmente feita com o apoio de um catálogo de degradações apropriado, o qual permite ainda a classificação da gravidade de cada tipo de degradação identificada. Procedem-se depois ao estudo dos possíveis mecanismos de degradação que levaram à ocorrência dos defeitos mais graves, com o



Fig. 29 - Defeitos em pavimentos flexíveis associados às condições de fundação.

objetivo de corrigir alguma situação desfavorável existente, ou apenas para, no projeto de reforço, adotar medidas que permitam evitar a futura ocorrência de defeitos do mesmo tipo.

Na Figura 29 identificam-se defeitos na camada de desgaste de pavimentos flexíveis associados às suas condições de fundação: i) em todas as fotos o pavimento está intensamente fendilhado, exibindo fendilhamento classificável como do tipo “pele de crocodilo”; ii) em algumas das zonas fendilhadas são visíveis, à superfície, solos da fundação, que foram “bombados” através das fendas existentes, durante a passagem de veículos pesados; iii) as fotos da esquerda e da direita mostram que as fendas ocorrem longitudinalmente, na zona das rodeiras formadas pela passagem dos veículos pesados, sendo ainda visível na foto da direita deformações transversais (cavados) na zona das rodeiras.

A existência de fendas do tipo pele de crocodilo ao longo das rodeiras, e o facto de haver solos de fundação “bombados” para a superfície, leva a supor que as estruturas de pavimento apresentadas têm insuficiente capacidade de carga para o tráfego que as utiliza.

O reforço da capacidade de carga de pavimentos flexíveis consegue-se colocando, sobre o pavimento existente, as camadas de misturas betuminosas preconizadas no projeto. A sua colocação só é feita depois de realizar os trabalhos preliminares (fresagem de parte ou totalidade das camadas betuminosas existentes; saneamento da estrutura do pavimento em zonas com condições de fundação deficiente; correção da geometria em certas zonas; tapagem de covas e de peladas, etc.).

Do ponto de vista estrutural, o projeto consiste na determinação da espessura de camadas betuminosas necessária para aumentar a capacidade de carga de um valor existente para um desejável. Além dos aspetos estruturais, na definição da solução de reforço terão também que ser ponderados os aspetos funcionais, e em particular a necessidade de corrigir inclinações transversais e/ou irregularidades longitudinais, situações que poderão implicar, por si só, a colocação uma dada espessura de mistura betuminosa.

O projeto de reabilitação estrutural de um pavimento envolve a avaliação da sua capacidade de carga – expressa num número admissível de passagens de um eixo padrão – e o projeto do reforço, sempre que a capacidade de carga seja inferior à necessária.

Em geral o pavimento de uma estrada não se degrada de forma homogénea, verificando-se alguma diversidade nos defeitos que ocorrem ao longo do traçado, quer no tipo quer da frequência com que eles aparecem. Tal diversidade resulta de vários fatores, de que se salientam as diferenças nas condições de fundação dos pavimentos, a maior ou menor eficácia do sistema de drenagem, os materiais empregues nas camadas e ainda a circunstância de, em regra, o tráfego pesado não ser o mesmo ao longo do traçado.

Nestas condições, é necessário proceder a uma divisão da estrada em “subtrechos homogéneos”, em cuja extensão o pavimento possa considerar-se homogéneo do ponto de vista do desempenho

estrutural. Essa divisão é feita com base em dados recolhidos através do plano de inspeção e ensaios, e em dados históricos, em particular relativos à fase de construção, e elementos obtidos em anteriores campanhas de ensaio. O plano de inspeção e ensaios inclui a realização de uma detalhada inspeção visual do pavimento e do sistema de drenagem, e a realização de ensaios “in situ” – de carga e ensaios em poços – e em laboratório, de amostras recolhidas nos poços. A campanha de ensaios “in situ” envolve:

- Ensaios de carga para medir a resposta da estrutura do pavimento à solicitação aplicada (com pneu e defletómetro LNEC, com defletómetro de impacto (FWD), etc.);
- Sondagens, à rotação e por poço, para determinar a espessura de cada camada e identificar o material constituinte;
- Ensaios “in situ” na fundação, realizados em poços abertos no pavimento, para caracterizar o estado hídrico e a compactidade;
- A recolha de amostras de materiais das camadas e da fundação para a realização de ensaios em laboratório.

O número de sondagens e de poços pode ser substancialmente reduzido, se se realizarem também ensaios com radar de penetração para medir a espessura das camadas.

Na avaliação da capacidade de carga e valor a determinar é a vida restante do pavimento (Figura 30), expressa pelo número admissível de passagens de um eixo padrão. Para adotar nesta determinação um processo semelhante ao utilizado no dimensionamento de pavimentos novos (vd. 4.6) é necessário conhecer: i) a estrutura do pavimento (espessura e natureza dos materiais das camadas) e as suas condições de fundação; ii) os módulos das camadas e da fundação.

Assim, o modelo de resposta do pavimento a utilizar é estabelecido a partir da interpretação dos resultados dos ensaios de carga e das espessuras das camadas medidas nas sondagens e poços. Observa-se que a resposta do pavimento é caracterizada por deflexões medidas em pontos situados na superfície do pavimento, e que as variações dos valores obtidos ao longo do traçado são particularmente úteis para proceder à divisão da estrada em subtrechos estruturalmente homogêneos.

Para que o modelo de resposta a estabelecer seja representativo de cada subtrecho homogêneo, têm que ser criteriosamente estabelecido o número mínimo de ensaios a realizar ao longo da estrada e em cada trecho (carga; sondagens; poços; radar; “in situ”; laboratório).

A Figura 31 apresenta imagens de dois equipamentos de ensaio de carga e de um radar, utilizados na caracterização estrutural de pavimentos.

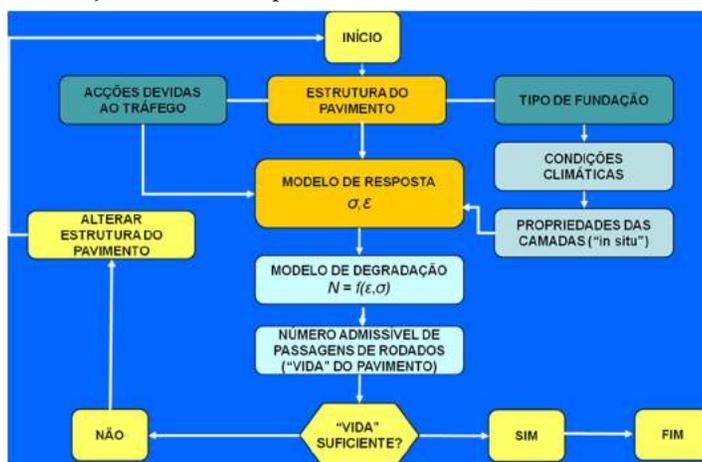
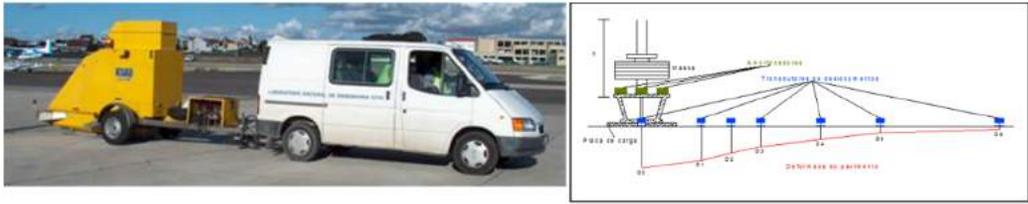


Fig. 30 - Avaliação estrutural da capacidade de carga de pavimentos e cálculo do reforço.



Ensaio de Carga com Defletômetro de Impacte (FWD)



Ensaio de Carga com Pneu e defletógrafo LNEC



Medição das Espessuras das camadas com radar

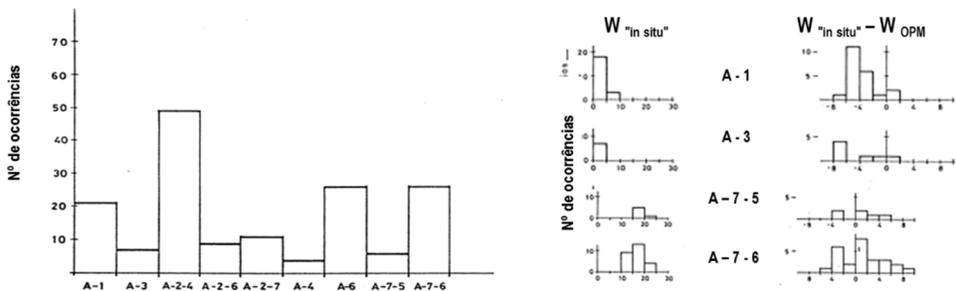
Fig. 31 - Equipamento para ensaios de carga (pneu e FWD) e radar para pavimentos.

Uma questão relevante de natureza geotécnica a ter em consideração no estabelecimento do módulo da fundação, tem a ver com a necessidade de ponderar a influência das condições hídricas durante a realização dos ensaios “in situ”, uma vez que os módulos da fundação e os das camadas granulares variam depois da construção dos pavimentos, em função de diversos parâmetros, nomeadamente ligados à eficácia do sistema de drenagem e ao tipo de solos em presença.

Com efeito, é sabido que, finda a construção, o teor em água no solo de fundação (W “in situ”) vai variar em função de um conjunto de parâmetros, nomeadamente da posição do nível freático, das características de plasticidade (IP) do solo, das condições climáticas à data de construção (clima seco/ húmido) e do peso do pavimento.

A Figura 32 apresenta resultados de ensaios obtidos em 159 poços de sondagem realizados nos distritos de Lisboa e de Setúbal para estudo do reforço de 16 estradas neles existentes, (Branco e Correia, 1989):

- 1 - Número de ocorrências de solos de vários tipos identificados na fundação;
- 2 - Teores em água “in situ” e desvios em relação ao teor em água óptimo, por tipo de solo.



1 - Solos identificados na fundação dos pavimentos

2 - Teores em água “in situ” e desvios em relação ao teor em água óptimo, por tipo de solo

Fig. 32 - Ensaios de caracterização da fundação de pavimentos de estradas, obtidos em 159 poços de sondagem realizados na fundação de pavimentos de estradas.

Constata-se que os desvios entre os valores do teor em água “in situ” e do teor em água ótimo do ensaio Proctor modificado, tendem a ser inferiores no caso dos solos granulares, parecendo que no caso dos solos plásticos o valor do teor em água “in situ” tem tendência a ser superior ao ótimo de compactação. Os autores propuseram a seguinte relação entre dois valores: $W_{in\ situ}=1,2xW_{OPM}-2,4$.

Estes resultados mostram a necessidade de ter em consideração, no estabelecimento do modelo de comportamento estrutural, as condições hídricas em que se realizaram os ensaios para caracterização do pavimento, nomeadamente os ensaios de carga e as sondagens no pavimento.

7.4 – A importância da Geotecnia no desenvolvimento de uma rede de transportes segura, eficaz e funcional

Como referido anteriormente, a circulação sem perturbações de pessoas e bens através das redes de transporte terrestre, e em particular através da rede rodoviária transeuropeia, é incontestavelmente uma necessidade das economias dos estados membros, sendo também indispensável para a satisfação das carências de mobilidade e de bem-estar dos cidadãos. Neste contexto a Comissão Europeia tem financiado projetos destinados a promover a segurança e fiabilidade das infraestruturas, de modo a minimizar impactes graves na circulação quando ocorrem acidentes. Entre esses projetos está o ALLTRAIN (2015), que teve a participação de entidades portuguesas, e constitui um bom exemplo da indispensabilidade de considerar as condições geotécnicas quando se trata de garantir a segurança da circulação na fase de O&M.

O Projeto ALLTRAIN visou contribuir para o desenvolvimento de uma rede de transportes segura, eficaz e funcional em toda a Europa, identificando e avaliando todas as ameaças possíveis às infraestruturas de transporte terrestre. Para tal desenvolveu e publicou um guia, abrangente e estruturado, dos possíveis riscos para as infraestruturas de transporte mais vulneráveis integradas nas redes Europeias. Entre os riscos naturais foram considerados três de natureza geotécnica: os escorregamentos, a queda de blocos e a erosão (Figura 33).

O guia permite aos gestores e operadores de redes de transporte, por um lado, identificar as ameaças relevantes para a sua infraestrutura, e, por outro, os tipos de infraestruturas nessa rede que estão mais expostos a uma ameaça específica. Esta abordagem apoia a prevenção e a preparação das infraestruturas críticas, estimula e apoia a avaliação dos riscos, e, simultaneamente, desenvolve metodologias para a proteção dessas infraestruturas. Na primeira fase as infraestruturas de transporte selecionadas foram as estradas, os caminhos-de-ferro e as estações intermodais.



Fig. 33 - Ameaças consideradas no projeto ALLTRAIN.

8 – NOTA FINAL

Como nota final apresenta-se na Figura 34 uma VISÃO que pode orientar a MISSÃO dos intervenientes nos diversos domínios que integram o sector das infraestruturas de transporte: HARMONIZAR requisitos e atividades que se desenvolvem ao longo do Ciclo de Vida, e CONCERTAR interesses dos intervenientes. Essa mensagem de harmonia e de concertação é sugerida pela atuação dos músicos que respeitam a partitura. No caso das infraestruturas, as atuações são pautadas pela legislação e pelas especificações contratuais.



Fig. 34 - Visão sobre a Rede de Infraestruturas de Transporte, Harmonização das atividades do Ciclo de Vida e Concertação dos intervenientes.

9 – AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar uma palavra de gratidão à Comissão Organizadora do 15º Congresso Nacional de Geotecnia, na pessoa do seu Presidente, Prof. Eng. Manuel Matos Fernandes, pela oportunidade de partilhar, em evento tão prestigiado, aspetos relevantes de mais de 40 anos de atividade profissional, iniciada na geotecnia e que depois se desenvolveu no setor das infraestruturas de transporte.

Um trabalho desta natureza, que inclui temas tratados ao longo daquele período, reflete duas das principais linhas de força que orientaram essa atividade. Por um lado o envolvimento no estudo de problemas diversos, na discussão de novas ideias e na implementação de novos processos, dos quais resultassem melhorias sensíveis na forma como eram tratados temas incluídos no Ciclo de Vida das Infraestruturas; e, por outro, uma permanente interação, de âmbito diversificado, com colegas dos diversos setores de atividade rodoviária com quem tive o privilégio de conviver e trabalhar. A todos é devida uma palavra de apreço e de gratidão, pelas importantes contribuições e pelo interesse sempre demonstrado.

Foi agora possível contar com a amizade e disponibilidade de alguns deles, primeiro na preparação da palestra, e depois na leitura crítica deste escrito. É assim com muito gosto que se agradecem as judiciosas sugestões e os comentários dos amigos e colegas Ana Cristina Martins, Carlos Leitão, Carlos Roque, Eduardo Fortunato e Ricardo Oliveira.

Um agradecimento final aos colegas Nuno Guerra e Paulo Pinto que pacientemente cuidaram da passagem do texto e figuras insuficientemente formatados, para a versão que foi impressa.

10 – REFERÊNCIAS

- ALLTrain (2015). *All-Hazard Guide for Transport Infrastructure*. <http://www.alltrain-project.eu/wp-content/uploads/2015/11/All-Hazard-Guide.pdf>. Acedido em Maio de 2016.
- Antunes, M.L. (1993). *Avaliação da Capacidade de Carga de Pavimentos Utilizando Ensaio Dinâmicos*. Tese elaborada no LNEC e submetida para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela UTL, LNEC.
- Branco, F. e Correia A. (1989). *Teores em água de equilíbrio em estradas portuguesas*. Comunicação ao Terceiro Encontro Nacional de Geotecnia, Revista da SPG.
- Cardoso, J. e Roque, C. (2016). *Auditorias e Inspeções de Segurança Rodoviária. Aspectos práticos decorrentes da legislação recente e por estabelecer*. Comunicação ao 8º Congresso Rodoviário Português, Lisboa.
- Fortunato, E. e Veiga Pinto, A. (1998). *Structural behaviour of soil-rockfill mixtures embankments*. Proc. of the 2nd International Symposium on the Geotechnics of Hard Soils - Soft Rocks. Naples, Italy, 12-14 October 1998, Ed. Balkema, Rotterdam (ISBN9058090183), Vol. 2, pp.1101-1107.
- Fortunato, E. (2005). *Renovação de Plataformas Ferroviárias. Estudos Relativos à Capacidade de Carga*. Dissertação realizada no LNEC ao abrigo de um protocolo de cooperação com a FEUP para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela UP. LNEC.
- JAE NORMA P7.1-78 (1978). *Elaboração de Projetos, Terraplenagens*. Lisboa
- JAE NORMA P7.2.1-78 (1978). *Elaboração de Projetos, Pavimentação, Pavimentos Flexíveis*. Lisboa
- JAE NORMA P7.2.2-85 (1985). *Elaboração de Projetos, Pavimentação, Pavimentos Rígidos*. Lisboa
- JAE (1995). *Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional*, Lisboa
- LCPC e SETRA (1992). *Réalisation des remblais et des couches de forme. Guide technique*. Fascicules I et II, Paris.
- LCPC e SETRA (2000). *Organisation de l'assurance qualité dans les travaux de terrassements*. Guide technique, Paris.
- NP EN ISO 9001 (2000). *Sistemas de Gestão da qualidade. Requisitos*. IPQ, Lisboa
- Neto, J.D.M. (1790). *Methodo para construir as estradas em Portugal*, Porto
- Pinelo, A. (1991). *Projeto e Observação de Pavimentos Rodoviários*, LNEC, Lisboa
- Silva, Â. (2016). *A Monitorização Remota de Estruturas Geotécnicas*. Comunicação apresentada ao 8º Congresso Rodoviário Português. CRP, Lisboa.