

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA DE VIAS FÉRREAS EM EXPLORAÇÃO. UMA EXPERIÊNCIA

Nuno Cruz^{1(*)}, Eduardo Fortunato², Francisco Asseiceiro³, Jorge Cruz³, Carin Mateus³

¹MOTA-ENGIL, Universidade de Aveiro, Portugal

²Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Faculdade de Engenharia da U. Porto (FEUP), Portugal

³MOTA-ENGIL - Portugal

(*)*Email*: nunocruz@mota-engil.pt

RESUMO

A construção de vias-férreas implica obras de grande envergadura que envolvem custos muito elevados, pelo que a reabilitação das mesmas é uma opção frequente quando se pretende evoluir para maiores velocidades de circulação, maior carga por eixo ou melhorar as condições de operação. A caracterização geológica e geotécnica da infraestrutura nesse contexto, envolve problemas complexos associados aos habitualmente curtos intervalos de tempo de interdição de via, que limitam significativamente a frequência de recolha de informação e a variedade de ensaios elegíveis. De facto, este contexto condiciona fortemente a utilização de meios de prospecção mais correntes neste tipo de trabalhos, nomeadamente a realização de sondagens mecânicas e a execução de ensaios de carga com placa.

Neste artigo apresenta-se uma metodologia para avaliação das condições geomecânicas da via-férrea em fase de operação, baseada em dois modelos aplicados pela MOTA-ENGIL na secção 5 do corredor de Nacala (Malawi) e na Linha de Sena (Moçambique). Estes modelos revelaram-se eficientes tanto sob o ponto de vista de obtenção das características geométricas da estrutura e informação geomecânica, como na quantidade de pontos amostrados e tempos de execução dos trabalhos de campo.

1. INTRODUÇÃO

A prospecção habitualmente requerida na avaliação do comportamento mecânico dos materiais da infraestrutura de uma via férrea visa a caracterização do balastro e do terreno de fundação, os quais requerem meios de diagnóstico essencialmente distintos. No primeiro caso, os objectivos mais comuns estão relacionados com a avaliação das espessuras e os níveis de contaminação da camada de balastro ao longo da via, bem como a caracterização física (laboratorial) do mesmo. Por seu lado, no que se refere à fundação da via, a prática corrente incide na identificação dos materiais, avaliação do grau de compactação e do módulo de deformabilidade das camadas, bem como das condições geomecânicas dos terrenos naturais subjacentes. Em situações em que não existem constrangimentos à execução da prospecção, este trabalho é habitualmente realizado com recurso a poços para recolha de material para caracterização laboratorial, ensaios de carga com placa, deflectómetros de impacto, penetrómetros dinâmicos e, nos casos em que a profundidade de prospecção o justifique, sondagens mecânicas. No entanto, quando a prospecção tem de ser realizada em vias-férreas em operação, particularmente quando se trata de via única, os (curtos) intervalos de tempo em que a via se encontra disponível e a flexibilidade que é necessária para sair e/ou entrar rapidamente na via são a maior limitação à qualidade dos resultados e quantidade de pontos a ensaiar. Deste modo, torna-se necessário seleccionar ferramentas de prospecção alternativas

que permitam a execução rápida de ensaios e simultâneamente garantam a qualidade dos resultados.

O trabalho que aqui se apresenta e discute enquadra-se nessa problemática e resulta da fusão de duas experiências de prospecção estabelecidas e realizadas em cooperação entre a MOTA-ENGIL e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Portugal), correspondentes ao reforço e reabilitação de duas linhas férreas em exploração que permitem o escoamento do carvão de Moatize (Moçambique) para os portos de Nacala e da Beira, nomeadamente no Corredor Ferroviário de Nacala e na Linha do Sena. Em ambas as situações, a prospecção foi realizada sob constante pressão para redução dos tempos de interdição de via.

O primeiro caso enquadra-se na fase de orçamentação da Secção 5 (Malawi) do Corredor de Nacala de um troço com cerca de 180 km de via para reabilitação, e a estratégia da prospecção foi estabelecida tendo em conta sobretudo a avaliação das espessuras/volumes e níveis de contaminação do balastro, mas não descurando uma avaliação primária das condições da fundação da via-férrea. Numa primeira fase, o trabalho realizado constou de um levantamento contínuo com Georadar para caracterização volumétrica e de qualidade do balastro. Posteriormente foram selecionados 22 pontos onde se recolheram amostras de balastro e de solo de fundação, para caracterização básica em laboratório. Nesses pontos, realizaram-se ensaios com Penetrómetro Dinâmico Super-Pesado (DPSH) para auscultação dos níveis de compacidade das camadas da via férrea. No caso de detecção de solos soltos a muito soltos previa-se ainda a execução de ensaios com Dilatómetro de Marchetti (DMT), o que não veio a acontecer uma vez que os solos inspecionados se encontravam num estado de compacidade média a elevada.

No segundo caso, na linha de Sena, entre Sena e Kamboulatsitse (cerca de 150 km), o balastro é recente e apresenta-se, de um modo geral, em bom estado. A existência de alguns solos de características geotécnicas desadequadas e a insuficiente drenagem longitudinal e transversal, têm conduzido ao arrastamento de materiais e à instabilidade de algumas zonas da plataforma ferroviária, em particular em épocas de chuvas. Neste contexto, foram selecionados 72 pontos de prospecção, onde se procedeu à recolha de amostras intactas no topo da plataforma, para avaliação de pesos volúmicos in situ e caracterização laboratorial. Nesses locais foram realizados ensaios de carga com Deflectómetro de Impacto Portátil (DIP) no topo da plataforma e ensaios com DPSH para uma auscultação da rigidez em profundidade. Tal como no caso anterior, sempre que os resultados globais dos ensaios DPSH revelaram baixa compacidade (solos soltos a muito soltos), foram executados ensaios com DMT, o que veio a acontecer em 15 dos 72 pontos de prospecção. Assim, foi possível aceder à informação que mais importa na avaliação deste tipo de obras: os tipos de solos existentes, a sua compacidade in situ e os valores do módulo de deformabilidade das camadas. Em média, a duração dos ensaios foi de 1,5 horas, nunca excedendo as duas horas. Em ambos os casos, os modelos adoptados revelaram-se bastante eficientes em termos de rapidez de execução dos ensaios, qualidade dos resultados e custos associados, permitindo a adequada caracterização dos materiais e das camadas de balastro e da fundação da via-férrea.

2. CARACTERIZAÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO

No estudo da Secção 5 do Corredor Ferroviário de Nacala optou-se pela utilização de perfis de ondas electromagnéticas, nomeadamente de varrimentos com Georadar, para proceder à determinação da espessura das camadas de balastro limpo e de balastro contaminado com solos e da respetiva interface entre ambas. A informação resultante serviu ainda de base à selecção dos locais para recolha de amostras para caracterização laboratorial e para realização

de ensaios mecânicos de prospecção geotécnica “in situ”. No contexto da execução dos perfis de Georadar, foram utilizados sistemas 2D e 3D com diferentes configurações de antenas de distintas frequências, nomeadamente:

- a) Sistema MIRA 3D Mala Geoscience equipado com 17 antenas (9 emissoras e 8 receptoras) de frequência central de 400 MHz, permitindo a execução de alinhamentos longitudinais com espaçamento entre perfis de 0,08 m, na direcção transversal; o processamento de dados foi efectuado com recurso ao programa MIRA 3D – rslicer, MALA Geoscience
- b) Sistema Kart 2D da Mala Geoscience equipado com consola ProEx e antenas de frequência central de 800MHz, cujo processamento foi realizado com recurso ao programa REFLEXW[®].

O equipamento GPR foi montado sobre um veículo rodo-ferroviário e a velocidade de circulação adoptada foi de 10 a 15 km/h. Na Figura 1 apresentam-se alguns aspectos do equipamento utilizado e de um radargrama de referência.

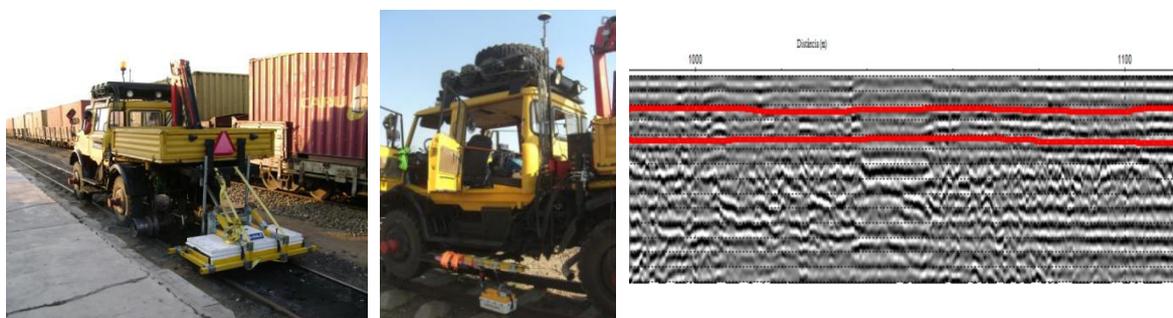


Figura 1 – Georadar na avaliação da espessura das camadas: a) entre carris; b) prisma lateral; c) radargrama interpretado

A utilização dos varrimentos com Georadar 2D para avaliação das camadas de balastro revelou-se profícua, conduzindo à definição em contínuo das interfaces entre balastro limpo e balastro contaminado e entre este último e a plataforma da via, permitindo uma avaliação das espessuras segundo o eixo de análise (eixo da via, no presente caso). No contexto do presente trabalho os dados foram tratados de modo a definir classes de espessura de balastro (limpo e contaminado) ao longo do traçado em análise, conforme se evidencia na Figura 2.

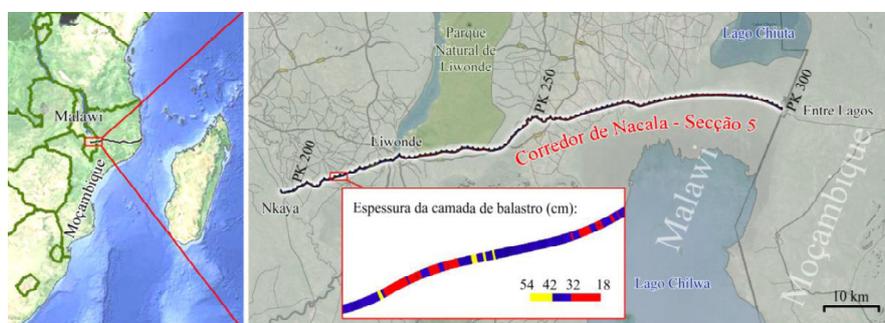


Figura 2 – Esquema elucidativo com a espessura da camada de balastro determinada pelo Georadar

Por outro lado, o varrimento tridimensional gera uma quantidade de dados bastante superior, que se traduz em tempos de processamento e interpretação necessariamente mais alargados, mas permite um rigor muito superior na definição dos volumes das duas unidades. O resultado deste procedimento pode constituir uma importante mais-valia, em particular nos

casos em que, no âmbito da reabilitação da subestrutura, se pretende manter algumas das camadas existentes. Na Figura 3 apresenta-se um exemplo do registo em 3D para evidenciar o potencial de utilização na avaliação de volumes.

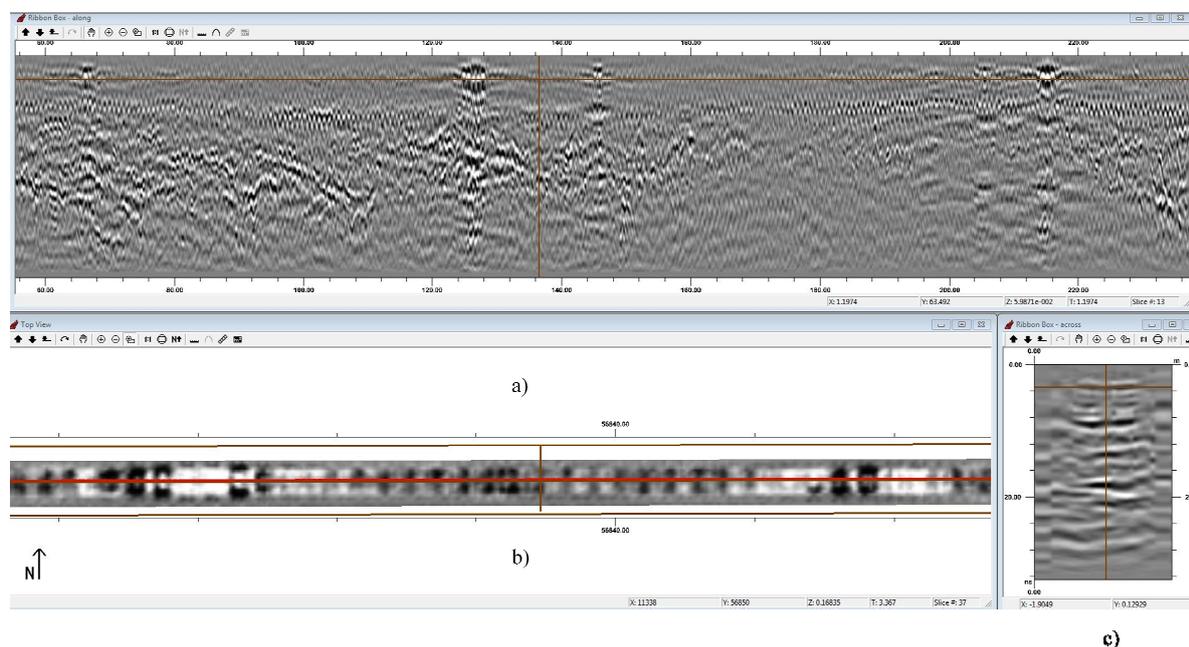


Figura 3 – Modelo de representação 3D: a) longitudinal; b) horizontal; c) transversal

3. CARACTERIZAÇÃO DA SUBSTRUTURA

No caso da caracterização da fundação da via e terrenos subjacentes, o modelo adoptado visou tanto a caracterização da camada superficial como a avaliação das características geotécnicas dos materiais existentes em profundidade.

A caracterização física em cada local da camada superficial constou da recolha de uma amostra intacta para análise granulométrica, determinação de limites de consistência, peso volúmico e teor em humidade natural e peso específico das partículas sólidas.

No âmbito da caracterização mecânica realizaram-se ensaios de carga dinâmica com DIP para determinação do módulo de deformabilidade equivalente, no topo da camada superficial. Este método tem sido utilizado na caracterização de camadas de terraplenagens, camadas de apoio de infraestruturas de transporte e em pavimentos (Fortunato, 2005). No essencial, o equipamento que foi utilizado é constituído por uma placa de carga circular, com um diâmetro de 300 mm, com um furo central. Sobre a placa de carga está instalado um cilindro oco, que permite a transferência do impulso à placa, impulso esse que resulta da queda de uma massa de determinada altura (Figura 4). Sobre o cilindro está instalada a célula, que mede a força aplicada à superfície a ensaiar, e sobre aquela situam-se os amortecedores que absorvem a energia transmitida pela massa e transmitem o impulso ao sistema de carga. No sistema de carga está fixo um varão-guia que serve para conduzir a massa móvel, a qual é elevada manualmente até uma altura de 0,80 m. O sistema que permite obter as deflexões é composto por um geofone que mede velocidades, as quais, integradas no tempo, fornecem as deflexões ocorridas na superfície ensaiada. O geofone está localizado no interior do cilindro oco e opera através do furo central da placa de carga. A célula de carga e o geofone enviam informação para um computador portátil que adquire e arquiva automaticamente o registo das curvas da força aplicada e da conseqüente deflexão da camada. O impulso da carga aplicada e a resposta

dos transdutores têm a forma de sino, sendo o tempo de carga, isto é, o tempo decorrido entre o início e o final do impulso, da ordem de 15 milisegundos.

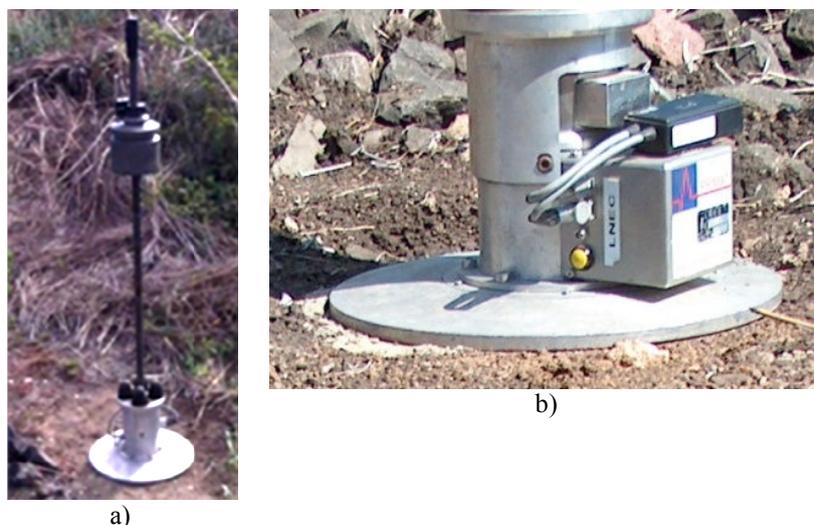


Figura 4 – Aspectos do DIP: a) conjunto completo; b) pormenor da placa, da célula de carga e do dispositivo eletrónico de controlo

O valor do módulo de deformabilidade equivalente no topo da camada ensaiada é calculado pela expressão (AFNOR, 2000):

$$E = 0,75 d \cdot \frac{\sigma}{\delta} \quad (1)$$

sendo:

- E – módulo de deformabilidade equivalente no topo da camada ensaiada calculado com a média de 10 repetições no mesmo local (kPa);
- d – diâmetro da placa (m);
- σ – tensão aplicada (kPa);
- δ – deflexão calculada com base no registo do geofone (m).

Por seu lado, a avaliação das características físico-mecânicas em profundidade baseou-se primeiramente na execução de ensaios DPSH (ISO 22476-2) no eixo da via para auscultação primária da compactidade. O ensaio consiste na cravação de uma ponteira normalizada através de golpeio provocado pela queda de um pilão de 63,5 kg caindo de 75 cm de altura. Os resultados são expressos pelo número de golpes necessários à penetração de 20 cm, N_{20DPSH} . Pela sua semelhança com o ensaio *Standard Penetration Test* (SPT), nomeadamente no que respeita à técnica de cravação do equipamento, massa do pilão, altura de queda e secção transversal do amostrador (SPT) e do cone (DPSH), que geram idêntica energia potencial, é possível aceder à parametrização geotécnica com base nas correlações estabelecidas com o ensaio SPT, conforme frequentemente referido na bibliografia da especialidade (Cruz, 2010; Muromachi & Kobayash, 1982). Para o efeito, os resultados obtidos com o DPSH (N_{20DPSH}) foram utilizados para estimar valores do SPT (N_{SPT}), através da relação:

$$N_{SPT} = 1,5 N_{20DPSH} \quad (2)$$

No presente caso, sempre que a compactidade se classificou como média a elevada ($N_{SPT} > 10$, $N_{20DPSH} > 6,5$) o módulo de deformabilidade foi deduzido directamente através de expressões empíricas associadas aos ensaios SPT (Castro, 1988). Para estados soltos a muito soltos ($N_{SPT} < 10$, $N_{20DPSH} < 6,5$), considerou-se que a determinação do valor do módulo é demasiado

grosseira a partir dos ensaios dinâmicos, procedendo-se para o efeito à execução de ensaios DMT (Figura 5), executados de acordo com a norma ISO 22476-11.



Figura 5 – Ensaio DMT: a) Lâmina de ensaio; b) Consola de leitura; c) Garrafa de gás pressurizado.

De uma forma resumida, o ensaio consiste na cravação estática da lâmina a velocidade constante ($2,5 \pm 0,5$ cm/s), interrompendo-se a mesma a cada 20 cm, de forma a proceder à expansão de uma membrana flexível, colocada no centro da lâmina. Nesta expansão são efectuadas as leituras (A, B e C) de pressões correspondentes a deslocamentos de respectivamente 0,05, 1,10 mm e descarga para a posição inicial, a que correspondem as pressões básicas P_0 , P_1 e P_2 , depois de deduzida a rigidez da membrana. Com base nestas pressões, na tensão efectiva vertical de repouso, σ'_{v0} , e na pressão hidrostática, u_0 , determinam-se os parâmetros de ensaio, nomeadamente Índice de Material (I_D), Módulo Dilatométrico (E_D), Índice de Tensão Horizontal (K_D) e Índice de Tensão Neutra (U_D), a partir dos quais é possível aceder a informação geotécnica variada, nomeadamente o tipo de solos atravessados, o seu peso volúmico, estado de tensão, ângulo de resistência ao corte e módulo de deformabilidade. A tensão efectiva necessária na determinação de K_D e na dedução de alguns parâmetros geotécnicos é obtida directamente a partir do ensaio através da determinação do peso volúmico dos terrenos atravessados. Esta determinação (Marchetti & Crapps, 1981) é efectuada a partir dos parâmetros intermédios I_D e E_D (isto é, do tipo de solo e da sua rigidez) e traduz-se por valores cuja variação em torno da referência (laboratorial) raramente é superior a ± 1 kN/m³ (Cruz et al., 2006).

O Índice de Material, I_D , é um índice extremamente versátil devido à sua capacidade para identificar os solos através de um valor numérico, o que permite a introdução da variável “tipo de solo” nas expressões de cálculo associadas à dedução dos parâmetros geotécnicos. Conforme referido por Marchetti (1980), I_D não representa o resultado de uma análise granulométrica, mas identifica o solo pelo seu comportamento mecânico, reflectindo consequentemente não só a quantidade de finos como a sua plasticidade, isto é, I_D pode ser visto como “*influenciómetro da acção dos finos*” no contexto do comportamento mecânico (Cruz, 2010). A experiência acumulada confirma o elevado nível de precisão em solos transportados, solos residuais e aterros, quando comparado com a classificação triangular de base granulométrica. No caso de aterros a análise da evolução do parâmetro I_D permite ainda evidenciar algumas fronteiras de referência com interesse no seu controlo (Cruz et al., 2006b), nomeadamente a tendência geral para valores de I_D superiores a 4 (solos arenosos) representarem solos arenosos mal graduados, valores variando entre 1,8 e 4,0 (siltes arenosos a areias siltosas) representarem solos o tipo SM-SC, A-1, A-2 (de acordo com as classificações Unificada e AASHTO, respectivamente), valores entre 1,0 e 1,8 (siltes argilosos a siltes) traduzirem solos com percentagens de finos em geral superiores a 50% com

baixa plasticidade e valores inferiores a 1,0 (argilas a argilas siltosas) revelarem solos com elevada percentagem de finos e plasticidade moderada a elevada.

O Índice de Tensão Horizontal, K_D , Marchetti (1980) pode ser visto como um coeficiente de impulso em repouso, K_0 , amplificado pelos efeitos da penetração da lâmina. Além disso, a forma da sua curva típica evidencia uma semelhança notável com a curva OCR, pelo que o parâmetro reflecte tanto o estado como a história de tensões. Esta realidade permite explorar com sucesso as relações *história de tensões-resistência não drenada* de solos argilosos e *coeficiente de impulso-ângulo de resistência ao corte* de solos arenosos, sendo naturalmente usado nas avaliações de resistência (Cruz, 2010). Este parâmetro tem vindo também a ser utilizado com sucesso na avaliação da presença de estruturas de cimentação e da respectiva magnitude (Marchetti, 1980; Marchetti et al., 2001, Cruz, 2010).

A avaliação da deformabilidade a partir do ensaio DMT é, talvez, a potencialidade de maior qualidade que o ensaio pode fornecer. A reconhecida elevada qualidade dos resultados obtidos fica principalmente a dever-se ao facto de o ensaio ser do tipo de deslocamento controlado (as extensões impostas aos solos são sempre idênticas), a membrana ser apenas um separador passivo solo-gás que se traduz em precisão de medida idêntica à precisão dos manómetros (no caso de 0,05 bar) e precisão mínima de 0,01 mm na medição do deslocamento (Marchetti et al., 2001). Por seu lado, o Módulo Dilatométrico, E_D , é deduzido com base em princípios da Teoria de Elasticidade (Gravesen, 1960), considerando que a expansão da membrana contra o solo envolvente pode ser comparada com o carregamento de uma área circular de um espaço elástico, traduzido pela seguinte expressão geral:

$$E_D = E / (1 - \nu^2) = 34,7 \Delta p \quad (3)$$

Partindo desta expressão Marchetti (1980) propõe a introdução de um factor de correcção multiplicativo, R_M , para dedução do módulo de deformabilidade confinado, M , que se justifica pelas perturbações na fase de penetração, pela direcção do carregamento ser horizontal (enquanto M é um módulo vertical) e pela influência que a história de tensões, estruturas de cimentação e tipo de solo exercem sobre a rigidez. Estas influências são adequadamente consideradas através da introdução dos parâmetros K_D e I_D nas expressões de cálculo de R_M . Uma vez determinado o módulo confinado (M), aplicando a Teoria da Elasticidade é possível obter o módulo de Young (E_{DMT}) e o módulo distorsional (G_{DMT}). Para um coeficiente de Poisson igual a 0,25 obtém-se $E_{DMT} \approx 0,8 M$ e $G_{DMT} \approx M/3$.

Finalmente, o Índice de Tensão Neutra (Lutenegger & Kabir, 1988) é um parâmetro relacionado com os efeitos da poro-pressão. No caso particular deste estudo, o parâmetro tem menor importância, uma vez que a avaliação é efectuada em ambientes não saturados.

De modo sumário, a informação resultante do modelo implementado é aquela indicada no Quadro 1, discriminada de acordo com as zonas ensaiadas e o tipo de ensaios realizados. Na Figura 6 apresenta-se um exemplo de um local de prospecção com toda a informação obtida, devidamente integrada. No gráfico da esquerda identifica-se o tipo de solos atravessado; no gráfico central apresentam-se os pesos volúmicos obtidos em laboratório (A_x e $A_x (dry)$) e a partir do ensaio DMT (DMT_x e $DMT_x (dry)$), e ainda o peso volúmico máximo, obtido no ensaio Proctor ($A_{x_{proct}}$); e no gráfico da direita os módulos de deformabilidade deduzidos dos ensaios DIP, DMT e DPSH. Relativamente a este último importa referir que a sua determinação é efectuada com recurso a vários tipos de equipamento, cujos resultados são obtidos através de diferentes metodologias e para diferentes níveis de extensão axial, nomeadamente intermédios (10^{-4} a 10^{-3}) no caso dos ensaios DIP e DMT e altos ($> 10^{-2}$) no caso do ensaio DPSH (Cruz, 2010; Monaco et al, 2009; Sabatini et al., 2002).

Quadro 1 - Informação resultante do modelo de prospecção implementado

Prospecção	Camada Superficial	Em Profundidade
Amostragem intacta	Peso volúmico, teor em água, peso específico dos sólidos, análise granulométrica, limites de consistência	---
DIP	Módulo de deformabilidade	---
DPSH	---	Ângulo de resistência ao corte, módulo de deformabilidade
DMT	---	Identificação do tipo de solo, peso volúmico, ângulo de resistência ao corte, módulo de deformabilidade (terrenos com $N_{20\text{ DPSH}} < 7$)
Amostra remexida	Proctor e CBR	---

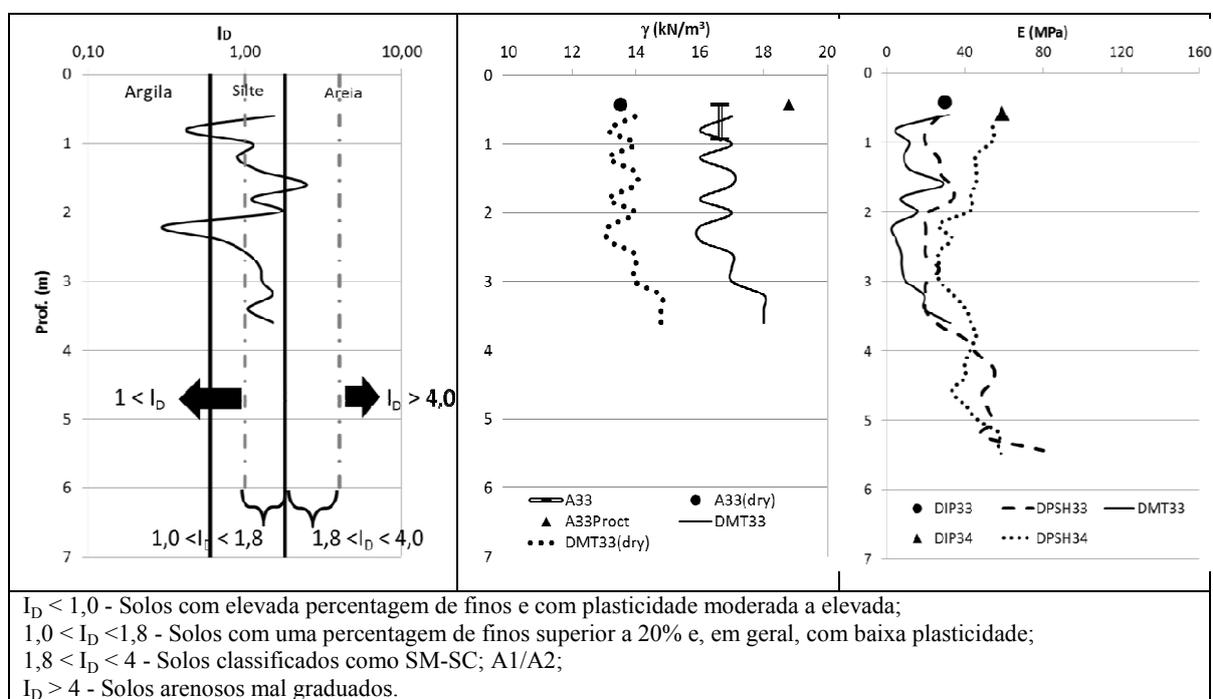


Figura 6. Exemplo dos diagramas de resultados obtidos

Na Figura 7 apresenta-se uma curva tipo de degradação de módulos enquadrando o nível de extensão associado às principais famílias de ensaios e as relações obtidas neste caso particular, que evidenciam esse enquadramento.

A integração de toda a informação deverá ser feita após eleger o intervalo de extensão interessado e, conseqüentemente, do ensaio de referência, e depois correlacionados os restantes resultados.

O modelo de prospecção integrada revelou grande eficiência ao nível da qualidade de resultados e tempos de execução (no seu conjunto o tempo de duração por cada ponto de prospecção superficial e em profundidade não ultrapassou as 2 horas), bem como nos custos associados, que se revelaram muito competitivos quando comparados com os de metodologias de prospecção mais correntes.

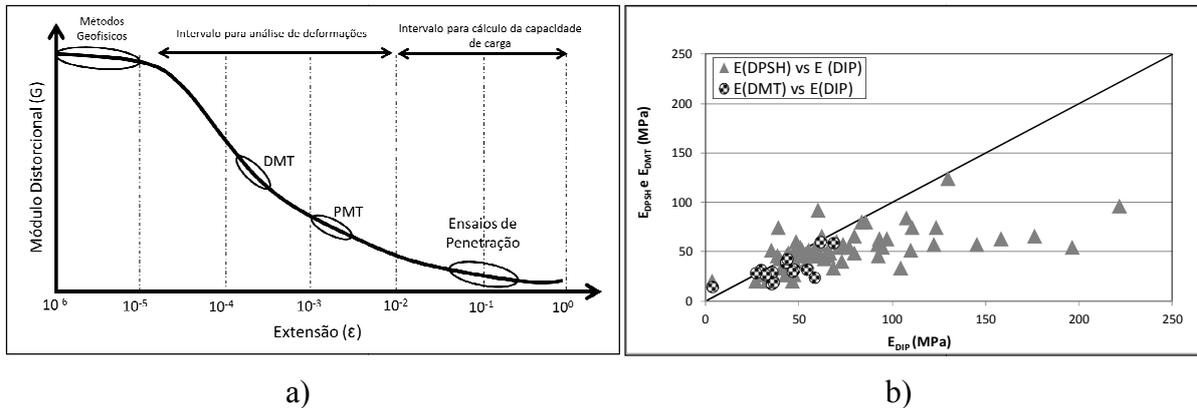


Figura 7. Módulos de Deformabilidade: a) Variação com o nível de extensão axial (ϵ); b) Comparações entre resultados de ensaio

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, baseado na caracterização destinada à reabilitação das vias-férreas das linhas de Nacala (Secção 5) e de Sena, foram apresentados e discutidos modelos de prospecção adequados à avaliação da camada de balastro, da camada superficial da fundação da via e dos terrenos em profundidade, num contexto de auscultação com a via em operação. De acordo com essa experiência é possível tecer o seguinte conjunto de considerações:

- Balastro - o Georadar revelou-se uma ferramenta de prospecção de grande utilidade, permitindo diferenciar com detalhe o balastro contaminado do não contaminado, em tipologia 2D; a realização de perfis 3D implica um consumo de tempo superior no processamento e interpretação, mas traduz uma avaliação de rigor muito mais elevado, sobretudo quando se pretendem calcular os volumes associados às camadas de balastro e de balastro contaminado;
- Camada superficial da fundação - a realização de ensaios com deflectómetro de impacto, acompanhada de recolha de amostra para caracterização laboratorial, permite uma avaliação das condições de compactação e do módulo de deformabilidade da camada superficial, que se processa de forma rápida no contexto de execução in-situ;
- Evolução em profundidade (compacidade média a elevada) – a evolução da rigidez em profundidade pode ser auscultada de modo contínuo através dos ensaios dinâmicos; nos casos em que os terrenos apresentem níveis de compacidade médios a elevados o recurso ao ensaio DPSH permite o estabelecimento de perfis contínuos de resistência e de rigidez com aproximação adequada ao tipo de análises correntes, sendo a dedução dos módulos de deformabilidade efectuada a partir dos dados deste ensaio, por correlação com resultados equivalentes de N_{SPT} ;
- Evolução em profundidade (compacidade baixa e zonas problemáticas) - nos casos de fraca compacidade e/ou zonas problemáticas considera-se que a aproximação via DPSH é demasiado grosseira, sugerindo-se a utilização de ensaios DMT, os quais permitem obter informação quasi-contínua com elevada qualidade, sobre os principais parâmetros de controlo de aterros, nomeadamente granulometria, plasticidade, peso volúmico e rigidez; além disso, permite ainda aceder a informação sobre a resistência e estado de tensão, o que poderá ter impacto significativo na caracterização dos solos naturais do terreno de fundação;

- e) A utilização conjunta de ensaios DIP, DMT e DPSH permite a obtenção de módulos de deformabilidade associados a níveis de extensão intermédios (DIP e DMT) e altos (DPSH); a integração de toda a informação deverá ser feita após eleger o intervalo de extensão interessado e, conseqüentemente, do ensaio de referência, e depois correlacionados os restantes resultados.
- f) Globalmente a experiência revelou-se profícua garantindo uma caracterização detalhada de elevada qualidade, realizada em tempos curtos, adequados à intervenção em vias-férreas em operação, e com nível de custos competitivo, relativamente aos custos associados a prospecção corrente neste tipo de situações.

REFERÊNCIAS

- Castro, G. (1988). *Penetrómetros. Penetrómetro estático tipo holandês (CPT). Penetrómetros dinâmicos (SPT e PDL ou (DPL)*. Informação Técnica, Geotecnia, ITG 11 - LNEC, Lisboa.
- Cruz, N. “Modelling geomechanics of residual soils by DMT tests”. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010. Portugal.
- Cruz, N., Devincenzi, M. & Viana da Fonseca, A. (2006a). “DMT experience in Iberian transported soils”. *Proc. 2nd International Flat Dilatometer Conference*, Washington, D.C., pp. 198-204.
- Cruz, N. Viana da Fonseca, A. Santos, J. (2006b). “Compaction control and stiffness evaluation of earthfills, by DMT”. *Geotechnical Luso-Brazilian Conference*. Curitiba, Brasil.
- Fortunato, E., (2005). Renovação de plataformas ferroviárias. Estudos relativos à capacidade de carga. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Gravesen, S. (1960). “Elastic semi-infinite medium bounded by a rigid wall with a circular hole”. Laboratoriet for Bygningsteknik, Danmarks Tekniske Hojskole, Meddelelse No. 10, Copenhagen.
- ISO22476-2, Geotechnical Investigation and Testing – Field Testing – Part 2: Dynamic Probing (2003).
- ISO/TS 22476-11 Geotechnical Investigation and Testing — Field testing — Part 11: Flat Dilatometer Test (2004).
- Lutenegger, A. J., Kabir, M. G. (1988). “Dilatometer C-reading to help determine stratigraphy”. *Proc. of Int. Symposium on Penetration Testing, ISOPT-1*, Orlando, FL, Vol. 1, pp. 549-554.
- Marchetti, S. (1980). “In-situ tests by flat dilatometer.” *J. Geotechnical. Eng. Div. ASCE*, 106, GT3, 299-321.
- Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G., Calabrese, M. (2001). “The flat dilatometer test (DMT) in soil investigations”. *TC 16. Int. Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*.
- Monaco, P., Marchetti, S.; Totani, G.; Marchetti, D. (2009). “Interrelationship between small strain modulus G_0 and operative modulus”. International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, Tokyo.
- Muromachi T.; Kobayash, S. (1982). " Comparative study of static and dynamic penetration tests currently used in Japan". Proc. 2nd European Symposium On Penetration Tests, ESOPT-2, Amsterdam, Netherlands.
- Sabatini, P.J., Bachus, R.C., Mayne, P.W., Schneider, J.A. & Zettler, T.E. (2002). “Evaluation of soil and rock properties”. FHWA-IF-02-034. Federal Highway Admin., Washington.