

MODERNIZAÇÃO DA LINHA DA BEIRA ALTA - CARACTERIZAÇÃO, ZONAMENTO E TRATAMENTO DA PLATAFORMA FERROVIÁRIA

BEIRA ALTA RAILWAY LINE – PLATFORM CHARACTERIZATION AND ZONING

Lopes, Henrique, *TPF Consultores, Lisboa, Portugal*, henrique.lopes@tpf.pt
Rodrigues, Nelson, *TPF Consultores, Lisboa, Portugal*, nelson.rodriques@tpf.pt
Peniche, Bárbara, *TPF Consultores, Lisboa, Portugal*, barbara.peniche@tpf.pt
Costa, Ana, *TPF Consultores, Lisboa, Portugal*, ana.costa@tpf.pt
Santos, Jaime; *TPF Consultores, Lisboa, Portugal*, jaimesantos@tpf.pt
Monteiro, Bernardo, *IP, S.A., Lisboa, Portugal*,
bernardo.monteiro@infraestruturasdeportugal.pt
Cardoso, Ana, *IP, S.A., Lisboa, Portugal*, ana.cardoso@infraestruturasdeportugal.pt

RESUMO

A plataforma de via constitui a superfície de apoio das camadas constituintes da designada superestrutura ferroviária, pelo que o seu desadequado desempenho coloca em causa o bom funcionamento da infraestrutura, resultando em perdas para a exploração.

No presente artigo descreve-se, em primeiro lugar, a metodologia de classificação e de zonamento da atual plataforma ferroviária da Linha da Beira Alta, entre Mangualde e Vilar Formoso, com recurso ao cruzamento de várias informações provenientes quer da prospeção geotécnica quer da exploração e manutenção e, em segundo lugar, os estudos desenvolvidos tendo em vista a otimização das espessuras de tratamentos recomendadas na ficha UIC 719-R, de modo a otimizar os prazos e os custos da intervenção.

ABSTRACT

The railway platform is the upper surface of the subgrade and forms the foundation of all the superstructure. The inappropriate behaviour of this element results in deficiencies in the trackbed layers, usually with consequences to the exploitation.

This paper starts by presenting the methodology to classify and the zoning of the current platform of the Beira Alta Railway Line, between Mangualde and Vilar Formoso, based on different kinds of elements, compiled from geotechnical investigation works and maintenance reports. It follows by showing the studies developed to reduce the thickness of the prepared subgrade layer, with the main purpose of optimizing costs and time of execution.

1. INTRODUÇÃO

A camada de coroamento constitui a camada mais superficial da designada subestrutura ferroviária, constituindo a fundação da camada de sub-balastro, e parte integrante da superestrutura. A camada de coroamento, também designada por camada de forma, deverá apresentar uma rigidez adequada e uma capacidade resistente suficiente para suportar o carregamento induzido pela passagem das circulações, promovendo a degradação gradual das cargas transmitidas ao solo subjacente, de pior qualidade, para que daí não resultem assentamentos excessivos

que comprometam o desempenho de toda a superestrutura, em geral materializados pelo desalinhamento e desnivelamento dos carris.

A ocorrência de uma camada de coroamento constituída por materiais desadequados, resulta na obtenção de plataformas cujo deficiente comportamento pode condicionar consideravelmente o desempenho da superestrutura, já que a plataforma de via, e em especial a camada de coroamento, constituem a sua fundação. Para além da adequabilidade dos materiais para a sua utilização ao nível da camada de coroamento, é importante que estes, após a sua aplicação, apresentem uma rigidez adequada, não devendo esta ser demasiado reduzida ou, por outro lado, demasiado elevada. Em relação ao primeiro caso, Lavaredas et al. (2009) referem problemas ao nível do conforto e segurança, resultado das dificuldades em manter o nivelamento longitudinal. Por outro lado, os mesmos autores referem que plataformas demasiado rígidas poderão, eventualmente, levar a um maior desgaste dos carris, no contacto travessa balastro e no seio do próprio balastro.

A avaliação da capacidade de carga da plataforma ferroviária tem por base valores mínimos de módulo de deformabilidade equivalente, medidos no topo de cada uma das camadas que constituem a infraestrutura ferroviária. As recomendações UIC 719-R, definem um conjunto de valores mínimos para o módulo de deformabilidade no segundo ciclo de carga, os quais deverão ser garantidos para que o desempenho seja o adequado. Assim, segundo aquelas recomendações, deverão ser alcançados valores de E_{v2} de pelo menos 60 MPa ao nível da fundação, 80 MPa no topo da camada de coroamento e, por fim, 120 MPa no topo da camada de sub-balastro.

No âmbito do projeto de Modernização da Linha da Beira Alta procedeu-se ao zonamento da atual plataforma, com o objetivo de identificar zonas com eventuais características deficientes para as quais se pretendia propor tratamento visando o alcance de uma plataforma maioritariamente de boa qualidade, ou seja, de classe P3, como requerido no caderno de encargos.

Os tratamentos propostos, materializados pela substituição de materiais, revelaram rapidamente constituir um dos caminhos críticos do faseamento executivo. Isto resultou na necessidade de otimizar as espessuras propostas pela *International Union of Railways* na sua ficha UIC 719-R, com o objetivo de, em primeiro lugar, reduzir os tempos de execução das obras, e, em segundo, otimizar os custos associados a estes tratamentos.

O presente artigo pretende apresentar, de forma resumida, a metodologia adotada para definição do zonamento e os estudos desenvolvidos para otimização das espessuras de tratamento a aplicar nas zonas com deficiente comportamento.

2. ZONAMENTO DAS CONDIÇÕES DA PLATAFORMA ATUAL

2.1. Plano de prospeção para auscultação da plataforma

Tendo como desiderato a caracterização da atual plataforma ferroviária, foi desenvolvida uma campanha de prospeção e ensaios que englobou a execução de um conjunto de poços de auscultação da plataforma de via, PAV, aos quais se associou a realização de ensaios de carga com placa, ECP, penetrómetros dinâmicos ligeiros e colheita de amostras remexidas para execução de uma bateria de ensaios de identificação.

Durante a execução da escavação dos poços foram medidas as espessuras de balastro limpo e contaminado, referenciadas à base da travessa, e descritos os materiais ocorrentes ao nível da plataforma. Sob a plataforma, isto é, abaixo do balastro, ou do balastro contaminado caso existisse, foram realizados os ensaios de placa e os penetrómetros dinâmicos ligeiros. Por fim, em laboratório, as amostras colhidas foram sujeitas a ensaios para determinação da curva granulométrica, densidade das partículas sólidas, teor em água, equivalente de areia e valor de azul de metileno.

A seleção das zonas a caracterizar foi realizada de forma criteriosa, em virtude dos condicionalismos existentes, em particular os relacionados com a exploração. Os trabalhos de prospeção, realizados com equipamento carrilado, desenvolveram-se unicamente em interdição de via, durante a noite, devendo no final do período de trabalhos estar a via apta à passagem das circulações. Tal facto levou a que os trabalhos se prolongassem durante períodos de tempo maiores, cerca de um poço por noite, o que nem sempre se coadunou com os prazos de execução dos estudos. Por forma a suplantar esta questão, tentou-se otimizar as quantidades de trabalho, mantendo uma distribuição relativamente homogénea dos PAV ao longo do traçado, dando, contudo, prioridade às zonas onde os relatórios de manutenção e o levantamento da qualidade de via denunciavam problemas, eventualmente, relacionados com a plataforma.

2.2. Resultados obtidos e sua discussão

Os poços de auscultação da plataforma de via revelaram, na maioria dos casos, a existência de dois níveis de balastro, um designado por balastro contaminado, associado à contaminação do balastro com material fino, e outro designado por balastro limpo onde, como o próprio nome indica, não existam sinais de contaminação por material fino.

Ao longo do troço em análise o balastro, contaminado apresentou uma espessura variável entre 10 e 38 cm, não tendo sido intersetado nos PAV executados nos troços limitados pelos pontos quilométricos 129+700-135+000, 192+500-199+000 e 218+000-228+300. O balastro limpo, ocorrente sobre o anterior, apresentou uma variação de espessura entre 10 e 60 cm, estando na grande maioria dos casos acima do mínimo de 30cm, referenciados à base da travessa.

Da análise conjunta dos resultados, constatou-se uma ligeira tendência para valores mais reduzidos, parte deles abaixo de 30 cm, entre os Pk 129+700 e 133+900, Mangualde-Mourilhe, e 144+700 e 170+550, Gouveia Gare-Fornos de Algodres. Em contraponto, após o Pk 184+000, isto é, sensivelmente a partir da estação de Vila Franca das Naves, as espessuras de balastro apresentaram-se consistentemente acima de 30 cm, cenário este observado até Vilar Formoso, cerca do Pk 252+000.

No que se refere aos materiais constituintes da camada de balastro concluiu-se, tanto com base nos reconhecimentos geológicos de superfície, como com base nos poços realizados, que esta é, em regra geral, de natureza granítica, verificando-se muito pontualmente a existência de alguns fragmentos de natureza calcária.

Os materiais existentes ao nível da camada de forma teórica, na maior parte dos casos abaixo do balastro contaminado, tratam-se de solos de alteração de origem granítica (saibros), sendo constituídos por grandes quantidades de feldspato, moscovite e biotite, como denunciam os valores de densidade de partículas sólidas, e

quartzo em menores quantidades, facto este resultante da natureza monzonítica do maciço rochoso existente. Sob ponto de vista granulométrico, na generalidade dos casos, tratam-se de areias médias a grossas, exibindo frações finas variáveis entre 5 e 25%.

Segundo a Classificação Unificada de Solos, cerca de 75% das amostras colhidas são areias siltosas, da classe SM, que se caracterizam por boa trabalhabilidade e baixa compressibilidade quando saturadas e compactadas. Ainda que estes materiais tenham presença generalizada ao nível da camada de forma, observou-se, entre os Pk 174+500 e 183+100, uma divergência para materiais das classes GP-GM, SW-SM e SP-SM, caracterizados por razoável a excelente trabalhabilidade e compressibilidade baixa a desprezável quando saturados e compactados.

A classificação GTR, aplicada considerando o índice de Plasticidade, *IP*, dos materiais e a dimensão da fração que passa os peneiros nº200 e nº40, indica a predominância de solos de classe B5, cerca de 60%, correspondentes, segundo a mesma classificação, a solos insensíveis à presença de água, tendo ainda sido identificados solos das classes D1, D2 e B2.

De acordo com a Classificação para Fins Rodoviários os materiais ensaiados são maioritariamente solos A-1-b(0), cerca de 85%, enquadrando-se os restantes na classe A-1-a(0), em qualquer um dos casos com boas características para aplicação ao nível da camada de forma ou coroamento, segundo a mesma classificação.

Por fim, da aplicação da classificação proposta nas recomendações UIC719-R (Figura 1), definida especificamente para fins ferroviários, concluiu-se que cerca de 80% dos materiais ocorrentes nas zonas prospetadas constituem solos do tipo QS2 ou QS1 (qualidade média ou medíocre), ocorrendo os materiais QS3, isto é, de boa qualidade, apenas em cerca de 20% dos PAV executados. Esta classificação, por via da sua exigência no que se refere ao teor em finos, restringe grandemente o espectro de aplicabilidade dos materiais ao nível da camada de forma. Em suma, a utilização da classificação especificada na ficha UIC 719-R coloca no grupo dos solos desadequados um conjunto de materiais que, segundo outras classificações, apresentariam adequadas características para materializarem a camada de forma ou coroamento. Tal facto é bastante evidente no presente caso se se compararem as diferentes classificações. É clara e amplamente reconhecida a adequabilidade dos solos SM, A-1-a(0) ou A-1-b(0) para camadas de forma ou coroamento, todavia os materiais com esta classificação recaem frequentemente dentro das classes QS2 ou QS1 com as quais a obtenção de uma plataforma P3, dita de boa qualidade, não é possível.

No que concerne ao módulo de deformabilidade no segundo ciclo de carga, verificou-se um certo padrão para valores inferiores a 80 MPa na primeira metade do traçado, isto é, até ao Pk 190+000, passando depois a cumprir o Ev_2 mínimo a partir daquele ponto quilométrico, salvo raras exceções (Figura 2).

Os valores mais elevados associam-se em grande parte aos troços alvo de total modernização no final do século XX, designadamente entre o Pk 173+800 e o Pk 198+000 e entre o Pk 204+500 e o final da Linha, em Vilar Formoso, onde os valores obtidos se situaram entre 80 e 150 MPa. Por outro lado, os troços mais críticos foram identificados com maior significado no primeiro e segundo terço do traçado, com claro adensamento ao longo do primeiro, limitado pelos Pk 129+000, a sul da estação de Mangualde, e 173+800, junto ao apeadeiro do Baraçal. Neste troço os valores foram

objetivamente deficientes, da ordem dos 40 a 60 MPa, chegando ao mínimo de 28 MPa cerca do Pk 148+000.

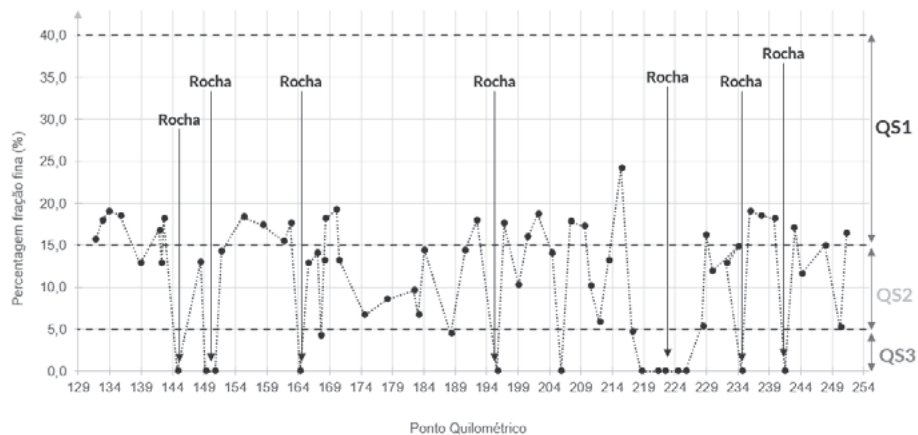


Figura 1 – Percentagem de finos dos materiais ocorrentes nos poços realizados ao longo do traçado

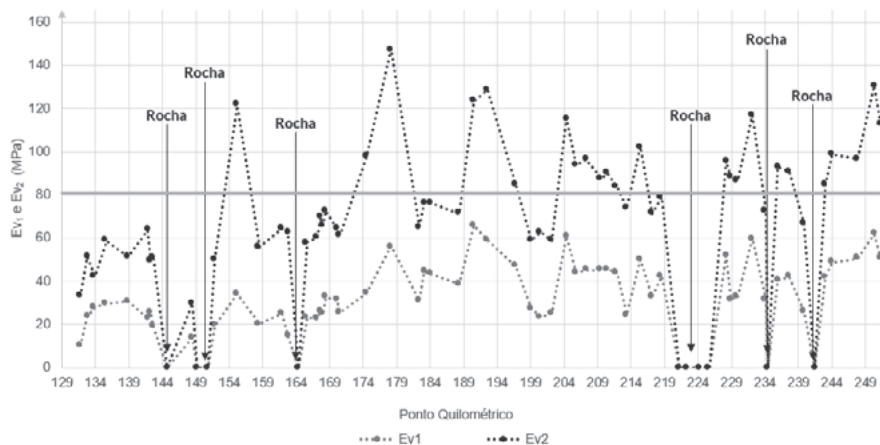


Figura 2 – Módulo de deformabilidade no primeiro e segundo ciclo de carga ao longo do traçado

Os resultados do ensaio de penetrômetros dinâmicos ligeiros revelaram uma camada superficial com espessura variável entre 0,10 e 0,40 m, abaixo da qual o equipamento esgota com frequência a sua capacidade ou, nalgumas situações, ocorre uma diminuição na resistência à penetração. No primeiro caso, nas zonas em escavação, tal facto estará naturalmente relacionado com a interseção do maciço rochoso mais são. Nas zonas em perfil misto ou aterro, o esgotamento da capacidade do equipamento será resultado ou da interseção do substrato rochoso, muito alterado ou não, já que estamos em presença de um equipamento ligeiro, ou, por outro lado, da ocorrência ao nível da nega de um bloco rochoso de maiores dimensões que impossibilita o avanço da ponteira.

3. ZONAMENTO

3.1. Critérios

Para a conceção do zonamento da atual plataforma, o gabinete projetista definiu um conjunto de critérios hierarquizados a considerar para a definição das diferentes

classes de zonamento. A base de partida foi o especificado na ficha UIC 719-R, em particular a tipologia dos materiais ocorrentes ao nível da camada de coroamento teórica, a que se somou o índice de qualidade de via (QN) e os dados disponíveis nos relatórios de manutenção. Preferencialmente, o zonamento foi definido diretamente a partir dos elementos obtidos na prospeção. Não obstante, tratando-se estes de elementos discretos, cuja representatividade não podia ser garantida ao longo de todo o traçado, recorreu-se, como segundo critério, aos restantes elementos disponíveis, designadamente ao índice de qualidade de via e ao relatório de manutenção. Neste último caso, foi dada ênfase aos troços com registos de presença de fenómenos de bombagem de finos e de contaminação do balastro, fosse esta visível à superfície ou identificada por georadar. Como critério de projeto, ainda que esta questão não se refletisse diretamente na classificação da plataforma, assumiu-se que os materiais ocorrentes ao nível da fundação apresentariam características idênticas aos materiais da plataforma, ou seja, que para o pior cenário de projeto, a fundação da camada de forma ou de coroamento seria feita sobre materiais idênticos aos da plataforma, hipótese esta que se validou no decorrer dos reconhecimentos geológicos de superfície.

A classificação propriamente dita foi então definida à semelhança do especificado nas recomendações UIC 719-R, dividindo-se em três grandes classes, uma de boa qualidade, P3, outra de qualidade média, P2, e uma terceira medíocre, P1. Relativamente à classe P2 optou-se, no decorrer do projeto, por proceder a uma adaptação da Classificação UIC, efetivada pela criação de duas subdivisões para a classe em causa. Assim, onde a classe de plataforma se enquadrava dentro dos parâmetros de P2, segundo a UIC 719-R, e o módulo de deformabilidade E_{v2} era inferior a cerca de 80 MPa, convencionou-se chamar zonas plataforma tipo P2-. Por outro lado, nas zonas onde a plataforma era do tipo P2 e onde o módulo de deformabilidade E_{v2} era superior a cerca de 80 MPa convencionou-se chamar plataformas P2+.

No quadro 1 apresentam-se os critérios adotados para a definição das diferentes classes de plataforma.

Quadro 1 – Critérios de classificação da plataforma

Classe de Plataforma	Critérios
P1	<ul style="list-style-type: none"> Solos de tipologia QS1 Zonas QN3
P2-	<ul style="list-style-type: none"> Solos de tipologia QS2, em aterro, sem possibilidade de melhoria das condições hidrogeológicas. Zonas QN2 ou com eventuais problemas de bombagem de finos Solos de tipologia QS2 com possibilidade de melhoria das condições hidrogeológicas, mas com $E_{v2} < 80$ MPa Solos de tipologia QS3, mas com $E_{v2} < 80$ MPa
P2+	<ul style="list-style-type: none"> Solos de tipologia QS2 em escavação com possibilidade de melhoria das condições hidrogeológicas através da introdução de drenagem profunda e com $E_{v2} > 80$ MPa Solos de tipologia QS2 em aterro com $E_{v2} > 80$ MPa
P3	<ul style="list-style-type: none"> Solos de tipologia QS3 com $E_{v2} > 80$ MPa Zonas QN1

3.2. Resultados

Com base nos elementos anteriormente referidos definiu-se o zonamento da plataforma, do qual resultou uma predominância da plataforma P3, sobretudo devido

às zonas de trincheira rochosa, onde a camada existente abaixo da cota do balastro apresenta reduzida espessura e onde o objetivo primordial era garantir uma superfície de apoio regular para a superestrutura. Esta camada, em virtude da sua reduzida espessura, tem um baixo contributo para a deformabilidade da plataforma.

As zonas classificadas dentro das classes P2 e P1 são essencialmente enquadradas em perfis mistos ou de aterro, onde os materiais ocorrentes abaixo do balastro correspondem a solos enquadrados nas classes QS2 e QS1.

No Quadro 2 apresenta-se a síntese da distribuição das várias classes de plataforma ao longo do troço da Linha da Beira Alta entre Mangualde e Vilar Formoso, com indicação das extensões totais onde ocorrem os diferentes tipos de classe de plataforma. Este quadro reflete o zonamento da linha existente após retirados os troços abandonados e substituídos por variantes, onde a plataforma atual será abandonada na totalidade. O zonamento alcançado permitiu concluir que a plataforma de via correspondia, em cerca de 72% à classe P3, ou seja, plataforma de boa qualidade, sendo os restantes 28% incluídos nas restantes classes, isto é, P1, P2+ e P2-.

Quadro 2 – Zonamento da plataforma

Classe de Plataforma	Extensão (m)	Percentagem (%)
P1	8862	7
P2-	15631	13
P2+	9265	8
P3	87724	72
Totais	121481	100

4. TRATAMENTO DE PLATAFORMA

Com base no zonamento obtido foi possível definir as zonas alvo de tratamento da plataforma, considerando-se como passíveis de tratamento os troços classificados como P1 e P2-, prevendo-se para o efeito dois tipos de tratamento: escarificação e recompactação dos materiais constituintes da atual camada de forma, ou saneamento e substituição dos materiais ocorrentes. O primeiro incidiu nas zonas onde os solos da plataforma, embora enquadrados na classe QS3, tinham um E_{v2} inferior a 80 MPa, isto é, plataforma P2-. O segundo seria aplicado em todos os restantes casos onde a plataforma fosse P2- e P1.

Ao longo das diferentes fases de estudo, tal como referido anteriormente, foi-se verificando que o tratamento por substituição nas espessuras previstas na UIC719-R, em particular para as plataformas P1, poderia introduzir, em fase de obra, constrangimentos importantes no prazo de execução, razão pela qual tornou clara a necessidade de estudar uma solução alternativa à proposta nas recomendações UIC 719-R. Assim, e com esse objetivo, desenvolveu-se uma análise paramétrica para a qual se consideraram diferentes espessuras de camada de coroamento e fez variar o módulo de deformabilidade.

Nos subcapítulos seguintes apresenta-se a metodologia adotada, baseada nos trabalhos desenvolvidos em Fortunato et al. (2001) e Marcelino et al. (2006).

4.1. MODELAÇÃO NUMÉRICA

No âmbito do presente estudo modelou-se o ensaio de carga de placa com recurso ao método dos elementos finitos, adotando-se como metodologia base a apresentada em

Fortunato et al. (2001) e Marcelino et al. (2006). Com esse propósito foi construído um modelo em elementos finitos, no qual se modelaram a fundação, a camada de forma e a camada de sub-balastro. No topo do sub-balastro foi modelada uma placa circular, com diâmetro de 600 mm, sobre a qual foi aplicada a carga normativa para o ensaio de placa. Para cada uma das análises numéricas obteve-se o deslocamento vertical sob a placa, com base no qual foi determinado o módulo de deformabilidade do conjunto sub-balastro, coroamento e fundação.

Os cálculos foram executados no *software* Plaxis 2D v2016.01 considerando um modelo axissimétrico e uma malha de elementos finitos composta por 1032 elementos triangulares de 15 nós. No que se refere às condições de fronteira, considerou-se o topo do modelo livre, permitindo deslocamentos verticais e horizontais, restringindo-se os deslocamentos horizontais no limite direito e no eixo de revolução do modelo. Por fim, considerou-se a inexistência de deslocamentos ao nível da base. O carregamento imposto à placa pelo macaco hidráulico foi modelado como uma carga distribuída, aplicada verticalmente e sem excentricidade, correspondente a uma tensão de 250 kPa de acordo com o referido nas normas de referência. O Quadro 3 resume os parâmetros mecânicos considerados para a modelação da placa

Quadro 3 – Parâmetros mecânicos da placa segundo Khanal (2013)

Parâmetro	Valor	Unidade
Tipo de comportamento	Elástico linear	-
Coefficiente de Poisson (ν)	0,3	-
Rigidez axial (EA)	$1,0 \cdot 10^8$	kN·m ⁻¹
Rigidez à flexão (EI)	$2,08 \cdot 10^6$	kN·m ² ·m ⁻¹

A avaliação do módulo de deformabilidade equivalente foi efetuada através dos assentamentos obtidos sob a placa nas diferentes análises numéricas, sendo o seu valor determinado com base no assentamento da placa de geometria circular, rígida, tendo por base a solução de Boussinesq.

Os materiais constituintes foram modelados através de um modelo constitutivo elástico linear. O estudo recorreu a uma análise paramétrica onde se fizeram variar a espessura e módulo de deformabilidade da camada de coroamento, mantendo-se fixos os parâmetros relativos à fundação e à camada de sub-balastro.

Os parâmetros adotados foram considerados tendo como referência valores disponíveis na bibliografia de referência, designadamente Khanal (2013), UIC (2008), Marcelino et al. (2006) e Fortunato (2005), apresentando-se no Quadro 4 o resumo dos valores adotados nas análises numéricas efetuadas.

Quadro 4 - Parâmetros dos materiais

	Sub-balastro	Coroamento	Fundação	Unidades
Tipo de comportamento	Elástico linear	Elástico linear	Elástico linear	-
Espessura	0,15	0,15 – 0,35	4,65 – 4,85	m
Peso Volúmico	19	21	19,5	kN·m ⁻³
Coefficiente de Poisson	0,3	0,3	0,3	-
Módulo de deformabilidade	300	70 - 450	60	MPa

4.2. RESULTADOS OBTIDOS

Para cada uma das 128 análises numéricas foi obtido o assentamento sob a placa, u , para diferentes espessuras e módulos de deformabilidade da camada de forma. Com

base nestes resultados foi construído um ábaco de dimensionamento que permite avaliar e determinar, em função do módulo de deformabilidade dos materiais que constituem a camada de coroamento, qual a espessura a adotar para aquela camada de modo a satisfazer um determinado módulo de deformabilidade equivalente ou global no topo do sub-balastro. Este ábaco de dimensionamento, apresentado na Figura 3, tem por pressuposto base que a camada de sub-balastro apresenta 15 cm de espessura e que o módulo de deformabilidade do sub-balastro e da fundação são de 300 MPa e 60 MPa, respetivamente.

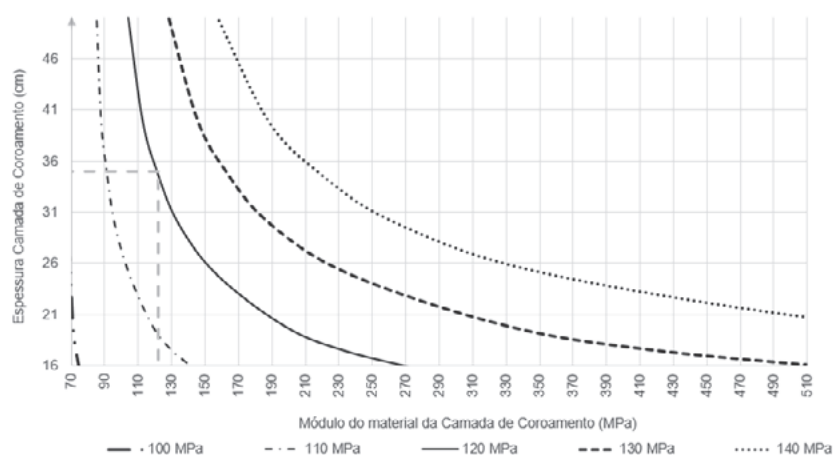


Figura 3 - Ábaco de dimensionamento da camada de coroamento, para fundação com $E=60$ MPa, sub-balastro com 0,15m de espessura e $E=300$ MPa

Considerando o valor normativo para o módulo de deformabilidade a obter no topo do sub-balastro, isto é 120 MPa, foi adotada a curva apresentada a cheio na figura anterior. Conservativamente, tendo em consideração que as condições verificadas em obra podem diferir das consideradas no presente estudo, seja por questões ligadas aos próprios materiais, seja por questões ligadas à compactação, considerou-se prudente a adoção de um valor de Ev_2 para a camada de coroamento da ordem dos 120-130MPa, daí resultando a necessidade de recorrer a uma camada de coroamento de cerca de 0,35m.

5. NOTAS FINAIS

A plataforma de via tem uma grande influência no comportamento da superestrutura ferroviária, pelo que o seu adequado desempenho é fundamental para evitar deficiências na superestrutura, em geral denunciadas pelo alinhamento e nivelamento dos carris.

A obrigatoriedade de garantir, no âmbito do projeto de Modernização da Linha da Beira Alta, uma plataforma de boa qualidade, ou seja, da classe P3, levou à necessidade de estabelecer um zonamento específico com o objetivo de identificar as zonas onde seria necessário reforçar ou tratar a atual camada de forma. Este zonamento foi definido de forma ponderada, tendo como base a classificação proposta na ficha UIC 719-R, a qual foi adaptada através da introdução de um conjunto de critérios específico para que esta melhor se ajustasse ao caso de uma via férrea existente. Assim, para além da tipologia dos materiais constituintes da camada de forma e da sua fundação, parâmetros base para aquela classificação, foram considerados ainda os valores de Ev_2 , o índice de qualidade de via, QN, e relatórios de inspeção. Estes elementos adicionais permitiram obter um zonamento em contínuo,

mais adaptado ao cenário de uma linha existente, onde as questões relacionadas com a baixa densidade de prospeção e, naturalmente, com a sua representatividade, foram minimizados.

Com a definição do zonamento e a posterior análise dos seus resultados ficou evidente para o projetista e para o dono de obra, o peso dos trabalhos de reforço/tratamento de plataforma no faseamento e no prazo de execução do empreendimento. Esta problemática assumia particular importância nos trechos com piores características, isto é, nos troços P1, onde, segundo a ficha UIC 719-R, seria necessário o saneamento de 0,50 m e a substituição por solos de classe QS3 para obtenção de uma plataforma P3. Com o objetivo de reduzir os tempos de execução foi estudada a otimização das espessuras de tratamento, alcançando-se uma espessura de 0,35 m, tanto para plataformas P2- como P1, o que resultou numa redução de cerca de 15 cm nas zonas classificadas como P1. Os estudos de otimização foram desenvolvidos através de metodologias propostas na bibliografia, em particular em Fortunato et al. (2001), considerando um comportamento elástico linear, ainda que existam metodologias mais recentes, designadamente a proposta em Marcelino (2006), onde é considerada a não linearidade dos materiais de sub-balastro. Esta última metodologia, ainda que mais atual, não foi aplicada em virtude da caracterização disponível para os materiais não ser, no presente caso, suficiente.

Os trabalhos desenvolvidos permitiram ainda uma ampla discussão da equipa técnica, o que resultou na obtenção de uma metodologia de projeto adaptada às condições particulares de uma ferrovia existente com as singularidades da Linha da Beira Alta. O resultado final foi considerado equilibrado, com os tratamentos a incidirem nos troços com antecedentes de comportamento deficiente. Estes estudos revelaram também a existência de um desalinhamento das diferentes classificações geotécnicas para os solos no que respeita à adequabilidade dos materiais para aplicação em camadas de coroamento. Considera-se que esta é uma questão de fulcral importância que deve merecer investigação para trabalhos futuros, tendo ficado claro que o perfil obtido da aplicação da classificação dos materiais segundo a ficha UIC 719-R, face a outras classificações, resulta bastante restritivo. Com efeito, este indica com frequência a inadequabilidade de determinados materiais que, de acordo com outras classificações, resultariam claramente adequados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fortunato, E.; Pinelo, A. e Mateus da Silva, J., (2001). The strengthening and upgrade of railway infrastructures. Geotechnical aspects, *Proc. XVth ICSMGE*, pp.2069-2072, (3), Istambul. Balkema.
- Fortunato, E. (2005). Renovação de Plataformas Ferroviárias, Estudos Relativos à Capacidade de Carga. Porto: Uiversidade do Porto-Faculdade de Engenharia
- Khanal, S. (2013). Backcalculation of Plate Loading Tests using Plaxis 2D and Hardening Soil Model. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology
- Lavaredas, J.; Mateus, F. e Ferreira, L., (2009). A Geotecnia no Projeto Ferroviário, *FerrXXI*, 33, 34-41
- Marcelino, J.; Fortunato, E. e Pinelo, A., (2006). Dimensionamento analítico de camada de reforço em plataformas ferroviárias, *III Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia*, Curitiba Brasil.
- Union Internationale des Chemins de Fer (2008). UIC Code 719R Earthworks and track bed for railways lines. Union Internationale des Chemins de Fer.