



## **Reabilitação de infraestruturas ferroviárias mediante o tratamento das plataformas**

**JOANA MARIA PEREIRA DE MACEDO**

Novembro de 2017



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA



## **Reabilitação de infraestruturas ferroviárias mediante o tratamento das plataformas**

**Joana Maria Pereira de Macedo**



**isep** Instituto Superior de Engenharia do Porto

**P.PORTO**

**2017**

(página propositadamente em branco)



**Instituto Superior de Engenharia do Porto**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

## **Reabilitação de infraestruturas ferroviárias mediante o tratamento das plataformas**

**Joana Maria Pereira de Macedo**

**1950245**

*Projeto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente**, realizado sob a orientação do Doutor António Agostinho Martins Mendonça, Professor Adjunto convidado do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.*

(página propositadamente em branco)

*A quem me substituiu como Mãe quando este trabalho  
me privou de estar presente...*

(página propositadamente em branco)

## **Agradecimentos**

Não foi sem dificuldades que surgiu este trabalho, fossem académicas, familiares ou profissionais, mas o objetivo de criar um documento com suporte e inspirado esteve sempre presente. É por isso devida uma palavra sincera de apreço ao meu orientador de mestrado, Professor António Agostinho Martins Mendonça (DEG|ISEP).

E porque são 16 anos ao serviço de uma casa que me viu crescer e que me acompanhou em todo este processo, não poderia deixar de agradecer à Mota-Engil – Engenharia e Construção, com especial atenção às áreas ferroviárias e de geotecnia assim como ao meu elo de ligação, o Engenheiro Francisco Asseiceiro.

Agradeço aos meus filhos José e Amélia pela paciência que tiveram com as ausências da Mãe e em especial ao meu marido, Eng.º José Fidalgo, que foi o único que sempre me disse para continuar porque seria capaz.

(página propositadamente em branco)

**Palavras-chave**

Plataforma ferroviária, tratamento de plataformas, injeções, modelo de decisão, análise de risco.

**Resumo**

Com este trabalho abordar-se-á a reabilitação de infraestruturas ferroviárias através do tratamento das plataformas, inserida num modelo de decisão económico, técnico e de condicionalismos ferroviários com especial enfoque às injeções de caldas cimentícias e á avaliação do risco inerente á tomada de decisões.

Para dar origem a este modelo de decisão foi preciso realizar um estudo profundo sobre as características estruturais da via-férrea abrangendo os esforços a que está sujeita e o seu posterior dimensionamento, agrupado num modelo padrão com objetivos comparativos futuros, recorrendo a normativos europeus e nacionais. Na sua criação foi também necessária a abrangência da prospeção prévia e da sua importância, manifestada neste documento pelos casos de obra de Nacala e do Sena em Moçambique e sempre presente em toda a análise conclusiva do documento.

Está ainda presente neste documento uma análise económica aos custos inerentes ás atividades de reabilitação geotécnica de plataformas ferroviárias assim como foi criado um modelo de decisão sobre as melhores soluções de reabilitação e as suas condicionantes onde foram identificadas as principais patologias e os respetivos tratamentos em plataformas ferroviárias e predispostos numa hierarquia subjacente aos conceitos técnicos, onerosos, temporais e de risco, garantindo uma consulta intuitiva e esclarecedora para o objetivo definido à partida.

**Keywords**

Railway platform, treatment platforms, injections, decision model, risk analysis.

**Abstract**

This work will address the geotechnical rehabilitation of railway platforms through the reinforcement of the foundation soils, inserted in a model of economic, technical and railway constraints with a special focus on the injections of cement grouts and the assessment of inherent risk of decisions.

In order to give rise to this model of decision, an in-depth study was carried out on the structural characteristics of the railroad, covering the efforts to which it is subject and its later dimensioning, grouped in a standard model with future comparative objectives, resorting to European and national regulations. In its creation, it was also necessary to extend the scope of the preliminary exploration and its importance, manifested in this document by the cases of Nacala and Sena in Mozambique and always present in all the conclusive analysis of the document.

This document also includes an economic analysis of the costs inherent in the activities of geotechnical rehabilitation of railway platforms, as well as a decision model was created on the best rehabilitation solutions and their conditions where the main pathologies and the respective treatments in railway platforms were identified and predisposed in a hierarchy underlying the technical, costly, temporal and risky concepts, guaranteeing an intuitive and illuminating consultation for the objective defined at the outset.

1.	INTRODUÇÃO	- 1 -
1.1.	Enquadramento	- 1 -
1.2.	Objetivos	- 2 -
2.	CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA FERROVIÁRIA	- 3 -
2.1.	Constituição de uma via ferroviária	- 3 -
2.1.1.	Subestrutura	- 3 -
2.1.1.1.	Plataforma	- 3 -
2.1.1.2.	Camada de coroamento	- 5 -
2.1.1.3.	Camada drenante – Geossintéticos	- 5 -
2.1.1.4.	Camada de sub-balastro	- 6 -
2.1.2.	Superestrutura	- 7 -
2.1.2.1.	Camada de balastro	- 7 -
2.1.2.2.	Travessas	- 8 -
2.1.2.3.	Fixações	- 11 -
2.1.2.4.	Carril	- 13 -
2.2.	Esforços na plataforma ferroviária	- 14 -
2.3.	Dimensionamento da Superestrutura	- 15 -
2.3.1.	Parâmetros Geométricos	- 15 -
2.4.	Dimensionamento da Subestrutura	- 16 -
2.4.1.	Projeto	- 16 -
2.4.2.	Instalação ferroviária nova	- 17 -
2.4.3.	Reforço e consolidação de infraestrutura ferroviária existente	- 18 -
2.4.3.1.	Deterioração estrutural	- 18 -
2.4.3.2.	Avaliação da deterioração estrutural na plataforma	- 20 -
2.4.3.2.1.	Solos granulares	- 20 -
2.4.3.2.2.	Solos argilosos	- 21 -
2.4.3.2.3.	Fatores de influência	- 22 -
2.4.3.2.4.	Modelo Padrão	- 23 -
3.	TRATAMENTO DE PLATAFORMAS FERROVIÁRIAS	- 25 -
3.1.	Conceitos gerais	- 25 -
3.2.	Deficiências na plataforma	- 26 -
3.2.1.	Assentamentos na plataforma	- 26 -
3.2.2.	Água na plataforma	- 27 -
3.2.3.	Bolsas de solo plastificado	- 28 -
3.2.4.	Assentamento progressivo dos solos	- 29 -
3.2.5.	Deficiente capacidade portante dos solos	- 30 -
3.3.	Tratamento dos terrenos da plataforma	- 30 -
3.3.1.	Tratamentos superficiais	- 31 -
3.3.1.1.	Melhoria da rede de drenagem superficial	- 31 -
3.3.1.2.	Camada de areia	- 32 -
3.3.1.3.	Camadas impermeabilizantes	- 32 -
3.3.1.4.	Tratamentos com cal	- 32 -
3.3.1.5.	Tratamentos com macadame	- 33 -

3.3.1.6.	Tratamentos com emulsões asfálticas	- 33 -
3.3.1.7.	Reforço com geossintéticos	- 34 -
3.3.2.	Tratamento profundos	- 36 -
3.3.2.1.	Saneamento por drenagem profunda do solo	- 36 -
3.3.2.2.	Tratamento por injeção na superfície de terreno natural	- 37 -
3.3.2.3.	Tratamento pela técnica Deep Soil Mixing	- 39 -
3.3.2.4.	Tratamentos por vibração	- 41 -
3.3.3.	Soluções de tratamento intermédias	- 43 -
<b>4.</b>	<b>CASOS DE OBRA</b>	<b>- 47 -</b>
4.1.	Introdução	- 47 -
4.2.	Linha do Minho – Tratamento e regularização do leito da via (plataforma)	- 47 -
4.2.1.	Enquadramento geral	- 47 -
4.2.2.	Caracterização geográfica e geotécnica	- 48 -
4.2.3.	Atividades empreendidas	- 49 -
4.2.4.	Orientações geradas pelas atividades executadas	- 52 -
4.3.	Linha de Sintra e de Cascais – Encharcamento das plataformas e suas consequências	- 53 -
4.3.1.	Enquadramento geral	- 53 -
4.3.2.	Caracterização geográfica	- 53 -
4.3.3.	Inspeções realizadas	- 55 -
4.3.3.1.	Linha de Cascais – PK 12+350	- 55 -
4.3.3.2.	Linha de Sintra – PK 19+350	- 55 -
4.3.3.3.	Linha de Sintra – PK 20+270	- 56 -
4.3.4.	Orientações geradas pelas inspeções	- 57 -
4.4.	Linha do Sena	- 58 -
4.4.1.	Enquadramento geral	- 58 -
4.4.2.	Caracterização geográfica	- 59 -
4.4.3.	Ensaio realizados	- 59 -
4.4.3.1.	Avaliação dos resultados dos ensaios	- 60 -
4.4.4.	Avaliação da plataforma ferroviária	- 62 -
4.4.5.	Orientações geradas pelos resultados	- 65 -
4.5.	Corredor de Nacala – Secção 5	- 66 -
4.5.1.	Enquadramento geral	- 66 -
4.5.2.	Caracterização geográfica	- 66 -
4.5.3.	Ensaio realizados	- 66 -
4.5.3.1.	Avaliação dos resultados dos ensaios	- 67 -
4.5.3.1.1.	Caracterização do balastro	- 67 -
4.5.3.1.2.	Caracterização da subestrutura	- 67 -
4.5.4.	Orientações geradas pelos resultados	- 68 -
4.6.	Considerações aos casos de obra	- 69 -
<b>5.</b>	<b>MODELO DE DECISÃO TÉCNICO-ECONÓMICO</b>	<b>- 70 -</b>
5.1.	Introdução	- 70 -
5.2.	Modelo de decisão	- 70 -
5.2.1.	Definição do modelo	- 72 -
5.3.	Avaliação técnica do modelo	- 74 -
5.3.1.	Prospecção prévia	- 74 -
5.3.2.	Fluxograma do modelo de decisão	- 79 -

5.4.	Avaliação das condicionantes do modelo de decisão	- 86 -
5.4.1.	Avaliação económica	- 88 -
5.4.1.1.	Custos de reabilitação por metodologias clássicas	- 88 -
5.4.1.2.	Custos de reabilitação por novas metodologias	- 93 -
5.4.2.	Avaliação dos constrangimentos temporais de execução	- 97 -
5.4.3.	Avaliação de risco	- 99 -
5.5.	Considerações ao modelo de decisão	- 100 -
6.	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	- 104 -
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 107 -
	ANEXOS	- 109 -



## Índice de figuras

Figura 1: Retificação de nivelamento em via balastrada no Metro do Porto. (Fonte: da autora, 2004).....	1
Figura 2: Esquema estrutural em perfil longitudinal da via balastrada. (Fonte: E. Fortunato, 2005) .....	3
Figura 3: Esquema estrutural em corte transversal da via balastrada. (Fonte: E. Fortunato, 2005).....	4
Figura 4: Camada de sub-balastro. (Fonte: E. Fortunato, 2014) .....	6
Figura 5: Descarga de vagões balastreiros no Metro do Porto. (Fonte: da autora, 2005) .....	7
Figura 6: Via assente em travessas de madeira de pinho na Linha de Cascais. (Fonte: da autora, 2008) .....	9
Figura 7: Dimensões das travessas de madeira de pinho (mm). Comprimento habitual - 2,60m. (Fonte: Adaptado da Norma Espanhola NRV3100, Março 1981) .....	9
Figura 8: Exemplo de travessas bi-bloco em assentamento de via no Metro do Porto. (Fonte: da autora, 2004) .....	10
Figura 9: Exemplo da dimensão das travessas monobloco. Comprimento 2,60m. (Fonte: Adaptado da Norma Espanhola NRV3121, Dezembro 1997) .....	10
Figura 10: Exemplo da fixação em travessa monobloco polivalente. (Fonte: L. Esteves, Fevereiro 2010) .....	11
Figura 11: Designação dos componentes da fixação elástica para carris UIC. (Fonte: NT nº1 REFER, Abril 1990) .....	12
Figura 12: Fixação Vossloh em travessas de madeira azobé (Túnel de Tamel á esquerda, Túnel de Caminha á direita) na Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011) .....	12
Figura 13: Prospeção visual na Linha do Sena, Moçambique. (Fonte: Nuno Cruz, 2017) .....	17
Figura 14: Tensões na via – férrea. (Fonte: Selig e Waters, 1994, adaptado).....	18
Figura 15: Rotura por deformação de corte na via-férrea. (Fonte: Li e Selig, 1998a) .....	19
Figura 16: Relação entre a tensão na plataforma e o seu módulo de elasticidade. (Fonte: Huang et al., 1984).....	20
Figura 17: Comportamento da plataforma granular aos mecanismos de deterioração estrutural. (Fonte: João Alves, 2010, adaptado) .....	21
Figura 18: Dimensionamento de plataformas ferroviárias em solos argilosos. (Fonte: Li e Selig, 1998a, adaptado).....	21
Figura 19: Reabilitação integral da plataforma de via. (Fonte: E.Fortunato, 2014) .....	25
Figura 20: Exemplo deformação plástica em perfil transversal e longitudinal da via-férrea. (Fonte: Li e Selig, 1995, adaptado) .....	26
Figura 21: Zona de encharcamento na Linha de Cascais. (Fonte: da autora, 2008).....	27
Figura 22: Mancha no balastro demarcando a zona de encharcamento na Linha de Cascais. (Fonte: da autora, 2008) ....	28
Figura 23: Bolsas de solo plastificado em intrusão com as banquetas de balastro. (Fonte: Powrie e LePen, 2016) .....	28
Figura 24: Compactação da plataforma da via. (Fonte: Portfólio MEEC).....	29
Figura 25: Camadas constituintes da plataforma e leito com intrusões de balastro. (Fonte: E.Fortunato,2014, adaptado) -	30
Figura 26: Substituição do solo da plataforma da via. (Fonte: E. Fortunato,2014).....	30
Figura 27: Valetas de plataforma com tampa junto á Estação de Caminha na Linha do Minho. (Fonte: da autora,2012).-	32
Figura 28: Estrutura de uma geogrelha triaxial. (Fonte: Tensar,2013) .....	35
Figura 29: Preparação de uma geocélula para aplicação á esquerda e esquema exemplo de aplicação á direita. (Fonte: Powrie e LePen, 2016) .....	36
Figura 30: Esquema de execução de drenos semi-horizontais em via-férrea. (Fonte: Norma espanhola RENFE NRV2160, 1983).....	37
Figura 31: Esquema de execução de injeções na plataforma da via-férrea. (Fonte: Norma espanhola RENFE NRV2160, 1983) .....	38
Figura 32: Coluna de injeção para ensaio. (Fonte: Advanced Geosolutions Inc,2006) .....	38
Figura 33: Secção de tratamento regular pelo processo de Jetgrouting. (Fonte: Prospeto da Soletanche Bachy, 1996)....	39
Figura 34: Colunas de Deep Soil Mixing. (Fonte: Advanced Geosolutions Inc, 2006) .....	39
Figura 35: Equipamentos para a realização de tratamento tipo Deep Soil Mixing. (Fonte: Advanced Geosolutions Inc, 2006) -	40
Figura 36: Vibrocompactação em solos não coesivos. (Fonte:Norma espanhola RENFE NRV2160, 1983).....	41
Figura 37: Vibrosubstituição em solos coesivos não saturados. (Fonte: Norma espanhola RENFE NRV2160, 1983) .....	42
Figura 38: Vibrosubstituição em solos coesivos saturados. (Fonte: Norma espanhola RENFE NRV2160, 1983) .....	43
Figura 39: Equipamento para a realização de tratamento tipo vibrosubstituição. (Fonte: Advanced Geosolutions Inc, 2006) -	43
Figura 40: Planta de localização das colunas de injeção. ....	46
Figura 41: Pormenor da coluna provocada pela segunda injeção S.I.E3.....	46
Figura 42: Coluna de furação instalada num suporte com bogies no túnel de Tamel na Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2010).....	48
Figura 43: Localização do Túnel de Carreira. (Fonte: Carta Militar á esquerda e parte da folha 5-C da carta geológica de Portugal – Barcelos (1:50000) á direita) .....	49
Figura 44: Localização do Túnel de Tamel. (Fonte: Carta Militar á esquerda e parte da folha 5-C da carta geológica de Portugal – Barcelos (1:50000) á direita) .....	49
Figura 45: Zona intervencionada junto á boca de entrada do túnel de S. Miguel de Carreira na Linha do Minho, durante a intervenção á esquerda e concluída á direita. (Fonte: da autora, 2010) .....	50

Figura 46: Remoção do balastro, escavação e escarificação da plataforma (esquerda) e pormenor da PH (direita) junto á boca de saída do túnel de Tamel da Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011) .....	51 -
Figura 47: Caixa de visita da drenagem longitudinal da plataforma de via executada junto á boca de entrada do túnel de S. Miguel de Carreira na Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2010) .....	52 -
Figura 48: Zona intervencionada junto á boca de saída do túnel de Tamel da Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2012) .....	52 -
Figura 49: Configuração da Linha de Sintra. (Fonte: GoogleMaps, 2017).....	53 -
Figura 50: Configuração da Linha de Cascais. (Fonte: GoogleMaps, 2017).....	54 -
Figura 51: Zona da anomalia na Linha de Cascais – PK 12+350. (Fonte: da autora, 2008) .....	55 -
Figura 52: Patologias detetadas na inspeção realizada ao PK 19+350 da Linha de Sintra. (Fonte: da autora, 2008) .....	56 -
Figura 53: Abatimento da lateral da plataforma ferroviária á esquerda e mitigação provisória realizada, á direita, ao PK 20+270 da Linha de Sintra. (Fonte: da autora, 2008).....	57 -
Figura 54: Encontro da obra de arte ao PK 19+350 da Linha de Sintra. (Fonte: da autora, 2008).....	58 -
Figura 55: Moçambique - Linha do Sena – Tete/Beira. (Fonte: Marta Barroso, adaptado, 2012) .....	59 -
Figura 56: Esquerda - %material<#200; Centro – Índice de Plasticidade; Direita – Equivalente de areia.....	61 -
Figura 57: Valores do módulo de deformabilidade obtidos no topo da plataforma com o DIP. ....	61 -
Figura 58: Ensaios DPSH e DMT realizados aos Km 374,25 e ao Km 372,70: Esquerda – Tipo de solo; Centro – Peso volúmico; Direita – Módulo de deformabilidade. ....	62 -
Figura 59: Corredor de Nacala – Moçambique/Malawi. (Fonte: N.Cruz, 2017).....	66 -
Figura 60: Hierarquia de diagnóstico de degradação da via-férrea. ....	71 -
Figura 61: Presença de água na plataforma da via – férrea junto á boca de saída do túnel de Tamel na linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011).....	73 -
Figura 62: Equipamento de medição das características geométricas da estrutura ferroviária (KRAB da KZV). (Fonte: da autora, 2012) .....	75 -
Figura 63: Stock e carga de balastro em comboio balastreiro (esquerda) e atacadeira mecânica pesada (direita). (Fonte: portefólio MEEC).....	79 -
Figura 64: Exemplo da formulação das questões no fluxograma do modelo de decisão. ....	80 -
Figura 65: Reposição do perfil da banquetta (esquerda) e ataque mecânico ligeiro (direita) no Metro do Porto. (Fonte: da autora, 2014) .....	81 -
Figura 66: Limpeza de órgãos de drenagem na Linha de Cascais (esquerda) e na Linha de Sintra (direita). (Fonte: da autora, 2008).....	81 -
Figura 67: Zona de banquetta com balastro contaminado (esquerda) e depuração de balastro no Metro do Porto. (Fonte: da autora, 2013) .....	81 -
Figura 68: Remoção da camada de sub-balastro na Linha de Cascais (esquerda) e compactação de solos na Linha de Sintra (direita). (Fonte: da autora, 2008) .....	82 -
Figura 69: Colocação de tubo longitudinal envolto em geotêxtil (esquerda) e pormenor de caixa de visita e desobstrução á drenagem profunda (direita) na Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011) .....	82 -
Figura 70: Furação na base da plataforma (esquerda) e abastecimento da máquina de injeções (direita) na Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011) .....	83 -
Figura 71: Equipamento de ataque mecânico pesado (esquerda) e pormenor do grupo de ataque vibratório (direita) no Metro do Porto. (Fonte: da autora, 2016) .....	83 -
Figura 72: Veículos rodoferroviários (Rail-Route) – com pinças de carga na Estação de Barcelos (esquerda) e com martelo demolidor adaptado no túnel de Tamel (direita). (Fonte: da autora, 2011).....	86 -
Figura 73: Ficha tipo de programação de interdição utilizada na REFER para a realização de trabalhos nas drenagens do túnel de S. Miguel de Carreira, em período noturno das 22h00 às 05h00, na linha do Minho. ....	87 -
Figura 74: Estabilizadora dinâmica de via. (Fonte: Portefólio MEEC) .....	89 -
Figura 75: Realização do aperto de fixações em VUP – Linha do Norte. (Fonte: Portefólio MEEC).....	90 -
Figura 76: Contaminação da plataforma da via através das águas da drenagem – Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011) .-	91 -
Figura 77: Presença de água constante no rebaixamento da plataforma do Túnel de Tamel – Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011) .....	91 -
Figura 78: Esquema tipo da malha de injeções.....	94 -
Figura 79: Regularizadora mecânica de balastro. (Fonte: portefólio MEEC) .....	95 -
Figura 80: Trabalhos na via-férrea sem necessidade de interdição de via temporária. (Fonte: da autora, 2017).....	97 -

## Índice de tabelas

Tabela 1: Classe de capacidade de carga da plataforma segundo UIC. (Fonte: UIC 719-R, Fev.2008).....	5 -
Tabela 2: Classe de aços para carril. (Fonte: EN 13674, 2014, adaptada).....	13 -
Tabela 3: Cargas verticais dinâmicas segundo Prud'homme. (Fonte: Ministério do Fomento, 1999).....	14 -
Tabela 4: Determinação dos fatores de influência. (Fonte: Li e Selig, 1998b).....	22 -
Tabela 5: Propriedades do solo de fundação argiloso e de material granular. (Fonte: Li e Selig, 1998b, adaptado).....	22 -
Tabela 6: Tensão vertical do modelo padrão. (Fonte: João Alves, 2010, adaptado).....	23 -
Tabela 7: Período de vida útil de referência. (Fonte: João Alves, 2010, adaptado).....	23 -
Tabela 8: Determinação do período de vida útil para a camada de sub-balastro granular por diversos autores. ....	24 -
Tabela 9: Tensão máxima na plataforma para solos granulares após tratamento.....	45 -
Tabela 10: Tipos de configurações, de via-férrea, analisadas.....	63 -
Tabela 11: Número de aplicação de cargas admissível para os diversos tipos de configurações analisadas.....	64 -
Tabela 12 – Interação entre resultados dos diferentes ensaios realizados. (Fonte: N. Cruz, 2017).....	68 -
Tabela 13: Resumo ensaios e resultados da campanha realizada na secção 5 do Corredor de Nacala. (Fonte: N.Cruz, 2017, adaptado).....	69 -
Tabela 14: Orçamento comparativo – Trabalhos efetivos VS Trabalhos propostos. ....	77 -
Tabela 15: Custos médios de realização de ensaios geotécnicos englobando as quantidades realizadas na secção 5 do corredor de Nacala e na Linha do Sena. ....	78 -
Tabela 16: Exemplo de orçamento para renovação integral da plataforma de via. ....	90 -
Tabela 17: Orçamento com referencias aos trabalhos de drenagens realizados na linha do Minho. ....	92 -
Tabela 18: Orçamento comparativo de diferentes métodos de reabilitação geotécnica de vias ferroviárias mediante diferentes tipos de tratamentos dos terrenos de fundação. ....	94 -
Tabela 19: Tabela resumo do modelo de decisão – Soluções de tratamento de plataformas ferroviárias. ....	101 -

## **Anexos (Documentais e digitais – CD-Rom)**

- I. Fluxograma do modelo de decisão
- II. Relatórios dos casos de obra aplicados ao modelo de decisão

## **Lista de abreviaturas**

AASHTO – *Associação Norte-Americana de especialistas rodoviários e de transporte (“American Association of State Highway and Transportation Officials”)*

ASTM – *International standards worldwide (“American society for testing and materials”)*

CBR – *Californian Bearing Ratio – Índice de resistência de um solo compactado*

CH – *Solo argiloso (fat clay)*

DIP – *Defletómetro de impacto portátil*

DMT – *Dilatómetro de Marchetti*

DPSH – *Penetrómetro dinâmico super pesado*

GA – *Garrafa de areia*

I – *Injeções de calda*

IP – *Infraestruturas de Portugal*

IT – *Instrução técnica*

LA – *Ensaio Los Angeles*

LNEC – *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*

MASW – *Multichannel Analysis of Surface Waves (Shear wave velocity profile)*

MDE – *Micro-Deval*

MEEC – *Mota-Engil Engenharia e Construções, SA*

MTPA – *Milhões de Toneladas por Ano*

NP – *Nível de plasticidade*

NT – *Norma Técnica*

PDL – *Penetrómetro dinâmico ligeiro*

PH – *Passagem hidráulica*

PLT – *Carga em placa*

REFER – *Rede Ferroviária Nacional*

RENFE – *Rede Nacional de los Ferrocarriles Españóis*

TC – *Teor em cimento*

TR – *Gamadensímetro*

UIC – *International Union of Railways*

## **Glossário ferroviário**

Balastragem – *Processo de descarga de balastro sobre a via-férrea*

Balastro – *Pedra britada com características e granulometria definidas por normativo específico*

Banqueta – *Zona lateral da via férrea preenchida com balastro segundo um perfil tipo definido em projeto*

Bitola – *Distância entre carris (1668mm – bitola Ibérica; 1435mm – bitola Europeia)*

Bogies – *Conjunto de 4 ou 6 rodas, sob uma plataforma, que se deslocam sobre a via-férrea*

Estabilização dinâmica de via – *Compactação do balastro através da vibração simultânea dos carris e das travessas (excitação lateral da via a uma frequência de 30/35 Hz, enquanto é carregada verticalmente, através de uma força máxima de 240 kN (120 kN por carril))*

Fixações – *Elementos de fixação das travessas aos carris*

Interdição de via – *Suspensão temporária de circulação de veículos ferroviários em serviço comercial*

Parâmetros geométricos de via – *Bitolo, escala (nivelamento transversal), empeno, alinhamento e nivelamento longitudinal*

Pioches – *Conjunto de pás vibratórias associadas ao ataque mecânico pesado de balastro*

Subestrutura ferroviária – *Estrutura composta pelas camadas de sub-balastro, coroamento, leito da plataforma e solo natural*

Superestrutura ferroviária – *Estrutura composta pelos carris, travessas, elementos de fixação e balastro*

Transbordo de passageiros – *Processo de transferência dos passageiros de determinado veículo para outro que permita a conclusão de um percurso anteriormente definido*

Travessas – *Vigas transversais é via de suporte aos carris*

Vagões balastreiros – *Equipamento ferroviário de transporte e descarga de balastro tracionado por locomotiva*

Veículo carrilado – *Veículo que se apresenta assente nos carris e sobre os quais pode circular*

Veículo Rodoferroviário – *Veículo com a possibilidade de circulação em rodovias e ferrovias (possui pneus e bogies)*

## **Simbologia**

A – Área de influência do modelo

$a, m, b$  – Parâmetros do solo argiloso

$C_c$  – Coeficiente de curvatura

C-Mn – Carbono-Manganês

CR – Grau de compactação

$C_u$  – Coeficiente de uniformidade

EA – Equivalente de areia

$E_b$  – Módulo de elasticidade da camada granular

$E$  – Módulo de elasticidade da plataforma (deformabilidade)

$E_s$  – Módulo de elasticidade da camada argilosa

H – Espessura da camada granular

HB – Azul-de-metileno

$I_e$  – Fator de influência de deformação por corte

$I_p$  – Fator de influência de deformação vertical

IP – Índice de Plasticidade

$K$  – Coeficiente de permeabilidade

LA – Los Angeles

L – Largura de influência do modelo

N – Numero de ciclos (numero de aplicações de carga até á rotura)

$P_d$  – Carga vertical dinâmica

$Q_{dim}$  – Carga vertical dinâmica

$rpm$  – Rotações por minuto

T – Espessura da plataforma

$V$  – Velocidade

$\sigma_{da}$  – Tensão deviatória á superfície

$\sigma_p$  – Tensão vertical no topo da plataforma

$\sigma_s$  – Resistência á compressão da plataforma argilosa

$\rho_a$  – Deformação máxima acumulada

$\gamma$  – Peso volúmico

$\gamma_d$  – Baridade seca

$\omega$  – Teor de humidade

## 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento

Os projetos de recuperação, reforço e de modernização da superestrutura ferroviária, nomeadamente a substituição de carris, travessas, fixações e balastro, surgem com o objetivo de garantir a qualidade do desempenho da via, contudo, a eventual insuficiência da respetiva infraestrutura, dado que o seu comportamento é muitas vezes deficiente, condiciona esse mesmo objetivo afetando a exploração ferroviária no que concerne á segurança e á rentabilidade da circulação.

É comum observar deficiências no desempenho da via atribuíveis ao mau comportamento das plataformas originadas em zonas de plataforma instável que se traduzem em limitações de velocidades de circulação e na necessidade de realizar trabalhos de reparação com periodicidades muito acima das desejáveis.



Figura 1: Retificação de nivelamento em via balastrada no Metro do Porto. (Fonte: da autora, 2004)

A degradação por ausência de intervenções de conservação e reabilitação relaciona o tempo de vida das plataformas com a sua qualidade insuficiente para as novas exigências. As consequências dessa degradação obrigam a trabalhos de reabilitação das plataformas incluindo obras de reforço ou á reconstrução da infraestrutura.

Considera-se assim indispensável analisar soluções de recuperação das plataformas, face às exigências futuras, garantindo a necessária fiabilidade e segurança da exploração. Esta análise só é possível se existir o conhecimento do comportamento e constituição da infraestrutura obtidos a partir da recolha de elementos históricos e da caracterização “in situ” e laboratorial.

Neste contexto foi elaborado o presente documento onde se caracteriza de forma sucinta a superestrutura de via e de forma mais concisa a subestrutura. Esta caracterização é depois decomposta em termos de dimensionamento onde se avaliam, de forma generalista, os efeitos da deterioração estrutural, a que as plataformas ferroviárias estão sujeitas, e observada em termos de modelo padrão para efeitos comparativos com a solução tipo estudada.

Estão também presentes neste documento os principais tipos de tratamentos de plataformas ferroviárias abordados em função das deficiências para que se aplicam com especial ênfase ao

tratamento dos terrenos de fundação. Tendo a prospeção geotécnica uma parte importante na caracterização das plataformas ferroviárias, abordam-se dois casos de obra onde se verifica as mais-valias resultantes de uma prospeção adequada.

Entram então para o conjunto de fatores em análise os condicionalismos ferroviários tais como as interdições de via e as acessibilidades aos canais ferroviários, muitas vezes impeditivos na aplicação das melhores resoluções geotécnicas para as plataformas e privilegiando os trabalhos superficiais mas executados sem penalizações á exploração comercial originando um determinado risco que terá obrigatoriamente de ser associado às soluções que, independentemente de não se verificar serem as mais aconselhadas ao tipo de problema detetado, serão as possíveis de realizar no conjunto de condicionalismos ferroviários existentes.

Surge nesta sequência de raciocínio a direção obrigatória a seguir no âmbito da inovação e adaptação das metodologias clássicas no processo de reabilitação de infraestruturas ferroviárias mediante o tratamento dos terrenos de fundação, originando o interesse em explorar as injeções cimentícias que apesar de não ser um processo inovador o mesmo pode ser revigorado devido á evolução dos equipamentos e produtos de que necessita para se realizar.

## **1.2. Objetivos**

Foi definido como principal objetivo o estudo da reabilitação de infraestruturas ferroviárias mediante o tratamento das plataformas através da sua caracterização física e estrutural, utilizando uma ferramenta de seleção de soluções de tratamento e explorando o conceito de injeções na plataforma como exemplo prático. Através desta ferramenta é possível, após prospeção adequada, realizar uma seleção da melhor opção possível a nível técnico, económico e temporal, e sobre a qual é ainda realizada uma avaliação ao risco inerente á opção tomada. Observando diversos casos de obra, com distintas patologias a nível da plataforma ferroviária explorou-se o conceito de seleção de soluções de tratamento desenvolvidas, aplicando-as a cada caso e analisando as soluções respetivas. Este trabalho subdivide-se nos seguintes objetivos secundários:

- Identificação dos principais esforços nas plataformas;
- Escolha de um modelo padrão de estrutura ferroviária;
- Cruzar as principais deficiências com os principais tratamentos de plataformas;
- Apresentar casos de obra com patologias análogas às deficiências abordadas;
- Caracterizar o processo de injeções em solos granulares;
- Avaliar economicamente atividades de reabilitação de vias ferroviárias;
- Criação de um modelo de decisão incluindo os constrangimentos ferroviários;
- Análise do modelo de decisão definido aplicado aos casos de obra citados;

## 2. Caracterização da estrutura ferroviária

### 2.1. Constituição de uma via ferroviária

A via balastrada é uma solução estrutural que, pelas suas características, tem um bom comportamento dinâmico relativamente aos esforços provocados pelas composições circulantes. Este tipo de via é das mais comuns devido ao seu relativo baixo custo de construção e relativa facilidade de manutenção quando comparada com soluções de vias não balastradas. Como exemplos de vias não balastradas existem as vias assentes sobre lajes de betão armado ou com camadas de betão betuminoso, assim como assentes em estruturas metálicas.

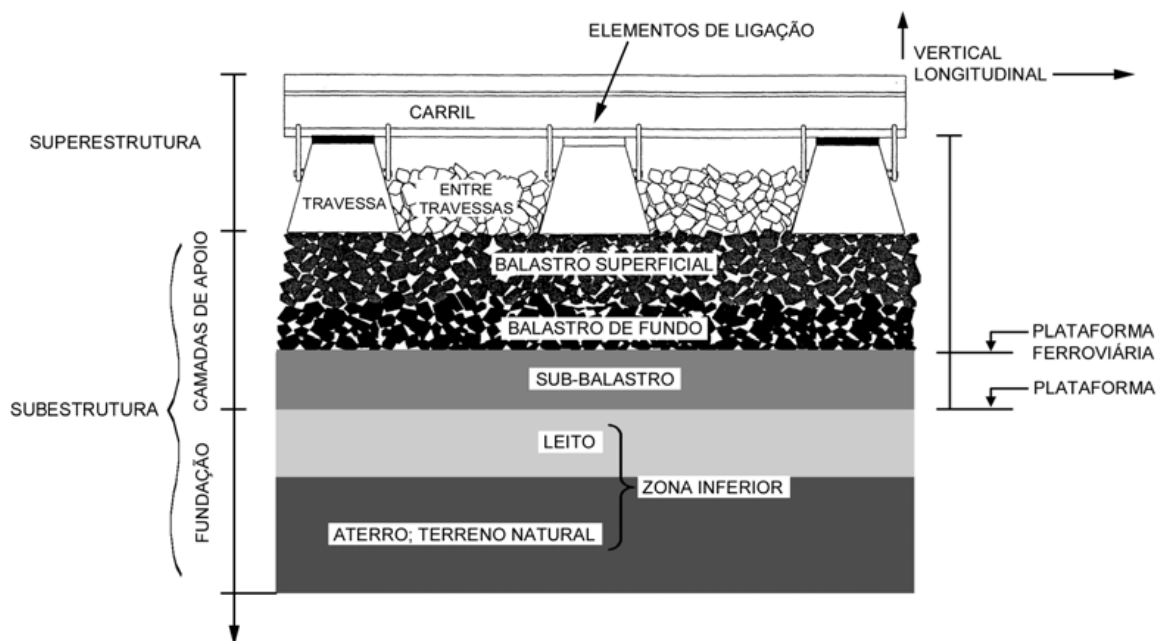


Figura 2: Esquema estrutural em perfil longitudinal da via balastrada. (Fonte: E. Fortunato, 2005)

Na figura 2 apresentam-se esquematicamente os elementos de uma via-férrea balastrada, os quais se podem dividir em duas grandes categorias: (1) superestrutura; (2) subestrutura. No âmbito deste trabalho considera-se que a superestrutura é constituída pelos carris, fixações, travessas e balastro. A subestrutura é constituída pelo sub-balastro, camada drenante, leito e pela fundação, por vezes designada de plataforma.

Com efeito, as vias férreas são executadas sobre a superfície geral de fundação, limitada pelas cotas de terraplenagem, estabelecidas em escavação ou em aterro. Sobre essa superfície é construído o leito ou camada de coroamento da plataforma, com materiais granulares, de granulometria adequada, devidamente compactados.

#### 2.1.1. Subestrutura

##### 2.1.1.1. Plataforma

A plataforma é a parte superior da obra de terraplenagem que suporta a camada de coroamento. A plataforma é constituída por solo compactado caso se verifique em aterro ou pelo solo existente no

caso de escavação. Os casos intermédios são as secções a meia encosta, que precisam de ser bem estudadas no que diz respeito às características dos solos que constituem o desmonte e a terraplenagem e a utilização destes nas encostas.

A principal função da plataforma é proporcionar o apoio necessário á camada de coroamento, á via e aos equipamentos destinados a controlar os movimentos dos comboios garantindo que a exploração se realiza eficazmente.

Em todos os caso a plataforma deve assentar em terreno com a consistência necessária, sendo retirada toda a camada formada por terra vegetal e todas as camadas de solo que não sejam apropriadas ao suporte necessário.

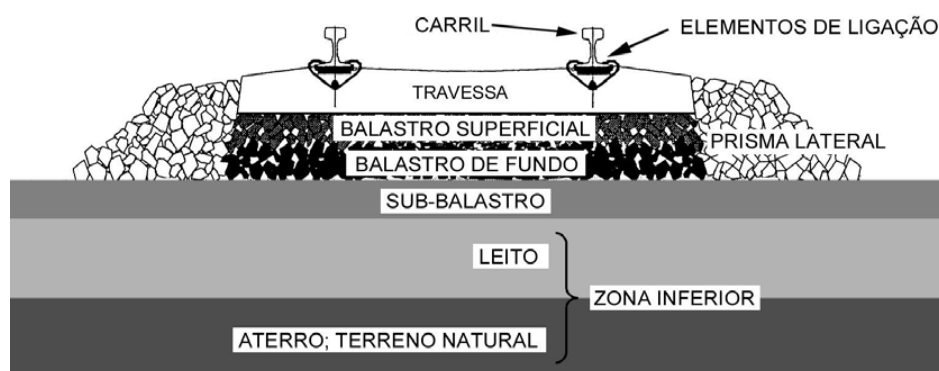


Figura 3: Esquema estrutural em corte transversal da via balastrada. (Fonte: E. Fortunato, 2005)

A plataforma deve ser rematada com uma camada final que permita a realização das pendentes transversais necessárias á drenagem das águas pluviais. Em caso de aterro esta camada é formada por solos de melhor qualidade que o núcleo assim como um maior grau de compactação. Nas escavações a camada final resulta da compactação do solo de base da escavação, quando constituídos por solos adequados, ou por uma camada de solos de melhor qualidade substituindo-os numa espessura de pelo menos um metro.

É de considerar solos com um CBR > 5 para integrarem os núcleos dos aterros e solos com CBR>10 para a camada final. Estes são valores médios que os solos cumprem com relativa facilidade e que suportam estruturas classificadas de normais.

O sistema internacional de classificação ferroviária, UIC, classifica as plataformas nas classes P1, P2 e P3, correspondentes a plataformas medíocre, média e boa, respetivamente. Esta classificação é efetuada através da ficha UIC 719R, definida na tabela 1.

As plataformas das vias-férreas destinadas a alta velocidade devem ser plataformas boas, correspondendo à classificação P3, sendo que as plataformas mais comuns são as respeitantes á classificação P2. O sistema de classificação dos solos utilizados, também formulado pela UIC, baseia-se nas características e nas propriedades mecânicas dos solos.

Solo de fundação		Classe da plataforma	Camada de coroamento		
Classe da qualidade do solo	CBR (min) a)		Qualidade do material	CBR (min) b)	Espessura Mínima (m)
QS1	2 <sup>c</sup> - 3	P1	QS1	2 <sup>c</sup> - 3	-
		P2	QS2	5	0,50
		P2	QS3	10 - 17 <sup>c</sup>	0,35
		P3	QS3	10 - 17 <sup>c</sup>	0,50
QS2	5	P2	QS2	5	-
		P3	QS3	10 - 17 <sup>c</sup>	0,35
QS3	10 - 17 <sup>c</sup>	P3	QS3	10 - 17 <sup>c</sup>	-

a) CBR correspondente às condições in situ do material (as amostras devem estar saturadas durante o teste)

c) Valores propostos de acordo com ERRI Report D117/RP 28 (1983)

Tabela 1: Classe de capacidade de carga da plataforma segundo UIC. (Fonte: UIC 719-R, Fev.2008)

### 2.1.1.2. Camada de coroamento

A camada de coroamento é a camada final da plataforma á qual foi condicionada uma pendente transversal. A camada de coroamento possui diferentes funções seja apenas a estabilização da plataforma, seja a sua substituição ou a sua melhoria.

Tanto em aterro como em escavação a camada final da plataforma pode ser tratada com ligantes para melhorar o seu comportamento.

Em todas as plataformas, sejam em linhas novas, renovações ou vias duplas se coloca a camada de coroamento integrada na camada de sub-balastro e finalmente se coloca a baqueta de balastro. Estas camadas contribuem para assegurar o bom comportamento da via ferroviária a nível da sua rigidez, nivelamento e drenagem. A sua espessura encontra-se definida na tabela 1 e depende:

- Das características dos solos que integram a plataforma;
- Das características globais da plataforma;
- Dos condicionamentos climáticos oriundos da localização da implantação;
- Das características do tráfego previsto para a via;
- Das características da superestrutura prevista para a via;

### 2.1.1.3. Camada drenante – Geossintéticos

Os geossintéticos são produtos fabricados a partir de matérias-primas sintéticas que se podem utilizar nas obras de terraplenagens e nas camadas de assentamento ferroviário. São utilizados na

separação entre camadas evitando contaminações, como filtros, drenagem e até como armadura (geotêxteis, geogrelhas), podem ser utilizados para garantir a estanquidade de solos sensíveis às águas zenitais ou para proteger as linhas freáticas de contaminação (geomembranas), são ainda utilizados para o reforço de terraplenos e das camadas de assentamento da via ferroviária quando compostos de dois ou mais geossintéticos.

#### **2.1.1.4. Camada de sub-balastro**

A camada de sub-balastro é uma camada de transição colocada entre o balastro e a plataforma e possui múltiplas funções, nomeadamente:

- Melhoramento da capacidade de suporte em função da sua ação sobre a rigidez assim como a distribuição das cargas transmitidas;
- Contribui na melhoria das propriedades vibratórias;
- Evita a contaminação entre o balastro e a plataforma;
- Protege contra a erosão e o gelo;
- Permite a evacuação das águas zenitais;

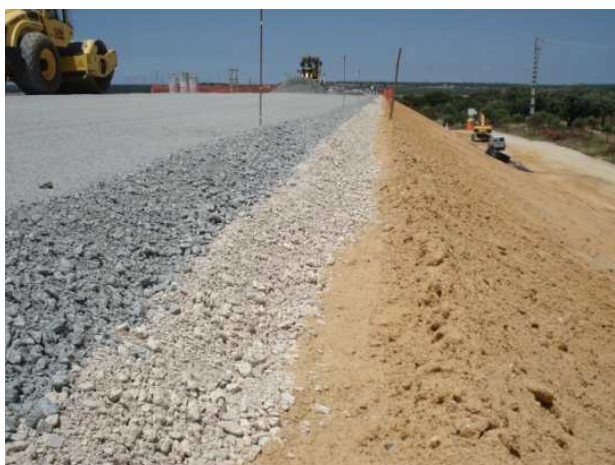


Figura 4: Camada de sub-balastro. (Fonte: E. Fortunato, 2014)

A estrutura mais completa para uma camada de sub-balastro contempla:

- Uma camada de gravilha;
- Uma camada de Tout-Venant por onde circularão os equipamentos durante a obra (é possível suprimir esta camada caso a capacidade portante da plataforma seja adequada);
- Uma camada drenante em plataformas com má capacidade portante e com grande quantidade de finos no coroamento.
- Um filtro drenante como camada isolante entre a camada de coroamento e a base do sub-balastro.

As principais funções da camada de sub-balastro são proteger a plataforma contra a erosão e ação do gelo, assim como contribuir para a drenagem das águas pluviais garantindo a sua filtração durante o seu atravessamento. Permite ainda distribuir as cargas transmitidas pela via e evitar a contaminação do balastro.

Segundo a norma da IP (REFER), IT.GEO.006, as características do sub-balastro são as seguintes:

- Coeficiente de uniformidade  $Cu \geq 6$
- Coeficiente de curvatura  $1 \leq Cc \leq 3$
- Los Angeles LA  $\leq 25$
- Micro-Deval MDE  $\leq 18$
- Los Angeles+Micro-Deval LA+MDE  $< 40$
- Coef. de permeabilidade  $k \leq 10^{-6}$  m/s
- Azul de metileno MB  $< 1$  g/kg

Na sua descrição é caracterizado por um material de granulometria extensa, bem graduado, resistente á fragmentação, com permeabilidade adequada, sendo drenante e anti-contaminante.

## 2.1.2. Superestrutura

### 2.1.2.1. Camada de balastro

O balastro é considerado como um elemento integrante da superestrutura. A camada de balastro tem influência na qualidade das obras em conjunto com as características dos restantes materiais soltos utilizados nas camadas de assentamento.



Figura 5: Descarga de vagões balastreiros no Metro do Porto. (Fonte: da autora, 2005)

O balastro novo é obtido exclusivamente de rochas duras e sãs, com elevada resistência á fragmentação e ao desgaste. O balastro é obtido em pedreiras por processos mecânicos de britagem e crivagem, sem mistura de materiais de diferentes origens geológicas, não contendo outros componentes ou matérias. São excluídos terrenos de cobertura, capas de alteração meteórica superficial ou profunda, zonas pouco consistentes, materiais argilosos e outros materiais igualmente friáveis. São também excluídas formações rochosas com xistosidades, foliação, fissibilidade, crenulação, disjunção, mineralizações e encraves.

O balastro ferroviário aplicado em Portugal é do tipo I ou tipo II, sendo que o balastro tipo I pode ser aplicado tanto em vias férreas de alta velocidade com nas vias convencionais e o balastro tipo II apenas é aplicado na rede convencional.

Os requisitos geométricos do balastro são os definidos pela norma NP EN 13450, no que diz respeito á sua dimensão, granulometria, partículas finas, finos, forma das partículas, comprimento das partículas.

Os requisitos físicos exigem as categorias para o Tipo I LARB 16 e para o Tipo II LARB 20 no que diz respeito á resistência á fragmentação pelo coeficiente de Los Angeles e á resistência ao desgaste pelo Micro Deval o Tipo I MDERB 7 e para o tipo II MDERB 11, conforme expresso pela norma NP EN 13450.

Em conformidade com a mesma norma são ainda requisitos a descrição petrográfica do balastro e a sua resistência aos agentes atmosféricos, a caracterização da durabilidade com valores inferiores a 5% de Sulfato de Magnésio e a sua isenção a elementos prejudiciais tais como fragmentos de rochas alteradas, friáveis, grumos argilosos ou siltosos e elementos estranhos á rocha (madeira, plástico, metal, etc).

Como exemplos de rochas que podem ser empregues no fabrico de balastro, citam-se as principais: Granitos, garbos, dioritos, doleritos e quartzitos.

A rocha quando granular, deve ser preferencialmente equigranular e de grão fino. A utilização de quaisquer calcários, mesmo siliciosos, subcristalinos ou cristalinos (mármore), é, hoje em dia, interdita ao fabrico de balastro em Portugal.

#### **2.1.2.2. Travessas**

Viga que suporta os carris, no seu caminho de rolamento e guiamento, alinhados em ângulos retos em relação ao seu eixo. Usualmente, cada viga ou travessa suportam dois carris formando a via ferroviária. As travessas representam o órgão intermédio da superestrutura da via e destinam-se a fixar os carris, manter a bitola e distribuir as cargas sobre o balastro. As travessas podem ser madeira, de betão ou metálicas.

As travessas de madeiras são de fácil fabrico e manuseamento, asseguram um bom nivelamento devido à sua interação com o balastro, mas nem sempre asseguram uma eficaz fixação dos carris (especialmente observado com o desgaste do material ao longo do tempo). O tempo de duração em serviço é muito variável, particularmente dependente das características da madeira no que concerne à densidade e dureza revelada, da capacidade de absorção de imunizante e da durabilidade, assim como das exigências de tráfego.

As madeiras mais utilizadas no fabrico destas peças são o pinho, o carvalho e o azobé. As travessas em pinho (figura 6) são indubitavelmente as mais utilizadas pela sua boa relação qualidade/preço comparativamente com as madeiras de carvalho ou até azobé (madeiras importadas). Contudo, no que respeita à durabilidade e resistência do material as travessas em madeira de azobé apresentam-

se como a melhor solução, daí serem vulgarmente utilizadas como peças constituintes dos aparelhos de via (figura 12). As travessas em madeira de carvalho, até pelo custo elevado e implicação ambiental associada, estão cada vez mais em desuso nos dias que correm.



Figura 6: Via assente em travessas de madeira de pinho na Linha de Cascais. (Fonte: da autora, 2008)

As travessas de madeira, quer da gama de via larga ou de via estreita, podem ser:

- De via corrente (destinadas à plena via), normais quando apresentam 14 cm de face de assentamento do carril ou retangulares quando têm 20 cm na face superior,
- De aparelho de via, para aplicar em aparelhos de via;
- De ponte, para aplicar em pontes metálicas ou pontes de betão não balastradas;

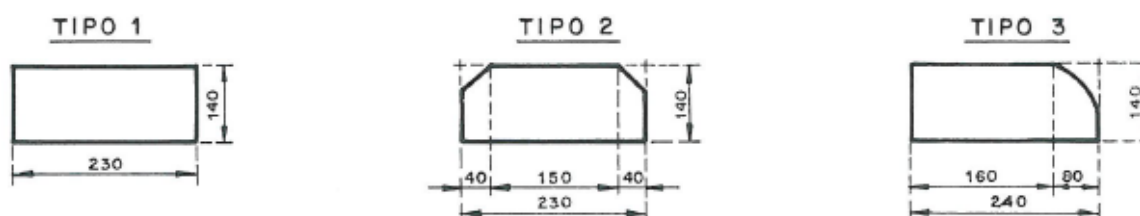


Figura 7: Dimensões das travessas de madeira de pinho (mm). Comprimento habitual - 2,60m. (Fonte: Adaptado da Norma Espanhola NRV3100, Março 1981)

No sentido de assegurar o assentamento dos carris com a inclinação transversal devida, procede-se à sabotagem que se traduz no corte de dois entalhes nas travessas de madeira, podendo ser executado por meios manuais (em casos especiais) ou por meios mecânicos em fábrica. As mesas de sabotagem, tal como os furos (perpendiculares à mesa de sabotagem) são feitas com a configuração e dimensões adequadas ao tipo de carril e de fixação. Toda a furação deve ser completa, atravessando toda a travessa, permitindo assim o escoamento das águas. O afastamento entre furos varia consoante o tipo de material e o tipo de pregação que pode ser pregação rígida simples, pregação rígida reforçada, pregação com garra e plaquet ou pregação com chapim metálico.

Para sua identificação as travessas de madeira – via corrente – trazem gravado de fábrica a indicação do ano de fabrico, indicação da bitola para que foram furadas e indicação do tipo de carril.

As travessas de betão são as mais utilizadas na atualidade porque, para além de serem fabricadas a partir de matéria-prima inesgotável, asseguram uma boa fixação, uma boa estabilidade da via graças ao seu elevado peso e características de grande durabilidade. Estas travessas, que são obtidas por moldagem de betão, são fabricadas para um determinado sistema de fixação dos carris, funcionando apenas para esse tipo de fixação ou outro compatível. As sobrelarguras da via, quando necessárias, são obtidas na montagem dos carris por intermédio de diferentes combinações de peças de fixação.



Figura 8: Exemplo de travessas bi-bloco em assentamento de via no Metro do Porto. (Fonte: da autora, 2004)

As travessas de betão podem ser:

- De via corrente, monobloco (formadas por um só bloco de betão armado, pré-esforçado), bibloco (formada por dois blocos de betão armado ligados por um perfil de aço) ou polivalentes (travessa semelhante à monobloco mas com a particularidade de possuir sedes de fixação aptas para bitola ibérica ou bitola europeia);
- De aparelho de via, para aplicar em aparelhos de via (formadas por bloco único armado e pré-esforçado);

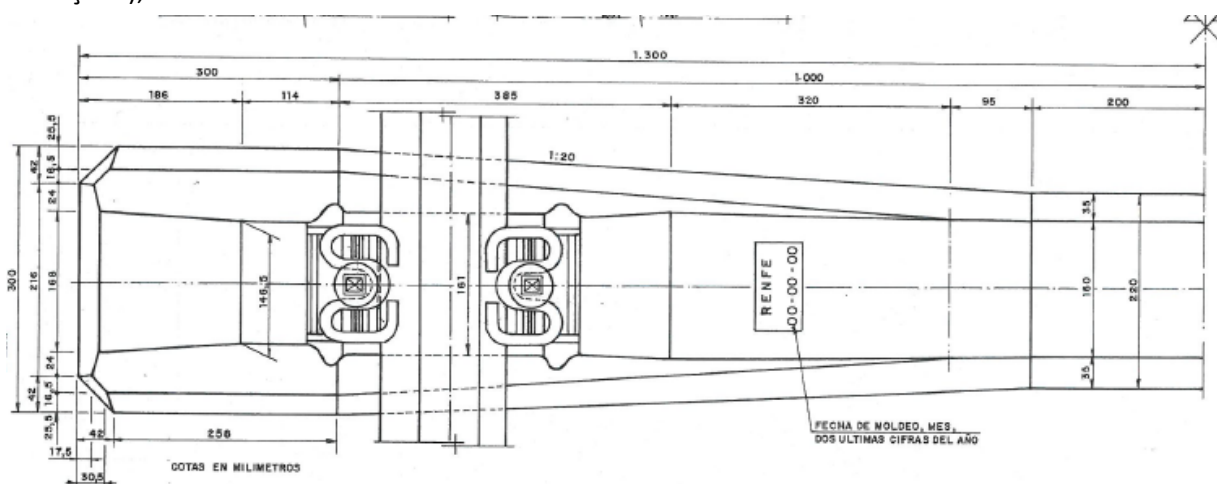


Figura 9: Exemplo da dimensão das travessas monobloco. Comprimento 2,60m. (Fonte: Adaptado da Norma Espanhola NRV3121, Dezembro 1997)

Pela aplicação cada vez mais frequente em linhas novas do nosso país, julga-se importante fazer referência à travessa de betão monobloco polivalente (figura 10), que têm a dupla funcionalidade de

servir tanto a bitola ibérica como a bitola europeia, podendo esta valência ser objetivada apenas com a alteração do posicionamento da fixação, conforme se verifica pela figura seguinte.

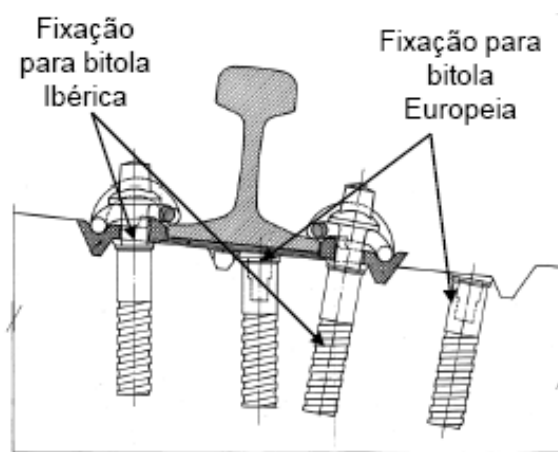


Figura 10: Exemplo da fixação em travessa monobloco polivalente. (Fonte: L. Esteves, Fevereiro 2010)

As travessas metálicas começaram a ser fabricadas no princípio do século XIX, mas atualmente praticamente já não se produzem, uma vez que não são indicadas para velocidades elevadas porque não garantem a qualidade de nivelamento e alinhamento exigidos. As travessas metálicas podem ser de vários tipos: constituídas por dois blocos fendidos, unidos por cantoneira de aço; travessa metálica monobloco, em aço laminado com uma geometria que tenta conseguir uma ampla superfície de apoio; travessa de junta dupla, de origem alemã, tem um nervo central inferior para evitar deslizamento do balastro; e a travessa V, desenvolvida pelos ingleses, que possuiu uma resistência maior ao deslocamento em via.

Os sistemas de fixação são semelhantes aos utilizados nas travessas de betão bibloco.

### 2.1.2.3. Fixações

O transporte ferroviário moderno é caracterizado pela circulação de grandes quantidades de carga, em veículos muito pesados e elevadas velocidades em vias com pouca manutenção. Este tipo de exploração exige uma superestrutura de via muito pesada com um sistema de fixação carril/travessa robusto e flexível.

Os antigos sistemas, de fixação rígida, onde não há intervenção de materiais elásticos, não garantem aperto permanente do carril e permitem deslocamento longitudinal deste. É o chamado caminhamento dos carris, conhecido por “cancro do caminho ferro”. Não obstante, estão ainda em serviço em várias linhas.

Existem diversos sistemas de fixação, também designada de pregação do carril à travessa, ou a qualquer outra forma de apoio destes, das quais se destacam os seguintes:

- Sistema de fixação rígida

O aperto do tirefond é dado diretamente sobre a patilha do carril, de modo a não romper as fibras da madeira. A pregação pode ser reforçada (6 tirefonds por travessa) ou simples (4 tirefonds por travessa).

### - Sistema de fixação elástica

Este sistema de fixação engloba uma palmilha em material elástico sob o carril e grampos de aço de mola que asseguram o aperto permanente do carril (figura 11). Existem no mercado diversos tipos de fixação elástica. Salvo algumas exceções, todos estes sistemas requerem um aperto controlado, sendo que um aperto insuficiente poderá não garantir uma fixação eficaz e um aperto exagerado poderá anular o efeito de flexibilidade requerido danificando os filetes da rosca da madeira, nuns casos ou da bucha plástica, noutros.

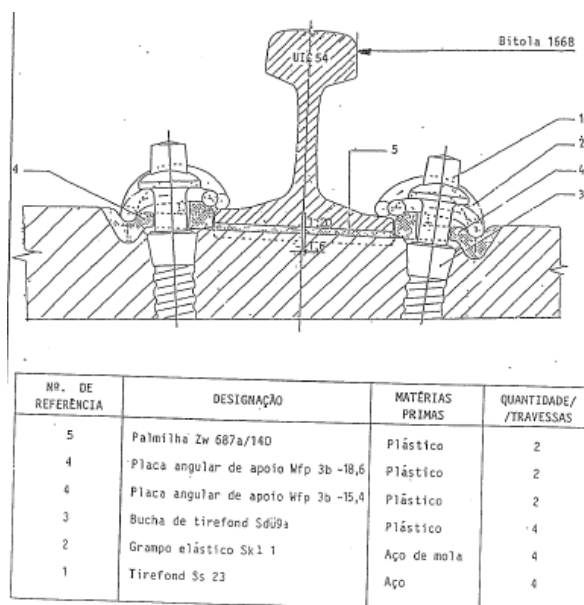


Figura 11: Designação dos componentes da fixação elástica para carris UIC. (Fonte: NT nº1 REFER, Abril 1990)

Existe também a designada fixação permissiva, que tem como objetivo consentir algum deslocamento longitudinal dos carris, no caso por exemplo dos aparelhos de dilatação. Esta fixação é caracterizada por não haver palmilha entre o carril e o chapim. Em outras situações há palmilha, mas é separada por uma chapa de aço inoxidável assegurando a situação acima mencionada.



Figura 12: Fixação Vossloh em travessas de madeira azobé (Túnel de Tamel á esquerda, Túnel de Caminha á direita) na Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011)

As pregações elásticas abundam o panorama ferroviário nos dias correntes, pela sua enorme resistência mecânica e amplitude de elasticidade relativamente às restantes pregações. Neste cenário, refere-se a pregação VOSSLOH que é seguramente a mais utilizada nas travessas de betão

atualmente com aplicação em Portugal há já cerca de 20 anos (figura 12). Contudo, a pregação NABLA, apresenta-se também como uma boa solução e de grande desempenho técnico nas travessas de betão e madeira.

Em casos especiais como os aparelhos de via, tabuleiros metálicos, tabuleiros de betão não balastrados ou via sem travessas, é possível encontrar outras fixações em que o carril é fixo a um chapim metálico com parafusos de gancho, as denominadas fixações indiretas. O chapim é fixo às travessas ou ao tabuleiro por tirefonds. Este sistema é conhecido por fixação tipo “K”.

#### 2.1.2.4. Carril

O aço dos carris é fabricado a partir da junção, em forno, a temperatura superior a 1 500 °C, de ferro fundido, com sucata de aço, ou “ferro velho”. Nesta operação, de finalização do aço, em que as suas características são apuradas, as siderurgias seguem processos distintos (Siemens-Marin basique, Elétrico ou Afinação por insuflagem de oxigénio), os quais se referem a uma maneira diferente de atingir o mesmo objetivo que é produzir lingotes de aço de boa qualidade. Depois de pronto, o aço é constituído em cerca de 98% por ferro, sendo os restantes 2% formados em proporções diferentes, por Carbono, Manganês, Silício, Crómio, etc. Consoante a quantidade incorporada e a proporção entre cada um dos elementos anteriores, serão fabricados carris com características mecânicas distintas de maleabilidade, dureza, etc. na operação seguinte denominada por Laminagem. A laminagem é a transformação dos lingotes (blocos) de aço saídos do forno de conversão (elétrico ou outro) em perfil definitivo por encalçamento progressivo a quente. A qualidade do aço dos carris é requisito essencial para a natureza de utilização e destino de aplicação na via, sendo que um carril de aço duro tem um desgaste três vezes ou mais vezes menor que um aço normal.

Qualidade de aço		Banda de dureza (HBW)	Designação
Nome do aço	Número do aço		
R200	1.0521	200 a 240	Carbono -manganês (C-Mn) Não tratado termicamente
R220	1.0524	220 a 260	Carbono -manganês (C-Mn) Não tratado termicamente
R260	1.0623	260 a 300	Carbono -manganês (C-Mn) Não tratado termicamente
R260Mn	1.0624	260 a 300	Carbono -manganês (C-Mn) Não tratado termicamente
R320Cr	1.0915	320 a 360	Aço ligado (1% Cr) Não tratado termicamente
R350HT	1.0631	350 a 390	Carbono -manganês (C-Mn) Tratado termicamente
R350LHT	1.0632	350 a 390	Carbono -manganês (C-Mn) Tratado termicamente
R370CrHT	1.0992	370 a 410	Aço ligado (C-Mn) Tratado termicamente
R400	1.1254	400 a 440	Carbono -manganês (C-Mn) Tratado termicamente

Tabela 2: Classe de aços para carril. (Fonte: EN 13674, 2014, adaptada)

Os carris são perfis de aço laminado formados de cabeça, alma e patilha. Os carris são caracterizados, essencialmente, pelo seu peso por metro de comprimento podendo encontrar-se carril de 45kg/m (para linhas de tráfego leve), carril de 54kg/m e 60kg/m (para linhas de tráfego pesado) e carril de 71kg/m (para linhas de tráfego muito pesado). A designação convencional adotada para carril de 54kg/m e 60kg/m, é 54 E1 e 60 E1, respetivamente.

Os carris são identificados através das marcas em relevo, gravados na alma durante o processo de laminagem, onde consta a seguinte informação: firma do fabricante, tipo de carril, mês e ano de fabrico, método de fabrico, qualidade do aço e eventualmente o sentido do lingote na laminagem (marcado por intermédio de seta). Para além das marcações citadas anteriormente, certos carris trazem ainda de fábrica uns caracteres punçoados na alma, permitindo a rastreabilidade do produto pelo fabricante que facilmente e com precisão identifica a data, o molde, a equipa de produção e outros dados relevantes do procedimento de qualidade de fabricação.

Os carris podem ser fabricados com comprimentos muito variáveis sendo que, atualmente, produzem-se com 18m, 32m, 72 e 100m. Importa ter presente a noção de carril com uma unidade formada de uma só peça (sem soldaduras), correspondendo uma barra de carril a uma sucessão de carris soldados (dois ou mais). Em regra, entende-se por barra longa soldada (BLS) uma barra de carril com o comprimento mínimo de 300 metros de comprimento.

Algumas das barras tem uma das faces da cabeça do carril com melhor acabamento, normalmente assinaladas com setas e destinada a ser a face de guiamento devendo por isso ficar para o interior da via.

## 2.2. Esforços na plataforma ferroviária

Numa via-férrea geram-se esforços em todas as direcções devido às condições de tráfego. Os mais condicionantes para o dimensionamento das espessuras das camadas ferroviárias são os verticais, distribuídos ao longo da plataforma, e os transversais gerados na transição entre as suas camadas.

Uma plataforma ferroviária está submetida a cargas devidas ao seu peso próprio e a uma sobrecarga correspondente aos efeitos dinâmicos provocados pela passagem dos comboios. Segundo os dados de Fomento (1999), é aconselhada a definição da carga a aplicar segundo a velocidade de dimensionamento. Esta relação é estabelecida através da tabela 3.

V (km/h)	Qdim2 (kN)
$V \leq 160$	200
$160 < V \leq 200$	190,00
$200 < V \leq 250$	180,00
$250 < V \leq 300$	170,00
$V > 300$	160

Tabela 3: Cargas verticais dinâmicas segundo Prud'homme. (Fonte: Ministério do Fomento, 1999)

O dimensionamento será efetuado para uma velocidade inferior a 160 km/h, tal como no caso que apresentamos, sendo a carga a optar de cerca de 200 kN. Dadas as condições de simetria do modelo, apenas se aplicará metade da carga, adotando-se um valor de 100 kN.

Devido à não linearidade do material em estudo gera-se a necessidade de se determinarem as tensões existentes através de etapas de aplicação de carga. Numa primeira fase apenas se considera a carga devida ao peso próprio do material até se alcançar um equilíbrio de tensões.

Na fase seguinte, repete-se o procedimento mas com atuação simultânea do peso próprio e das cargas devidas ao tráfego. As tensões e os deslocamentos são obtidos através da diferença das duas etapas, alcançando-se assim uma solução mais rigorosa.

As variadas solicitações às quais a via-férrea está sujeita levam à necessidade de caracterização dos seus elementos de acordo com o processo de deterioração estrutural. Impõem-se então a necessidade de análise das respetivas camadas de subestrutura e determinação dos números de ciclos teóricos, aos quais cada camada pode estar sujeita até atingir a rotura. Os valores condicionantes do estudo serão definidos através do modelo tradicional de via-férrea, correspondente a uma plataforma de boa qualidade com um sub-balastro granular.

Assim, os modelos serão comparados com as características estruturais e de duração semelhantes às tradicionais.

## **2.3. Dimensionamento da Superestrutura**

### **2.3.1. Parâmetros Geométricos**

A qualidade da geometria da via está intimamente relacionada com os parâmetros geométricos da via, cujos valores limite obedecem a especificações técnicas fixadas em normas. A capacidade de desempenho da via (velocidade máxima permitida, nível de conforto e segurança dos passageiros, etc.) são avaliadas em função dos valores medidos daqueles parâmetros, que por vezes são reveladores de defeitos de construção, falta de conservação, desgaste ou deterioração da qualidade da via.

Os principais e mais importantes parâmetros de via, bem como as tolerâncias mínimas exigíveis estão definidas na normativa REFER (designadamente, a IT.VIA.018 - Tolerâncias dos parâmetros geométricos da via que tem por base as normas europeias EN 13231, "Railway applications – Track – Acceptance of works" e EN 13848, "Railway applications – Track – Track geometry quality").

Sendo que o documento apresentado está apenas vocacionado para a subestrutura, no seu conceito geotécnico, este tópico não será desenvolvido. Independentemente desta posição é imperioso referir a ligação simbiótica entre os dois níveis no que se refere ao seu comportamento geométrico uma vez que as alterações verificadas na superestrutura são um dos principais indícios de problemas na subestrutura, como aliás irá ser referido mais adiante com outro pormenor.

## **2.4. Dimensionamento da Subestrutura**

### **2.4.1. Projeto**

Uma análise geológica cuidada é um elemento fundamental para a qualidade de um projeto e da duração posterior da plataforma. É preciso proceder a um inventário completo dos problemas geológicos da faixa reservada a fim de evitar que o traçado tenha problemas desta natureza a todo o custo.

A zona do projeto pode ser naturalmente estável, mas ela pode igualmente apresentar certas características de instabilidade, tais como escorregamentos e aluimentos. Em primeiro lugar é necessário proceder a um reconhecimento completo de todas as zonas examinando as cartas, as fotografias de cores não naturais visitando o terreno.

É preciso igualmente apreciar á priori as repercussões dos trabalhos no terreno, uma zona naturalmente estável pode tornar-se instável após os trabalhos. Ao mesmo tempo este ponto exige um perfeito conhecimento das técnicas de trabalhos a realizar e da reação a curto e longo prazo dos terrenos face a esses trabalhos. Como medida cautelar deverá ser assegurado em gabinete o conhecimento de trabalhos anteriormente realizados em terrenos semelhantes.

Após um primeiro esboço do traçado e do perfil longitudinal, o estudo ficará concentrado nas zonas de obras de arte e nas grandes terraplanagens.

O estudo geológico necessário deverá refletir as características do trabalho para o qual se realiza. Uma primeira classificação poderá dividir o estudo geológico em relação aos trabalhos que se referem á superestrutura e nos que se referem á infraestrutura. No primeiro grupo situam-se os estudos referentes á extração de balastro das pedreiras. Nos referentes á infraestrutura esses estudos poderão estar orientados para os trabalhos de implantação de uma instalação ferroviária nova ou podem contemplar a necessidade de corrigir os defeitos existentes na instalação ferroviária existente. Em ambos os casos o estudo geológico deve realizar-se nas fases de estudo prévio, anteprojecto e projecto definitivo. Este estudo deve possuir diferentes caracterizações em conformidade com o tipo de fase a que se refere. Independentemente do seu alcance, as suas conclusões devem ser o mais fiáveis possível e terem como objetivo servir de base na definição das necessidades dos trabalhos geológicos que se pretendam realizar na fase seguinte.

O estudo geológico deverá abordar os problemas existentes no terreno em prol de três perspectivas, geológica, hidrogeológica e geotécnica.

O cruzamento destas três perspectivas permitirá retirar conclusões sobre a origem dos problemas existentes, sobre as suas possíveis soluções, sobre a possibilidade de existência de problemas futuros e estabelecer recomendações inerentes aos ensaios e sondagens a realizar em fases posteriores visando a confirmação das suspeitas apresentadas e apresentado o seu custo estimado.

O estudo geológico prévio, no que se refere ao seu objetivo primário, não contempla a realização de prospeção e ensaios geológicos completos mas somente prospeção visual (figura 13). Posto isto as suas considerações válidas refletem apenas o estado superficial do terreno sendo que as que dirigidas á profundidade se baseiam em interpretações.

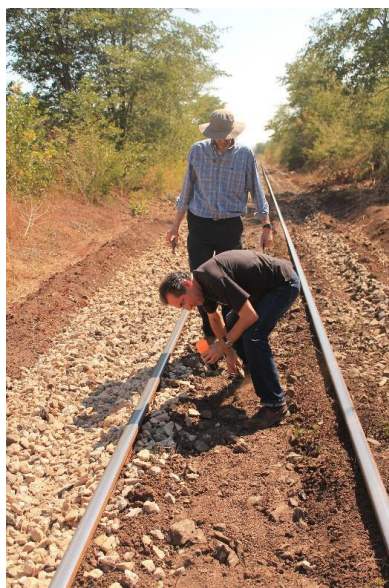


Figura 13: Prospeção visual na Linha do Sena, Moçambique. (Fonte: Nuno Cruz, 2017)

Os elementos recolhidos durante o Estudo Prévio devem ser completados por elementos geotécnicos precisos, permitindo o cálculo da mecânica de solos. Os levantamentos das amostras efetuados durante as campanhas de sondagens na fase de Estudo Prévio são completadas por campanhas específicas de sondagens nas zonas de obras de arte e de grandes terraplanagens.

Nesta fase do estudo é necessário conhecer as características fundamentais do terreno; por exemplo, para os terrenos móveis efetua-se os ensaios de identificação clássicos: granulometria, sedimentação, limites Atterberg, etc. Estes dados servirão para agrupar os terrenos segundo uma classificação de solos que permitirá, tendo em conta o regime hidráulico e a profundidade do gelo e as condições de exploração ferroviária, de determinar a classe de plataforma necessária ao dimensionamento da estrutura de assentamento de modo a estabelecer um quadro de correspondência indispensável para o movimento de terras, que determina os solos reutilizáveis, os que se colocam em depósito definitivo e os que podem ser empregues segundo determinadas condições.

#### **2.4.2. Instalação ferroviária nova**

Para a implantação de uma nova via ferroviária é necessário avaliar diversas possibilidades construtivas que dependem de diversos fatores, nomeadamente dos condicionalismos topográficos do terreno, que ditarão os possíveis corredores de implantação das vias, e das dificuldades geológicas que tais corredores possam apresentar, descartando os que apresentam dificuldades insuperáveis e classificando o resto. Remetendo este documento á reabilitação geotécnica de vias ferroviárias existentes e em utilização este tema não será aprofundado, resta apenas referir o

impacto e repercussões que a má construção das plataformas origina, assunto debatido em pormenor mais adiante neste documento.

### 2.4.3. Reforço e consolidação de infraestrutura ferroviária existente

Neste caso a principal diferença no que se refere ao estudo para uma instalação ferroviária nova reflete-se na existência de um problema concreto para o qual se procura uma solução. Pode surgir de diversas formas de acordo com o problema detetado e de acordo com o elemento da infraestrutura que se encontra afetado mas na sua generalidade o estudo preliminar é realizado e apresentado nos mesmos moldes.

#### 2.4.3.1. Deterioração estrutural

É largamente aceite o facto de que o balastro é a camada estrutural que mais contribui para o assentamento a curto prazo da ferrovia. A longo prazo o problema do assentamento é essencialmente devido à consolidação ou à instabilidade do solo de fundação.

A repetição de cargas geradas pelo tráfego é a causa base do fenómeno de deterioração dos materiais constituintes das respetivas camadas. Um correto dimensionamento estrutural deve ter em conta o comportamento da subestrutura a longo prazo, sendo necessário estudar todo o processo.

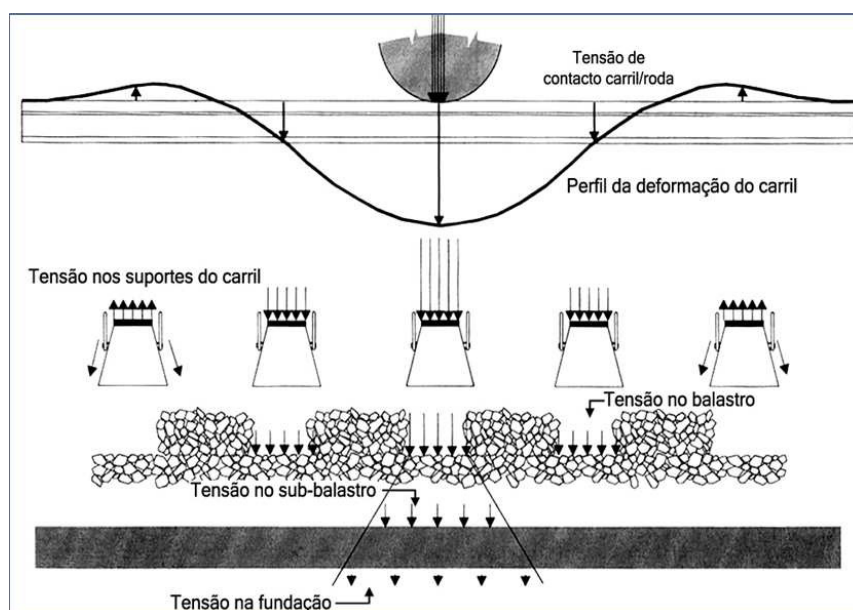


Figura 14: Tensões na via – férrea. (Fonte: Selig e Waters, 1994, adaptado)

A rotura por deformação plástica, por fadiga e por deformação de corte são os principais mecanismos de rotura que ocorrem nas camadas de estruturas de transportes.

O processo de deterioração de cada tipo de material depende das suas características. A rotura por deformação plástica é comum nos materiais granulares onde, devido às ações cíclicas das cargas, se vão acumulando deformações verticais permanentes na sua estrutura interna. Considera-se que o material entra em rotura quando as suas partículas atingem determinado limite de deformação

acumulada. O estudo deste tipo de comportamento é efetuado através de modelos que permitam estimar o número de repetições de carga sujeitáveis por um material até à sua rotura.

A rotura por fadiga, termo habitualmente utilizado para nomear todos os processo de deterioração estrutural na engenharia de transportes, relaciona-se com o facto de muitos materiais ao serem sucessivamente solicitados a níveis de tensão inferiores aos de rotura, vão desenvolvendo alterações na sua estrutura interna. É um processo normal em materiais com propriedades coesivas onde ocorre fendilhação por acumulação de deformações horizontais permanentes, assim como em materiais com ligações cristalinas, nos quais se gera fissuração devido à ação cíclica de tensões horizontais. Para caracterização deste fenómeno, são utilizados modelos conhecidos como leis de fadiga. Estas leis, tal como as relações anteriores, permitem estimar o número de ciclos até à rotura das camadas, quando sujeitas a ações de deterioração na sua base.

A rotura por deformação ao corte existe em todos os materiais, contudo torna-se crítica na presença de solos argilosos, uma vez que os finos agem como elementos lubrificantes reduzindo o atrito de contacto entre os restantes elementos, gerando uma perda de resistência ao corte. Segundo Li e Selig (1996), este tipo de fenómeno é condicionante em plataformas constituídas por solos argilosos, se não houver uma adequada camada de material granular. Origina-se devido à plastificação das argilas nas zonas de transição entre a plataforma e a camada subjacente. A figura 15 ilustra a rotura por deformação de corte numa via-férrea.

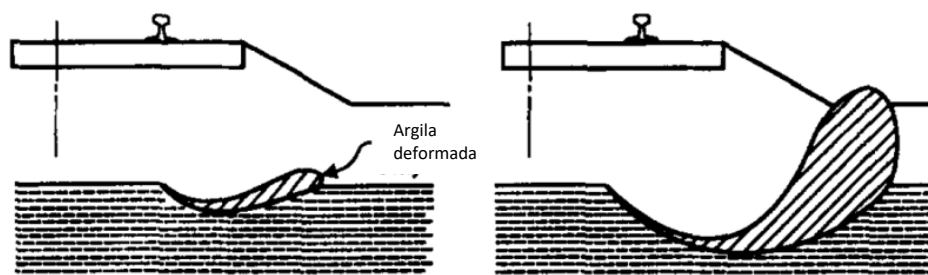


Figura 15: Rotura por deformação de corte na via-férrea. (Fonte: Li e Selig, 1998a)

Este fenómeno pode evitar-se limitando a deformação horizontal das superfícies de plastificação. Este limite depende das características do solo argiloso.

O fenómeno de retração é característico de misturas com cristais na sua estrutura resistente. Pode ocorrer devido à presença de água ou a variações de temperatura, retrações hidráulicas ou térmicas, respetivamente. A primeira manifesta-se através de alterações volumétricas que resultam no aparecimento de fissuras na sua estrutura cristalina. A segunda gera-se devido a um gradiente da temperatura, levando a uma perda de ligações cristalinas na sua matriz resistente.

A retração térmica ocorre devido às reações exotérmicas associadas aos processos químicos de estabilização, podendo também ser ocasionado pelas condições climatéricas (forte insolação, elevados gradientes térmicos, entre outros).

Por fim, existe um mecanismo semelhante à retração hidráulica, denominado por fenómeno de contração. Este processo é típico de solos com natureza coesiva, que por efeito de secagem do

material, entram num equilíbrio higrométrico com a atmosfera, perdendo a água livre existente entre as partículas e contraindo a fração argilosa do solo.

#### **2.4.3.2. Avaliação da deterioração estrutural na plataforma**

A plataforma é a estrutura da subestrutura ferroviária mais sensível ao processo de deterioração, e quando a sua renovação é inviável, torna-se crucial o estudo de metodologias de tratamento dos terrenos de fundação com o mínimo da perturbação possível á circulação comercial. Serão pois âmbito deste ponto os métodos de avaliação de deterioração de solos granulares e argilosos.

##### **2.4.3.2.1. Solos granulares**

O tipo de rotura condicionante nos solos granulares é a rotura por deformação plástica, como tal, apenas se analisará essa vertente. Os solos granulares têm sido alvo de um grande estudo por parte da engenharia rodoviária, tornando-se bastante simples caracterizar o seu comportamento à acumulação de deformações permanentes através de modelos de deformação controlada. É de notar, que a aplicação deste tipo de relações requer algum cuidado pelo facto do seu comportamento não depender só dos esforços verticais, mas também de propriedades mecânicas do material, tais como, o módulo de deformação, o ângulo de atrito, a coesão, as tensões de corte, de desvio, entre outras (Pita et al., 2004). De modo a efetuar comparação entre plataformas de vários tipos de materiais, tornou-se necessário a aplicação de uma relação contemplando as características mecânicas dos materiais.

Huang et al. (1984) estabeleceram, defendendo a culpa da discrepância do valor de cargas entre a engenharia rodoviária e ferroviária, para a aplicação de modelos de deformação controlada não levar a resultados válidos, uma relação que pudesse contemplar as características mecânicas das plataformas ferroviárias. A relação seguinte (figura 16), permite, através da tensão na plataforma e do módulo de elasticidade na mesma, estimar o período de vida útil plataforma:

$$N=3.362.10^6 \cdot \sigma_p^{-3.734} \cdot E^{3.592}$$

Em que,  
*N* – Número de aplicações de corte até á rotura  
*σ<sub>p</sub>* – Tensão vertical no topo da plataforma (MPa)  
*E* – Módulo de Elasticidade da plataforma (MPa)

Figura 16: Relação entre a tensão na plataforma e o seu módulo de elasticidade. (Fonte: Huang et al., 1984)  
Esta relação adotada para a determinação do ciclo de vida útil das plataformas permite definir, para solos granulares, idêntico período de vida útil, em função da tensão no topo da plataforma e das características do material empregue. O gráfico da figura seguinte (figura 17) representa a variação do período de vida útil deste tipo de estrutura em função da tensão vertical no topo na mesma, para os valores característicos de módulos de elasticidade neste tipo de materiais.  
Este gráfico demonstra que, quanto mais rígida for a plataforma e menor a tensão no topo em cada ciclo, maior será a sua duração.

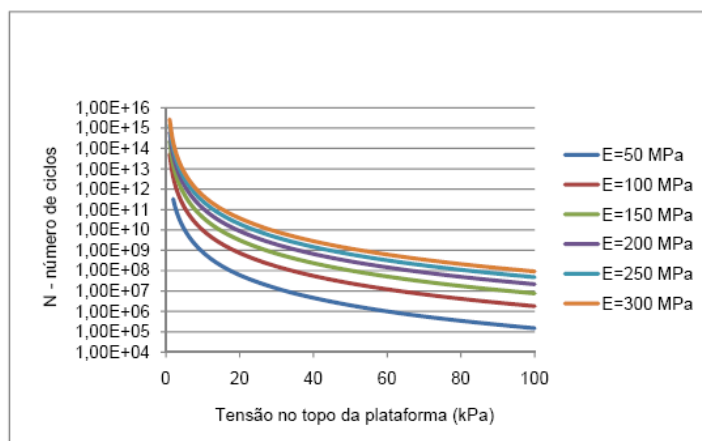


Figura 17: Comportamento da plataforma granular aos mecanismos de deterioração estrutural. (Fonte: João Alves, 2010, adaptado)

#### 2.4.3.2.2. Solos argilosos

Para avaliação dos mecanismos de deterioração estrutural de plataformas constituídas por solos argilosos, optou-se por utilizar um método que contemplasse, tanto a rotura por deformação plástica como a rotura por deformação de corte, sendo o fenómeno de contração desprezável neste tipo de material.

Os autores Li e Selig. (1998a) desenvolveram um método de dimensionamento obedecendo aos requisitos de rotura estabelecidos e, em estudo semelhante, catalogaram este tipo de solos sobre o ponto de vista da sua utilização em plataformas ferroviárias. Irá ser efetuada através deste catálogo de solos argilosos (Li e Selig, 1996) uma aproximação ao solo de fundação argiloso QS1, definido segundo classificação da UIC. Este método consiste em estimar uma altura útil de material granular (equivalente à camada de balastro, camada de coroamento e à camada de sub-balastro) a colocar sobre a plataforma, de modo a evitar qualquer tipo de rotura. A figura 18 define os parâmetros a estimar, neste modelo.

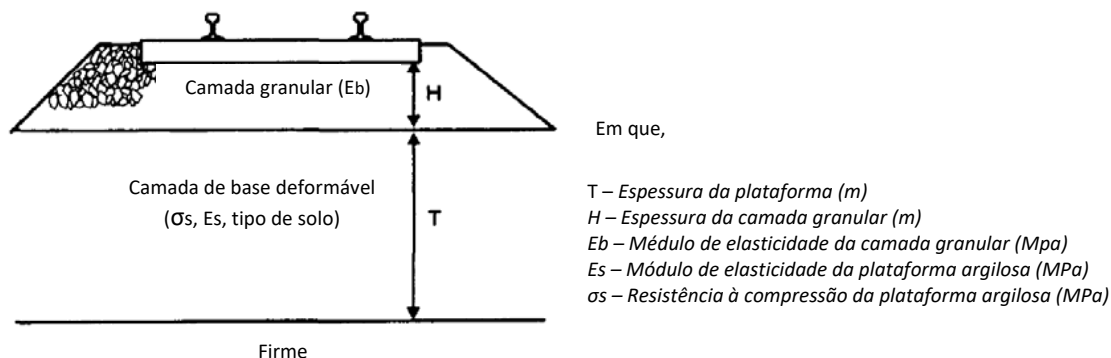


Figura 18: Dimensionamento de plataformas ferroviárias em solos argilosos. (Fonte: Li e Selig, 1998a, adaptado)

As cargas dinâmicas são definidas majorando as cargas estáticas, através de coeficientes de majoração expressos pelos autores. A espessura da camada granular é obtida através da análise de dois fatores de influência, respetivos ao tipo de rotura: o fator de influência de deformação por

corte (prevenindo a deformação por corte) e o fator de influência de deformação vertical (prevenindo a rotura por deformações plásticas).

### 2.4.3.2.3. Fatores de influência

Os fatores de influência caracterizam-se através de expressões e ábacos definidos pelo método. Estes ábacos permitem estimar uma relação entre a espessura da plataforma e a do material granular, sendo seleccionados de acordo com os solos usados no dimensionamento.

A tabela 4 demonstra, de forma simplificada, a determinação dos fatores de influência.

Factor de influência de deformação por corte	Factor de influência de deformação vertical
$I_e = \frac{\sigma_{da} \times A}{P_d}$	$I_p = \frac{\rho_a}{a \left( \frac{P_d}{\sigma_s A} \right)^m N^b}$
<p><math>I_e</math> – Factor de influência de deformação por corte  <math>\sigma_{da}</math> – Tensão deviatórica à superfície  <math>A</math> – Área de influência do modelo  <math>P_d</math> – Carga vertical dinâmica</p>	<p><math>I_p</math> – Factor influência deformação vertical  <math>\rho_a</math> – Deformação máxima acumulada  <math>L</math> – Largura de influência do modelo  <math>a, m, b</math> – Parâmetros do solo argiloso  <math>P_d</math> – Cargas verticais dinâmicas  <math>A</math> – Área de influência do modelo  <math>\sigma_s</math> – Resistência compressão do solo argiloso  <math>N</math> – Número aplicações de carga até rotura</p>

Tabela 4: Determinação dos fatores de influência. (Fonte: Li e Selig, 1998b)

Para aplicação deste método torna-se necessário caracterizar os materiais em função das características definidas pelos autores nos seus estudos. O solo QS1, de acordo com as características determinadas pela UIC, aproxima-se de um solo argiloso CH (fat clay). Para o material granular adotaram-se as propriedades definidas no método, diferindo apenas o módulo de elasticidade na aplicação em modelos de elementos finitos. A tabela 5 define as características dos materiais segundo Li e Selig (1998b).

Solo de fundação	Propriedades	
Argiloso /QS1/ CH	$\sigma_s$	90 kPa
	$E_s$	14 Mpa
Material granular	$E_b$	276 Mpa
	$\epsilon_{\rho a}$	2%
	$\rho_a$	25 mm

Tabela 5: Propriedades do solo de fundação argiloso e de material granular. (Fonte: Li e Selig, 1998b, adaptado)

#### 2.4.3.2.4. Modelo Padrão

Como modelo padrão a adotar e para efeitos comparativos em função dos resultados dos ensaios preconizados, respeitaremos o modelo tradicional, conforme já referido em 2.2 para a definição dos esforços na plataforma. O modelo com uma camada de sub-balastro granular é considerada a solução tradicional e será denominado como modelo-padrão. Toda a análise dimensional de subestruturas em plataformas de qualidade inferior será efetuado em função destes valores.

Neste caso específico, foi considerada uma sub-estrutura constituída por 3 metros de plataforma de QS3, 35 cm de camada de coroamento em solo QS3 e 30 cm de sub-balastro granular de boa qualidade. A tabela 6 indica a tensão vertical no topo da plataforma QS3, para este modelo padrão.

Solo	Tensão vertical topo da plataforma (kPa)
QS3	44,5

Tabela 6: Tensão vertical do modelo padrão. (Fonte: João Alves, 2010, adaptado)

A partir deste valor será possível analisar comparativamente, os resultados dos reforços aos terrenos de fundação, através de uma simples equivalência estrutural, como também definir o período de vida útil mínimo ao qual as plataformas, mesmo de solos de qualidade inferior, estão sujeitas.

Para se estimar o período de vida útil do modelo-padrão será necessário analisar a plataforma em prol do número de ciclos à rotura que será determinado através da relação descrita em 2.4.3.2.1, figura 16, na qual é estimado este valor através da tensão vertical no topo da plataforma e do seu módulo de elasticidade. A tabela 7 apresenta o número de ciclos  $N$ , admissível durante todo o período de vida útil da plataforma para este modelo.

Solo	Tensão vertical topo da plataforma (kPa)	Módulo de Elasticidade da Plataforma (Mpa)	N
QS3	44,5	80	1,67E+07

Tabela 7: Período de vida útil de referência. (Fonte: João Alves, 2010, adaptado)

O valor obtido do período de vida útil da plataforma do modelo-padrão é de 16 700 000 ciclos, sendo este considerado o valor de referência, ou seja, o adotado para o dimensionamento das plataformas de qualidade inferior.

Foram efetuadas, por vários autores, diversas verificações à deterioração das camadas de sub-balastro granular que constituem o modelo tradicional, recorrendo a modelos de deformação controlada, permitindo determinar o período de vida útil de camadas constituídas por solos granulares. Os resultados obtidos, por cada autor, são expressos na tabela 8.

<b>Modelos de extensão controlada</b>	<b>Solo de plataforma N - QS3 (80MPa)</b>
Dormon e Metcalf (1965)	4,99E+13
Método de Shell (85% fiabilidade) (JAE, 1995)	3,18E+13
Método de Shell (90% fiabilidade) (JAE, 1995)	1,72E+13
Belga (Izquierro et al, 1990)	8,76E+12
Francesa (Izquierro et al., 1990)	6,19E+13
Inglesa (Izquierro et al., 1990)	2,51E+11
Brown y Pell (Izquierro et al, 1990)	2,01E+13
<b>Deformação de compressão</b>	<b>2,79E-04</b>

Tabela 8: Determinação do período de vida útil para a camada de sub-balastro granular por diversos autores. Analisando a tabela anterior pode notar-se o facto do período de vida útil desta camada ser, em média, bastante superior ao da plataforma. Deste modo, confirma-se que no modelo-padrão, a camada da subestrutura mais condicionante para o dimensionamento é a plataforma.

### 3. Tratamento de plataformas ferroviárias

#### 3.1. Conceitos gerais

Ao efetuar a reparação ou estudo de uma plataforma ferroviária deve ter-se em conta que a plataforma deverá ser estável e que das suas condições de capacidade de suporte dependem características como a espessura da camada de balastro, as camadas de assentamento, a segurança da via e a circulação das composições ferroviárias dentro dos padrões de conforto definidos.

Se o estudo a nível de projeto deve ser minucioso, diagnosticando o comportamento das plataformas, no que diz respeito a reparações, uma vez detetado o defeito e a sua extensão, o seu estudo e solução podem ser mais simples. Os projetos específicos de reparações da infraestrutura apresentam, por um lado, a vantagem de saber as falhas das soluções aplicadas, por outro lado, o inconveniente de que as reparações desses defeitos, as modificações às soluções iniciais e a realização de outro tipo de soluções geralmente são mais onerosas que construir uma obra nova de acordo com o projeto primitivo.



Figura 19: Reabilitação integral da plataforma de via. (Fonte: E.Fortunato, 2014)

Quando a infraestrutura possui uma degradação acentuada que não permite a sua resolução com a adoção de reparações localizadas é necessário realizar tratamentos de acordo com os resultados obtidos em ensaios e estudos pertinentes ou inclusive adotar outro tipo de soluções que devem ser abordadas com o rigor de uma obra nova.

O estudo para obter essas soluções deve ter em conta as consequências e implicações produzidas pelos seguintes fatores:

- Escolha de soluções parcialmente ou totalmente inadequadas deixando por eliminar as verdadeiras causas dos defeitos obrigando a novas intervenções;
- Manifestações das causas dos defeitos não detetados nos estudos de projeto;
- Realização defeituosa das obras;
- Alterações nas características e condições dos terrenos de fundação da instalação ferroviária;

- Condições geológicas e geomorfológicas dos terrenos de fundação não consideradas em fase de projeto permitindo o comportamento defeituoso da infraestrutura normalmente originado por más características dos solos, falta de capacidade portante, agressividade dos solos, etc.;
- Ações atmosféricas: gelo, vento, meteorização, etc...;
- Ação da água superficial ou subterrânea que se manifesta de diversas formas. Estas águas são na sua maioria o principal fator de deformações na infraestrutura;

Estes fatores, de forma isolada ou habitualmente combinados, podem chegar a ocasionar importantes danos colocando em perigo o funcionamento das infraestruturas instaladas. Qualquer uma das causas citadas produzem defeitos que tendem a agravar-se com o passar do tempo encarecendo as reparações possíveis. Convém por isso preparar o mais rapidamente possível o projeto de tratamento a realizar, assim que determinada a progressão do defeito.

Os principais efeitos produzidos por estes fatores são os assentamentos e/ou deformações na plataforma e a fluidez e degradação dos solos de fundação da plataforma permitindo a perda de compacidade e a eventual contaminação de balastro conduzindo á colmatação e perda das características elásticas.

Face ao exposto, considera-se importante, avaliar as diversas patologias existentes nas plataformas ferroviárias, previamente á identificação das soluções de tratamento.

### 3.2. Deficiências na plataforma

#### 3.2.1. Assentamentos na plataforma

Os assentamentos na plataforma originam-se por plastificação dos solos que a constituem, por consolidação progressiva dos mesmos e por falta de capacidade portante da sua estrutura.

A plastificação dos solos produz-se nos solos de qualidade média a baixa na presença de água sem escoamento possível. Essas águas originam numa primeira fase o encharcamento da plataforma dando lugar ao seu amolecimento superficial. Numa fase posterior o amolecimento do solo acentua-se em profundidade provocando bolsas plastificadas. Por fim as bolsas de solo plastificado aumentam em extensão e profundidade chegando a provocar uma ou mais superfícies de deslizamento.

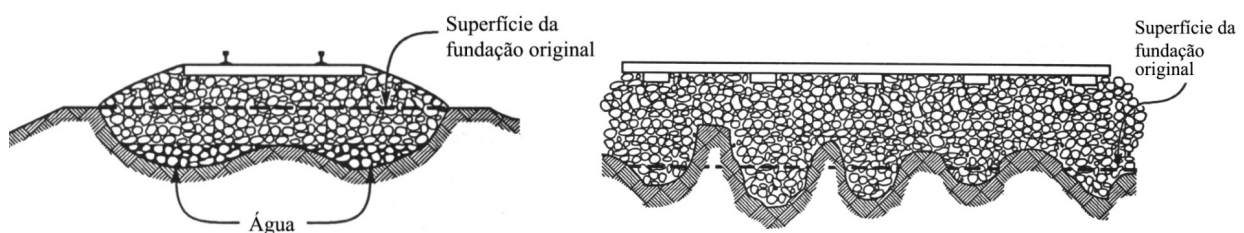


Figura 20: Exemplo deformação plástica em perfil transversal e longitudinal da via-férrea. (Fonte: Li e Selig, 1995, adaptado)

Os assentamentos por consolidação progressiva dos solos da plataforma têm a sua origem na má compactação realizada em fase de construção e no aumento de peso por eixo do material circulante ferroviário. Ambos os fatores tendem a diminuir o índice de vazios nos solos provocando, lentamente, uma maior consolidação.

Os assentamentos por falta de capacidade portante devem-se apenas á deficiente preparação da base da plataforma ou às características inadequadas dos solos que as compõem, aliadas á inexistência de correções dos solos.

### 3.2.2. Água na plataforma

O encharcamento da plataforma ocorre como consequência do deficiente escoamento das águas que chegam á plataforma seja em forma de precipitação ou por escorrências ou infiltrações das encostas. Independentemente da sua origem o encharcamento ocorre como consequência da falta de uma rede de drenagem adequada.



Figura 21: Zona de encharcamento na Linha de Cascais. (Fonte: da autora, 2008)

A água na plataforma surge com maior frequência devida á precipitação revelando-se através da inexistência de valetas laterais, da impossibilidade de acesso da água que circula sobre o coroamento às valetas laterais e de defeitos existentes nas valetas. Estes defeitos são habitualmente a secção insuficiente, má disposição mecânica, escassez de pendentes favoráveis ao escoamento, transições de rasantes defeituosas que originam transbordamentos da água ou depósitos de finos arrastados e obstruções várias.

O encharcamento provocado por escorrências das encostas ocorre em secções transversais da via realizada a meia encosta ou em escavação, originado pela inexistente ou insuficiente drenagem da valeta de pé de talude. Nestas secções transversais ocorre também a infiltração das águas das encostas, mas em menor frequência, sendo que o encharcamento surge habitualmente na realização de escavações não tendo, estas infiltrações, sido detetadas nos estudos geológicos.

O encharcamento é visível através das manchas que ficam no balastro (figura 22), dos materiais finos da camada de coroamento que afloram á superfície, muitas vezes carregados pela própria circulação das águas na plataforma. Os defeitos que se formam são normalmente pequenos, circunscritos a uma ou duas travessas da via. Os métodos de correção prendem-se com o melhoramento da rede de

drenagem das águas superficiais através da construção de valetas novas ou reparando as existentes assim como dotar a camada de coroamento de uma inclinação que permita o correto escoamento das águas.



Figura 22: Mancha no balastro demarcando a zona de enchamento na Linha de Cascais. (Fonte: da autora, 2008)

Com estas medidas terá ainda de se proceder á decapagem da superfície da plataforma á profundidade necessária de forma a eliminar os solos em mau estado e substitui-los por outros com as características adequadas recorrendo a mantas geotêxtil caso se verifique necessidade.

### **3.2.3. Bolsas de solo plastificado**

Estas bolsas, quando surgem exclusivamente na camada de coroamento, são produzidas pela ação das águas da chuva não escoada. Quando estas bolsas se apresentam no núcleo do aterro da plataforma a sua origem advém das águas procedentes das encostas. Por fim se estas bolsas de solo plastificado abraçam ambas as camadas resultam da acumulação das águas das chuvas, das águas resultantes das escorrências das encostas e de águas subterrâneas.



Figura 23: Bolsas de solo plastificado em intrusão com as banquetas de balastro. (Fonte: Powrie e LePen, 2016)  
Estas bolsas são visíveis, quando começam a formar-se, por protuberâncias longitudinais ao longo das bases das banquetas de balastro que começam a misturar-se com o solo. Depois de formadas evoluem, afetando, para além da camada de coroamento, o núcleo da plataforma, chegando a

provocar superfícies de deslizamento que se verificam principalmente nas zonas de transição entre secções em aterro e em escavação.

As zonas de bolsas de solo plástico, que afetam apenas o núcleo das plataformas, verificam-se como protuberâncias laterais nos aterros chegando a provocar zonas de deslizamentos em diversas secções dos mesmos.

Dependendo da dimensão destas zonas de solo de má qualidade e do tipo de evolução dos defeitos que provocam, podem ocasionar na camada de coroamento, ligeiros assentamentos capazes de serem corrigidos apenas com recargas de materiais ou depressões no solo de tamanho considerável. Quando se verificam no núcleo os assentamentos que se verificam são mais ou menos lentos, permitem deslocamentos laterais e até deslizamentos de terras.

#### **3.2.4. Assentamento progressivo dos solos**

A principal origem deste assentamento deriva, como já referido, na construção indevida dos aterros das plataformas. Uma vez que a compactação natural dos solos é um método já não utilizável, atualmente este fenómeno apenas ocorre em obras mal realizadas juntamente com o aumento do peso por eixo do material ferroviário circulante.



Figura 24: Compactação da plataforma da via. (Fonte: Portfólio MEEC)

Este fenómeno manifesta-se pela depressão crescente da zona ocupada pela banquetta de balastro e além de assentamentos na via-férrea a compactação progressiva pode chegar a perturbar o escoamento das águas das chuvas comprometendo a eficácia da camada de coroamento originando o encharcamento da plataforma e posteriormente a formação de bolsas de solo plastificado.

Devido ao seu progresso se manifestar de forma lenta os assentamentos não são consideráveis e podem corrigir-se, como solução de emergência, por cargas de material de enchimento ou de balastro. O procedimento mais eficaz para eliminar esta falta de compactação é o das injeções ou o tratamento do solo por vibração (ver ponto 3.3.).

### 3.2.5. Deficiente capacidade portante dos solos

A origem desta deficiência encontra-se na utilização de solos inadequados na constituição das camadas constituintes da plataforma e coroamento assim como na sua incorreta compactação. A falta de capacidade portante materializa-se tal como nos assentamentos progressivos, por depressões crescentes na zona ocupada pela banqueteta de balastro.

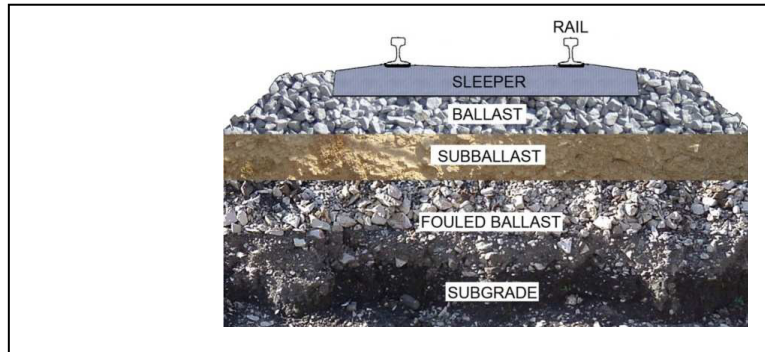


Figura 25: Camadas constituintes da plataforma e leito com intrusões de balastro. (Fonte: E.Fortunato,2014, adaptado)

Para além de produzir assentamentos na via-férrea, corrompe, igualmente, o escoamento das águas das chuvas provocando encharcamentos e bolsas plastificadas de solo. Nestes casos os efeitos manifestam-se mais rapidamente e de forma mais acentuada.

Para anular estes defeitos é necessário dotar a plataforma das camadas de assentamento ferroviárias adequadas. Não sendo possível, pode melhorar-se o seu comportamento através do reforço dos terrenos das camadas com cal, emulsões asfálticas, macadames, injeções, etc. Tratamentos estes, descritos no ponto seguinte.

### 3.3. Tratamento dos terrenos da plataforma

De forma a abordar corretamente a melhor solução para cada tipo de defeito ou degradação é preciso determinar a extensão e profundidade da zona afetada através de uma campanha de sondagens com extração de amostras permitindo, simultaneamente, determinar a origem do defeito.



Figura 26: Substituição do solo da plataforma da via. (Fonte: E. Fortunato,2014)

O tratamento de uma plataforma, independentemente da importância dos seus defeitos, tem fatores comuns que necessitam de ser considerados. De forma genérica, baseiam-se em substituir o solo com mau comportamento por outro melhor e terminá-lo com um coroamento. Estes tratamentos podem ser superficiais ou profundos identificando-se também casos onde uma solução intermédia é aplicável.

### **3.3.1. Tratamentos superficiais**

Quando o amolecimento do solo apenas provocou a contaminação do balastro é possível realizar a decapagem da zona superior da plataforma, regularizá-la em função dos perfis longitudinais e transversais adequados, colocar uma camada de material permeável ou impermeável em função da restante plataforma e proceder á depuração do balastro.

Quando as deformações da plataforma são já de alguma grandeza removem-se as bolsas de solo plastificado existentes preenchendo os espaços com materiais granulares terminando com uma camada de material adequado. Se as deformações não possuem grandeza significativa procede-se simplesmente á decapagem da plataforma com profundidade suficiente para permita evitar nova contaminação do balastro. De qualquer forma é sempre necessário proceder á limpeza do balastro contaminado.

São portanto utilizados dois tipos de materiais, o material empregue no enchimento das bolsas de solo retirado e o material utilizado para realizar o coroamento.

Estes tratamentos devem ser sempre acompanhados com a realização de uma rede de drenagens adequada para a eliminação das águas superficiais e das águas profundas.

O mais importante é eliminar a origem do defeito evitando o agravamento dos problemas de contaminação de balastro e de desconsolidação das plataformas.

#### **3.3.1.1. Melhoria da rede de drenagem superficial**

O melhoramento da rede de drenagem superficial materializa-se recolhendo as águas das chuvas e das escorrências das encostas através da construção de valetas novas ou reparando as existentes assim como dotar a camada de coroamento de uma inclinação que permita o correto escoamento das águas. Caso se verifique necessário, as valetas da plataforma levarão tampas (figura 27), evitando os efeitos dos desprendimentos nos taludes das seções em escavação.

Uma solução alternativa, mas eficaz será a de obrigar o balastro contaminado a penetrar na camada de solo que se encontra plastificada, acompanhando com uma boa compactação de preferência com cilindro mecânico vibratório, para obter uma camada de coroamento com capacidade portante suficiente e capaz de evacuar as águas até às valetas.



Figura 27: Valetas de plataforma com tampa junto á Estação de Caminha na Linha do Minho. (Fonte: da autora,2012)

#### **3.3.1.2. Camada de areia**

As camadas de areia realizam-se preferencialmente em solos constituídos por materiais argilosos e com uma grande percentagem de finos.

No caso de contaminação de balastro é realizada a decapagem da plataforma e distribuída uma camada de areia sem classificação por baixo do balastro com uma espessura de 0,15m agregando o solo. Esta camada é apenas suficiente para deter a evolução da degradação do solo e permitir a evaporação da água durante o seu atravessamento impedindo que esta humedeça a argila. Deve evitar-se a utilização de areias do mar sem lavagem prévia devido á concentração de sal que provoca corrosão nos materiais de via.

Nos acasos em que a plataforma atinge um elevado grau de degradação deverá aplicar-se uma camada de areia de grão inferior a 0,2mm e de espessura mínima 0,20m. Sobre esta camada será aplicada uma camada de areia grossa, esta com grãos que podem ir até os 2mm de diâmetro protegendo a zona de atravessamento do balastro.

#### **3.3.1.3. Camadas impermeabilizantes**

As camadas impermeabilizantes são utilizadas, principalmente, quando as deformações e as zonas de solo plastificado são de grandes dimensões. É removido todo o solo nas zonas com deformações esvaziando completamente as bolsas do solo plastificado sendo depois preenchidas por material granular adequado, protegendo-se a sua superfície com uma camada que pode ser formada por materiais siliciosos, argila misturada com cal, macadame ou uma capa asfáltica.

#### **3.3.1.4. Tratamentos com cal**

Os tratamentos com cal são realizados através de cal hidratada, sendo que o processo que utilizava cal viva já não se utiliza por questões de segurança relativas ao seu manuseamento.

A proteção pode realizar-se por um processo de estabilização do solo ou por uma alteração do mesmo, o processo de estabilização produz efeitos mais suaves diminuindo o índice de plasticidade e a quantidade de material que passa no peneiro de malha 200 (ASTM), sendo considerado de melhor aplicação no que diz respeito às necessidades ferroviárias.

A estabilização através de cal é utilizada em solos de argilas saturadas ou outros solos de qualidades inferiores utilizando 3 a 6 por 100 de peso de solo não saturado. Também se utiliza em solos calcários, cascalhos sujos e argilas com cascalheira entre outros que contenham até 50 por 100 de material grosso, nestes casos poderá refinar-se a aplicação para 2 a 4 por 100 de peso de solo.

A alteração dos solos realiza-se apenas em solos de grão fino e médio, com adições de cal na proporção de 0,5 a 3 por 100 de peso do solo não saturado.

As fases mais básicas de ambos os processos são similares. Consistem na realização de uma escarificação do solo da superfície da plataforma, uma pulverização deste, misturando e espalhando a cal e por fim o tempo de cura do terreno que não deve ser inferior a 3 dias. Quando se trata de estabilizar argilas compactas a mistura e espalhamento da cal deverá ser realizada em duas etapas, decorrendo pelo menos 24 horas entre uma e outra operação.

A escarificação e pulverização do solo deverá ser realizada recorrendo a um escarificador ou a uma grade de discos, realizando-o a cerca de 15 a 20 cm de profundidade. No processo de alteração em solos granulares, todo o solo deve passar o crivo de 25 mm.

#### **3.3.1.5. Tratamentos com macadame**

A camada de macadame terá uma espessura de 10 a 15 cm e será distribuída de uma só vez.

A continuação do espalhamento será realizada com o humedecimento da camada e pela compactação através de meios mecânicos, com passagens longitudinais desde as laterais da plataforma até ao seu eixo sobrepondo cada passagem a um terço da largura compactada na passagem anterior, até que o solo permaneça devidamente compactado.

Em zonas inacessíveis aos meios mecânicos ou em zonas de tratamento de pequenas dimensões a compactação poderá ser realizada com recurso a compactador mecânico ligeiro.

Quando a pedra se encontra perfeitamente unida e compactada dá-se início ao enchimento até o restabelecimento das cotas topográficas da plataforma espalhando o material em pequenas quantidades de forma que penetre e preencha os espaços entre as pedras. Serão utilizados elementos vibratórios combinando o seu efeito com rega frequente e até que se consiga a incorporação dos elementos granulares do enchimento com a camada de macadame. Por cima desta camada será posteriormente montada a superestrutura de via.

#### **3.3.1.6. Tratamentos com emulsões asfálticas**

Este tipo de tratamento aplica-se como uma rega asfáltica sobre o solo e apenas se realiza quando não é possível eliminar todo o solo plástico das bolsas de contaminação do balastro.

Sobre a rega deverá ser utilizado macadame para finalizar a camada. Normalmente, para se conseguir o efeito de impermeabilização desejado, basta uma só camada de rega que pode ser formada por 16 litros de gravilha, de 16 a 22 mm de diâmetro e por 1,6 Kg de betume fluidificado RC-4 por m<sup>2</sup> de plataforma.

### **3.3.1.7. Reforço com geossintéticos**

A utilização de geossintéticos é útil e economicamente vantajosa no reforço da subestrutura ferroviária, quando o solo de fundação é de má qualidade ou é pouco econômica a sua substituição por agregados de qualidade em espessura considerável.

Colocado entre dois solos com características geotécnicas distintas, o geossintético impede que as partículas dos dois solos se misturem ou interpenetrem, desempenhando um papel fundamental na separação das camadas. Para este efeito são utilizados geotêxteis.

Nos casos em que os solos de fundação exibem características geotécnicas relativamente fracas, a inclusão de geogrelhas pode propiciar o aumento da capacidade de carga “aparente” da fundação sem haver necessidade de recorrer à construção de camadas muito espessas de sub-balastro. Alternativamente poderão usar-se igualmente as geocélulas sobretudo quando se pretende maiores incrementos de resistência. Em alguns casos deixa de ser necessário remover a camada superficial da fundação que exhibe piores características.

Os geossintéticos tornaram-se uma aplicação comum em obras ferroviárias, quer em casos de reabilitação, quer de construção nova. O seu uso não se limita ao reforço, sendo certo que outras funções, como sejam a drenagem, separação entre as camadas da subestrutura e filtragem, são fulcrais para a conservação da integridade da via, com a conseqüente redução nos custos de manutenção.

Certos tipos de geossintéticos, quando aplicados nas camadas de balastro, sub-balastro, ou na interface do sub-balastro com o leito de via podem proporcionar alguns benefícios à subestrutura ferroviária como materiais de reforço do solo. De entre os benefícios que vêm sendo investigados nos últimos anos, destacam-se os seguintes:

- Redução dos assentamentos na camada de balastro associados ao espalhamento lateral dessa camada;
- Redução da taxa de deformações permanentes geradas devido ao carregamento cíclico;
- Aumento da capacidade de carga do sistema.

No caso das vias férreas, não são permitidas grandes deformações. Portanto, os mecanismos de atuação do reforço somente poderão ser baseados na absorção de tensões de corte e na interligação entre o geossintético e o agregado (no caso da geogrelha) e conseqüente restrição à movimentação lateral do aterro granular.

No caso das geogrelhas é importante discutir as dimensões mais apropriadas para as aberturas, atendendo às dimensões dos agregados utilizados no sistema ferroviário. Para além disso, é ainda fundamental estabelecer a rigidez da geogrelha adequada à aplicação (considerando a relação custo benefício) e estabelecer a profundidade de instalação, em face do funcionamento que se prevê que venha a ter.

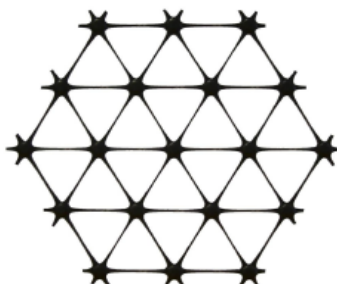


Figura 28: Estrutura de uma geogrelha triaxial. (Fonte: Tensar,2013)

A dimensão da abertura da geogrelha é importante para o efeito de confinamento. As geogrelhas bidimensionais comerciais têm aberturas desde os 25 mm até cerca de 65 mm. Necessariamente que esta dimensão será escolhida em função da granulometria do material a reforçar. Uma vez que a granulometria do balastro é muito uniforme, torna-se mais fácil escolher uma geometria para a geogrelha comparativamente ao caso de um agregado bem graduado, tal como o utilizado em pavimentos rodoviários.

A nível de parâmetros resistentes, as geogrelhas caracterizam-se por elevada resistência à tração e elevado módulo de deformabilidade.

A colocação de um geossintético em obra deve ser antecedida pela elaboração de um esquema de aplicação que inclua as seguintes fases:

- Preparação do terreno;
- Planta das faixas;
- Ordem de colocação das faixas, impondo o sentido de colocação;
- Indicação do método de ligação (por costuras, grampos, colagem ou sobreposição);
- Indicação de eventuais cortes para ajustamento às condições locais;

A preparação do terreno tem como objetivo evitar que o geossintético possa ser rasgado ou perfurado, ou que existam zonas com concentração de tensões.

As faixas devem ser orientadas tendo em conta a orientação das ações, normalmente na direção dos esforços mais elevados. A sobreposição longitudinal deve ser realizada paralelamente a esta direção. No caso das geogrelhas e das geocélulas, aplicadas na subestrutura de uma via-férrea, a sua ligação é efetuada por grampos ou por sobreposição simples, desde que se adotem comprimentos de sobreposição da ordem de 1 metro. Após a colocação do geossintético, o agregado pode ser espalhado. Recomenda-se que o agregado não seja descarregado diretamente sobre o geossintético

em solos muito moles, mas que seja gradualmente arrastado por Bulldozer. Após correto espalhamento e obtida uma plataforma nivelada efetua-se a compactação.

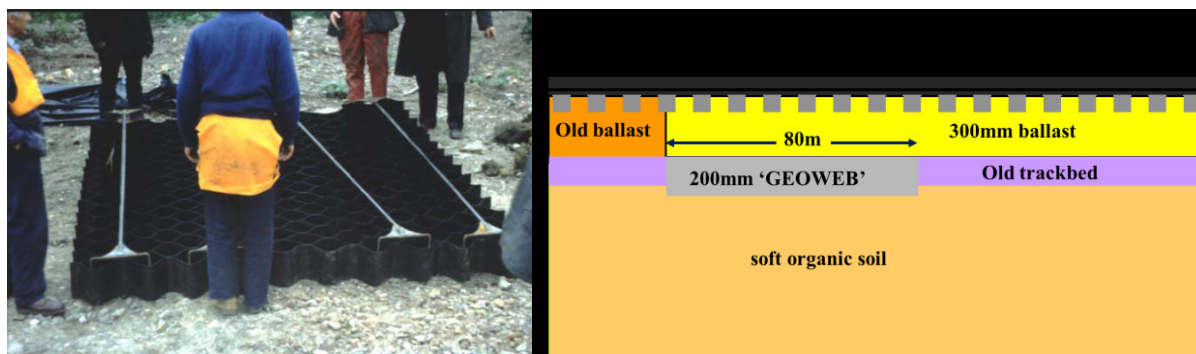


Figura 29: Preparação de uma geocélula para aplicação à esquerda e esquema exemplo de aplicação à direita. (Fonte: Powrie e LePen, 2016)

### 3.3.2. Tratamento profundos

A origem da grande maioria das irregularidades em plataformas contruídas em terrenos argilosos devem-se a revolvimentos sucessivos do solo sob a ação da água que não chega a infiltrar-se devido á impermeabilidade do terreno. Este fenómeno acentua-se nas turfas. A zona superficial da plataforma começa por amolecer, verificando-se intrusões de solo através do balastro, especialmente em zonas de transição. Numa segunda fase, especialmente nas argilas plásticas, o amolecimento do solo estende-se em profundidade e o balastro mistura-se com o solo que sob a ação de cargas flui no sentido ascendente e ocasiona proeminências em ambos os extremos das banquetas de balastro. Na terceira fase chega a criar-se uma ampla bolsa de solo afundado, muito plastificado, onde a água fica armazenada. Essa água infiltra-se nas laterais dos aterros provocando deslizamentos de terras. Este fenómeno vai criando assentamentos na superfície da plataforma até que o peso do solo em movimento desequilibrado provoca um deslocamento horizontal e um levantamento dos solos da base dos aterros a jusante deles.

As técnicas de saneamento de plataformas ferroviárias têm por isso duas origens e definições de tratamento distintos, a drenagem dos terrenos e a proteção e consolidação da plataforma.

#### 3.3.2.1. Saneamento por drenagem profunda do solo

Alcançada a terceira fase de amolecimento do solo, onde se originam amplas bolsas de solo afundado, muito plastificado, onde a água fica armazenada, é necessário confirmar a presença de águas mais ou menos profundas e nesse caso aplicar a construção de drenos profundos ou telas drenantes complementados pela substituição dos solos saturados caso se verifique essa necessidade.

Assim a chegada das águas subterrâneas poderá ser impedida através da colocação de drenos profundos ou telas drenantes caso não existam, caso já se verifiquem no terreno será necessário

comprovar o seu correto funcionamento e corrigir os defeitos que apresentem, nomeadamente o seu desbloqueio caso se encontrem obstruídos.

Uma vez conhecida a bolsa de solo plástico no que diz respeito á sua extensão e profundidade, a evacuação da água aqui presente consegue-se através da construção de drenos semi-horizontais (figura 30). Para a execução destes drenos executam-se perfurações no solo e no interior colocam-se tubos perfurados envolvidos em geotêxtil.

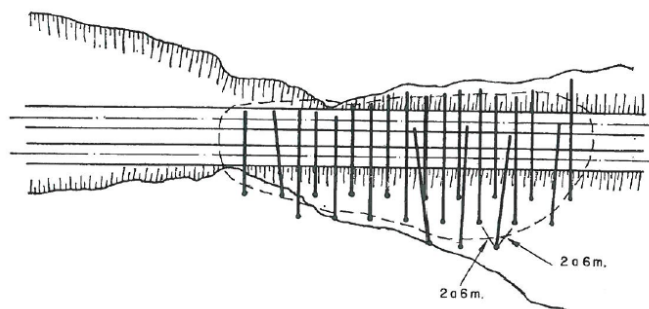


Figura 30: Esquema de execução de drenos semi-horizontais em via-férrea. (Fonte: Norma espanhola RENFE NRV2160, 1983)

Após a eliminação da água deve retirar-se as bolsas de solo que se encontrem na camada de coroamento sempre que estas não possuam as características adequadas, substituindo-as por outros melhores.

### 3.3.2.2. Tratamento por injeção na superfície de terreno natural

Este tratamento emprega-se quando não é de todo possível interromper a circulação ferroviária da via nem a sua desmontagem provisória. Realiza-se através da perfuração da plataforma, ultrapassando as zonas de material plástico, que formam as bolsas de solo degradado, pelo menos em 50 cm de comprimento e realizando outras perfurações que terminem no interior dessas bolsas junto do solo alterado.

Estas injeções (figura 31) realizam-se de cima para baixo nas bolsas através das perfurações verticais alternadas com afastamento de um a três metros que se injetam por tramos para desalojar a água da parte inferior e criar uma camada de coroamento na zona superior com espessura suficiente. No caso de existirem drenos profundos estes terão de estar contruídos a profundidade suficiente para não serem afetados pela massa injetada ou tamponados de forma a não permitirem a fuga dos materiais injetados.

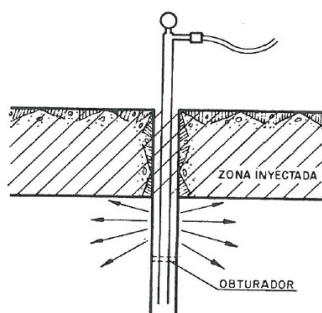


Figura 31: Esquema de execução de injeções na plataforma da via-férrea. (Fonte: Norma espanhola RENFE NRV2160, 1983)

O procedimento inicia-se pela injeção de uma pasta de argamassa, numa primeira fase composta por uma parte de cimento e quatro partes de areia, diminuindo esta dosagem até alcançar a proporção de uma parte de cimento por uma parte de areia. Em seguida injeta-se calda de argamassa, começando por uma parte de água e quatro de cimento aumentando a dosagem até se atingir oito partes de cimento por quatro de água.

As pressões de injeção vão variando começando com  $0,5 \text{ Kg/cm}^2$  na argamassa e continuando até que a pressão não diminua para menos de 10 por 100 durante uma hora. As injeções de calda começam também com cerca de  $0,5 \text{ Kg/cm}^2$  aumentando a pressão até  $1 \text{ Kg/cm}^2$  e suspende-se quando não diminuir mais de 10 por 100 durante uma hora.

As injeções devem começar pelos furos mais profundos na plataforma e terminar nos furos mais próximos da superfície.



Figura 32: Coluna de injeção para ensaio. (Fonte: Advanced Geosolutions Inc,2006)

Em solos com alguma compactação e com partículas inferiores a 1mm não se realiza a penetração do cimento. Recorre-se então a produtos químicos como misturas siliciosas, resinas orgânicas que permitem uma maior penetração. Alternativamente poderá recorrer-se a soluções especiais de tratamento tais como descritas seguidamente.

Uma técnica já comum em locais onde existam grandes problemas estruturais em plataformas ferroviárias, assentes em solos de fundação de má qualidade, consiste na criação de colunas pelo processo de Jetgrouting.

Quando os métodos convencionais não resultam ou não conseguem eliminar completamente os problemas das fundações, a revisão desses métodos e a adoção de novas e melhoradas tecnologias sobrepõem-se. A figura 33 exemplifica uma intervenção realizada pela SNCF na trincheira St. Bernard, na Linha C da RER, (Quai D'austerlitz) em Paris, França, que consistiu numa consolidação da plataforma de uma via balastrada, através da realização de 57 colunas Jet Grouting.

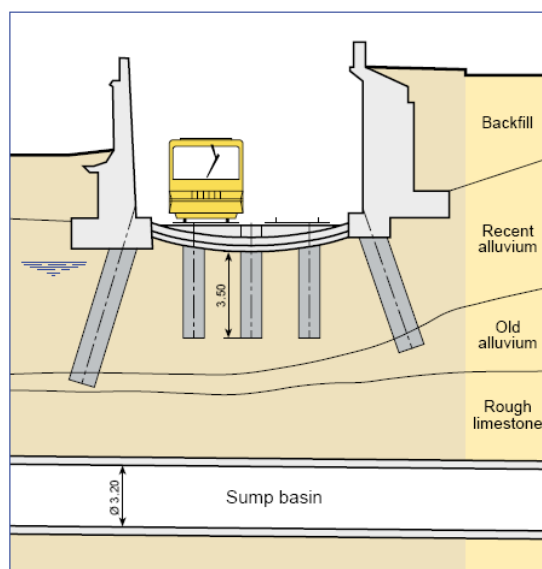


Figura 33: Secção de tratamento regular pelo processo de Jetgrouting. (Fonte: Prospeto da Soletanche Bachy, 1996)

### 3.3.2.3. Tratamento pela técnica Deep Soil Mixing

A técnica de Deep Mixing consiste em misturar mecanicamente solos de fracas características geomecânicas com calda de cimento. O resultado da aplicação desta técnica consubstancia-se em colunas de mistura de solo-cimento, permitindo obter um material composto com características melhores do que as do solo original. Para a execução das colunas são utilizados equipamentos de furação associados a pás radiais localizadas no fundo da linha de perfuração. A calda de cimento é bombeada e misturada ao solo existente, podendo ser realizada a injeção da calda de cimento na fase de furação, na fase de retirada do equipamento da coluna, ou em ambas as fases.

O processo construtivo está intrinsecamente dependente das características do solo e do seu teor em água.



Figura 34: Colunas de Deep Soil Mixing. (Fonte: Advanced Geosolutions Inc, 2006)

A técnica de Deep Mixing promove o tratamento de solos por adição e mistura de calda de cimento (cimento e água). As características mecânicas da mistura final variam em função das características

do solo existente, do método construtivo, dos parâmetros da operação, das características do ligante e das condições de cura.

A calda de injeção deverá ser uma mistura homogênea estável, composta pelos ligantes hidráulicos, água e adjuvantes.

Esta técnica apresenta algumas dificuldades quando os solos a tratar não se apresentam minimamente homogêneos uma vez que o estudo da mistura a aplicar varia em função das características dos mesmos e a implementação de diferentes misturas ao longo das zonas a tratar encarece o tratamento e ocasiona morosidade na preparação de diferentes misturas para diferentes pontos de aplicação.

Os equipamentos de Deep Mixing devem apresentar tamanho, potência, capacidade de penetração e rotação necessários à implementação de elementos com diversas geometrias, nomeadamente no que se refere ao diâmetro, comprimento e necessidade de sobreposições entre colunas adjacentes, garantindo assim que serão capazes de penetrar elementos previamente executados, de forma a garantir as sobreposições necessárias, a eventual necessidade de re-misturar elementos não conformes e de manter constantes as taxas de penetração e rotações por minuto necessárias para obter uma boa homogeneização dos elementos em profundidade. Os equipamentos de mistura e injeção deverão garantir uma adequada mistura e distribuição da calda com os solos in situ de forma a assegurar a resistência requerida para cada zona.

Os critérios geométricos de implantação habitualmente utilizados são os seguintes:

- A sobreposição mínima entre 2 colunas adjacentes é de 0.20 m;
- O alinhamento vertical deverá ser mantido com um desvio máximo de 1% do prumo, durante a instalação do elemento;
- A base da coluna de Deep Mixing deverá situar-se, no mínimo, 0,20 m abaixo da profundidade à qual foi identificado o substrato competente;



Figura 35: Equipamentos para a realização de tratamento tipo Deep Soil Mixing. (Fonte: Advanced Geosolutions Inc, 2006)

Apenas se menciona o processo por via húmida uma vez que é o mais utilizado. Em Portugal não se verifica ainda a utilização desta técnica de Deep Soil Mixing em vias ferroviárias sendo ainda um área a explorar.

#### 3.3.2.4. Tratamentos por vibração

Outros tipos de procedimentos, que proporcionam bons resultados, estão associados a técnicas de vibração.

Consistem na aplicação de vibrações produzidas através de uma coluna que se introduz no terreno até diversas profundidades. Esta coluna penetra no terreno pelo peso próprio acompanhado da vibração produzida e da injeção de água. Este procedimento pode aplicar-se a solos não coesivos e a solos coesivos saturados e não saturados.

Em solos não coesivos (figura 36) o vibrador penetra até á profundidade desejada ao mesmo tempo que os grãos de solos á sua volta se reorganizam mediante as vibrações criadas. Ao chegar ao fundo, compacta o solo na sua proximidade e origina como consequência um funil na zona de introdução, no qual se coloca material de enchimento adequado. Alcançando o grau de compactação desejado o vibrador é retirado lentamente ao mesmo tempo que se vai colocando material de enchimento que vai sendo compactado.

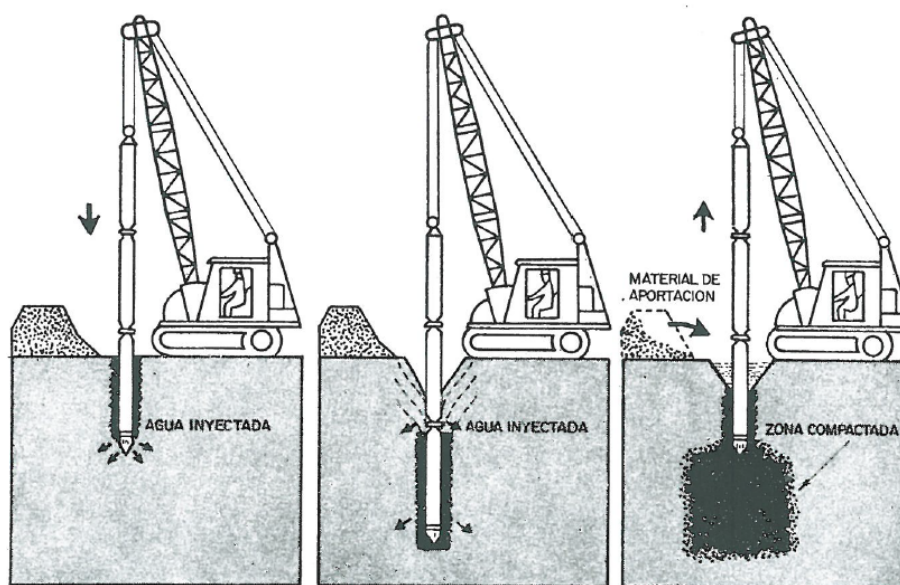


Figura 36: Vibrocompactação em solos não coesivos. (Fonte: Norma espanhola RENFE NRV2160, 1983)

Este procedimento também é possível ser aplicado em solos com granulometrias inferiores a 150 mm e com um mínimo de finos inferior a 80 microns. Como dados de orientação para a vibrocompactação temos:

- Ponto de compactação: 2 a 4 m<sup>2</sup> da superfície tratada;
- Distribuição em quincôncio;
- Profundidade máxima até 35 m;
- A perfuração pode ir desde 8 a 10 m lineares por hora;

- Cargas na ordem dos 3 a 4 Kg/cm<sup>2</sup>;
- Densidade a 100% para Proctor modificado;
- Angulo de atrito interno 42 a 45°;

Os solos coesivos são mais difíceis de tratar. Elimina-se a componente lodosa total ou parcialmente com a água de injeção do vibrador e a parte oca preenche-se com material de enchimento e compacta-se por vibração (vibrosustituição). O processo depende da granulometria do solo, da sua coesão e quantidade de água presente no solo e todos estes fatores condicionam a possibilidade de manter a furação do vibrador até ao seu enchimento.

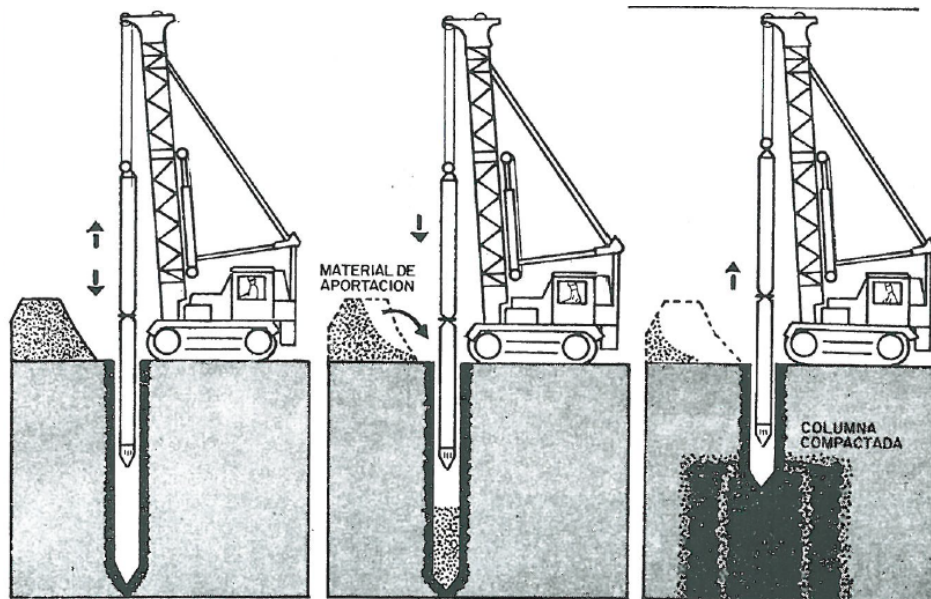


Figura 37: Vibrosustituição em solos coesivos não saturados. (Fonte: Norma espanhola RENFE NRV2160, 1983)

Nos solos coerentes não saturados (figura 37) o vibrador exerce uma compressão lateral sobre as paredes do furo compactando-as e permitindo que se mantenham quando o vibrador é retirado. Numa segunda fase, após a retirada do vibrador, enche-se o furo com material de enchimento adequado (areia ou gravilha) até cerca de um metro de altura e introduz-se de novo o vibrador compactando o material colocado, este penetra nas paredes e no solo. Esta operação repete-se até que o solo não admita mais material de enchimento.

Nos solos coesivos saturados (figura 38), a água de injeção do vibrador vai forçando a saída dos elementos finos durante a furação ao mesmo tempo que origina uma compressão nas paredes do furo e provoca um aumento da pressão intersticial, com a qual previne o colapso das paredes do furo quando termina a injeção de água. Para isso regula-se a pressão da água sem retirar o vibrador. Numa segunda fase, coloca-se material de enchimento no espaço entre o vibrador e as paredes do furo e compacta-se, subindo e baixando o vibrador obrigando á penetração do material de enchimento na massa de solo. Se obtém finalmente uma coluna compactada formada por uma mistura de solo e dos materiais de enchimento, constituídos normalmente por gravilhas e/ou balastro.

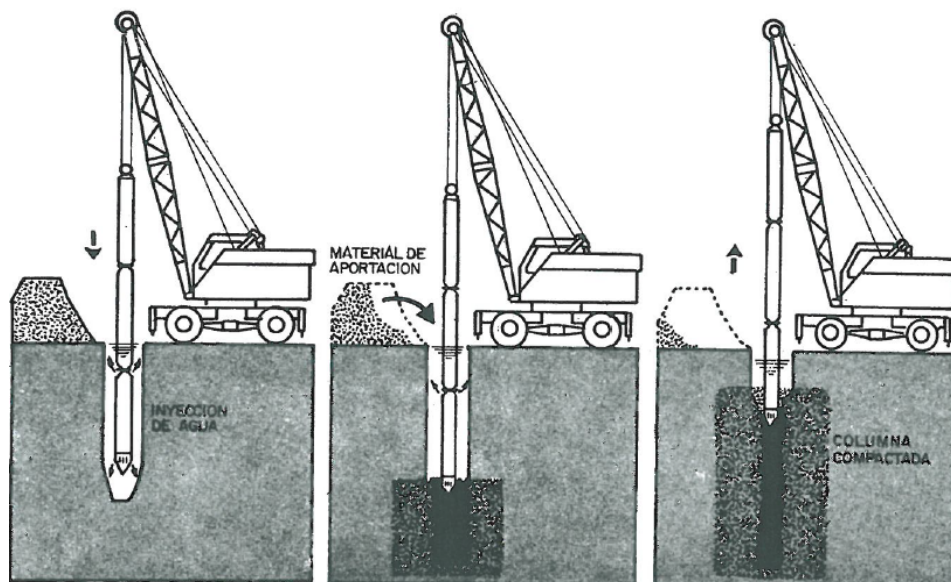


Figura 38: Vibrosubstituição em solos coesivos saturados. (Fonte: Norma espanhola RENFE NRV2160, 1983)

O procedimento pode aplicar-se a solos siltosos e argilosos com diferentes graus de saturação de água com as seguintes características:

- Ponto de compactação de 1 a 6 m<sup>2</sup> de superfície tratada;
- Distribuição em quincôncio;
- Profundidade máxima até 40m;
- Rendimentos de 6 a 7 m de colunas de gravilha por hora;
- Cargas entre 8 a 50 ton por coluna de gravilha formada;



Figura 39: Equipamento para a realização de tratamento tipo vibrosubstituição. (Fonte: Advanced Geosolutions Inc, 2006)

### 3.3.3. Soluções de tratamento intermédias

É abordado neste ponto técnicas que se definem por características referentes aos tratamentos profundos e também superficiais.

Ilustra-se este grupo com o caso de um protótipo de ensaio de injeções curtas em plataformas ferroviárias desenvolvido através da parceria entre as áreas ferroviária (Eng.º Francisco Asseiceiro) e geotecnia (Eng.º Nuno Cruz e Jorge cruz) da MEEC com o envolvimento do LNEC (Eng.º Eduardo

Fortunato). Desde a realização da prospeção ao estudo de soluções alternativas para o reforço dos terrenos de fundação este trabalho primou pela adaptação e inovação no sentido de se encontrar orientado para a execução de todas as atividades em consonância com a possibilidade de continuidade de circulação de veículos nas vias a intervencionar.

Com estes ensaios pretendeu-se analisar, num conceito teórico, os resultados que se podem obter em injeções curtas de ligantes cimentícios, para tratamento de terrenos de fundação de plataformas ferroviárias que, após uma campanha de prospeção para identificação das patologias, verifiquem a sua necessidade.

Na génese do protótipo de ensaio está o caso de obra, referido no capítulo 4, referente á Secção 5 do Corredor de Nacala, caracterizado pela necessidade de reabilitação de infraestruturas ferroviárias, mediante o tratamento das plataformas, com a impossibilidade de remoção da superestrutura durante a execução dos trabalhos de reforço versus a completa interdição de via. Esta condicionante proporcionou o estudo apresentado, desenvolvido em ambiente específico á determinação de variáveis e ao acompanhamento da sua evolução. As variáveis que se colocam são referentes aos equipamentos a utilizar e às suas dimensões, ao comportamento das caldas em função do tipo de solos a tratar, tempos de execução, reações á superfície da superestrutura e implicações á circulação e qual a capacidade portante adquirida em função do reforço aplicado.

Pretendeu-se avaliar sobretudo a abrangência dos tipos de solos com possibilidade de melhoramento através da injeção á pressão de ligantes cimentícios. Pretendia-se ainda avaliar o tipo de equipamento que melhor se adaptaria aos constrangimentos, os tempos de execução e a forma de verificar in situ a qualidade do produto após aplicação. Numa fase complementar de análise aos resultados seria ainda possível efetuar comparações com os modelos existentes de solicitações devidas ao tráfego ferroviário e avaliar os seus efeitos na performance após tratamentos.

Os ensaios foram realizados num solo de natureza granular e foram alvo de medições a diversos parâmetros através de ensaios laboratoriais e in situ. Pretendeu-se ainda recolher a maior quantidade de informação possível relativamente à performance das caldas injetadas em cada tipo de solo.

Após a realização dos ensaios preliminares de caracterização do solo, foi efetuada a montagem da estrutura ferroviária. Para o efeito, depositou-se balastro de granulometria 32/50 no topo do solo existente, espalhando-o de modo a ser obtida uma camada homogénea com 30 cm de espessura.

Seguidamente efetuou-se o assentamento de 3,5 m via com as seguintes características:

- 5 travessas P2 para bitola 1065mm;
- 2 carris 54 E 1 com comprimento de 3,5 m;
- Palmilhas e fixações Pandrol e-clip;

A montagem das travessas foi realizada com afastamento de 60 cm e foi colocado no topo do balastro e preenchido com balastro em mais cerca de 20 centímetros de espessura de modo a cobrir lateralmente as travessas.

Finalmente, procedeu-se ao ataque mecânico com meios ligeiros do balastro através de um equipamento de ataque de via manual. O objetivo deste procedimento é o de rearranjar as pedras do balastro de modo a preencher os maiores vazios encontrados estabilizando a camada através do efeito compactação com pás mecânicas. Este tipo de atividade é realizado regularmente na manutenção de vias em circulação compensando muitas vezes assentamentos da plataforma através do reforço do balastro após o ataque ligeiro.

A determinação da tensão máxima na plataforma de solos granulares foi efetuada com a relação descrita no capítulo 2, assim como a determinação do período de vida útil de referência, definido para o modelo padrão. Encontram-se na tabela seguinte, os cálculos resultantes da determinação dessa tensão máxima após tratamento, contrapondo com o valor do modelo padrão.

Solo	Período de vida útil de referência - N	Ev2	Tensão vertical topo da plataforma (kPa)
Granular /Arenoso	1,67E+07	80,91	45,0
QS3	1,67E+07	80	44,5

Tabela 9: Tensão máxima na plataforma para solos granulares após tratamento

A partir da tabela 9 pode concluir-se que, para as plataformas de solos referentes ao material arenoso, de 80,91 MPa, a tensão máxima à qual o material pode estar sujeito, de modo a manter o mesmo período de vida útil do modelo-padrão, é 45,00 kPa o que se considera bastante aceitável quando comparado com o modelo padrão com tensão vertical no topo da plataforma de 44,50kPa.

A metodologia de tratamento assentou na realização de injeções com calda de cimento Portland CEM I 42.5 R, preparada com razão A/C 1:1. Nesta experiência foram executadas 3 colunas de injeção, todas seguindo a mesma metodologia. Ver figura 40.

- a) Furação a seco com rotação até o solo se tornar demasiado compacto (a partir da cota 0.75 m) quando se auxiliou com água a furação, a pressões baixas, até se atingir o fundo da plataforma. A injeção de água evitou a possível obturação dos bocais dos injetores. O tempo de furação não foi controlado.
- b) De modo a tentar impedir a contaminação de balastro optou-se por interromper a injeção a 20 centímetros da base desta camada. Desde que a trialeta atinge o fundo da câmara ascende-se 65 centímetros a injetar calda de cimento. Após este percurso a central de bombagem é desligada e o trem de varas/porta-injetor é retirado.

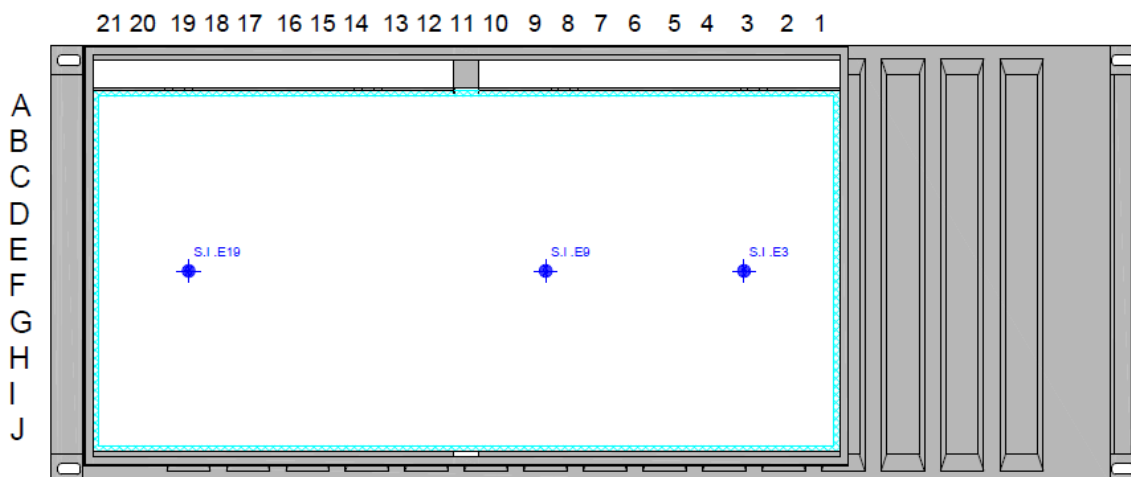


Figura 40: Planta de localização das colunas de injeção.

Após a realização do tratamento procedeu-se a nova caracterização da via de ensaio através de ensaios DPL, DIP, PLT e sísmica de reflexão e MASW. Estes ensaios foram iniciados cerca de 10 dias após término das injeções de modo a ser possível certificar que o cimento já apresentava resistência. No fim deste período iniciou-se o desmonte controlado pela zona da via de ensaio. Seguidamente foram retiradas amostras a cada fiada paralela à maior dimensão da câmara, às cotas de 40 e 80 centímetros, para análise do teor de cimento. Foram também recolhidos carotes de solo de modo a serem feitos ensaios de compressão para análise da camada com tratamento. Avaliou-se igualmente a geometria das colunas de injeção cujos diâmetros variaram entre 10 e 50 cm, conforme figura 41.



Figura 41: Pormenor da coluna provocada pela segunda injeção S.I.E3.

Numa visão global dos resultados, são de assinalar os seguintes aspetos:

- É possível executar a injeção sob pressão sem efeitos significativos na estabilidade da estrutura ferroviária;
- A contaminação do balastro pela calda foi nula considerando uma distância de 20cm sem tratamento, prevendo-se ainda possível a redução dessa distância de segurança;

Esta visão permitiu assegurar uma garantia de aplicabilidade em obra deste tipo de solução de tratamento, sendo economicamente viável para tratamentos de plataformas ferroviárias em profundidades moderadas, sem condicionar a exploração ferroviária.

## **4. Casos de Obra**

### **4.1. Introdução**

Este capítulo apresenta alguns casos reais de obras onde foram detetadas anomalias de plataformas ferroviárias e onde foram implementadas soluções de tratamento. São situações resultantes da experiência profissional, enquadradas no âmbito deste documento através da identificação de patologias semelhantes às descritas no capítulo 3, e das quais resultou a necessidade de intervenção, com maior ou menor grau de dificuldade, através do tratamento das respetivas plataformas.

Estão enquadrados neste capítulo casos de obra inseridos em empreitadas de beneficiação e reforço de infraestruturas ferroviárias, contratos de manutenção e conservação de via e geotecnia assim como intervenções de prospeção que visavam complementar a conceção de projeto de execução.

### **4.2. Linha do Minho – Tratamento e regularização do leito da via (plataforma)**

#### **4.2.1. Enquadramento geral**

As atividades aqui descritas inserem-se nos trabalhos referentes ao projeto de execução para a “Beneficiação e Reforço do Túnel Ferroviário de S. Miguel da Carreira e de Tamel”, localizados na Linha do Minho. Foram realizados entre 2009 e 2012 pelo consórcio Ferrovias/Mota-Engil.

Estes trabalhos inserem-se no âmbito da beneficiação e reforço de quatro túneis ferroviários localizados ao longo da referida linha e tinha como principal objetivo apresentar um conjunto de soluções de reparação das patologias existentes ao nível do sustimento com vista a incrementar a segurança da circulação ferroviária.

Existiu uma questão primordial relativamente ao estudo de adequação do túnel às obras pretendidas, a qual estava diretamente relacionada com a necessidade de adaptar a secção interior do túnel à colocação da catenária, implicando, por isso, o rebaixamento da via e do leito da via (plataforma), incluindo a realização das rampas de via (transição das cotas novas para as existentes da implantação da via-férrea no terreno) no exterior dos túneis, junto às bocas.

É sobre estas zonas que iremos incidir particularmente, face às suas necessidades de tratamento dos terrenos de fundação, uma vez que o rebaixamento necessário, nestas rampas, era apenas parcial obrigando ao tratamento e regularização do leito da plataforma.

As prioridades e os elementos preponderantes para a tomada das respetivas decisões a nível conceptual, de forma a definir um modelo de reabilitação, foram essencialmente a segurança da obra e da operacionalidade ferroviária assim como os problemas relacionadas com a construção.

Uma questão fundamental em todo este processo diz respeito aos requisitos operacionais impostos pela REFER, na altura da execução da obra, manifestamente condicionantes em todo o processo

construtivo a adotar. Os trabalhos foram enquadrados num regime de interdições normais de 4 horas diárias em período noturno, concedidos pela REFER (atualmente IP).

Foi importante evitar a preconização de trabalhos de tal forma demorados que afetassem a circulação ferroviária e que obrigassem à necessidade de períodos de interdição prolongados com supressão de comboios e transbordo de passageiros, sobrecarregando, dessa forma, o custo da respetiva obra.

As soluções idealizadas para este projeto foram assim definidas não só em função das tecnologias existentes mas também face a estas condicionantes inerentes aos períodos de trabalho concedidos pela REFER.

Face ao regime de interdições que previa turnos apertados de trabalho e um conjunto complexo de equipamentos, materiais e processos construtivos necessários, foi primordial prever sistemas mecanizados de trabalho, nomeadamente beneficiando e usufruindo da própria via-férrea com vista a dotar os processos construtivos de uma maior mobilidade e de um rendimento otimizado.



Figura 42: Coluna de furação instalada num suporte com bogies no túnel de Tamel na Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2010)

#### **4.2.2. Caracterização geográfica e geotécnica**

O Túnel de S. Miguel da Carreira foi construído em 1876 em via larga única, apresentando um perfil longitudinal inclinado, com uma largura livre média de 4,50 m e uma altura média de 5,20 m, medida ao eixo do plano de rolamento. O mesmo estende-se entre os pontos quilométricos 41 718 e 41 979, apresentando uma extensão aproximada de 261 m. As Estações colaterais a este túnel são as Estações de Nine, a montante, e de Barcelos, a jusante.

Ao nível da caracterização geológico-geotécnica, esta zona pode ser descrita como de granito porfiroide, de grão grosseiro ou grosseiro a médio de acordo com notícia explicativa da folha 5-C – Barcelos da Carta Geológica de Portugal (figura 43). Nas bocas de entrada e saída (zonas de testa), o granito aflorante apresenta-se muito alterado e decomposto.

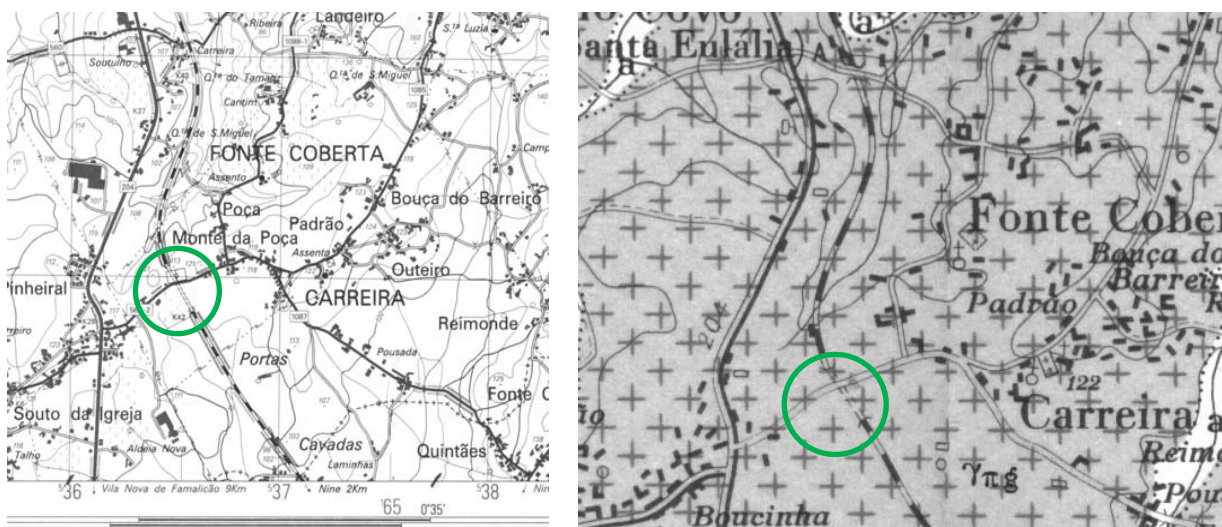


Figura 43: Localização do Túnel de Carreira. (Fonte: Carta Militar á esquerda e parte da folha 5-C da carta geológica de Portugal – Barcelos (1:50000) á direita)

O Túnel de Tamel trata-se de um túnel de grande extensão construído em 1878 em via larga única, com cerca de 981m de comprimento, localizado entre os pontos quilométricos 58 813 e 59 793, sendo as estações colaterais a de Barcelos e a de Tamel.

Ao nível da caracterização geológico-geotécnica (figura 44), esta zona é idêntica á de S. Miguel de Carreira. Nas bocas de entrada e saída, observa-se um afloramento de granito muito alterado no lado esquerdo da via e quase decomposto no talude do lado direito.



Figura 44: Localização do Túnel de Tamel. (Fonte: Carta Militar á esquerda e parte da folha 5-C da carta geológica de Portugal – Barcelos (1:50000) á direita)

#### 4.2.3. Atividades empreendidas

À operação de reabilitação geotécnica da via esteve associada, por um lado, a necessidade de rebaixamento da base da plataforma, que assegurasse uma espessura mínima de balastro abaixo das travessas de madeira na ordem dos 25 cm, e por outro, o reforço apropriado dos terrenos de fundação. Estes trabalhos quando executados em plena via têm características muito peculiares, nomeadamente quando a linha permanece em atividade regular.

Foi realizado um conjunto de métodos e procedimentos de inspeção e prospeção aos locais e foi programado e processado de acordo com metodologias correntemente utilizadas para o efeito. Relativamente a todo este processo, destacam-se as inspeções visuais e os métodos expeditos de prospeção ligeira os quais constituem um meio imprescindível e económico para, de uma forma prática, fiável e direta, efetuar levantamentos das diversas patologias existentes.

O plano de inspeção previa a execução de alguns poços na via com vista a visualizar as condições de fundação dos hasteais, a espessura do balastro e os materiais que constituem a base da plataforma mas a existência de infraestruturas de drenagem e cabos de fibra ótica, e também a própria morosidade associada à execução dos poços, impediram que os mesmos se efetuassem com êxito.

Dada a inviabilidade dos poços e face à necessidade de caracterizar as condições geométricas da base da plataforma, foi empreendida uma campanha de prospeção geofísica com a execução de perfis longitudinais com georadar.

Face a isto, foi fundamental, na fase de obra, promover a verificação e constatação dos levantamentos efetuados, e proceder aos ajustes necessários na aplicação das soluções.

No caso referente a S. Miguel de Carreira, tanto na zona de entrada como na zona de saída do túnel, verificou-se que a plataforma existente não necessitava de reforço dos terrenos de fundação, uma vez que se verificou a integridade do granito de base garantindo a capacidade de suporte necessária, embora se verificassem fenómenos de encharcamento frequentes.



Figura 45: Zona intervencionada junto á boca de entrada do túnel de S. Miguel de Carreira na Linha do Minho, durante a intervenção á esquerda e concluída á direita. (Fonte: da autora, 2010)

Foram apenas realizados melhoramentos na rede de drenagem prevista, nomeadamente:

- Prolongamento em cerca de 50 m da drenagem da plataforma de via prevista em projeto;
- Implementação da pendente na camada de sub-balastro para encaminhamento das águas pluviais para a drenagem longitudinal;

Em relação ao Túnel de Tamel, principalmente na boca de saída, junto á Estação de Tamel, onde os valores do rebaixamento previsto eram mínimos para garantir a entrada da via na cota dos cais da estação, sem que estes sofressem qualquer intervenção, verificaram-se recorrentes assentamentos da plataforma da via, degradação acentuada do balastro e contaminação generalizada.

Agravando a situação, implantados na zona de transição encontrava-se um aparelho de mudança de via e uma passagem hidráulica transversal á via que inviabilizavam o reforço dos terrenos de fundação através de métodos mais ligeiros. A presença de água na plataforma era abundante, verificando-se o nível freático junto á base do balastro condicionado pela existência de uma nascente na lateral direita da plataforma da via e uma insuficiente rede de drenagem.



Figura 46: Remoção do balastro, escavação e escarificação da plataforma (esquerda) e pormenor da PH (direita) junto á boca de saída do túnel de Tamel da Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011)

Sem meios de avaliação mais concretos, sobre o real estado dos terrenos de fundação e prevendo uma plataforma bastante degradada em resultado do histórico de intervenções na superestrutura de via, procedeu-se á reabilitação geotécnica integral da plataforma, nomeadamente:

- Remoção de balastro incluindo o carregamento e transporte de balastro a vazadouro definitivo;
- Escavação e escarificação da atual base da plataforma até às cotas definidas;
- Tratamento e regularização do leito da via (plataforma) com camada de sub-balastro e a colocação da manta de geotêxtil incluindo fornecimento, colocação, espalhamento e compactação dos materiais;
- Fornecimento, transporte, descarga e regularização de balastro;
- Implementação de nova rede de drenagem incluindo o rebaixamento e alargamento da passagem hidráulica existente;

Todos estes trabalhos tiveram de ser executados em regime de interdição, horário noturno e onde a retirada da superestrutura da via, nomeadamente o aparelho de mudança de via, fosse apenas provisoria, sendo recolocado antes do fim da interdição, permitindo a passagem das composições ferroviárias na manhã seguinte.

#### 4.2.4. Orientações geradas pelas atividades executadas

Em ambos os casos, Carreira e Tamel, se verifica que os trabalhos preliminares de prospeção foram insuficientes e que em resultado disso foi necessário realizar a reformulação do projeto em ambas as zonas, originando custos não previstos.

Sendo que em Carreira o impacto das alterações ao projeto não foi considerável, uma vez que as alterações propostas se baseavam apenas na alteração das soluções previstas para a rede de drenagem, nomeadamente:

- Previsto no projeto – Limpeza e reabilitação da rede de drenagem existente e substituição do balastro;
- Proposta de alteração – Execução de drenagem longitudinal da plataforma da via e criação de pente transversal na camada de coroamento;



Figura 47: Caixa de visita da drenagem longitudinal da plataforma de via executada junto á boca de entrada do túnel de S. Miguel de Carreira na Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2010)

No caso de Tamel, as alterações foram mais profundas, nomeadamente:

- Previsto no projeto – Limpeza e reabilitação da rede de drenagem existente e substituição do balastro;
- Proposta de alteração – Reabilitação geotécnica integral da plataforma;



Figura 48: Zona intervencionada junto á boca de saída do túnel de Tamel da Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2012)



efeito, não se aproveitou para corrigir os traçados, então já com mais de meio século de existência, o que se tornou praticamente impossível após a instalação das infraestruturas elétricas, e porque a expansão urbana da Década de 1950 foi ocupando terrenos que antes estavam livres, o que limitou o espaço disponível para correções futuras.

A linha de Sintra é por isso uma das vias ferroviárias urbanas com um maior número de problemas de assentamentos e desnivelamentos na via, gerando um conflito eterno nos processos clássicos de manutenção geotécnica que por reunião de diversas condicionantes são sempre soluções provisórias e sem a abrangência necessária ao conceito de tratamento dos terrenos de fundação. A inexistência de um procedimento de monitorização geotécnica às plataformas e taludes contribui, por si só, para a ineficácia e onerosidade de muitas dessas soluções.

A Linha de Cascais é uma ligação ferroviária que interliga os concelhos de Lisboa, Oeiras e Cascais, em Portugal.

O primeiro troço, entre Cascais e Pedrouços, foi aberto à exploração em 1889, tendo a linha sido concluída com a ligação ao Cais do Sodré, em 1895. Foi a primeira ferrovia pesada a ser eletrificada em Portugal, em 1926, e a última a ser integrada na CP, em 1977.

A eletrificação funciona a 1500 V em corrente contínua, que em Portugal apenas é utilizado nesta linha. Embora isto resulte num certo isolamento em relação ao resto da rede, este problema é minimizado pelo facto da Linha de Cascais ter um esquema de exploração quase independente da restante organização ferroviária nacional.

Entre as particularidades da linha conta-se ainda o desgaste nos rodados ser mais concentrado num lado, porque o percurso é pendular e não circular. E a proximidade do mar, que faz que os materiais de via sejam afetados pela salinidade.

Dadas as suas particularidades esteve um pouco esquecida no âmbito da renovação geotécnica, onde apenas as questões relacionadas com taludes foram sendo identificadas. A sinuosidade do traçado também a isso obriga. A proximidade do mar e os recorrentes encharcamentos com água salgada foram sendo saneados com recargas pontuais de balastro e trabalhos de manutenção ligeiros sem existirem informações concretas sobre os efeitos do mar nos solos da plataforma. Os efeitos no armamento da via foram sempre alvo de preocupação uma vez que são vivíveis os efeitos da salinidade tanto no carril, como nas fixações e travessas.

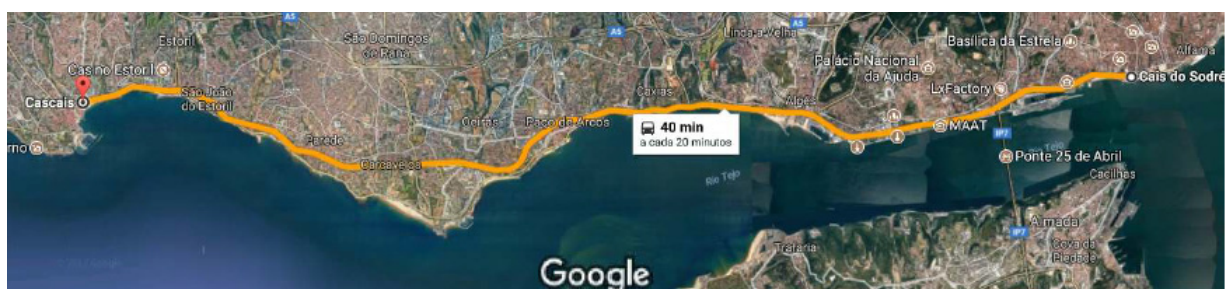


Figura 50: Configuração da Linha de Cascais. (Fonte: GoogleMaps, 2017)

E embora, seja hoje em dia alvo de algumas monitorizações no que se refere á geotecnia, estas apenas se encontram concentradas nos taludes mais abruptos deixando ao esquecimento as plataformas e as suas patologias.

### **4.3.3. Inspeções realizadas**

#### **4.3.3.1. Linha de Cascais – PK 12+350**

As patologias existentes no local passam pela existência de caleiras descalças e algumas fendas longitudinais existentes no passeio de via, entre o balastro e o local de implantação das caleiras. A existência de bastante vegetação seca sobre o balastro e nas próprias caleiras evidencia a circulação descontrolada de água no local, sendo esta água a origem dos movimentos verificados na plataforma e no muro da vedação.

A água é originária do talude a montante e da estrada existente para lá desse talude, cuja água não é corretamente drenada por uma PH existente ao Pk 12+600, também ela alvo de problemas semelhantes aos já relatados.

Aparentemente as águas infiltram-se na plataforma ferroviária, passando parte dela por baixo das caleiras longitudinais e por baixo do muro de betão da vedação da linha, surgindo novamente no talude da Via Ascendente, escorrendo até à Avenida Marginal, local onde existem sinais de transporte de detritos por parte da percolação da água. Apesar destes sinais de circulação superficial de água, o talude não aparenta ter sinais de instabilidade. Reforçando a ideia de que os problemas, relacionados com a circulação de água, serem apenas superficiais.



Figura 51: Zona da anomalia na Linha de Cascais – PK 12+350. (Fonte: da autora, 2008)

#### **4.3.3.2. Linha de Sintra – PK 19+350**

O local, situado junto a um encontro de uma ponte, apresentava sinais de instabilidade ao nível do aterro ferroviário. De acordo com os relatos dos responsáveis pela manutenção, esta situação já se verificava antes dos períodos de chuvas intensas ocorridos até então. No entanto, os sinais apresentados parecem encontrar-se associados à circulação de água no local. Tendo-se verificado estes acontecimentos, foi realizada uma sondagem. Durante a execução desta sondagem, assim que

se atingiu a cota de 1,5m de profundidade, o furo abateu, tendo arrastado para o seu interior uma grande parte do material da envolvente, principalmente balastro.

Após estes acontecimentos procederam-se a alguns trabalhos mitigadores tais como a recarga de balastro no local do abatimento no aterro da via e injeções de betão pobre na zona de instabilidade. O material das injeções, uma vez que a zona não se encontrava selada, acabou por sair pela parte de baixo do aterro, arrastando balastro e tornando visíveis as laterais dos taludes de aterro completamente descalças e com sinais de ravinamento.

Os movimentos verificados nas juntas do muro guarda-balastro, que se encontra no topo do encontro, indiciam abatimentos em toda a zona em aterro.



Figura 52: Patologias detetadas na inspeção realizada ao PK 19+350 da Linha de Sintra. (Fonte: da autora, 2008)

#### **4.3.3.3. Linha de Sintra – PK 20+270**

Neste local verificou-se o abatimento da plataforma ferroviária, do lado da via ascendente. Este abatimento ocorreu num período marcado por chuvas intensas que originaram um grande caudal de água, tendo este caudal sido encaminhado para a plataforma através da drenagem de montante.

Esta drenagem recebe as águas de uma zona residencial existente do lado direito da plataforma, sendo que não existe nenhuma ligação posterior, ficando a água acumulada numa caixa junto à plataforma.

Atendendo à enorme quantidade de água acumulada nesse período, a capacidade dos órgãos de drenagem foi rapidamente atingida, sendo que a água galgou a linha, tendo provocado a queda de parte da plataforma.

Toda a zona apresenta sinais de instabilidade que poderão evoluir para situações semelhantes à ocorrida caso se verifiquem novas chuvadas de grande intensidade. Estes sinais estendem-se até um pontão existente aproximadamente a 100 m do local do acidente, o que resulta numa extensão total de aproximadamente 150 m.

Os canaletes de cabos e os maciços de fundação das vedações encontram-se completamente descalços, em situação precária. A água passou por baixo dos maciços de fundação das vedações, apesar da sua dimensão e profundidade a que se encontram fundados.

Após o acidente foram efetuados trabalhos provisórios de forma a conter a plataforma, impedindo o seu abatimento contínuo para os terrenos adjacentes. Estes trabalhos passaram pela cravação de perfis e colocação de travessas de madeira entre perfis, contendo o material do aterro ferroviário. Após estes trabalhos de mitigação registaram-se assentamentos consideráveis em toda a plataforma afetada, sendo necessário recorrer a uma limitação de velocidade de circulação ferroviária no local, penalizando fortemente a exploração numa das mais importantes linhas de Lisboa. Foi por isso necessário recorrer a medidas mais definitivas de consolidação.



Figura 53: Abatimento da lateral da plataforma ferroviária á esquerda e mitigação provisória realizada, á direita, ao PK 20+270 da Linha de Sintra. (Fonte: da autora, 2008)

#### 4.3.4. Orientações geradas pelas inspeções

No caso da Linha de Cascais, ao PK 12+600, de uma forma geral, atendendo à quantidade de água que aflui ao local em períodos de precipitação intensa, os órgãos de drenagem longitudinais deverão ser alvo de uma limpeza, de forma a impedir qualquer estrangulamento e galgamentos da água para a plataforma. As caleiras deverão ser todas levantadas e assentes novamente sobre um maciço de pequenas dimensões em betão pobre, de assentamento.

Uma vez que a plataforma possui fendas longitudinais, poderá ser necessário implementar uma campanha de monitorização topográfica de forma a perceber se a plataforma ou o muro adjacente sofrem movimentações significativas.

Os problemas manifestados encontram-se muito ligados ao problema de escoamento existente ao Pk 12+605, onde a PH existente não parece ser suficiente para escoar as águas afluentes em períodos de precipitação intensa. A solução deste problema poderá evitar a necessidade de trabalhos mais elaborados neste local num futuro próximo, nomeadamente:

- Injeções de consolidação dos terrenos de fundação da plataforma da via;
- Substituição da camada de balastro na sequência de contaminações pelo arrastamento de solos e finos;
- Reposição e compactação das camadas de coroamento;

Os problemas detetados pelas inspeções á linha parecem encontrar-se associados à drenagem deficiente do local, a solução deverá obrigatoriamente passar por uma intervenção de fundo a este nível.



Figura 54: Encontro da obra de arte ao PK 19+350 da Linha de Sintra. (Fonte: da autora, 2008)

A experiência adquirida com este tipo de casos obriga ao planeamento de ações concretas no que diz respeito á limpeza, manutenção e criação de redes de drenagem capazes de servir as necessidades de encaminhamento das águas. Apesar de nem sempre realizados, todos estes casos necessitavam, após mitigações, de realizar o tratamento dos terrenos de fundação, arrastados pelas águas, a reformulação da camada de coroamento, o reforço de balastro e os respetivos trabalhos de compactação inviabilizando a origem de futuros assentamentos.

#### **4.4. Linha do Sena**

##### **4.4.1. Enquadramento geral**

O caso apresentado é um extrato do estudo realizado no âmbito da avaliação de plataformas de linhas férreas em operação realizado em Moçambique na Linha do Sena pelo LNEC, MEEC-Ferrovias e MEEC-Geotecnia por Eduardo Fortunato, André Paixão, João Loureiro, Francisco Asseiceiro, Nuno Cruz e Jorge Cruz.

O trecho ferroviário em estudo localiza-se na Linha de Sena, em Moçambique, e desenvolve-se numa extensão aproximada de 173 km, entre as estações de Dona Ana (km 293) e Necungas (km 466). Esta linha férrea foi recentemente reativada com vista a possibilitar o transporte de carvão por veículos ferroviários, ao longo de um total de 575 km, desde as explorações mineiras nas proximidades de Moatize, na província de Tete, até ao porto marítimo na Beira, em Sofala. Trata-se de uma linha em bitola de 1 067 mm, com travessas monobloco de betão armado pré-esforçado com 2,06 m de comprimento, espaçadas de 0,65 m, e carris do tipo R45 (45,4 kg/m).

Segundo o projeto de reabilitação, a via-férrea deverá apresentar bom desempenho relativamente às exigências de operação, nomeadamente as relacionadas com o transporte de 20 milhões de

toneladas anuais de carvão, em composições que aplicam à via cargas de 20,5 ton/eixo e circulam a uma velocidade máxima de 60 km/h.

Para fazer face aos atuais requisitos, relacionados com o aumento da frequência de utilização, da carga máxima por eixo, da velocidade de circulação, da comodidade e da segurança na operação, foi necessário proceder ao estudo do troço de forma a averiguar a real necessidade de intervenções significativas, quer ao nível da superestrutura quer da subestrutura, na Linha do Sena, que se encontra em operação. A decisão sobre o tipo de intervenção a levar a cabo dependeu da informação disponível relativamente às características da infraestrutura e ao seu desempenho.

#### 4.4.2. Caracterização geográfica

A Linha do Sena liga Moatize ao Porto da Beira, na província de Sofala, na extensão de 575 Km. O objetivo da empreitada consistia no aumento da capacidade de transporte da Linha do Sena de 6,5 MTPA para 20 MTPA. Implicava ainda a ampliação de 25 estações, para permitir o cruzamento de composições com 6 locomotivas e 100 vagões, 1435m de veículos ferroviários acoplados e a conservação em 40 pontes e 28 pontões.



Figura 55: Moçambique - Linha do Sena – Tete/Beira. (Fonte: Marta Barroso, adaptado, 2012)

#### 4.4.3. Ensaios realizados

No âmbito dos estudos realizados, procedeu-se, através de inspeção visual, a uma avaliação do estado dos elementos da superestrutura da via, com o objetivo de identificar anomalias. Estes defeitos, além de poderem causar danos no material circulante, incomodidade e insegurança na circulação, podem aumentar as cargas dinâmicas e, conseqüentemente, a taxa de degradação da via. Analisaram-se os sistemas de drenagem, tendo-se detetado diversas insuficiências de drenagem longitudinal e transversal, quer por ausência de elementos quer por mau funcionamento dos existentes. A deficiente drenagem da via-férrea tem afetado a circulação na linha, em resultado da

sua inundação. Além disso, conduz ao arrastamento e à contaminação do balastro por sedimentos transportados pela água, à redução substancial da rigidez e da resistência ao corte dos solos da subestrutura, à erosão superficial de taludes e ao deslizamento de taludes de aterro e de escavação. Posteriormente analisaram-se os elementos relativos à geometria da via e constatou-se que a qualidade geométrica varia de forma importante ao longo da linha.

Na sequência da análise da informação disponível, estabeleceu-se uma campanha de caracterização da camada de balastro (avaliação da espessura e do grau de contaminação) e da plataforma, que envolveu caracterização física e mecânica das camadas e dos respetivos materiais. Nomeadamente:

- Recolha de 77 amostras para realização de ensaios laboratoriais;
- Realização de 72 ensaios com o defletómetro de impacto portátil (DIP);
- Avaliação dos níveis de compactidade das camadas de fundação através da realização de 72 DPSH;
- Realização de 25 ensaios com o Dilatómetro de Marchetti (DMT) quando na presença de solos moles/soltos;
- Abertura de 69 poços;

Das 77 amostras recolhidas 63 foram amostras de solos remexidas e 14 referentes a amostras indeformadas, da parte superior da fundação, para determinação das características granulométricas, de plasticidade e, em alguns casos, do valor de CBR e do grau de compactação em relação ao ensaio Proctor Modificado. Os ensaios foram realizados no mês de junho, com os terrenos a exibirem, em algumas situações, valores do teor em água relativamente elevados. Os poços que foram abertos no balastro para a realização dos ensaios permitiram avaliar a espessura desta camada e a respetiva contaminação com solos. É de notar que, neste caso, a designação de balastro contaminado com solos resultou apenas da inspeção visual e não está suportada pela análise granulométrica do material, pelo que depende da sensibilidade do técnico que fez a observação.

#### **4.4.3.1. Avaliação dos resultados dos ensaios**

Em geral, é possível constatar que existe uma dispersão relativamente importante no que se refere à espessura de balastro (incluindo balastro contaminado). Dos 69 poços realizados, em 35% dos casos detetou-se uma espessura total de balastro igual ou superior a 25 cm; em 36% dos casos a espessura de balastro foi inferior a 25 cm, mas ainda assim igual ou superior a 20 cm; nos restantes 29% dos casos, a espessura foi inferior a 20 cm, mas só em 10% dos casos foi inferior a 15 cm. Assim, pode concluir-se que em diversas zonas a espessura da camada de balastro é insuficiente.

Na sua maioria, os solos ensaiados ao longo do traçado evidenciam percentagens de finos que os permitem classificar como materiais granulares ( $\#200 \leq 35\%$ ), com plasticidade nula a moderada (NP a 25%) e valores de Equivalente de Areia, em geral, inferiores a 30%, a que corresponde solos

maioritariamente do tipo A-1, A-2 e A-7, de acordo com a classificação AASHTO, e SC, SM e CL, de acordo com a Classificação Unificada. No trecho localizado entre aproximadamente o km 360 e o km 410 identificaram-se solos mais finos e com maior plasticidade (tipo A6, A-7-5 e A-7-6), quando comparado com o resto do trecho. Em seis locais deste trecho realizaram-se ensaios de avaliação da compactidade e recolheram-se amostras para realizar ensaios CBR. O grau de compactação variou entre 57% e 74% e os valores de CBR (provetes compactados a 95%) variaram entre 2% e 4%.

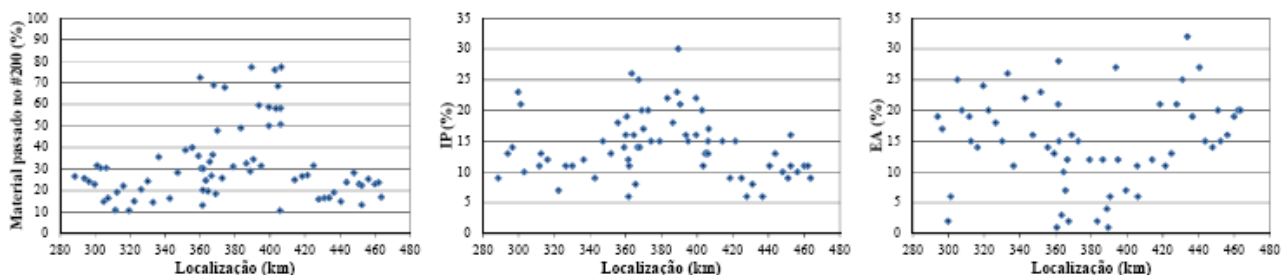


Figura 56: Esquerda - %material<#200; Centro – Índice de Plasticidade; Direita – Equivalente de areia.

Foi possível verificar a existência de uma variação do módulo de deformabilidade relativamente importante ao longo da via, traduzida por valores entre 4 e 220 MPa. Em 32% dos casos o módulo foi superior a 80 MPa; em 25% dos casos o módulo variou entre 60 e 80 MPa; em 28% dos ensaios obtiveram-se valores entre 40 e 60 MPa; e apenas 16% dos valores foram inferiores a 40 MPa. Na zona em que foram identificados solos com características geotécnicas mais fracas (entre aproximadamente o km 360 e o km 410), os valores do módulo de deformabilidade obtidos foram, em geral, relativamente mais baixos, quando comparados com o resto do trecho (figura 57).

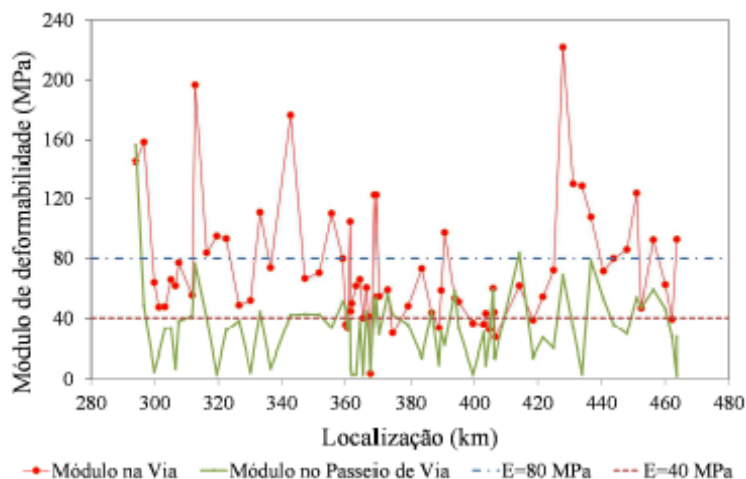


Figura 57: Valores do módulo de deformabilidade obtidos no topo da plataforma com o DIP.

Partindo do pressuposto que os solos na zona do passeio de via são semelhantes e foram colocados da mesma forma que os que estão sob a superestrutura da via, pareceu adequado realizar, em cada local em estudo, para além do ensaio na via, também um ensaio no passeio de via. Em geral, os valores obtidos na plataforma da via são muito superiores aos obtidos no passeio de via, o que pode resultar da densificação dos solos localizados sob a via, devido à passagem dos comboios. Essa

tendência torna-se menos relevante, ou é mesmo invertida, nos casos em que o módulo medido na plataforma da via é baixo.

Estes resultados evidenciam a importância de compactar adequadamente os solos na zona superior da fundação da via, em particular aquando da reconstrução levada a cabo após a ocorrência de incidentes que danificaram a subestrutura da via.

Em termos gerais, pode concluir-se que existem condições distintas de fundação da via ao longo do desenvolvimento longitudinal do trecho de linha em análise. Em várias zonas foram identificados solos com características geotécnicas (granulometria, plasticidade e compactidade) relativamente adequadas à fundação da via e foram medidos valores do módulo de deformabilidade no topo da fundação superiores a cerca de 60 a 80 MPa.

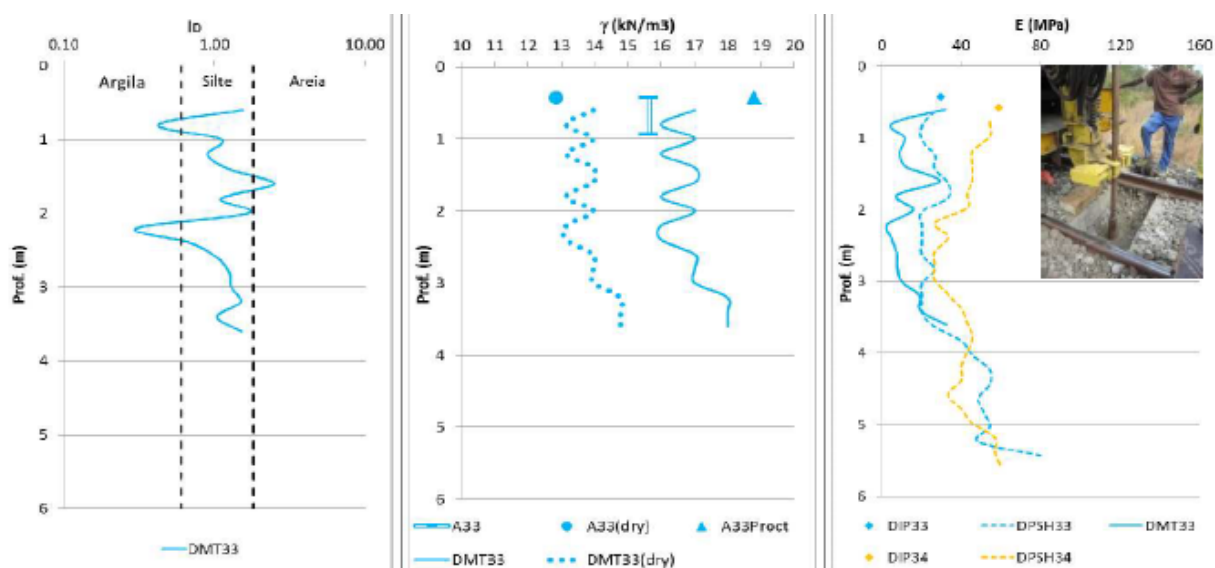


Figura 58: Ensaios DPSH e DMT realizados aos Km 374,25 e ao Km 372,70: Esquerda – Tipo de solo; Centro – Peso volúmico; Direita – Módulo de deformabilidade.

Em geral, nestes locais foram identificados solos medianamente compactos a muito compactos até cerca de 4 a 5 m de profundidade. Noutros casos foram detetados à superfície solos de fraca qualidade (% de finos relativamente elevada, alguma plasticidade e baixa compactidade) e foram medidos valores do módulo de deformabilidade no topo da fundação da ordem de 30 a 60 MPa. Em vários destes casos, os solos encontravam-se soltos até profundidades consideráveis, ou existiam camadas de solos soltos intercaladas com solos de maior compactidade, de acordo com os resultados obtidos em ensaios com o DPSH e com o DMT (figura 58).

#### 4.4.4. Avaliação da plataforma ferroviária

Em particular nas vias antigas, onde não existe uma camada de sub-balastro, as características intrínsecas (granulometria e plasticidade) e de estado (teor em água e grau de compactação) dos solos de fundação influenciam muito a resistência mecânica e a deformabilidade da fundação da via. Nos casos em que as características geotécnicas desses solos são inadequadas, o contributo da fundação para as deformações permanentes da via pode ser muito significativo e pode mesmo pôr

em causa a estabilidade da via, quando o número de aplicações de carga ultrapassa um determinado valor. Assim, é usual limitar os níveis de tensão ou de deformação impostos à fundação para que esta possa exibir um adequado comportamento ao longo do ciclo de vida da infraestrutura, isto é, para que, atendendo ao número de aplicações de carga, as deformações permanentes se mantenham em níveis aceitáveis.

Para um determinado número de aplicações de carga, os níveis de deformação dos solos da fundação dependem não só do valor da tensão aplicada (a qual depende da carga por eixo e da espessura das camadas de balastro e de sub-balastro), mas também das características geotécnicas dos materiais. Quando não existe uma camada de sub-balastro, só é possível limitar as deformações dos solos da plataforma se existir uma camada de balastro com uma espessura adequada (sendo que o valor máximo dessa espessura tem ele próprio que ser limitado, sob pena de ser a camada de balastro a contribuir para o mau comportamento da via), e se os solos exibirem propriedades geotécnicas mínimas, as quais dependerão não apenas das suas características intrínsecas, mas também do teor em água e do grau de compactação, como foi já referido.

Com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico da via-férrea no trecho em estudo, foram realizadas análises estruturais de algumas configurações de via que se consideram poder ser representativas das condições existentes, em particular no que se refere às propriedades mecânicas e geométricas dos elementos constituintes do armamento de via, da camada de balastro e dos solos de fundação. Essas análises foram realizadas em modelos numéricos tridimensionais, recorrendo ao programa comercial FLAC3D.

Camada/elemento	Configuração de via					
	A	B	C	D	E	F
Carril	R45 (45,4 Kg/m)					
Travessa E (Mpa) <sup>V</sup>	E = 64 Gpa V = 0,25					
Kpalmilha de carril (KN/mm)	150					
Balastro existente: espessura (m)	0,25	0,25	0,20	0,20	0,25	0,20
E (Mpa)	160	160	160	160	160	160
V	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Fundação: E (Mpa)	40	80	40	80	60	60
V	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40

Tabela 10: Tipos de configurações, de via-férrea, analisadas.

Tendo em conta a relação entre a tensão admissível na plataforma com o número de aplicações de carga (Formula de Heukelom) e utilizando os valores da tensão aplicada na plataforma obtidos do cálculo numérico de cada uma das configurações estruturais analisadas, pode estimar-se o número de aplicações de carga admissível para cada tipo de configuração de via (tabela 10).

Calculando o tráfego necessário para transportar 20 milhões de toneladas de carvão por ano, como estabelecido no projeto, pode estimar-se o número de anos que a plataforma, em condições normais, pode exibir um comportamento adequado. O número de aplicações de carga por ano associadas à passagem de comboios, isto é, o número de eixos de 20,5 toneladas, deve ser calculado tendo em conta: a) as características dos vagões que fazem o transporte (peso bruto, número e espaçamento dos eixos); b) as características e o número de locomotivas adequadas para fazer o transporte; e c) o número de marchas necessárias para realizar o transporte.

Nestas condições, o número de eixos/ano que passam na via para garantir o transporte do carvão e dos passageiros e as circulações associadas às ações de manutenção da via, é de cerca de  $1,6 \times 10^6$ .

Configuração	Espessura da camada de balastro (m)	Módulo de deformabilidade na plataforma (Mpa)	Média das tensões verticais na plataforma no alinhamento mais solicitado $\sigma_v$ (kPa)	Nº de aplicações de carga admissível (N) ( $\times 10^6$ )
A	0,25	40,00	53,00	0,10
B	0,25	80,00	60,00	10 000
C	0,20	40,00	58,00	0,03
D	0,20	80,00	66,00	914,00
E	0,25	60,00	57,00	39,30
F	0,20	60,00	63,00	5,40

Tabela 11: Número de aplicação de cargas admissível para os diversos tipos de configurações analisadas.

Tendo em conta a metodologia utilizada, e atendendo aos resultados apresentados da tabela 11, conclui-se:

- As soluções estruturais do tipo A e C, em que módulo de deformabilidade medido no topo da plataforma é de 40 MPa, provavelmente não têm condições para cumprir os requisitos do projeto, pelo menos em grande parte das zonas em análise;
- Aparentemente, as configurações B e D (com módulo de 80 MPa na plataforma) não apresentam problemas de capacidade de carga, tendo em conta o elevado valor obtido para o número de aplicações de carga admissível;
- A configuração E, que contempla uma camada de balastro com uma espessura de 0,25 m e uma plataforma com módulo de deformabilidade de 60 MPa, poderá ter condições para suportar o tráfego, num período que se estima da ordem de 25 anos;
- A configuração F (com 0,20 m de espessura de balastro) teria menos condições de cumprir os requisitos, pois estima-se que apenas poderá exibir um comportamento adequado, num período inferior a 5 anos;

Estes resultados confirmam a importância de ter uma espessura de balastro de 0,25 m em vez de apenas 0,20 m.

#### **4.4.5. Orientações geradas pelos resultados**

Durante os trabalhos de caracterização da via-férrea de um trecho da Linha de Sena concluiu-se que existia uma variação importante da espessura da camada de balastro ao longo da linha. Em 65% dos locais analisados a espessura era inferior a 25 cm. Em cerca de 30% da extensão do trecho analisado encontraram-se solos de fundação com características geotécnicas relativamente deficientes, o que é particularmente gravoso por se tratar da plataforma de uma via-férrea sem camada de sub-balastro. Esta situação conduziu a valores do módulo de deformabilidade inferiores a 60 MPa em 44% dos locais ensaiados, sendo que em cerca de 16% desses locais esses valores foram mesmo inferiores a 40 MPa. A análise conjunta da qualidade geométrica da via e dos resultados de caracterização geotécnica da plataforma permitiu concluir que nas zonas em que as características geotécnicas da fundação da via são mais deficientes a qualidade geométrica é inferior.

A determinação da capacidade de carga da via, tendo em conta as características físicas e mecânicas avaliadas durante a caracterização geotécnica e os resultados da modelação numérica, permitiu concluir que pelo menos cerca de 70% da extensão do trecho analisado poderá ter condições para cumprir os requisitos do projeto, isto é, garantir o transporte de 20 milhões de toneladas de carvão por ano, durante um período de pelo menos 25 anos, se for possível garantir ao longo de toda a linha uma espessura mínima de 25 cm para a camada de balastro. Estima-se que essa extensão possa vir a ser aumentada em consequência do melhoramento dos sistemas de drenagem e da reabilitação de algumas zonas específicas, nomeadamente no que se refere ao tratamento da fundação nos locais em que os solos exibem fracas características geotécnicas, que se traduzem por valores do módulo de deformabilidade inferiores a 60 MPa. É ainda de notar que a ausência de uma camada de sub-balastro e de sistemas de drenagem a funcionar corretamente proporcionam variações significativas do teor em água dos solos de fundação ao longo do ano, em função da pluviosidade e da subida do nível freático nos terrenos. Nestas condições, os valores do módulo de deformabilidade dos solos, em particular dos mais sensíveis à água, podem variar significativamente, pelo que é importante garantir a adequada manutenção dos sistemas de drenagem.

Em face dos valores obtidos, sugere-se ainda que durante a operação ferroviária se proceda ao controlo da carga transportada, para que não se ultrapasse o valor máximo estabelecido de 20,5 t/eixo. Para garantir níveis reduzidos de carga dinâmica transmitida à estrutura, o material circulante deve ser sujeito a manutenção de forma a não exibir defeitos, em particular nas rodas, e a geometria da via deve ser mantida com boa qualidade.

Se a operação da via for acompanhada por ações de manutenção regular da superestrutura e da subestrutura, o agravamento das solicitações devido às ações dinâmicas deverá ser pouco significativo, tendo em conta que a velocidade máxima de circulação é moderada.

## 4.5. Corredor de Nacala – Secção 5

### 4.5.1. Enquadramento geral

Imposta á Mota-Engil Engenharia e Construções a necessidade de reabilitação de uma via-férrea envelhecida com o mínimo de perturbações á circulação ferroviária existente, com um orçamento limitado e um prazo de execução extremamente apertado.

O plano de ação traçado incluiu numa primeira fase a avaliação da subestrutura da via de forma a sustentar a proposta de reabilitação com o mínimo de perturbações á circulação e num segunda fase o estudo de soluções de reforço dos terrenos de fundação da plataforma ferroviária, tal como descrito no ponto 3.3.3 do capítulo 3.

### 4.5.2. Caracterização geográfica

O Corredor de Nacala (Figura 59), liga a mina de carvão de Moatize (Tete) em Moçambique, atravessa o Malawi e regressa a Moçambique onde termina no Porto de Nacala numa extensão de 906 Km. A secção 5 corresponde à reabilitação da via existente até á fronteira Leste entre o Malawi e Moçambique em Nayuchi, Entrelagos.



Figura 59: Corredor de Nacala – Moçambique/Malawi. (Fonte: N.Cruz, 2017)

O Objetivo da empreitada consistia na reabilitação de 100 Km de via existente na secção 5 pressupondo a necessidade de se construir uma linha provisória ao lado da existente, sendo o tráfego desviado temporariamente durante a realização dos trabalhos de reabilitação dos terrenos de fundação da via-férrea. Este conceito foi abandonado em prol de condições geotécnicas que valorizavam a subestrutura da plataforma existente evitando a construção da via provisória e a consequente diminuição dos custos.

### 4.5.3. Ensaios realizados

O modelo de ensaios a realizar foi idealizado pela equipa da MEEC de acordo com as condicionantes locais assim como disponibilidades e acessibilidades existentes relativas a equipamentos. A execução deste modelo revelou-se muito eficiente em termos de tempo e versatilidade assim como em termos de custos e qualidade da informação recolhida.

A metodologia consistiu numa sequência de ensaios com início na avaliação contínua da qualidade geométrica da via com veículo de auscultação e com a análise das espessuras de balastro e de balastro contaminado. Esta análise às espessuras de balastro foi realizada com o Georadar em cerca de 100 Km de via-férrea. Após concluída esta campanha realizaram-se ensaios para determinar as características mecânicas das camadas de solos da subestrutura em locais assinalados durante a campanha de auscultação á via procedendo á recolha de amostras para análises laboratoriais. Por fim realizaram-se ensaios de carga em placa com espaçamentos de 1 000 m ao longo do troço em estudo determinando a rigidez da plataforma da via-férrea.

Em resumo:

- Caracterização do balastro ferroviário através de uma campanha de Georadar (2D e 3D);
- Recolha de 22 amostras para realização de ensaios laboratoriais;
- Avaliação dos níveis de compacidade das camadas de fundação através da realização de 22 DPSH;
- Ensaio com o Dilatómetro de Marchetti (DMT) quando na presença de solos moles/soltos;
- Realização de 100 ensaios de carga em placa;

#### **4.5.3.1. Avaliação dos resultados dos ensaios**

Com base na idealização de uma intervenção baseada numa reabilitação de via que implicava apenas a substituição do armamento da via, balastro, carril e travessas considerou-se a realização de intervenções pontuais nos terrenos de fundação onde os ensaios geotécnicos viriam a identificar menos rigidez da subestrutura.

##### **4.5.3.1.1. Caracterização do balastro**

Através dos ensaios realizados com o Georadar, que foi instalado num veículo rodoferroviário, foi possível realizar uma avaliação das espessuras de balastro limpo e de balastro contaminado, identificando a sua localização e os respetivos interfaces entre zonas. A análise aos resultados da campanha de Georadar permitiu ainda uma seleção de pontos para recolha de amostras e para a realização de ensaios “in situ”.

O sistema 2D do Georadar foi o interveniente que permitiu uma distinção entre camadas bastante fiável e eficiente, mas através do sistema 3D foi possível efetuar uma cálculo bastante aproximado dos volumes de balastro a tratar.

##### **4.5.3.1.2. Caracterização da subestrutura**

A caracterização da subestrutura, num processo mais complexo entre os resultados dos ensaios “in situ” e os resultados dos ensaios em laboratório, foi possível determinar com recurso a vários tipos de ensaios cujos resultados vão sendo obtidos através de diferentes metodologias e para diferentes níveis de extensão axial. (tabela 12)

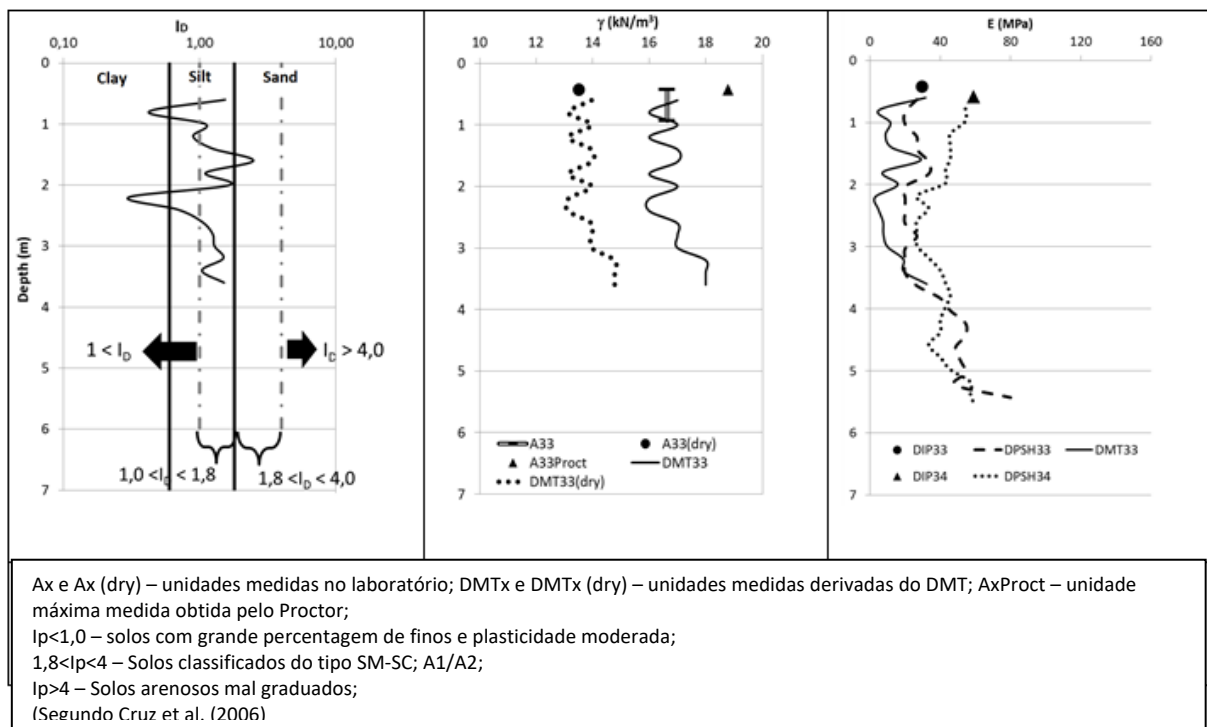


Tabela 12 – Interação entre resultados dos diferentes ensaios realizados. (Fonte: N. Cruz, 2017)

Os ensaios de carga em placa, completados com os restantes ensaios no terreno e laboratoriais, demarcaram as zonas, de comportamento mais anómalo, onde a subestrutura da plataforma teria de ser reforçada.

#### 4.5.4. Orientações geradas pelos resultados

De acordo com a modelação teórica realizada pelo LNEC foi possível garantir a execução da reabilitação da secção 5 do Corredor de Nacala em cerca de 80% da sua extensão.

As evidências demarcadas pela campanha de Georadar foram as seguintes:

- 65% do balastro limpo encontrava-se presente numa camada de espessura superior a 200 mm;
- 60% do balastro contaminado encontrava-se presente numa camada de espessura superior a 200 mm;
- 82% do balastro sem características definidas (contaminado ou não) encontrava-se presente numa camada de espessura superior a 200 mm;

O Georadar e a determinação do módulo de deformabilidade na sequência dos ensaios laboratoriais permitiu a elaboração de um traçado de soluções identificando os locais de reabilitação superficial através da aplicação de balastro novo e os locais com necessidades específicas de tratamento profundo ao nível da subestrutura. A tabela 13 mostra um apanhado desse traçado de soluções.

Este modelo de ensaios, que foi aplicado, permitiu demonstrar maior rapidez, flexibilidade, qualidade e por inerência, uma maior economia.

Ensaio	Km	Intervalo de profundidade (1)(m)	Situação	Módulo de Deformabilidade (MPa)	
				Intervalo	Valor médio no intervalo
2	212	1.0 –3.0	Aplicação de Balastro	50 -60	55
6	226	1.0 –6.8	Aplicação de Balastro	50 -65	60
17	263	2.0 –3.0	Mancha sem continuidade	40 -45	40
20	283	2.6 –3.2	Tratamento	55 -60	57
			profundo		
21	287	3.0 –5.0	Tratamento	45 -55	50
			profundo		
22	288	1.0 –4.6	Tratamento	40 -55	45
			profundo		
10	291	1.0 -5.5	Aplicação de Balastro	50 -65	60
9	296	1.0 –3.5	Aplicação de Balastro	50 -60	60

Tabela 13: Resumo ensaios e resultados da campanha realizada na secção 5 do Corredor de Nacala. (Fonte: N.Cruz, 2017, adaptado)

O estudo que se impôs para a zonas mais problemáticas, com as hipóteses de tratamento que fossem compatíveis com as condições existentes nos locais e com os materiais disponíveis em obra, exigiu a criação de uma via para ensaios.

Nessa via de ensaios foi testada uma solução de reforço da subestrutura da via que foi alvo de diversos ensaios geotécnicos, antes e depois, tendo-se procedido á recolha de dados e respetivas conclusões. Este campo experimental serviu basicamente para simular e testar o método de reforço escolhido e a sua exequibilidade tal como apresentado no ponto 3.3.3 do capítulo 3, já mencionado.

#### 4.6. Considerações aos casos de obra

A experiência adquirida com o acompanhamento deste tipo de casos realça a importância do planeamento de ações concretas no que diz respeito á limpeza, manutenção e criação de redes de drenagem capazes de servir as necessidades de encaminhamento das águas. Apesar de nem sempre realizados, todos estes casos necessitavam, após mitigações, de realizar o tratamento dos terrenos de fundação, arrastados pelas águas, a reformulação da camada de coroamento, o reforço de balastro e os respetivos trabalhos de compactação inviabilizando a origem de futuros assentamentos.

Surge então a necessidade de, através da identificação das patologias, se proceder á melhor decisão de intervenção, sendo para isso necessário uma certa celeridade no processo de escolha que inviabilize a propagação, muitas vezes exponencial, das deficiências detetadas.

A criação de uma ferramenta de auxílio ao processo de escolha do tratamento mais adequado é descrita no capítulo seguinte onde se define um modelo de decisão de soluções de tratamento de plataformas ferroviárias, assente sobre as patologias e respetivos tratamentos descritos no capítulo 3 e aplicado aos casos de obra aqui descritos.

## **5. Modelo de decisão técnico-económico**

### **5.1. Introdução**

Na sequência da identificação da necessidade de uma ferramenta célere e prática que defina as possíveis / melhores intervenções a realizar em situações semelhantes às descritas nos casos de obra do capítulo 4, é apresentado, nos pontos seguintes, um modelo de decisão de soluções de tratamento de plataformas ferroviárias desenvolvido no âmbito deste documento.

### **5.2. Modelo de decisão**

Decidir qual a melhor solução, mediante as condicionantes locais, económicas e técnicas é talvez o mais difícil de conseguir, mas seguindo um determinado padrão de inspeções, análises e averiguações, reunidos a um determinado grau de experiência profissional, poderemos obter a solução que melhor se aplica a determinado local, com possibilidade de ser realizada da maneira mais competente e com um resultado bastante satisfatório para o horizonte que se pretende atingir. É por isso necessário, numa primeira fase, determinar as orientações primárias no que diz respeito á identificação das patologias.

Num modelo bastante simples, seguindo uma hierarquia de diagnóstico, é possível orientar os casos identificados para o caminho mais correto. Vejamos por exemplo o modelo de hierarquia de diagnóstico de degradação da via-férrea apresentado na figura 60.

Através dele e de forma bastante simples numa inspeção pedonal á infraestrutura é possível identificar se os problemas se encontram na superestrutura ou na subestrutura, encaminhando às respetivas áreas a informação recolhida.

O diagnóstico é recolhido pela simples constatação de situações, aparentemente visíveis sem necessidade de grandes análises técnicas começando pelos componentes de via, nomeadamente o estado de conservação do carril, travessas e balastro. Caso estes se apresentem degradados a primeira sugestão vem no sentido de existir demasiada rigidez ou demasiada elasticidade na plataforma e no comportamento destes materiais na sua interação. É apresentada a sua substituição como a solução inerente remetendo para futuro uma segunda abordagem caso as patologias se manifestem novamente.

Caso se verifique que a superestrutura se apresenta sem degradação aparente surge a necessidade de avaliação ao longo das estações do ano e por conseguinte o registo de comportamentos com variações sazonais, sendo estes indicadores de instabilidade em aterros e/ou nas redes de drenagem. Em grande parte dos casos os problemas estão concentrados em anomalias nas drenagens ineficientes ou até inexistentes que quando bem resolvidos, juntamente com a reposição da geometria da via, não voltam a apresentar deficiências.

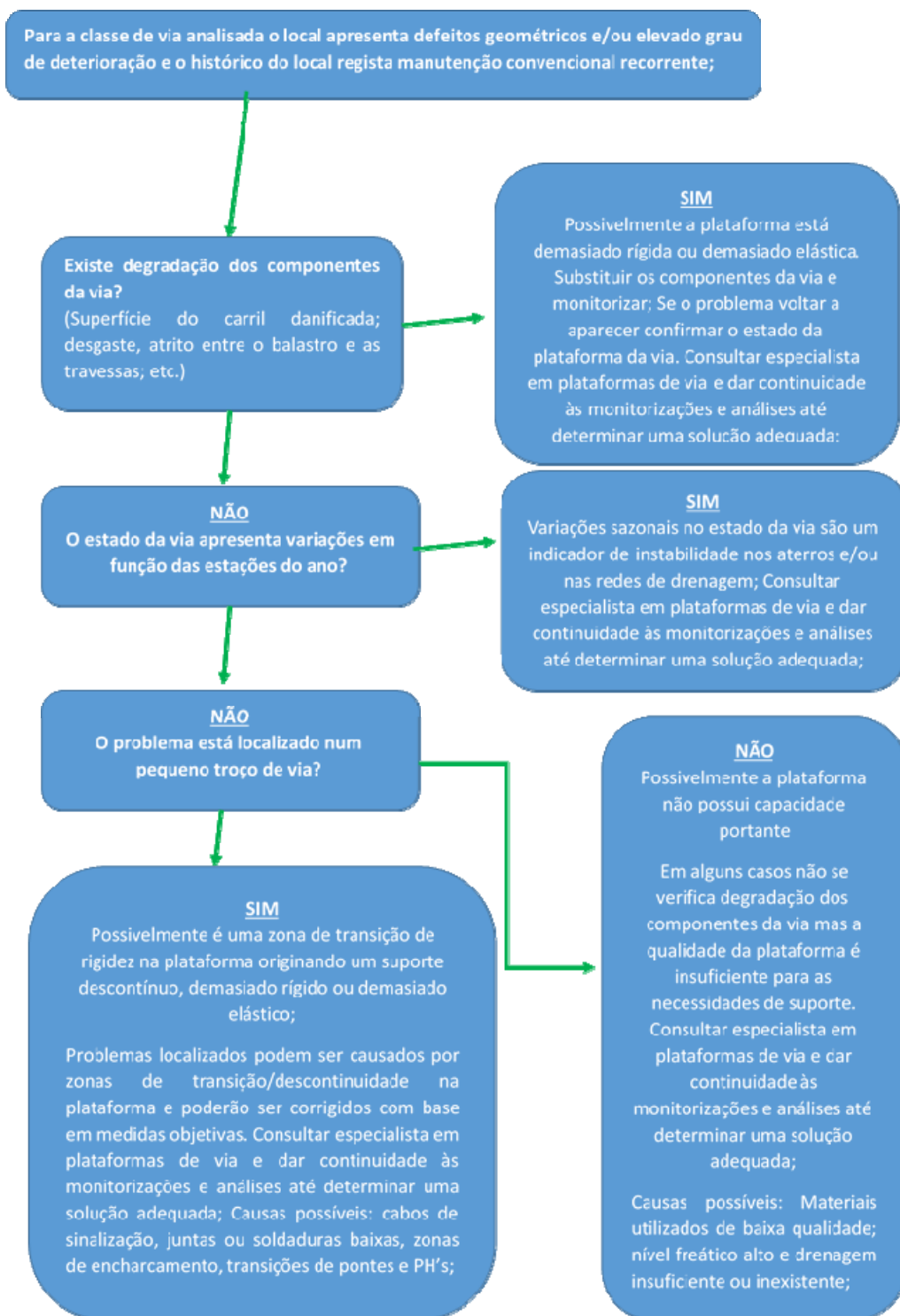


Figura 60: Hierarquia de diagnóstico de degradação da via-férrea.

Quando os problemas surgem e não estão relacionados com as variações sazonais coloca-se uma das questões mais pertinentes que é a dimensão do problema, se este se localiza num pequeno troço de via ou se pelo contrário é uma patologia que se arrasta por vários metros. Esta é talvez a questão fundamental uma vez que da sua resposta depende, desde a parte económica, á parte técnica, passando obviamente pela parte das acessibilidades e tempo de execução. Resta apenas responder, caso se trate de um pequeno troço de via, se a zona problemática é uma zona de transição, envolvendo uma descontinuidade seja ela a nível de material de via, material da plataforma ou

inserção de uma obra de arte, tal como um encontro de uma ponte ou viaduto e independentemente da resposta, considerar que as intervenções ganham neste âmbito uma outra dimensão que nos obriga á sua avaliação económica, técnica e identificação dos condicionalismos ferroviários que permitam gerar uma intervenção de carácter definitivo e com a durabilidade e funcionalidade adequadas.

Por ultimo, caso se verifique que a deficiência se prolonga pela plataforma da via, possivelmente estamos perante um caso de falta de capacidade portante dos solos advinda da utilização de materiais de baixa qualidade, problemas de drenagens e má execução dos aterros das plataformas o que nos remete para o mesmo patamar de avaliações, considerando as dimensões que este tipo de problema origina e que a sua evolução se propaga de forma exponencial.

Para tal e dando sequência á hierarquia de diagnóstico abordada, surgiu a necessidade imperiosa de criação um modelo de decisão, referente a soluções de reabilitação de plataformas ferroviárias, que fosse de encontro às necessidades mais prementes de identificação do melhor tipo de intervenções a executar, com o carácter mais definitivo possível, economicamente viáveis e para uma durabilidade e funcionalidade adequadas ao objetivo definido para a infraestrutura em análise.

É por isso descrito neste capítulo o conceito, o desenvolvimento e a aplicação de um modelo de decisão técnico obtido na sequência do trabalho e estudo realizado.

### **5.2.1. Definição do modelo**

No intuito de ser abrangente mas também que concilia-se alguma informação mais concisa o modelo foi desenvolvido com base em duas situações distintas. A primeira diz respeito às condições técnicas existentes e a segunda aos condicionalismos exigíveis para a tomada de decisão.

Basicamente, o primeiro define as características do terreno, conjugadas através da recolha de informação, e o segundo analisa as soluções técnicas na sua base mais económica seja através da onerosidade das atividades propostas, através do tempo disponível para a sua execução ou o risco inerente á solução escolhida. A análise em função do tempo disponível para a execução de determinada atividade é sem dúvida uma das questões mais abordadas ao longo deste documento uma vez que a nível ferroviário as janelas de oportunidade de execução de reparações são mínimas e desenrolam-se através de interdições temporárias á circulação, sendo muito rara a aceitação do desenrolar de trabalhos com impacto á exploração.

Encontram-se desta forma reunidas no modelo o estudo dos principais tratamentos de reabilitação de plataformas ferroviárias segundo os conceitos apresentados no capítulo 3 e agrupando as principais considerações referentes á prospeção prévia, nomeadamente a resposta a questões como a extensão do problema detetado, a sua profundidade e abrangência a nível de interação entre camadas assim como um dos intervenientes mais significativos em patologias de solos que é a presença de água.



Figura 61: Presença de água na plataforma da via – férrea junto á boca de saída do túnel de Tamel na linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011)

Num modelo de resposta sim/não é possível percorrer um caminho de questões pertinentes sobre o estado da plataforma, reproduzindo os resultados obtidos nas inspeções realizadas ao terreno e conduzindo o interveniente na direção das possíveis soluções para o problema identificado.

Por forma a conferir consistência a cada solução apresentada pelo modelo é realizada a sua ligação ao impacto do seu custo, do tempo disponível para a sua implementação e ao risco na opção tomada. Esta ligação é suportada pela identificação, em tabela, das soluções constantes no modelo e as respetivas informações sobre custos, tempo e risco de cada uma, garantindo o suporte necessário ao conceito de tomada de decisão que define o modelo desenvolvido.

Tendo em conta a experiência adquirida em contratos de manutenção ferroviária este modelo incorpora-se perfeitamente nas necessidades de suporte das ações propostas, seja com objetivos preditivos, planeamento de manutenções sistemáticas e/ou corretivas e definição de soluções técnicas a nível de projeto ou para reparações de emergência em situações de instabilidade iminente.

Possui por isso uma aplicabilidade em ampla escala sendo uma mais-valia num centro de manutenção ou associado a um contrato de conservação.

A sua rapidez na obtenção de soluções técnicas, enquadradas num suporte temporal e oneroso deixa apenas a avaliação de risco como um conceito a ser explorado pelo técnico especialista que á partida, através da prospeção prévia efetuada, não é de todo uma incógnita mas sim uma orientação da decisão. É por isso uma ferramenta capaz de em qualquer situação de emergência estar á altura de reunir a informação necessária para apresentar uma solução consistente, aos níveis decisores, tornando possível a rapidez na ação, obrigatória aos trabalhos ferroviários e ao que eles obrigam, nomeadamente a reposição da circulação comercial ou o levantamento de limitações de velocidade penalizadoras dos horários praticados.

A sua simplicidade, aliada á experiência profissional, dotam este modelo de grandes possibilidades em termos de manutenção de plataformas e na sua conservação. Verifique-se por isso a utilização

do modelo em função dos relatórios de inspeção geotécnica, proporcionando uma avaliação preditiva da evolução de patologias detetadas e alertando para a necessidade de intervenções primárias, menos onerosas e demoradas, em consequência de grandes intervenções, mais onerosas e dentro de constrangimentos temporais com penalizações para a exploração.

Considera-se por isso essencial a utilização deste modelo em diversas fases de avaliação de deficiências das plataformas ferroviárias, como já referido anteriormente, garantindo a sua aplicabilidade nas circunstâncias em que melhor se possa dar uso ao seu conceito de decisão, seja a nível preventivo, seja a nível corretivo.

### **5.3. Avaliação técnica do modelo**

#### **5.3.1. Prospecção prévia**

O modelo de decisão aqui apresentado assenta sobretudo sobre uma prospecção prévia eficaz, realizada por técnicos experientes que fundamentalmente consigam reunir, num espaço curto de tempo, a maior e melhor quantidade de informação possível sobre o troço de via-férrea ou zona em análise. Dessa informação depende, fundamentalmente, o resultado do modelo desenvolvido, onde se verifica que, quanto mais completa a prospecção, melhor será a solução a implementar, em tempo e custos adequados às reais necessidades das obras.

É sem prospecção adequada que o conceito de sub / sobredimensionamento em obras geotécnicas se torna uma realidade, contrapondo a falta de informação com a falta de investimento, resultando na desvalorização da necessidade de prospecção e fazendo-a avançar para fases posteriores ao projeto, conforme já mencionado no capítulo 2, agravando o tipo de reabilitação a implementar.

Considera-se por isso imprescindível uma prospecção prévia adequada que apensa ao modelo de decisão aqui desenvolvido, resulte na melhor solução técnica para a reabilitação de plataformas ferroviárias com o menor constrangimento á operação comercial ferroviária.

Esta prospecção prévia, em plataformas ferroviárias em operação, pode ser relativamente difícil, quer pela sua própria heterogeneidade, quer por dificuldades de acesso à linha, quer ainda pela impossibilidade de criar restrições à operação ferroviária para desenvolver trabalhos de prospecção e ensaios “in situ”.

Muitas das infraestruturas de transporte que se encontram em operação, nomeadamente as vias-férreas, foram construídas há várias dezenas de anos, para cumprir determinados requisitos, e à luz dos conhecimentos que à data existiam. Em algumas dessas infraestruturas a manutenção tem sido deficiente e nunca foram sujeitas a significativas obras de reabilitação.

Acresce que muitas dessas linhas estão construídas em zonas onde, recorrentemente, os fenómenos atmosféricos são extremos e provocam cheias com a conseqüente inundação da via-férrea, como os exemplos apresentados neste documento, nomeadamente o da Linha do Sena e o do corredor de Nacala.

A construção de vias-férreas implica, por isso, 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 prospeção mais correntes neste tipo de trabalhos, nomeadamente a realização de sondagens mecânicas e a execução de ensaios de carga com placa.

Os modelos para avaliação das condições geomecânicas da via-férrea em fase de operação, realizados na Linha do Sena e no Corredor de Nacala, 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, conforme já descrito no capítulo 4.



Figura 62: Equipamento de medição das características geométricas da estrutura ferroviária (KRAB da KZV).

(Fonte: da autora, 2012)

Em situações em que não existem constrangimentos à execução da prospeção, este trabalho é habitualmente realizado com recurso a poços para recolha de material para caracterização laboratorial, ensaios de carga com placa, defletómetros de impacto, penetrómetros dinâmicos e, nos casos em que a profundidade de prospeção o justifique, sondagens mecânicas. No entanto, quando a prospeção 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 selecionar ferramentas de prospeção alternativas que permitam a execução rápida de ensaios e simultaneamente garantam a qualidade dos resultados.

O trabalho que apresentamos no capítulo 4 enquadra-se nessa problemática e resulta da fusão de duas experiências de prospeção estabelecidas e realizadas em cooperação entre a MEEC e o LNEC, 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 prospeção foi realizada sob constante pressão para redução dos tempos de interdição de via.

O primeiro caso enquadrou-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 prospeção 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.

No segundo caso, na linha de Sena, entre Sena e Kamboulatsitse (cerca de 150 km), o balastro era recente e apresentava-se, de um modo geral, em bom estado. A existência de alguns solos de características geotécnicas desadequadas e a insuficiente drenagem longitudinal e transversal, tinham conduzido ao arrastamento de materiais e à instabilidade de algumas zonas da plataforma ferroviária, em particular em épocas de chuvas.

Assim, foi possível aceder à informação que mais importa na avaliação deste tipo de obras:

- Os tipos de solos existentes;
- A compacidade dos solos in situ;
- 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 adotados 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.

O modelo de prospeção integrada revelou grande eficiência ao nível dos custos associados, que se revelaram muito competitivos quando comparados com os de metodologias de prospeção mais correntes.

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 competitivos.

Nestes casos, onde a reabilitação geotécnica das vias ferroviárias é considerada moeda de troca na realização de empreitadas de grande dimensão, a realização de uma campanha de prospeção adequada permitiu que os trabalhos de reabilitação geotécnica fossem reduzidos aos verdadeiramente necessários, impedido uma reabilitação genérica em toda a extensão a intervir, permitindo a minimização dos custos de investimento nas intervenções realizadas.

Apesar de pouco concretos os dados existentes, referentes aos custos da realização das campanhas de prospeção, ficou claro, na sequência dos trabalhos efetivamente realizados versus os trabalhos orçamentados em fase de concurso, a poupança efetiva em termos percentuais no valor global da empreitada (Valores Globais – 109 945 329US\$ Secção 5 e 162 178 770,88€ Linha do Sena).

Foi então possível garantir a exequibilidade da reabilitação da linha na Secção 5, com prazos e custos apertados. Onde, para o efeito, pelo menos 80% da reabilitação deveria corresponder apenas a regularização superficial e um carregamento com balastro novo, conforme solução delineada pelo LNEC, situação esta confirmada pela estratégia de prospeção realizada e descrita no capítulo 4.

Na tabela 14, em termos meramente exemplificativos, podemos observar a considerável diferença na execução das alternativas. Por um lado temos a reabilitação integral da plataforma de via, onde se verifica que apesar do valor baixo do tratamento da plataforma, os trabalhos acessórios de remoção e recolocação da superestrutura de via, para a realização dos tratamentos á plataforma, são bastante consideráveis.

Orçamento:		100Km de linha:			
		Unidades	Preço Unitário	Quantidade	Valor
<b>Regularização superficial de balastro</b>	Fornecimento, transporte, descarga e regularização de balastro aplicável para qualquer tipo de linha ou travessas, plena via, estações, aparelhos de via ou túneis. (1mX0,1mX4m)	m <sup>3</sup>	25,00 €	40000	1.000.000,00 €
<b>TOTAL:</b>					<b>1.000.000,00 €</b>
		Unidades	Preço Unitário	Quantidade	Valor
<b>Reabilitação integral da plataforma da via</b>					
	Levantamento da via incluindo a desmontagem da superestrutura de via existente	m	76,00 €	1000	76.000,00 €
	Remoção de balastro incluindo o carregamento e transporte de balastro a vazadouro definitivo	m	122,00 €	1000	122.000,00 €
	Tratamento e regularização do leito da via (plataforma) com camada de sub-balastro e a colocação da manta de geotêxtil incluindo fornecimento, colocação, espalhamento e compactação dos materiais.	m	6,00 €	1000	6.000,00 €
	Assentamento da superestrutura da via (excepto soldaduras) contemplando a realização de todas as operações necessárias à sua colocação em serviço conforme definições de projecto. Inclui a carga, a descarga, o armazenamento provisório e a montagem de todos os elementos constituintes da superestrutura (tanto novos como reutilizados).	m	96,00 €	1000	96.000,00 €
<b>TOTAL:</b>					<b>300.000,00 €</b>

Tabela 14: Orçamento comparativo – Trabalhos efetivos VS Trabalhos propostos.

Em contraponto, podemos verificar, que após uma correta identificação, através de uma metodologia de prospeção bem estruturada, das reais necessidades de reabilitação geotécnica da plataforma de via, os custos baixam consideravelmente cobrindo largamente os custos de prospeção e resultando em poupança efetiva.

Apresenta-se na tabela 15 uma lista de custos generalistas para a realização de diversos ensaios. Os valores apresentados, apresentam características próximas da realidade, mas sem o conhecimento da envolvente, nomeadamente, a quantidade de ensaios a realizar, assim como os locais de

desenvolvimento dos ensaios, não passam de estimativas. Apesar disto, e em função do executado no Corredor de Nacala e na Linha do Sena, poderemos afirmar veementemente que a realização de ambas as campanhas de prospeção foi uma decisão acertada tanto no âmbito da metodologia adotada para a sua realização assim como no proveito que a sua realização proporcionou no conceito custos versus receitas.

Orçamento:			Corredor de Nacala Secção 5		Linha do Sena	
Prospeção Geotecnica em Via Ferrea	Unidades	Preço Unitário	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor
Abertura de poços no balastro até à profundidade da rocha. entre as banquetas e as travessas de via.	un	76,00 €		0,00 €	69	5.244,00 €
Sondagens à rotação	m	85,00 €		0,00 €		0,00 €
Ensaio de penetração dinâmica normalizada. S.P.T.	un	54,00 €		0,00 €		0,00 €
Ensaio com penetrómetro dinâmico super-pesado. D.P.S.H.	un	190,00 €	22	4.180,00 €	72	13.680,00 €
Georadar - Reconhecimento geofísico por propagação de ondas electromagnéticas de alta frequência	m	42,00 €	100	4.200,00 €		0,00 €
Ensaio com o dilatómetro de Marchetti	m	125,00 €	88	11.000,00 €	25	3.125,00 €
Ensaio de carga em placa	un	240,00 €	100	24.000,00 €		0,00 €
Defletómetro de impacto portátil (DIP)	un	220,00 €		0,00 €	72	15.840,00 €
Ensaio de caracterização laboratorial sobre amostras remexidas						
Granulometria	un	100,00 €	22	2.200,00 €	77	7.700,00 €
Limites de Atterberg	un	65,00 €	22	1.430,00 €	77	5.005,00 €
Teor em água natural	un	21,00 €	22	462,00 €	77	1.617,00 €
Ensaio CBR	un	150,00 €	22	3.300,00 €	77	11.550,00 €
Ensaio de compactação (Proctor)	un	175,00 €	22	3.850,00 €	77	13.475,00 €
<b>TOTAL:</b>				<b>54.622,00 €</b>		<b>77.236,00 €</b>

Tabela 15: Custos médios de realização de ensaios geotécnicos englobando as quantidades realizadas na secção 5 do corredor de Nacala e na Linha do Sena.

Importa ainda referir que os valores representativos destes trabalhos e ensaios terão de estar subjulgados às condições permitidas para a execução dos mesmos, nomeadamente no que diz respeito á necessidade de suspensão á circulação de veículos ou apenas á interdição de circulação temporária, que permite a realização de algumas actividades mas dentro de um curto período de tempo, muitas vezes noturno. A interdição temporária de via obriga a que no fim dos trabalhos, a via-férrea, se encontre restabelecida para a exploração comercial, dentro dos parâmetros de segurança exigidos pelos gestores de contrato, originando grandes penalidades em casos de incumprimento.

No modelo de decisão desenvolvido está desta forma agregada a prospeção prévia resultando em relatórios de inspeção e ensaios semelhantes aos que se encontram em anexo realizados para os casos de obra analisados neste documento. É importante referir que a experiência profissional é um fator de extrema relevância nesta fase de recolha de informação assim como na utilização e desenrolar do modelo de decisão criado, garantindo desta forma uma perspectiva mais abrangente no que diz respeito às diversas condicionantes da envolvente e dos padrões referentes a obras ferroviárias.

Estando desta forma garantido o acesso á informação necessária poderão ser respondidas as questões necessárias ao desenvolvimento do modelo de decisão para soluções de reabilitação de plataformas ferroviárias.

### 5.3.2. Fluxograma do modelo de decisão

Embora a abrangência deste documento se restrinja ao tratamento dos terrenos de fundação de plataformas ferroviárias o modelo de decisão não poderia existir sem a referência às principais soluções utilizadas para sanear os problemas das plataformas ferroviárias, nomeadamente no que diz respeito á camada de balastro, considerada parte integrante da superestrutura e não da subestrutura da via – férrea.

Não será por isso nenhuma surpresa que a grande maioria das soluções mencionadas termine com trabalhos complementares do tipo desguarnecimentos, balastragem e ataque mecânico pesado.



Figura 63: Stock e carga de balastro em comboio balastreiro (esquerda) e atacadeira mecânica pesada (direita). (Fonte: portefólio MEEC).

Como já mencionado anteriormente neste documento, verifica-se pois que a grande maioria das soluções de reabilitação de plataformas ferroviárias implica a remoção da superestrutura e posteriormente a sua recolocação, tem pois que se considerar todos os custos inerentes a essa opção e em alternativa procurar, dentro das soluções restantes, as que sejam viáveis para o projeto que se tenciona promover. Não esquecendo é claro os constrangimentos temporais e condicionantes locais da envolvente.

Não sendo, este modelo, de todo restritivo, a formulação das questões prima pela generalidade dos principais conceitos que abordam as patologias dos terrenos das vias-férreas. Seja desde logo, a questão relacionada com a contaminação do balastro ou a importância da existência de água na plataforma, as perguntas obrigam a percorrer um caminho que será o ideologicamente mais compatível com o que necessitamos para definir uma solução.

É necessário referir novamente que estando apenas as principais soluções de reabilitação de plataformas ferroviárias mencionadas no modelo este não pode de todo ser restritivo á solução final apresentada ou desconsiderar outro tipo de solução que melhor se adapte a todas as condicionantes geográficas, económicas e técnicas. Mais não seja pela constante evolução técnica nos trabalhos

ferroviários, com investimentos atribuídos ao seu desenvolvimento por toda a Europa, sempre com o objetivo de minimizar os custos das intervenções ferroviárias e o seu tempo de execução, uma vez que são os critérios que mais condicionam a atividade ferroviária a nível de reabilitações.

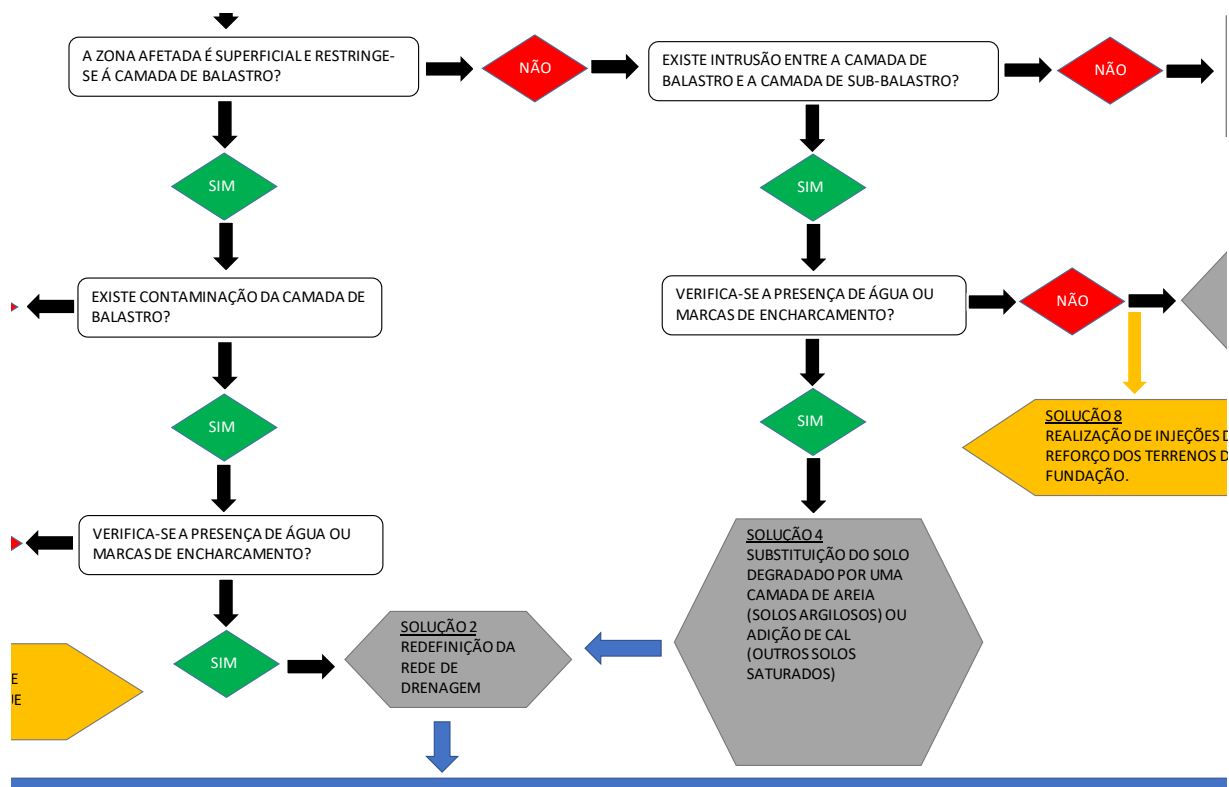


Figura 64: Exemplo da formulação das questões no fluxograma do modelo de decisão.

As soluções apresentadas neste fluxograma exprimem os métodos descritos nas principais instruções técnicas e normas ferroviárias Europeias sobre o tratamento de plataformas abrangendo por isso a grande maioria dos trabalhos que se desenvolvem em Portugal.

Fazem por isso parte deste modelo de decisão e referidas como opção no fluxograma as seguintes soluções de tratamento de plataformas ferroviárias:

- Solução 1 - Reforço e regularização superficial da camada de balastro – Contempla atividades ligeiras de colocação de balastro na via-férrea, principalmente nas banquetas e a reposição do seu perfil original, habitualmente complementado por atividades de ataque mecânico com recurso a equipamentos ligeiros;

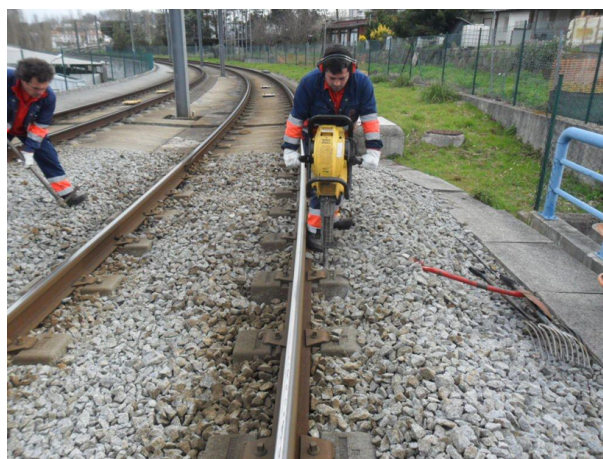


Figura 65: Reposição do perfil da banqueta (esquerda) e ataque mecânico ligeiro (direita) no Metro do Porto.

(Fonte: da autora, 2014)

- Solução 2 – Redefinição da rede de drenagem – Verificação dos órgãos de drenagem existentes e das suas condições a nível de capacidade, limpeza e obstrução assim como identificação de pendentes. Execução de drenagem complementar adequada caso necessário;



Figura 66: Limpeza de órgãos de drenagem na Linha de Cascais (esquerda) e na Linha de Sintra (direita).

(Fonte: da autora, 2008)

- Solução 3 – Depuração de balastro – O balastro contaminado é removido de forma manual e é realizado o aproveitamento do balastro que estiver em bom estado, repondo-se as condições do perfil da banqueta com adição de balastro novo se for necessário;

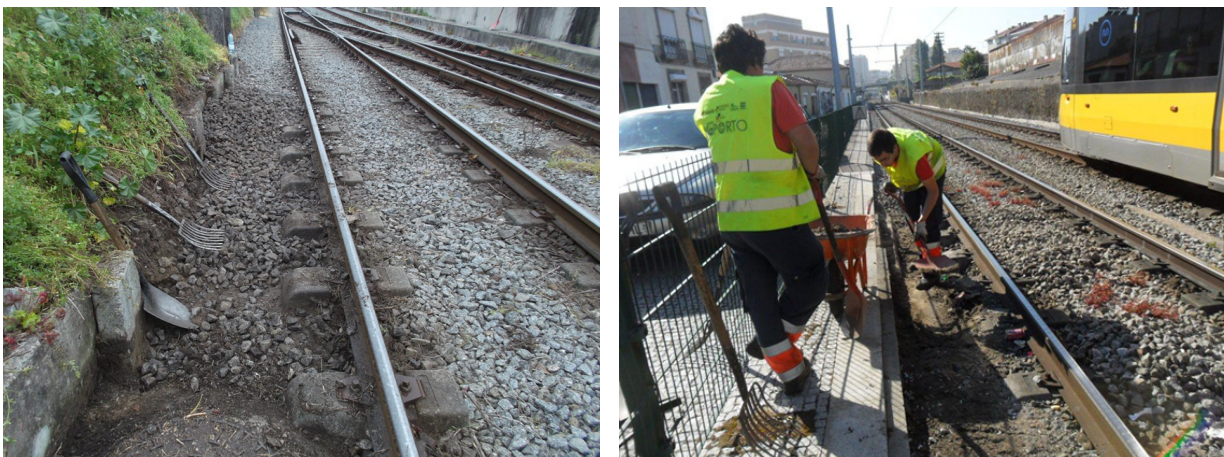


Figura 67: Zona de banqueta com balastro contaminado (esquerda) e depuração de balastro no Metro do

Porto. (Fonte: da autora, 2013)

- Solução 4 – Substituição do solo degradado por uma camada de areia ou adição de cal – Espalha-se uma camada de areia por baixo do balastro que permita a evaporação da água durante o seu atravessamento impedido a evolução da degradação do solo. O processo da cal consiste na realização de uma escarificação do solo da superfície da plataforma, uma pulverização deste, misturando e espalhando a cal e por fim reservar 3 dias para o tempo de cura do terreno;

- Solução 5 – Reabilitação da camada de sub-balastro através da sua substituição e compactação nas zonas de deformações – Remoção do balastro e do sub-balastro nas zonas afetadas, compactação dos solos nas zonas deformadas e reposição das camadas afetadas;



Figura 68: Remoção da camada de sub-balastro na Linha de Cascais (esquerda) e compactação de solos na Linha de Sintra (direita). (Fonte: da autora, 2008)

- Solução 6 – Remoção da camada de balastro, proceder a nova compactação da plataforma e camada de sub-balastro em função das solicitações – Retirada completa da camada de balastro contaminada e compactação das camadas seguintes, realizando-se o posterior enchimento com balastro novo;
- Solução 7 - Execução de saneamento por drenagem profunda do solo e completo encaminhamento das águas através de drenos profundos ou colocação de telas drenantes. Substituição dos solos saturados se necessário. – Execução de drenos semi-horizontais transversais á plataforma que descarregam nas valetas ou se possível abrir uma vala longitudinal á via para colocar tubo perfurado de captação de água circulante na plataforma e realizar a sua ligação á rede de drenagem existente em ambos os casos é usual envolver os tubos em geotêxtil. Na impossibilidade de colocação de drenos profundos optar pela aplicação de telas drenantes que obrigam á retirada do balastro para a sua colocação e á sua posterior recolocação;



Figura 69: Colocação de tubo longitudinal envolto em geotêxtil (esquerda) e pormenor de caixa de visita e desobstrução á drenagem profunda (direita) na Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011)

- Solução 8 – Realização de injeções de reforço dos terrenos de fundação – Perfuração da plataforma a profundidades diferentes e injeção de pasta e calda de argamassa de acordo com composição adequada a pressões variáveis nas zonas da plataforma que apresentam deficiências. As injeções começam pelos furos mais profundos na plataforma e terminam nos furos mais próximos da superfície;



Figura 70: Furação na base da plataforma (esquerda) e abastecimento da máquina de injeções (direita) na Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011)

- Solução 9 – Remoção da camada de balastro, substituição dos solos da plataforma, proceder a nova compactação e colocação de camada de sub-balastro em função das solicitações – Escavação da plataforma da via até ao terreno natural para remoção dos solos de capacidade portante insuficiente, sua substituição por solos adequados e respetiva compactação. Colocação das camadas da plataforma subsequentes, sub-balastro e balastro;
- Solução 10 – Realizar campanha de ataque mecânico pesado – O ataque mecânico pesado consiste na inserção dos grupos de ataque entre os vãos das travessas. Os grupos de ataque são compostos por vibradores (pioches) de alta potência, que vibram o balastro em simultâneo obrigando ao seu deslocamento lateral e vertical elevando a via para as coordenadas e cotas definidas;



Figura 71: Equipamento de ataque mecânico pesado (esquerda) e pormenor do grupo de ataque vibratório (direita) no Metro do Porto. (Fonte: da autora, 2016)

- Solução 11 – Realizar campanha de desguarnecimento mecânico de balastro – Operação que consiste na remoção do balastro até cota definida em projeto, inclui toda a largura da banquetta de balastro e permite manter a inclinação transversal da superfície de corte em concordância com a drenagem existente;
- Solução 12 – Implementar camada drenante e redimensionar a rede de drenagem – É removido todo o solo nas zonas de deformações sendo depois preenchido por material granular adequado. Toda a superfície é depois protegida com uma camada de macadame e compactada através de meios mecânicos. É também usual recorrer á colocação de telas drenantes ou geossintéticos de elevada resistência criando uma separação entre camadas e garantindo a drenagem para os órgãos existentes ou criando uma rede adequada ao sistema utilizado. As emulsões asfálticas permitem também esta separação através da completa impermeabilização do terreno;
- Solução 13 – Remoção e substituição das camadas de balastro e de sub-balastro degradado. Implementar uma camada impermeabilizante e redimensionar a rede de drenagem – São removidas ambas a camadas de balastro e sub-balastro e é realizada a impermeabilização do solo através de emulsões asfálticas, criação de uma camada de macadame ou pela colocação de geogrelhas impedindo que as partículas dos dois solos se misturem ou interpenetrem. A rede de drenagem será dimensionada em função do sistema de impermeabilização adotado;
- Solução 14 – Remoção superficial da camada de balastro (20cm), compactação do restante balastro na camada de sub-balastro – Solução muito utilizada na sequência de diversas recargas de balastro efetuadas para resolução de assentamentos de via persistentes que culminam em grandes espessuras da camada de balastro existente e possibilitam a sua utilização como reforço á camada de sub-balastro. A sua compactação é essencial para criar o efeito resistente necessário de suporte da via-férrea;
- Solução 15 – Remoção da camada de balastro e sub-balastro, proceder ao enchimento da plataforma existente com material adequado e proceder a nova compactação garantindo a eliminação de vazios – É necessário remover as camadas de balastro e sub-balastro para proceder ao enchimento da plataforma de base com material que permita a capacidade portante necessária através da compactação e eliminação completa dos vazios existentes. São posteriormente colocadas as camadas de sub-balastro e de balastro.
- Solução 16 – Execução de camada impermeabilizante sobre a plataforma recorrendo a macadame, capas asfálticas, materiais siliciosos ou misturas de argila de cal - É necessário remover as camadas de balastro e sub-balastro para proceder á impermeabilização dos solos da plataforma impedindo a ascensão de águas subterrâneas. Estas poderão também ser recolhidas através de drenos profundos em complemento á impermeabilização. Todo o solo

degradado é removido e as zonas preenchidas por materiais granulares adequados antes do tratamento. São então repostas as camadas de sub-balastro e de balastro.

- Solução 17 – Soluções de reforço dos terrenos de fundação do tipo injeções de caldas, colunas de jetgrout, vibrocompactação, colocação de geogrelhas, deep soil mixing (soluções passíveis de resolução por fases) – Sistemas de tratamento realizados por fases que permitem serem executados durante os períodos de interdição usualmente utilizados garantindo que as composições voltam a circular no fim do período concedido. Existem já alguns equipamentos com possibilidades de colocação sobre meios de circulação ferroviária de forma a se deslocarem aos locais de intervenção;
- Solução 18 – Renovação integral da plataforma incluindo prospeção geotécnica para orientação da solução de projeto – Realização de prospeção prévia para averiguação das características do solo para averiguação dos troços com necessidades de tratamento específicas e realização do projeto de acordo com os resultados. É removido o solo nas zonas assinaladas pela prospeção e mantido onde este apenas necessita de reforço sendo implementada uma nova solução de plataforma de via.

Estas soluções, descritas na sua maioria no capítulo 3, são o culminar do fluxograma, percorrendo os caminhos de perguntas sobre o estado da infraestrutura que não são mais que os resultados dos relatórios de inspeção e ensaios realizados. A prospeção adequada é sem dúvida uma das ferramentas que impelirá á melhor solução possível podendo esta ser tão básica como uma inspeção visual acompanhada de sondagens até á recolha de amostras para ensaios laboratoriais.

Resta pois conciliar a informação recolhida, atribuir às incógnitas do fluxograma uma resposta e obter uma proposta de solução. A solução ou soluções apresentadas são depois complementadas com informação económica, através do gradiente de onerosidade, e com informação sobre a janela de tempo necessária para esse tipo de solução, através do gradiente de constrangimento temporal. Á solução final está associado um determinado risco de execução em prol dos fatores técnicos de execução ou condicionalismos geográficos desconhecidos.

No anexo 1 encontra-se o fluxograma do modelo de decisão.

O uso do modelo tem uma limitação que não pode ser ignorada. A limitação revela-se enquadrada nos condicionalismos locais e geográficos, nomeadamente os que se referem ao espaço envolvente, pelo que, independentemente do resultado obtido as soluções terão de ser moldadas e adaptadas às possibilidades que o terreno permite.

A dimensão dos equipamentos necessários e a sua mobilidade, apenas através de meios rodoviários, é muita das vezes condicionante para a realização de atividades em meios ferroviários ficando por isso os trabalhos constrangidos ás acessibilidades existentes nas vias-férreas. Na última década as empresas que desenvolvem atividades ferroviárias em Portugal têm desenvolvido um esforço considerável na adaptação de equipamentos de construção á mobilidade ferroviária. Hoje em dia

uma simples pá-carregadora pode ser adaptada para se deslocar sobre os carris e manter a mobilidade rodoviária, deslocando-se dessa forma pelas estradas até próximo dos locais de trabalho e carrilando depois para trabalhar nas zonas mais inacessíveis. Este tipo de equipamentos, rodoferroviários, permite reduzir os custos das intervenções que apenas consideravam equipamentos ferroviários pesados na sua execução estando sujeitos às regras de circulação e marcha nas vias férreas.

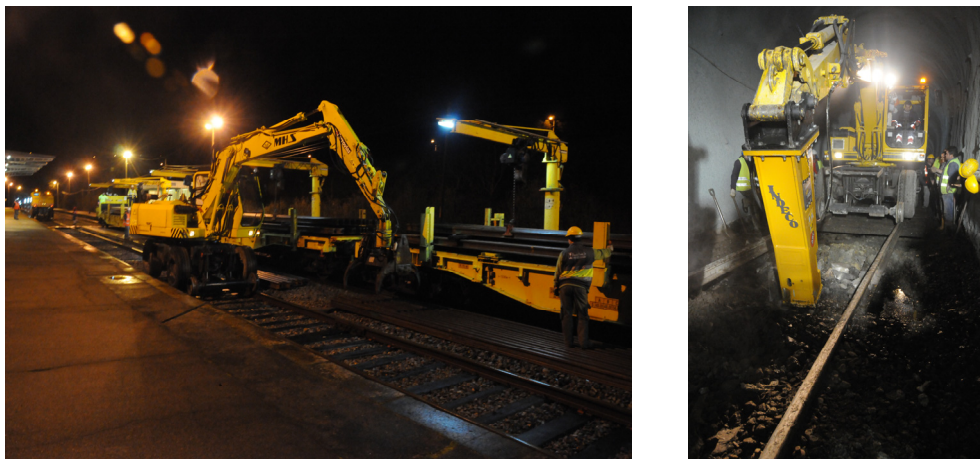


Figura 72: Veículos rodoferroviários (Rail-Route) – com pinças de carga na Estação de Barcelos (esquerda) e com martelo demolidor adaptado no túnel de Tamel (direita). (Fonte: da autora, 2011)

#### 5.4. Avaliação das condicionantes do modelo de decisão

Na sequência da componente técnica de inspeção e avaliação assim como da possibilidade de escolha, através do modelo de decisão criado, de uma solução adequada para determinado problema ou anomalia detetada, surge a necessidade de complementar a opção técnica com as principais características resultantes dos condicionalismos ferroviários. A principal condicionante a afetar diretamente o resultado do modelo é a que diz respeito aos custos resultantes das atividades de tratamento de plataformas ferroviárias. As condicionantes seguintes abrangem situações como os tempos disponibilizados para a execução dos trabalhos em ambientes ferroviários e os riscos inerentes á escolha entre as soluções possíveis dentro do modelo de decisão.

Não conduzindo á inerente importância de determinado condicionalismo em prol de outro, é de referir que a avaliação económica, em tempos de crise, se verifica como o maior condicionalismo existente á realização das soluções de tratamento de plataformas ferroviárias, seja pelo investimento necessário seja pela escolha da solução viável financeiramente prescindindo, muitas vezes, da que mais garantias apresenta a nível técnico.

Foi por isso necessário estudar afincadamente os custos relacionados com este tipo de atividades de forma a proporcionar, no modelo de decisão apresentado, a possibilidade de informação sobre os custos médios da realização de cada uma das soluções e garantindo que essa informação acompanha a tomada de decisão mais acertada, justificando o investimento ou até, pela falta de

fundos, inviabilizar a escolha de determinada solução, permitindo que a orientação para outros tipos de tratamentos ou soluções fique imediatamente disponível.

O mesmo se aplica às condicionantes resultantes dos tempos necessários para a realização de determinado tratamento e os tempos disponibilizados pelos gestores das infraestruturas ferroviárias, o que muitas das vezes é incompatível.

**PROGRAMAÇÃO DE: Interdição**

ORGÃO: TEC / Dep Túneis PEDIDO DE PROGRAMAÇÃO Nº: 24098356

LINHA/RAMAL: Linha do Minho

VIAS: Via Única

TIPO DE TRABALHOS: /

**ORDEN SEMANAL DE TRABALHOS Nº: OST/2015/16 de 13.04.2015 a 19.04.2015**

---

DIA: 16.04.2015	HORAS: das 22:00:00 às 24:00:00
DIA: 17.04.2015	HORAS: das 00:00:00 às 05:20:00
DIA: 17.04.2015	HORAS: das 22:00:00 às 24:00:00
DIA: 18.04.2015	HORAS: das 00:00:00 às 05:20:00

---

1. DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS  
PKM : 41.719 / 41.979  
Reparação de drenagens transversais no Túnel de São Miguel da Carreira  
- Pk. 41,849 da Linha do Minho

2. LOCALIZAÇÃO(ENTRE ESTAÇÕES E/OU AMV, INDICAR LINHAS INTERDITAS, ETC)  
Interdição da Via entre as estações de Níne e Barcelos.

3. OBRA  
S. M. Carreira; Caminha - Peq reparações

4. MEIOS A UTILIZAR  
Não há meios ferroviários (apenas é utilizado equipamento ligeiro/portátil).

5. INTERVENIENTES  
5.1. ENTIDADES  
TUN-MN - Túneis + Empresa Moia-Engil Engenharia e Construções

5.2. DONO DE OBRA (REFER) E RESPONSÁVEL PELA CATENÁRIA CONFORME RGS XII  
Dep Túneis:

Figura 73: Ficha tipo de programação de interdição utilizada na REFER para a realização de trabalhos nas drenagens do túnel de S. Miguel de Carreira, em período noturno das 22h00 às 05h00, na linha do Minho. Qual o objetivo do estudo e planeamento de determinada solução de tratamento se esta tiver tempo de execução penalizador para a exploração comercial e que os custos advindos das limitações de velocidade, paragens ou supressões á circulação de veículos é superior aos ganhos futuros com essa mesma reabilitação. E de todo importantíssimo que o modelo de decisão contenha a previsão do tempo médio de interdição, necessário á realização de cada solução identificada, garantido que seja qual for a opção tomada esta se enquadra na janela de oportunidade, disponibilizada para aquela infraestrutura.

No que se refere aos condicionalismos pressupostos na avaliação de risco, está inerente que existirá sempre uma solução melhor que outra e como tal esse risco deverá ser conhecido e explorado para que na opção tomada fiquem presentes os motivos que levaram a que determinada solução fosse escolhida. Mesmo que o reflexo dessa escolha apresente o fator económico ou o fator rapidez de

intervenção como as justificações para essa mesma escolha este modelo de decisão permite, através da escolha entre diversas opções avaliar o risco de cada uma e apresenta-lo no final como característica dessa escolha. Poderemos dizer que a nível prático, embora não exista viabilidade económica para a realização de determinada solução técnica, esta não deixa de ser a melhor opção assim como a de menor risco seja englobando fatores como a longevidade, a garantia ou mesmo o conforto.

#### **5.4.1. Avaliação económica**

Nas ferrovias correntes, o desvio do alinhamento da via, mas também do seu perfil vertical comparativamente à geometria estipulada em projeto, devido à progressiva degradação do balastro ou devido à consolidação ou deformação excessiva por corte do solo de fundação, geralmente provoca elevados custos de manutenção.

De forma a poder competir com outros meios de transporte, as autoridades ferroviárias encontram-se sob enorme pressão no que respeita à minimização dos custos de manutenção. A manutenção da subestrutura ferroviária tem grande peso no custo global de exploração. A solução deve passar por encontrar materiais alternativos e técnicas que melhorem o desempenho da ferrovia a curto e longo prazo. Dentro das principais preocupações poderemos apontar:

- Possibilidade de aproveitamento do existente o mais possível;
- Redução das perturbações á circulação ferroviária;
- Garantir a melhor qualidade possível na reabilitação;
- Redução dos custos imediatos e ao longo do ciclo de vida da infraestrutura ferroviária;

A reabilitação geotécnica de vias ferroviárias degradadas implica um planeamento prévio considerável, recursos, e justificação económica para os seus custos avultados. Um dos processos para um projeto de reabilitação de sucesso assenta numa boa perceção das condições gerais em que o troço se encontra e informação sobre as necessidades futuras de tráfego do troço a intervir no que concerne a cargas por eixo.

Num objetivo claro de reabilitar, em formato sustentável, é por isso importante explorar as novas tecnologias que poderão ser economicamente mais vantajosas que as práticas convencionais de reabilitação geotécnica de plataformas ferroviárias.

Agrupando pessoal especializado e equipamento de ambos os setores, ferroviário e geotécnico, será a união perfeita para soluções produtivas e com custos efetivos economicamente mais viáveis.

##### **5.4.1.1. Custos de reabilitação por metodologias clássicas**

As metodologias clássicas referem-se, na sua generalidade, á reconstrução da infraestrutura degradada, com exceção para algumas atividades pontuais de tratamento em zonas bastante concentradas e onde foi possível determinar com exatidão a origem da degradação.

Apesar da recarga de balastro novo, a sua regularização e o ataque mecânico pesado de via ser o método clássico de reabilitação das plataformas mais utilizado não poderá ser considerado como uma solução definitiva de tratamento uma vez que estes trabalhos de manutenção são apenas realizados na superestrutura de via (camada de balastro) e são considerados sistemáticos em resultado do comportamento do balastro independentemente do comportamento das camadas inferiores.

Mesmo com a realização de trabalhos de estabilização dinâmica do balastro o seu assentamento é inevitável embora com um período de vida útil mais enquadrável no âmbito dos contratos de manutenção.



Figura 74: Estabilizadora dinâmica de via. (Fonte: Portefólio MEEC)

Vamos apenas analisar economicamente, como metodologia clássica, a remoção e substituição dos solos degradados e ao seu tratamento.

Utilizando os valores de referência utilizados na tabela 14, é possível verificar que a reabilitação (tratamento) da plataforma da via se encontra na ordem dos 300 000,00€ / Km de via simples, realizada em períodos noturnos de 5 a 6 horas de trabalho por dia de semana.

Resta portanto analisar este conceito sem a propriedade referente ao tratamento, mas substituindo-a pela renovação integral da estrutura.

Como se pode verificar na tabela seguinte (tabela 16) a renovação integral de uma plataforma de via ronda os 700 000,00€/Km de via simples o que significa, sensivelmente, mais do dobro do referente ao tratamento, não podendo por isso ficar esquecido o conceito de vida útil que uma reabilitação proporciona em comparação com uma renovação integral. Surge daí a justificativa para o tipo de investimento que surgiu ao longo de toda a Linha do Norte onde por um lado a caracterização primária era insuficiente e por outro a necessidade de reabilitar conjuntamente o armamento da via apresentava a renovação como uma solução mais vantajosa.

Temos desta forma outra incógnita na equação da viabilidade económica dos métodos clássicos que é a necessidade de se empreender, conjuntamente com as obras geotécnicas, as reabilitações da superestrutura de via, carril, travessas, aparelhos de mudança de via, etc.

Plataforma considerada: 25cm de balastro; 30cm de sub-balastro; 3m de plataforma (solo de fundação)				
	Unidades	Preço Unitário	Quantidade	Valor
<b>Renovação integral da plataforma da via</b>				
Levantamento da via incluindo a desmontagem da superestrutura de via existente	m	76,00 €	1000	76.000,00 €
Remoção de balastro incluindo o carregamento e transporte de balastro a vazadouro definitivo	m	122,00 €	1000	122.000,00 €
Escavação com recurso a meios mecânicos				
Em solos	m <sup>3</sup>	6,00 €	7200	43.200,00 €
Em rocha	m <sup>3</sup>	37,00 €	6000	222.000,00 €
Aterro em solos	m <sup>3</sup>	10,00 €	11200	112.000,00 €
Sub-balastro	m <sup>3</sup>	20,00 €	1200	24.000,00 €
Rachão	m <sup>3</sup>	12,00 €	800	9.600,00 €
Geotêxtil de gramagem 400gr/m2 (4 m largura plataforma)	m <sup>2</sup>	3,00 €	4000	12.000,00 €
Assentamento da superestrutura da via (excepto soldaduras) contemplando a realização de todas as operações necessárias à sua colocação em serviço conforme definições de projecto. Inclui a carga, a descarga, o armazenamento provisório e a montagem de todos os elementos constituintes da superestrutura (tanto novos como reutilizados).	m	96,00 €	1000	96.000,00 €
<b>TOTAL:</b>				<b>716.800,00 €</b>

Tabela 16: Exemplo de orçamento para renovação integral da plataforma de via.

Nestes casos a completa reabilitação ou renovação é mais atraente a nível económico uma vez que para se realizarem estes tipos de trabalhos é sempre necessária a remoção da superestrutura da via. Nomeadamente, fica implícita a sua substituição por materiais novos quando da montagem da mesma no fim dos trabalhos de recuperação da plataforma.

No caso da Linha do Norte, que é via dupla, habitualmente é concedido o trabalho tipo VUP que significa, via única provisória, onde na zona a intervencionar se retira uma das vias para realização dos trabalhos e as composições circulam, naquele troço, apenas por uma via, durante a realização dos trabalhos de renovação, trocando de vias após a conclusão de uma delas.

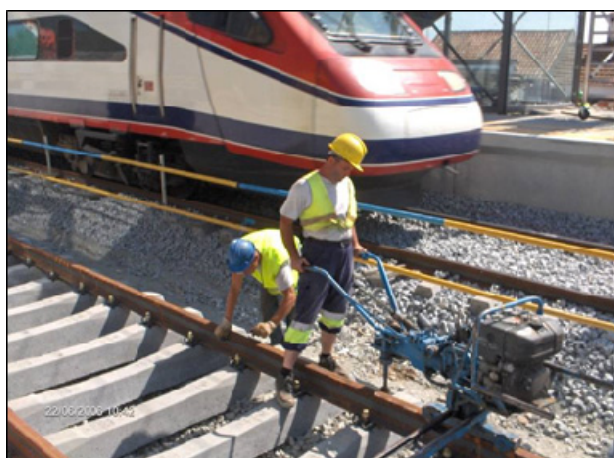


Figura 75: Realização do aperto de fixações em VUP – Linha do Norte. (Fonte: Portefólio MEEC)

Nas vias únicas é sempre mais comum recorrer a intervenções mais contidas a nível de dimensão permitindo a realização dos trabalhos nos períodos existentes de interdição temporária, mas criando

as zonas de transição, já abordadas, que serão sempre locais com maior apetência a problemas de assentamentos.

É preciso referir ainda que os trabalhos de drenagens estão quase sempre associados aos métodos clássicos de tratamento dos terrenos de fundação até porque na grande maioria dos casos a presença de água nas plataformas é sem dúvida a origem principal dos problemas de assentamentos e escorregamentos de solos assim como a contaminação e colmatação do balastro da via.

Podemos verificar esta patologia em todas as situações que apresentamos no capítulo anterior, principalmente nas obras mais antigas, realizadas em alturas em que as redes de drenagem não eram ainda uma obrigatoriedade e onde a sua realização, na maior parte das vezes, á posteriori do projeto inicial, originou verdadeiros quebra-cabeças para correto encaminhamento das águas.



Figura 76: Contaminação da plataforma da via através das águas da drenagem – Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011)

Nos túneis centenários da Linha do Minho esta era uma realidade e como tal os valores dos melhoramentos á rede de drenagem, existente ou mesmo até a sua criação onde ela era inexistente, agregou uma parte considerável do orçamento. O próprio desconhecimento do existente no interior dos túneis foi alvo de propostas de alteração ao projeto inicial e revisões às suas quantidades, confirmadas através da realização de sondagens.



Figura 77: Presença de água constante no rebaixamento da plataforma do Túnel de Tamel – Linha do Minho. (Fonte: da autora, 2011)

Nos casos de obra apresentados, no túnel de S. Miguel de Carreira e na zona intervencionada á boca do túnel as alterações foram apenas sobre a rede de drenagens.

<b>Orçamento: Melhoria da rede drenagem</b>				
<b>Linha do Minho - S. Miguel de Carreira</b>	<b>Unidades</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor</b>
Colocação de drenos circulares longitudinais perfurados com 300mm de diâmetro do tipo Duralight ou similar envolto em geotêxtil tipo Polyfelt TS-50 ou similar, não-tecido agulhado e com elevadas resistências a danos de instalação. Inclui o assentamento sobre camada de betão pobre de enchimento e todos os demais trabalhos e acessórios necessários.	m	34,00 €	50	1.700,00 €
Implementação da pendente na camada de sub-balastro para encaminha das águas pluviais para a drenagem longitudinal (actividade absorvida no valor do rebaixamento da plataforma previsto)	m	0,00 €	50	0,00 €
<b>TOTAL:</b>				<b>1.700,00 €</b>
<b>Reabilitação geotecnica da plataforma da via e drenagens</b>				
<b>Orçamento : Linha do Minho - Túnel de Tamel</b>	<b>Unidades</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor</b>
Reabilitação e/ou substituição das valetas de pé de talude, incluindo a protecção estanque e consolidante de juntas, os nivelamentos, os trabalhos preparatórios e acessórios e o fornecimento dos materiais e equipamentos que se verificarem necessários.	m	43,00 €	100	4.300,00 €
Colocação de drenos circulares longitudinais perfurados com 300mm de diâmetro do tipo Duralight ou similar envolto em geotêxtil tipo Polyfelt TS-50 ou similar, não-tecido agulhado e com elevadas resistências a danos de instalação. Inclui o assentamento sobre camada de betão pobre de enchimento e todos os demais trabalhos e acessórios necessários.	m	34,00 €	100	3.400,00 €
Execução de esporões transversais drenantes na plataforma de barreira às águas, incluindo a execução e regularização de sulcos ou valas e o fornecimento e colocação de material drenante (brita 25/50) envolvida em manta geotêxtil.	m	10,00 €	12	120,00 €
Limpeza e reabilitação de passagem hidraulica recorrendo a métodos topograficos para definição de vertice (pendente)	m	107,00 €	9	963,00 €
Levantamento da via incluindo a desmontagem da superestrutura de via existente	m	76,00 €	100	7.600,00 €
Remoção de balastro incluindo o carregamento e transporte de balastro a vazadouro definitivo	m	122,00 €	100	12.200,00 €
Tratamento e regularização do leito da via (plataforma) com camada de sub-balastro e a colocação da manta de geotêxtil incluindo fornecimento, colocação, espalhamento e compactação dos materiais.	m	6,00 €	100	600,00 €
Assentamento da superestrutura da via (excepto soldaduras) contemplando a realização de todas as operações necessárias à sua colocação em serviço conforme definições de projecto. Inclui a carga, a descarga, o armazenamento provisório e a montagem de todos os elementos constituintes da superestrutura (tanto novos como reutilizados).	m	96,00 €	100	9.600,00 €
<b>TOTAL:</b>				<b>38.783,00 €</b>

Tabela 17: Orçamento com referencias aos trabalhos de drenagens realizados na linha do Minho.

No túnel de Tamel para além das alterações á rede de drenagem, estas alargaram-se á plataforma tal como já abordado anteriormente, agravando por isso os valores finais da intervenção.

Na tabela anterior podemos observar os valores distintos das atividades executadas.

Nos 3 casos abordados na área metropolitana de Lisboa, na Linha de Sintra e na Linha de Cascais, apenas no referente ao PK 20+270, da linha de Sintra se interveio de forma mais completa, nos outros dois após os trabalhos de mitigação não se procederam a atividades de reparação definitiva ficando os locais a aguardar intervenções futuras que justificassem o investimento tanto na alteração às redes de drenagem existentes assim como á substituição dos solos e balastro contaminados através da passagem das águas pela plataforma.

A título comparativo podemos analisar os valores referentes aos trabalhos de mitigação realizados na Linha de Sintra ao PK 20+270 que englobavam:

- Remoção de painéis de vedação tombada e execução de contenção do talude através de perfis de carril cravados no solo e travessas de madeira transversais aos perfis;
- Selagem dos perfis com argamassa e preenchimento da zona entre a plataforma de via e a contenção com "tout venant" e respetiva compactação. Incluindo fornecimento;
- Fornecimento e aplicação de tela geotêxtil de proteção á superfície da contenção;

Estes trabalhos foram orçamentados em cerca de 9 000,00€ e eram apenas os trabalhos resultantes da ocorrência da cedência da via para o talude lateral. A estes somaram ainda os trabalhos de reparação definitiva do talude e a reestruturação da rede de drenagem, orçamentados em cerca de 28 500,00€. Por contabilizar ficaram os resultantes das atividades de recolocação da via-férrea na geometria de projeto que foram abrangidos pelas campanhas de balastragem e ataque mecânico pesado do contrato de manutenção em vigor na altura.

#### **5.4.1.2. Custos de reabilitação por novas metodologias**

No processo de evolução de métodos de reabilitação geotécnica de plataformas ferroviárias temos vindo a observar um crescimento gradual e uma adaptação dos métodos mais clássicos para colmatar as dificuldades impostas, cada vez mais, pela inviabilidade de suspensão da circulação ferroviárias para execução dos trabalhos de reforço dos terrenos de fundação.

Os custos que advêm pela paragem da exploração, seja ela de passageiros ou de mercadorias, são cada vez mais elevados e as abordagens com soluções técnicas aligeiradas e pontuais verificam-se infrutíferas para os períodos de vida útil exigidos, aumentando exponencialmente os valores de manutenção, já por si, consideráveis uma vez que se desenrolam em períodos de trabalho, muitas vezes, noturno e de curta duração.

A solução de injeções, não sendo nova, teve uma evolução ao longo dos últimos anos que se poderá afirmar eficaz, para os conceitos de reforço habitualmente necessários neste tipo de intervenções na infraestrutura ferroviária. Desde a sua rapidez de execução ao conceito de execução do tratamento permitindo a contínua passagem de circulações, poderemos considerar que os resultados obtidos para consolidação das plataformas são satisfatórios.

O exemplo da via de ensaios que apresentamos no ponto 3.5 permitiu, num âmbito bastante teórico, demonstrar essas mesmas vicissitudes. Aliada a uma caracterização preliminar ao terreno, a preparação e aplicação deste tipo de tratamento foi realizada em 3 dias e os valores da consolidação obtida foram registados 10 dias após as injeções. Dependendo do tipo e dimensão da obra este tempo poderá ser um reflexo na programação e no encurtamento de prazos, sendo que outros valores poderão ser analisados com o intuito de verificar a viabilidade económica da solução, nomeadamente:

- O tempo de execução das colunas foi de cerca de 1 minuto por metro de coluna;
- Cada coluna possui á volta dos 40 cm de diâmetro;

- Considerou-se o consumo de 90 l de calda de cimento por coluna, incluindo desperdício espalhado, em pequenas quantidades, pelo solo em seu redor;

Não considerando o fabrico nem o fornecimento da calda poderemos concluir que a mão-de-obra fica reduzida ao operador do bico de injeção e ao operário no apoio de retaguarda, que contrapondo com a mão-de-obra necessária para a execução dos métodos clássicos de remoção e recolocação global ou parcial dos terrenos de fundação são mínimos.

É agora possível apresentar de uma forma bastante genérica alguns valores referentes a este tipo de intervenção. Considerando uma malha em quincôncio, de colunas de injeção, espaçadas de 2 em 2 m e com um consumo de 0,09 m<sup>3</sup> de calda de injeção por coluna, distribuída ao longo da plataforma de via conseguimos obter um valor bastante expressivo.

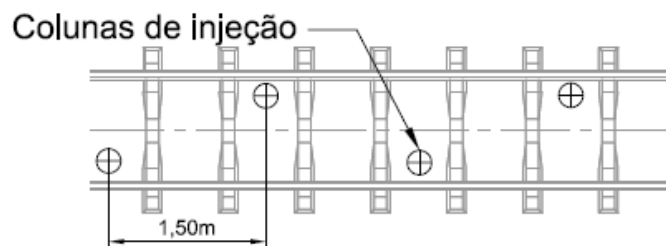


Figura 78: Esquema tipo da malha de injeções.

Na tabela 18 podemos verificar em termos comparativos os valores das diferentes atividades de reabilitação geotécnica de vias ferroviárias mediante diferentes tipos de tratamentos dos terrenos de fundação que se abordaram.

Orçamento: Reabilitação geotécnica de vias ferroviárias mediante diferentes tipos de reforço dos terrenos de fundação					
1000 mlv	Unidades	Preço Unitário	Quantidade	Valor	
Regularização superficial de balastro incluindo: Fornecimento, transporte, descarga e regularização de balastro aplicável para qualquer tipo de linha ou travessas, plena via, estações, aparelhos de via ou túneis. (1mX0,1mX4m)	m <sup>3</sup>	25,00 €	400	10.000,00 €	
Injecções estruturais de contacto, a alta pressões, de caldas, compostas por cal hidratada, cargas pozolânicas e areias. Inclui o fornecimento e a instalação de todo o equipamento de injeção e perfuração e todos os acessórios necessários à execução dos trabalhos.	m <sup>3</sup>	530,00 €	60,03	31.815,90 €	
Reabilitação integral da plataforma da via	m	300,00 €	1000	300.000,00 €	
Tratamento de terrenos de fundação com "Deep Mixing" (3,5m de profundidade)	m	144,00 €	3500	504.000,00 €	
Renovação integral da plataforma da via	m	717,00 €	1000	717.000,00 €	

Tabela 18: Orçamento comparativo de diferentes métodos de reabilitação geotécnica de vias ferroviárias mediante diferentes tipos de tratamentos dos terrenos de fundação.

Não foi possível obter preços para todas as técnicas abordadas mas numa visão alargada ao conceito de viabilidade económica dos processos de reabilitação de infraestruturas ferroviárias mediante o tratamento de plataformas é então possível tecer algumas considerações.

Estabelecendo uma escala do valor mais baixo para o mais alto, num exemplo para 1000 m de via única, considera-se que a regularização superficial de balastro, como medida mitigadora, é sem

dúvida o método mais económico e o mais utilizado, como já referido, para fazer face aos problemas de assentamentos e desnivelamentos nas plataformas ferroviárias.



Figura 79: Regularizadora mecânica de balastro. (Fonte: portefólio MEEC)

Não sendo um método de resolução permanente, é bastante económico e usual nos contratos de manutenção de via e geotecnia existentes em Portugal, principalmente porque se enquadra juntamente com os demais trabalhos de reposição geométrica dos parâmetros de via corrigidos através de ataque mecânico pesado.

As injeções, apesar de apenas observados num prisma teórico e com cariz experimental, permitem uma visão bastante económica das possibilidades deste tipo de solução dentro de um contexto de exequibilidade técnica, nomeadamente no que diz respeito á capacidade portante adquirida.

Para a reabilitação das plataformas, onde o tratamento dos solos exige ou permite a desmontagem da superestrutura de via é dado um salto gigantesco em termos de valores no que se considera economicamente viável, embora seja dos processos mais utilizados em situações pontuais e bem definidas a nível de zonamento.

O valor referente ao Deep Mixing não é expressivo, face á sua insuficiente exploração em Portugal e ao desconhecimento dos custos reais da sua implementação no terreno não sendo por isso de considerar para efeitos comparativos.

Resta pois a renovação integral da plataforma de via, método bastante utilizado em Portugal nas renovações das principais vias ferroviárias e que apesar de ser o mais dispendioso permite agrupar outros trabalhos de índole ferroviária dentro do seu processo de execução rentabilizando assim toda a intervenção necessária para a sua execução.

Dentro das hipóteses referidas é sempre necessário uma completa observação geotécnica dos locais a intervir de forma a ser tomada a opção mais correta e mais viável economicamente, seja por um processo mais económico e rápido ou por uma intervenção mais de fundo. Uma correta prospeção geotécnica permitirá determinar a melhor proposta de reabilitação geotécnica de uma via ferroviária mediante o tratamento dos terrenos de fundação, garantindo a melhor solução técnica em conjunto com a solução economicamente viável e permitindo o agrupamento de diversas opções numa só zona de intervenção de forma a rentabilizar as necessidades efetivas de tratamento.

Agrupando toda a informação reunida no estudo económico às soluções técnicas abordadas nos casos de obra foi então possível introduzir uma escala de valores no modelo de decisão criando um gradiente de onerosidade.

O gradiente de onerosidade, não é mais do que a separação por escalas de preços e a sua classificação em formato crescente no que se consideram as principais soluções para o tratamento de plataformas ferroviárias.

A escala criada segue o seguinte formato, considerando valores para o tratamento, ou conjunto de tratamentos, por metro de via:

- Tratamento tipo \$ - Valores inferiores a 100 €/m;
- Tratamento tipo \$\$ - Valores entre 100 €/m e 500 €/m;
- Tratamento tipo \$\$\$ - Valores entre 500 €/m e 1 000 €/m;
- Tratamento tipo \$\$\$\$ - Valores superiores a 1 000 €/m;

As quatro categorias de escalas de preços foram definidas tendo em conta valores médios de todas as atividades que compõem as soluções mencionadas sendo apenas expressivos para o efeito que aqui se pretende de considerar uma atividade viável ou inviável em prol de todas as condicionantes avaliadas.

Não sendo este modelo abrangente ao ponto de referir todas as soluções de reabilitação, de plataformas ferroviárias, possíveis de realizar, a referência a valores mais específicos ficará noutra âmbito. É por isso necessário olhar para este modelo como uma primeira avaliação às possibilidades existentes não sendo estas exclusivas nem obrigatórias.

No que diz respeito ao conteúdo económico este tem sido nos últimos anos a parcela mais importante na definição dos objetivos de investimento público sendo na maioria das empreitadas de obras públicas o único parâmetro de avaliação para entrega de uma obra.

O “preço mais baixo” sobrepõem-se às mais-valias técnicas em tempos de crise.

É por isso que este gradiente permite verificar numa escala de valores e de forma independente, o custo para determinada solução, mas permite também avaliar o valor ou impacto no valor principal que um determinado conjunto de soluções provoca. É importante referir que conjuntamente com determinada solução se verifica necessidade de trabalhos complementares que poderão ser mais ou menos onerosos em função das características da solução principal.

Torna-se então obrigatório a realização de uma avaliação ao orçamento disponível e em função dele, conjuntamente com as restantes condicionantes, tomar uma decisão com base em algum risco, nomeadamente, promover determinada solução em prol de outra mais habilitada a nível técnico mas inviável a nível económico, conseguindo mitigar determinado problema, mesmo que por tempo inferior ao desejado, mas dentro do orçamento preconizado para o efeito.

Temos então através deste modelo de decisão a possibilidade de criar uma base orçamental que proporcione, em fase de projeto, garantias financeiras, para a realização das soluções mais adequadas para cada problema.

#### **5.4.2. Avaliação dos constrangimentos temporais de execução**

O gradiente de constrangimentos temporais, inserido no modelo de decisão, não é mais do que a separação por classes de tempos de trabalho, habitualmente concedidos pelas empresas de gestão á exploração ferroviária comercial e a sua classificação em formato crescente no que se consideram as principais soluções para a reabilitação de plataformas ferroviárias.

Esse formato encontra-se avaliado mediante o constrangimento temporal originado por dia de intervenção, nomeadamente:

- Classe 0 – Sem necessidade de interdição de via temporária, com ou sem limitação de velocidade á circulação ferroviária;
- Classe 00 – Com necessidade de interdição de via temporária inferior a 4 horas;
- Classe 000 - Com necessidade de interdição de via temporária entre 4 a 8 horas – a suspensão de circulação é realizada habitualmente através da supressão do último ou do primeiro comboio evitando a necessidade de realização de transbordo de passageiros;
- Classe 0000 - Com necessidade de interdição de via temporária entre 8 a 24 horas – a suspensão de circulação é realizada habitualmente através da supressão á circulação e da realização de transbordo de passageiros (concedida normalmente aos fins-de-semana onde tem menos impacto no serviço ás populações);
- Classe 00000 - Com necessidade de interdição de via temporária realizada com a supressão de circulações inseridas em VUP ou através do encerramento á exploração até conclusão dos trabalhos;



Figura 80: Trabalhos na via-férrea sem necessidade de interdição de via temporária. (Fonte: da autora, 2017)  
São então estas as classes introduzidas no modelo de decisão apresentado e caracterizam as atividades em função do que estas necessitam para se desenvolverem permitindo ao técnico avaliar

as possibilidades de execução, de determinada opção, nas janelas temporais existentes, no troço a intervir, e permitir complementar a decisão final com essa possibilidade ou inviabilidade.

A experiência profissional a nível ferroviário foi imprescindível para permitir esta análise contundente ao tipo de solução a desenvolver, abordada de seguida no seu conceito temporal.

Foram identificados os trabalhos localizados nas laterais é via-férrea, tais como depurações de balastro ou reforço de banquetas que são possíveis de realizar sem necessidade de interdição de via temporária (classe 0), através da colocação de sinalética de limitação de velocidade á passagem dos veículos, caso a frequência dos mesmos não invalide a atividade. Atualmente em Portugal e principalmente para a Infraestruturas de Portugal são poucas as atividades que se podem desenrolar durante o dia face às penalizações que as limitações de velocidade, para realização de trabalhos, originam. Para regular estas atividades á diversos normativos mas os Regulamentos Gerais de Segurança (RGS) são os mais aplicados pois possuem caráter de implementação obrigatório na rede ferroviária Portuguesa.

No caso do Metro do Porto, por exemplo, onde as velocidades de circulação são mais baixas contrapõem o número de passagens de veículos no serviço urbano, que atinge picos de 5 em 5 minutos nas horas de ponta, inviabilizando a execução de trabalhos, sem interdição de via temporária, por falta de janela temporal e pelos atrasos que uma limitação de velocidade iria originar nos picos da exploração. Fora das horas de ponta é possível realizar diversas atividades de manutenção de via.

Quando se fala de necessidade de interdição de via temporária, temos aqui diferentes tipos de necessidades. Estas vão desde o simples horário em que não existe exploração (classe 00) e como tal não existem constrangimentos á operação, habitualmente não ultrapassa as 4h por noite nas linhas principais, e pode ir até às 24h ou 48h, no caso de fins-de-semana, de interdição á circulação (Classes 000 e 0000). Desta forma poderá ser realizada determinada atividade que se verifica não existirem outras condições de execução que não seja a paragem da exploração e o transbordo de passageiros. É claro que estamos a falar de um serviço público, com impacto em muitas pessoas que dele fazem o seu único transporte entre casa e o trabalho e que dele dependem diariamente. A suspensão de apenas uma composição pode ter impacto em centenas de pessoas se por exemplo estivermos a falar da Linha de Sintra ou da Linha de Cascais, os suburbanos mais concorridos do nosso país. Não podemos esquecer que juntamente com as interdições temporárias á circulação, e no desenrolar das obras, é bastante comum existirem limitações de velocidade no troço a intervir e em vias paralelas por questões de segurança á circulação e também aos trabalhadores, no caso de existirem mais vias. Estas limitações de velocidade por si só são um grave constrangimento á exploração nomeadamente no que diz respeito a atrasos e até á eliminação de alguns serviços.

Independentemente do tempo concedido para a realização dos trabalhos a obrigação de libertar a via-férrea, de trabalhos e equipamentos, para a passagem das composições no fim do período concedido é idêntica e envolve penalizações caso essa libertação não se verifique.

Em situações onde existe a possibilidade de criação de via única temporária (VUP), como o caso de linhas com várias vias em exploração, como por exemplo a Linha do Norte, fica mais fácil a gestão das intervenções na infraestrutura uma vez que a circulação não é interrompida, apenas passa a circular apenas por uma das vias, ficando a outra disponível para a realização dos trabalhos (Classe 00000).

O encerramento á exploração é muito raro acontecer e só em casos de renovações integrais, onde são colocadas ao serviço das populações alternativas ao serviço até então praticado, é que se verifica. Este tipo de condicionalismo é pouco utilizado face ao desconforto e desconfiança que origina nas populações que serve, no que diz respeito ao retorno dos serviços iniciais. Fica o exemplo das Linhas do Tâmega e Mondego encerradas para reabilitação e onde ainda hoje não se desenrola operação comercial.

#### **5.4.3. Avaliação de risco**

Optar por uma solução em prol de outra acarreta um certo risco, mas essa escolha é a que diferencia o técnico no processo de tomada de decisão. O risco surge através da metodologia desenvolvida pela teoria da decisão. Primeiro é apresentado o problema, depois é construída uma matriz de opções que caracteriza o problema de forma substancial reorganizando a informação disponível ou até mesmo propondo a obtenção de novas informações. Posteriormente surge a tomada de decisão onde uma alternativa é escolhida e por último é dada uma avaliação de risco á opção tomada que não é mais que uma análise da sensibilidade que envolve o problema em foco.

O objetivo da análise de decisão é decompor sistematicamente o problema nas suas partes constituintes, quantificar as incertezas e consequências associadas aos vários elementos do problema e avaliar, separadamente, de maneira lógica e consistente, as implicações de cada conjunto de fatores.

Para a avaliação do risco é necessário identificar as alternativas disponíveis. As alternativas são sequências de comportamento mutuamente exclusivas onde se avaliam, os comportamentos das plataformas relevantes ao problema e se utiliza a informação disponível para selecionar uma alternativa das várias relacionadas. Essa escolha, deve levar em consideração não apenas os fatores sob seu domínio mas, conjuntamente, avaliar aqueles sobre os quais não exerce qualquer controlo. Os diversos conjuntos possíveis de fatores incontroláveis, tais como as acessibilidades ao local dos trabalhos ou a envolvente, são os que reportam às condições existentes no tempo e no espaço do plano de resolução a desenvolver.

O resultado é definido em função da alternativa escolhida pelo técnico e das condições existentes no momento em que a decisão se torna operacional existindo um risco associado a cada opção

escolhida. Este risco deve medir o(s) objetivo(s) que se deseja alcançar que na maioria deste tipo de problemas, são objetivos técnicos, tais como: durabilidade ou especificidades ligadas ao conceito ferroviário.

No modelo de decisão estruturado foi possível identificar as alternativas disponíveis a determinadas soluções e gradua-las em função do risco, ficando disponível a informação ao técnico, criando condições de opção entre soluções de baixo risco e de risco moderado. Sendo possível através desta informação justificar determinada decisão mas assumindo que a mesma terá um certo risco na sua implementação ou na sua vida útil.

O conceito de risco permite complementar todo o modelo de decisão, juntamente com a avaliação económica e temporal, e dotar este conceito de uma funcionalidade extraordinária no âmbito prático em diversas fases de desenvolvimento e aplicação dos investimentos ferroviários, nomeadamente nas fases de inspeção e desenvolvimento de projeto assim como nas fases de conceção e construção.

### **5.5. Considerações ao modelo de decisão**

Considera-se, portanto, reunida no modelo, a capacidade de avaliação técnica, económica e de risco imprescindíveis, através da reunião de todos os elementos preponderantes, á realização de uma proposta, projeto ou implementação de uma solução. Em anexo (anexo 2) encontram-se os elementos referentes às avaliações realizadas aos casos de obra apresentados no capítulo 4 reunindo em uníssono o relatório de inspeção geotécnica á plataforma ferroviária, a metodologia da teoria de decisão apresentada no fluxograma, incluindo o justificativo para a intervenção, e o output da aplicação desenvolvida que proporciona o funcionamento do fluxograma em suporte informático. Não tendo presente a necessidade de avaliar as 11 situações apresentadas podemos, através da tabela seguinte (tabela 19), observar o resumo da implementação do modelo de decisão e retirar algumas conclusões.

Verifica-se que a solução 13, que inclui a remoção das camadas de balastro e de sub-balastro, é preponderante em dois dos casos abordados, nomeadamente na boca de saída do túnel de Tamel (caso 1B) e ao PK 20+270 da Linha de Sintra (caso 2C). Mas ainda mais significativo é a aplicação da solução 10 (campanha de balastragem e ataque mecânico pesado) em grande maioria das situações, seja como solução principal (caso 3C) ou como trabalho complementar a outras soluções de tratamento obtidas através do modelo de decisão (casos 1B, 2C, 3B, 3D e 4B).

Da implementação do modelo aos casos de obra foi possível observar que a configuração tipo A e tipo C, determinadas pelos ensaios realizados na Linha do Sena (caso 3A), possui o resultado com a maior implicação financeira a nível de investimento, através da implementação da solução 18, respeitante á renovação integral da plataforma.

Relatório de inspeção Nº:	Identificação da obra		Solução proposta			
	Título	Caso	Opção de baixo risco	Onerosidade	Constrangimentos temporais	Opção de risco moderado
1	LINHA DO MINHO - BOCA DE ENTRADA TÚNEL S. MIGUEL DE CARREIRA	1A	Solução 2+3+1	\$	0	N/A
2	LINHA DO MINHO - BOCA DE SAÍDA TÚNEL DE TAMEL	1B	Solução 13+10	\$\$\$	0000	Solução 12
3	LINHA DE CASCAIS - PK 12+350	2A	Novas Sondagens	N/A	N/A	N/A
4	LINHA DE SINTRA - PK 19+350	2B	Solução 7+6	\$\$\$	000	Solução 12
5	LINHA DE SINTRA - PK 20+270	2C	Solução 13+10	\$\$\$	0000	Solução 12
6	LINHA DO SENA - CONFIGURAÇÃO TIPO A E TIPO C	3A	Solução 18	\$\$\$\$	N/A	Solução 8
7	LINHA DO SENA - CONFIGURAÇÃO TIPO B TIPO D	3B	Solução 15+10	\$\$\$	N/A	Solução 8
8	LINHA DO SENA - CONFIGURAÇÃO TIPO E	3C	Solução 10	\$	N/A	N/A
9	LINHA DO SENA - CONFIGURAÇÃO TIPO F	3D	Solução 14+10	\$\$\$	N/A	Solução 11
10	SECÇÃO 5 DO CORREDOR DE NACALA - 20% DO TROÇO MONITORIZADO	4A	Solução 17	\$	0000	N/A
11	SECÇÃO 5 DO CORREDOR DE NACALA - 80% DO TROÇO MONITORIZADO	4B	Solução 11+10	\$	000	N/A

**Lista de Soluções:**

1	REFORÇO E REGULARIZAÇÃO SUPERFICIAL DA CAMADA DE BALASTRO	11	REALIZAR CAMPANHA DE DESGUARNECIMENTO MECÂNICO DE BALASTRO
2	REDEFINIÇÃO DA REDE DE DRENAGEM	12	IMPLEMENTAR UMA CAMADA DRENANTE E REDIMENSIONAR A REDE DE DRENAGEM
3	DEPURAÇÃO DO BALASTRO	13	REMOÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DAS CAMADAS DE BALASTRO E DE SUB-BALASTRO DEGRADADO. IMPLEMENTAR UMA CAMADA IMPERMEABILIZANTE E REDIMENSIONAR A REDE DE DRENAGEM
4	SUBSTITUIÇÃO DO SOLO DEGRADADO POR UMA CAMADA DE AREIA (SOLOS ARGILOSOS) OU ADIÇÃO DE CAL (OUTROS SOLOS SATURADOS)	14	REMOÇÃO SUPERFICIAL DA CAMADA DE BALASTRO (20CM), COMPACTAÇÃO DO RESTANTE BALASTRO NA CAMADA DE SUB-BALASTRO.
5	REABILITAÇÃO DA CAMADA DE SUB-BALASTRO ATRAVÉS DA SUA SUBSTITUIÇÃO E COMPACTAÇÃO NAS ZONAS DE DEFORMAÇÕES.	15	REMOÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO E SUB-BALASTRO, PROCEDER AO ENCHIMENTO DA PLATAFORMA EXISTENTE COM MATERIAL A DEQUADO E PROCEDER A NOVA COMPACTAÇÃO, GARANTINDO A ELIMINAÇÃO DE VAZIOS.
6	REMOÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO, PROCEDER A NOVA COMPACTAÇÃO DA PLATAFORMA E CAMADA DE SUB-BALASTRO EM FUNÇÃO DAS SOLICITAÇÕES;	16	REPOSIÇÃO E COMPACTAÇÃO DA CAMADA DE SUB-BALASTRO. EXECUÇÃO DE CAMADA IMPERMEABILIZANTE SOBRE A PLATAFORMA RECORRENDO A MACADAME, CAPAS ASFÁLTICAS, MATERIAIS SILICIOSOS OU MISTURAS DE ARGILA E CAL
7	REPOSIÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO E SUA REGULARIZAÇÃO	17	REALIZAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DOS TERRENOS DE FUNDAÇÃO TIPO INJEÇÕES DE CALDAS, COLUNAS DE JETGRAUT, VIBROCOMPACTAÇÃO, COLOCAÇÃO DE GEOGRELHAS, DEEP SOIL MIXING (SOLUÇÕES PACÍVEIS DE RESOLUÇÃO POR FASES)
8	EXECUÇÃO DE SANEAMENTO POR DRENAGEM PROFUNDA DO SOLO E COMPLETO ENCAMINHAMENTO DAS ÁGUAS ATRAVÉS DE DRENOS PROFUNDOS OU COLOCAÇÃO DE TELAS DRENANTES. SUBSTITUIÇÃO DOS SOLOS SATURADOS SE NECESSÁRIO.	18	RENOVAÇÃO INTEGRAL DA PLATAFORMA INCLUINDO PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA PARA ORIENTAÇÃO DA SOLUÇÃO DE PROJETO
9	REALIZAÇÃO DE INJEÇÕES DE REFORÇO DOS TERRENOS DE FUNDAÇÃO.		
10	REMOÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO, SUBSTITUIÇÃO DOS SOLOS DA PLATAFORMA, PROCEDER A NOVA COMPACTAÇÃO E COLOCAÇÃO DE CAMADA DE SUB-BALASTRO EM FUNÇÃO DAS SOLICITAÇÕES, REPOSIÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO E SUA REGULARIZAÇÃO.		

**Constrangimentos temporais:**

CONSTRANGIMENTOS TEMPORAIS (POR DIA DE INTERVENÇÃO):  
SEM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA - 0 (LIMITAÇÃO DE VELOCIDADE À CIRCULAÇÃO FERROVIÁRIA)  
COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA:  
- INFERIOR A 4 HORAS - 00  
- ENTRE 4 A 8 HORAS - 000 (SUSPENSÃO DE CIRCULAÇÃO S/TRANSBORDO)  
- ENTRE 8 A 24 HORAS - 0000 (SUSPENSÃO DE CIRCULAÇÃO C/TRANSBORDO)  
- SUPERIOR A 24 HORAS - 00000 (SUSPENSÃO DE CIRCULAÇÃO INSERIDA EM VUP OU ENCERRAMENTO À EXPLORAÇÃO ATÉ CONCLUSÃO DOS

**Onerosidade**

ONEROSIDADE  
VALORES POR (m) DE VIA:  
VALORES INFERIORES A 100€/m - \$  
VALORES ENTRE 100€/m E 500€/m - \$\$  
VALORES ENTRE 500€/m E 1000€/m - \$\$\$  
VALORES SUPERIORES A 1000€/m - \$\$\$\$

Tabela 19: Tabela resumo do modelo de decisão – Soluções de tratamento de plataformas ferroviárias.

Essa situação foi originada pelas exigências contratuais a nível de reabilitação e capacidade exigidas, mas possui em alternativa, a solução 8 (injeções de reforço), de valor bastante inferior, mas que acarreta um risco moderado, não podendo neste caso ser opção.

No que se refere a constrangimento temporais apenas o caso 1A, boca de entrada do túnel de S. Miguel de Carreira, possui uma baixa condicionante temporal face aos trabalhos ligeiros e de baixo impacto na infraestrutura tais como a depuração, reforço e regularização de balastro e a implementação de órgãos de drenagem nas laterais á via, tais como valetas.

No que concerne às opções de risco moderado, é um fato, a principal alternativa estar relacionada com a solução 12, referente á implementação de camadas drenantes e redimensionamento da rede de drenagem, uma vez que a principal patologia apresentada se concentra em situações de presença e/ou circulação de água, sendo exemplo disso os casos 1B, 2B e 2C.

Em contrapartida nas situações referentes á capacidade de suporte dos solos da plataforma a alternativa que o modelo de decisão apresenta, como solução de risco moderado, é a solução 8, respeitante a injeções de caldas para reforço dos solos. Esta solução merece por isso algum destaque no âmbito deste documento.

São também várias as considerações retiradas da análise económica realizada, que proporcionam suporte ao modelo de decisão e que garantem a fiabilidade no seu conceito mais prático e onde foi possível, verificar que as inovações neste campo se encontram vocacionadas para a economia de tempo de execução e custos, garantindo a mesma qualidade final, sendo, também, exemplo disso as injeções (solução 8) com caldas cimentícias apresentadas neste documento de uma forma mais aprofundada no capítulo 3.

Embora assumindo algum risco, tanto a nível de execução como de durabilidade, fica presente neste documento os resultados obtidos com as injeções, nomeadamente:

- A nível de capacidade de suporte obtida em solos arenosos quando comparada com uma via modelo;
- O melhoramento efetivo das características do solo através do diâmetro das colunas de injeção;
- A sua rapidez de execução e de mobilização dos meios, mesmo em ambientes mais agrestes;
- Os mínimos constrangimentos á superestrutura ferroviária resultantes da sua execução, tanto a nível de empolamentos no balastro ou de contaminações com as caldas;
- Os custos bastante acessíveis quando comparados com outros tipos de soluções, habitualmente empregues em plataformas ferroviárias;
- A capacidade de evolução ainda possível neste tipo de atividade no que diz respeito ao conceito de controlo e qualidade assim como no próprio método de execução.

Não estando o assunto ainda bem seguro de si, o raio da investigação deverá alargar-se á avaliação da extensão dos tratamentos em função dos parâmetros de injeção, ás variações nos resultados com

a variação da permeabilidade dos solos (argilosos) a tratar e com a presença de matéria orgânica. Será ainda importante o seu estudo na definição de modelos de controlo de qualidade do produto e nas implicações no funcionamento da via com o tipo de reforço gerado pelas injeções uma vez que o objetivo será o de promover o aumento do período de vida útil deste tipo de solução reduzindo o risco na sua aplicabilidade num âmbito mais extenso.

Resumindo, após a análise cuidada de cada proposta de solução originada pelo fluxograma do modelo de decisão, há que realizar a avaliação de risco proposta e considerar os fatores incontrolláveis ou indefinidos. Com este propósito a opção terá de ser a que melhor satisfaça os critérios definidos e que mais perto se coloque dos objetivos ideais e habitualmente teóricos e/ou inatingíveis que foram propostos ser atingidos. É de referir, uma vez mais, as garantias que uma prospeção adequada proporciona ao modelo assim como a experiência profissional no âmbito geotécnico das inspeções, sendo a base de todo o modelo.

## 6. Conclusões e desenvolvimentos futuros

O presente trabalho pretendeu demonstrar a importância dos benefícios resultantes da associação entre prospeção e os projetos de reabilitação de plataformas ferroviárias garantindo assim que á posteriori são realizados os trabalhos de tratamento dos terrenos de fundação mais adequados. Permitiu a verificação dos benefícios que surgem de uma caracterização sólida das plataformas ferroviárias, devidamente orientada em função dos objetivos que se pretendem.

O estudo envolveu situações de obra detetadas por inspeções, prospeções e ensaios que permitiram reunir informação suficiente, em quase todos os casos, para a definição da reabilitação geotécnica mais apropriada e aconselhada tecnicamente, economicamente e sempre em conta com as condicionantes que os trabalhos ferroviários obrigam. A definição da reabilitação, sempre sujeita a um processo de escolha, obriga á análise de risco inerente á atividade e às incógnitas existentes em processos desta área.

O objetivo deste trabalho atingiu-se com o culminar de soluções de tratamento, combinadas com os melhores processos de execução, obtidas na transposição das informações recolhidas por prospeção adequada e suficiente, conseguindo uma análise interessante sobre o processo de injeção de caldas cimentícias na reabilitação geotécnica de vias ferroviárias mediante o reforço dos terrenos de fundação.

Da reunião destes pressupostos foi possível obter as seguintes considerações conclusivas:

- A capacidade de desempenho de uma via ferroviária é avaliada segundo a velocidade máxima praticada, o nível de conforto dos passageiros, a sua segurança, entre outros parâmetros, que são reveladores de defeitos de construção, falta de conservação, desgaste ou deterioração da qualidade da via;
- Uma análise geológica cuidada é um elemento fundamental para a qualidade de um projeto ferroviário dirigido para a obtenção da maior duração da plataforma em termos de vida útil. A repetição de cargas geradas pelo tráfego é a causa base da deterioração dos materiais constituintes das respetivas camadas pelo que um correto dimensionamento estrutural deve ter em conta o comportamento da subestrutura a longo prazo;
- O conceito de prospeção prévia para avaliação das condições geomecânicas em vias-férreas que se encontram em exploração comercial revelam-se bastante proveitosos no ponto de vista de obtenção das características geométricas da estrutura e informação geomecânica, proporcionando informação crucial no desenvolvimento da solução para cada problema identificado ao invés de uma única solução generalista para todo o troço com impactos em termos de tempo e custo. Os custos de realização de campanhas de prospeção quando avaliados dentro de um projeto imbuído de conceção e construção são largamente esbatidos na poupança efetiva em termos globais dos custos finais de execução da obra.
- O balastro é a camada estrutural que mais contribui para o assentamento a curto prazo da via-férrea. A longo prazo o problema do assentamento é essencialmente devido á

consolidação ou á instabilidade do solo de fundação. Ao efetuar uma reparação ou estudo de uma plataforma ferroviária há que ter em conta a sua estabilidade e que das suas condições de suporte dependem características como a espessura da camada de balastro, as camadas de assentamento, a segurança da via e a circulação das composições ferroviárias dentro dos padrões de conforto definidos;

- É essencial a realização de inspeções, sondagens e recolha de amostras na identificação de deficiências de forma a abordar corretamente a melhor solução para cada tipo de problema identificando simultaneamente a extensão e profundidade das áreas afetadas. Os valores representativos dos trabalhos de prospeção assim como os trabalhos de implementação das soluções técnicas de tratamento, estão subjugados ás condições permitidas para a execução dos mesmos, nomeadamente no que diz respeito á necessidade de suspensão á circulação de veículos ou apenas á interdição de circulação temporária, que permite a realização de algumas atividades mas dentro de um curto período de tempo, muitas vezes noturno. A interdição temporária de via obriga a que no fim dos trabalhos, a via-férrea, se encontre restabelecida para a exploração comercial, dentro dos parâmetros de segurança exigidos pelos gestores de contrato, originando grandes penalidades em casos de incumprimento.
- A reabilitação geotécnica de vias ferroviárias degradadas implica um planeamento prévio considerável, recursos, e justificação económica para os seus custos avultados. Um dos processos para um projeto de reabilitação de sucesso assenta numa boa perceção das condições gerais em que o troço se encontra e informação sobre as necessidades futuras de tráfego do troço a intervir no que concerne a cargas por eixo. Num objetivo claro de reabilitar, num formato sustentável, é por isso importante explorar as novas tecnologias que poderão ser economicamente mais vantajosas que as práticas convencionais de reabilitação geotécnica de plataformas ferroviárias. Agrupando pessoal especializado e equipamento de ambos os setores, ferroviário e geotécnico, será a união perfeita para soluções produtivas e com custos efetivos economicamente mais viáveis.
- A manutenção da subestrutura ferroviária tem um grande peso no custo global de exploração. A solução deve passar por encontrar materiais alternativos e técnicas que melhorem o desempenho da ferrovia a curto e longo prazo. Numa visão global aos resultados das injeções considera-se que os tempos de execução das colunas encaixam perfeitamente nos intervalos considerados como rentáveis em formato de interdição temporária de circulação. Considera-se que é viável a execução das injeções sob pressão sem efeitos significativos na estabilidade da estrutura ferroviária e por fim a inexistente contaminação do balastro pela calda é uma garantia no processo de execução. Estes

resultados permitem uma garantia de aplicabilidade em obra deste tipo de solução de tratamento, sendo economicamente viável.

A solução de injeções, não sendo nova, teve uma evolução ao longo dos últimos anos que se poderá afirmar eficaz, para os conceitos de tratamentos habitualmente necessários neste tipo de intervenções na infraestrutura ferroviária. Desde a sua rapidez de execução ao conceito de execução do reforço permitindo a contínua passagem de circulações, poderemos considerar que os resultados obtidos para consolidação das plataformas são satisfatórios. Não considerando o fabrico nem o fornecimento da calda poderemos concluir que a mão-de-obra fica reduzida ao operador do bico de injeção e ao operário no apoio de retaguarda, que contrapondo com a mão-de-obra necessária para a execução dos métodos clássicos de remoção e recolocação global ou parcial dos terrenos de fundação são mínimos.

- Verifica-se que a reabilitação da plataforma da via se encontra na ordem dos 300 000,00 €/Km de via simples, realizada em períodos noturnos de 5 a 6 horas de trabalho por dia de semana e que a renovação integral de uma plataforma de via ronda os 700 000,00 €/Km de via simples o que se aproxima, sensivelmente, do dobro do referente á reabilitação, não podendo por isso ficar esquecido o conceito de vida útil que uma reabilitação proporciona em comparação com uma renovação integral. Considera-se que a regularização superficial de balastro, como medida mitigadora, é sem dúvida o método mais económico e o mais utilizado para fazer face aos problemas de assentamentos e desnivelamentos nas plataformas ferroviárias.
- Seguindo um determinado padrão de inspeções, análises e averiguações, reunidos a um determinado grau de experiência profissional, poderemos obter a solução de tratamento que melhor se aplica a determinado local, com possibilidade de ser realizada da maneira mais competente e com um resultado bastante satisfatório para o horizonte que se pretende atingir. O modelo de decisão apresentado é o resultado funcional destas considerações, onde o resultado é definido em função da alternativa escolhida pelo técnico e das condições existentes no momento em que a decisão se torna operacional existindo um risco associado a cada opção escolhida. No fluxograma apresentado foi possível identificar as alternativas disponíveis a determinadas soluções e gradua-las em função do risco, ficando disponível a informação ao técnico, criando condições de opção entre soluções de baixo risco e de risco moderado.

Não sendo restritivo este documento e as suas ferramentas apresentam características evolutivas prementes de serem exploradas e complementadas em função de novos critérios de seleção, exigências normativas e de desempenho bem como eventuais novos desafios académicos.

## Referências bibliográficas

A. L. Pita, P. F. Teixeira, B. S. A., L. U. Claver, & CENIT. (2004). Estudio sobre la viabilidad de incorporar capas de sub-balastro con material betuminoso en las líneas de alta velocidad en España, Centro de Innovación del Transporte.

A. Pinelo, E. Fortunato, T. Hadjadji. Caracterização de plataformas ferroviárias antigas visando a sua reabilitação – O caso particular da Linha do Norte, publicação técnica, Lisboa, 11 pp.

A. Prud'homme (1970). La voie. Revue générale de Chemins de fer Vol. I, 56-72 pp.

C. Teixeira, A. Medeiros, C. A. de Matos Moreira, Maria Martins (1969). Carta Geológica de Portugal – Escala 1: 50 000. Notícia explicativa da Folha 5-C (Barcelos), Serviços geológicos de Portugal, Lisboa.

Eduardo Fortunato (2005). Renovação de plataformas ferroviárias – Estudos relativos á capacidade de carga, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 628 pp.

Eduardo Fortunato (2014). Reabilitação de subestruturas de vias férreas, Seminário “Engenharia geotécnica na reabilitação do património construído”, pela Ordem dos Engenheiros, Porto, 44 pp.

E. Fortunato, A. Paixão, J. Loureiro, F. Asseiceiro, N. Cruz e J. Cruz. Avaliação de plataformas de linhas férreas em operação – O caso da Linha de Sena em Moçambique, publicação técnica, Lisboa, 10 pp.

EN 13231 (2013). Railway applications – Track – acceptance of works. Part 1: Works on ballasted track, CEN – European committee for standardization, 34 pp.

EN 13450 (2013). Aggregates for railway ballast, CEN – European committee for standardization, 38 pp.

EN 13848 (2003). Railway applications – Track – Track geometry quality. Part 1: Characterization of track geometry, CEN – European committee for standardization, 28 pp.

ERRI D 117/RP 28 report: Optimum adaptation of the conventional track to future traffic – Design charts for the track/foundations system (1983). European Rail Research Institute ERRI – International Union of Railways UIC.

I.E.T. 06 (2008). Instrução de exploração técnica nº 6 – Gestão da circulação – Rede ferroviária Nacional, Instituto da mobilidade e dos transportes terrestres, IP, 51 pp.

I.E.T. 77 (2010). Instrução de exploração técnica nº 77 – Normas e procedimentos de segurança em trabalhos de infraestruturas, Instituto Nacional do Transporte Ferroviário, 40 pp.

Instituto Geográfico do Exército (1997). Carta Militar de Portugal – Escala 1: 25 000. Edição 2, Mapa topográfico Barcelos (Braga, Portugal), Publicação: Lisboa IGE.

IT.GEO.001 (2008). Fornecimento de balastro e gravilha, REFER, 46 pp.

IT. GEO.006 (2007). Características técnicas do sub-balastro, REFER, 22 pp.

IT.VIA.018 (2009). Tolerâncias dos parâmetros geométricos da via, REFER, 33 pp.

João Alves (2010). Avaliação de dimensionamento da subestrutura ferroviária de linhas de alta velocidade, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 112 pp.

Li e Selig, (1995). Evaluation and remediation of potential railway subgrade problems under repeated heavy axle loads, Association of American Railroads, Report R-884, Chicago, USA.

Li e Selig, (1996). Cumulative plastic deformation for fine-grained subgrade soils, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 122, No. 12, 1006-1013 pp.

Li e Selig, (1998a). Method for railroad track foundation design. I: Development, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 4, 316-322 pp.

Li e Selig, (1998b). Method for railroad track foundation design. II: Applications, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 124, No. 4, 323-329 pp.

Luis Esteves (2010). Curso de atualização de engenheiros de via, Engi.train.ing, Linda-a-Velha, 226 pp.

Ministério de Fomento (1999). Recomendaciones para el proyecto de plataformas ferroviárias, Secretaría de Estado de Infraestructuras y Transportes de Madrid, Centro de publicaciones. ISBN: 84-498-0411-6, 134 pp.

N. Cruz, E. Fortunato, F. Asseiceiro, J.Cruz, C. Mateus. Prospecção geotécnica de vias-férreas em exploração. Uma experiência, publicação técnica, Porto, 10 pp.

Nota Técnica nº1 (1990). Aplicação de fixação Vossloh em travessas de betão armado bi-bloco, Direção de instalações fixas do departamento de via (REFER), 4 pp.

NP EN 13674 (2014). Aplicações ferroviárias - Via - Carril - Parte 1: Carris Vignole de massa igual ou superior a 46 kg/m, CEN – European committee for standardization, 111 pp.

NP ENV 13803-1 (2007). Aplicações ferroviárias – Parâmetro de projeto de traçado de via – Bitolas de via 1435 mm e de valor superior. Parte 1: Plena via, CEN – European committee for standardization, 94 pp.

N.R.V. 2-1-6.0 (1983). Obras de tierra – Trabajos de reparación, Mantenimiento de infraestructura RENFE, 37 pp.

N.R.V. 3-1-0.0 (1981). Traviesas y cachas de madera, Mantenimiento de infraestructura RENFE, 18 pp.

N.R.V. 3-1-2.1 (1997). Traviesas monobloque de hormigón, Mantenimiento de infraestructura RENFE, 73 pp.

NT3-b (1990). Norma técnica Nº 3-b – Empreitadas de renovação de via Anexo IV – Fiscalização dos trabalhos de balastragem de via, REFER, 39 pp.

Nuno Cruz (2017). As pontes do rio Zambeze e as rotas do carvão, Ciclo de conferências “Obras de engenharia geotécnica Portuguesa no mundo – Infraestruturas de transportes”, pela Ordem dos Engenheiros, Lisboa, 70 pp.

Pedro Julião Figueiredo Tavares (2009). Reforço de subestruturas de vias férreas com geossintéticos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 84 pp.

RF.IT.VIA.015 (2015). Especificações técnicas para fornecimento de balastro novo, REFER, 16 pp.

RGS XII (2007). Regulamento geral de segurança XII – Vias interditas á circulação, Instituto Nacional do Transporte Ferroviário, 46 pp.

Ricardo Santana (2015). Estudo e ensaios sobre injeções cimentícias em via balastrada, MEEC, Porto, 93 pp.

Seling e Waters (1994). Track geotechnology and substructure management, Thomas Telford Publications, Londres.

S. Gil, J. Páscoa, A. Miguel Pereira, M. Vila. Instrumentação geotécnica em aterros e plataformas ferroviárias – Importância, necessidade e aplicações, publicação técnica, Lisboa, 10 pp.

Tom Bourgonje e Scott A. Diercks (2011). Rehabilitation of Canadian National Railway Track Servicing Oil Sands in Northern Alberta, Alberta, Canada, 16 pp.

UIC CODE 714-R (2009). Classification of lines for the purpose of track maintenance, Internacional Union of Railways, 9 pp.

UIC CODE 719-R (2008). Earthworks and track bed for railway lines, International Union of Railways, 117 pp.

William Powrie e Louis Le Pen (2016). A guide to track stiffness, pela Cross Industry Track Stiffness Working Group, publicado pela universidade de Southampton, Reino Unido, 55 pp.

Y. Huang, C. Lin, X. Deng, J. Rose, (1984). Kentrack: a computer program for hot-mix asphalt and conventional ballast railway trackbeds, Asphalt Institute Publication RR-84-1, USA.

#### **Sites visitados:**

[www.soletanche-bachy.com](http://www.soletanche-bachy.com) (Julho 2017)

[www.igeoe.pt](http://www.igeoe.pt) (Maio 2017)

[www.lneg.pt](http://www.lneg.pt) (Maio 2017)

[www.google.pt/maps](http://www.google.pt/maps) (Julho 2017)

[www.dw.com](http://www.dw.com) (Junho 2017)

[www.advgeosolutions.com](http://www.advgeosolutions.com) (Julho 2017)

[www.tensar.pt](http://www.tensar.pt) (Abril 2017)

**Anexo I.**

**Fluxograma do modelo de decisão técnico-económico  
Soluções de tratamento de plataformas de via-férrea**



## **Anexo II.**

### **Modelo de decisão aplicado aos casos de obra**

**RELATÓRIO DE INSPEÇÃO GEOTÉCNICA À VIA-FÉRREA**

Identificação da obra : CASO 1A : LINHA DO MINHO - BOCA DE ENTRADA TÚNEL S. MIGUEL DE CARREIRA      Data: Janeiro 2010  
 Local: Boca de entrada do Túnel de S. Miguel de Carreira - Carreira, Barcelos      Relatório Nº: 01  
 Técnico: \_\_\_\_\_

Descrição da anomalia detectada: Colmatação e contaminação da camada de balastro pelo arrastamento de solos dos taludes. Drenagens obstruídas e encharcamentos frequentes. Carril degradado, empenos e assentamentos de via.

Esquema/Foto:



Descrição da zona afetada:

Extensão longitudinal da deficiência (m):

Profundidade (m)

Localização:                      Eixo da via                      Banqueta                      Lateral

Parâmetros da estrutura afetados:

Camada de balastro

Drenagem

Camada de Sub-balastro

Terrenos de fundação da plataforma

Inspeções Complementares Realizadas

Sondagens

Ensaios

Observações: Através das sondagens foi possível verificar o estado da base da plataforma sendo esta em granito e considerada sem degradação aparente. Foi ainda possível verificar que as drenagens existentes se encontram obstruídas e não recolhem corretamente as águas dos taludes. Não existe drenagem para a recolha das águas que circulam na plataforma.

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

1. PERCURSO DE AVALIAÇÃO

AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?

SIM

A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?

SIM

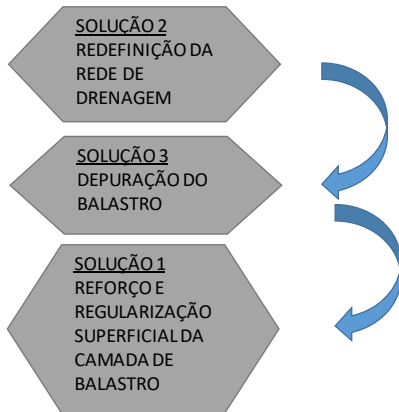
EXISTE CONTAMINAÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO?

SIM

VERIFICA-SE A PRESENÇA DE ÁGUA OU MARCAS DE ENCHARCAMENTO?

SIM

2. SOLUÇÕES



3. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

VALORES INFERIORES A 100€/m - \$

4. TEMPO DE EXECUÇÃO

SEM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA - 0 (LIMITAÇÃO DE VELOCIDADE À CIRCULAÇÃO FERROVIÁRIA)

5. JUSTIFICATIVO PARA A INTERVENÇÃO

INSERIDA NO CONTRATO DE EMPREITADA DE REABILITAÇÃO DO TÚNEIS DO MINHO ESTA PROPOSTA APRESENTA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÓMICA ASSIM COMO CONDIÇÕES DE ACESSIBILIDADES QUE PERMITEM QUE SEJA DEVIDAMENTE IMPLEMENTADA.

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

	Sim/Não	Caminho	MODO DE CORRECÇÃO	ONEROSIDADE	CONSTRAINTIMENTOS TEMPORAIS	OPÇÃO DE RISCO MODERADO
P 01	SIM	Resposta a P 02	-	-	-	-
P 02	SIM	Resposta a P 04	-	-	-	-
P 03						
P 04	SIM	Resposta a P 05				
P 05						
P 06						
P 07						
P 08	SIM	SOLUÇÃO 2	REDEFINIÇÃO DA REDE DE DRENAGEM. (VER TAMBÉM OUTRAS CONSIDERAÇÕES)	VALORES INFERIORES A 100€/m - \$	SEM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA - O LIMITAÇÃO DE VELOCIDADE À CIRCULAÇÃO FERROVIÁRIA)	
P 09						
P 10						
P 11						
P 12						
P 13						
P 14						
P 15						
P 16						
P 17						
OUTRAS CONSIDERAÇÕES						
(NOTA: EQUACIONAR TAMBÉM COMO PARTE DA SOLUÇÃO A DEPURAÇÃO + REFORÇO E REGULIZAÇÃO DE BALASTRO)						


<b>RELATÓRIO DE INSPEÇÃO GEOTÉCNICA À VIA-FÉRREA</b>
--

Identificação da obra : CASO 1B : LINHA DO MINHO - BOCA DE SAÍDA TÚNEL DE TAMEL	Data: FEVEREIRO 2011
---	----------------------

Local: Boca de saída do Túnel de Tamel - S.Pedro de Fins, Barcelos	Relatório Nº: 02
--	------------------

Técnico: _____	
----------------	--

Descrição da anomalia detectada: Drenagens insuficientes, encharcamento constante da plataforma. Travessas de madeira do AMV bastante degradadas, banquetas de balastro inexistente, desnivelamento e assentamento do AMV.	
--	--

Esquema/Foto:	
---------------	--

Descrição da zona afetada:
----------------------------

Extensão longitudinal da deficiência (m):	<input type="text" value="100"/>
---	----------------------------------

Profundidade (m)	<input type="text" value="1,5"/>
------------------	----------------------------------

Localização:	Eixo da via	Banqueta	Lateral
--------------	-------------	----------	---------

	<input type="text" value="X"/>	<input type="text" value="X"/>	<input type="text" value="X"/>
--	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

Parâmetros da estrutura afetados:
-----------------------------------

Camada de balastro	<input type="text" value="X"/>
--------------------	--------------------------------

Drenagem	<input type="text" value="X"/>
----------	--------------------------------

Camada de Sub-balastro	<input type="text" value="X"/>
------------------------	--------------------------------

Terrenos de fundação da plataforma	<input type="text"/>
------------------------------------	----------------------

Inspeções Complementares Realizadas
-------------------------------------

Sondagens	<input type="text" value="X"/>
-----------	--------------------------------

Ensaios	<input type="text"/>
---------	----------------------

<p>Observações: Através das sondagens foi possível verificar o estado da camada de sub-balastro que se encontrava bastante degradada ou misturada com o balastro. Foi ainda possível verificar que as drenagens existentes não são suficientes para recolher todas as águas que chegam á plataforma originando encharcamento constante e contaminação das camadas de balastro e sub-balastro.</p>
---

Responsável pela inspeção: _____
----------------------------------



1. PERCURSO DE AVALIAÇÃO

AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?



A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?



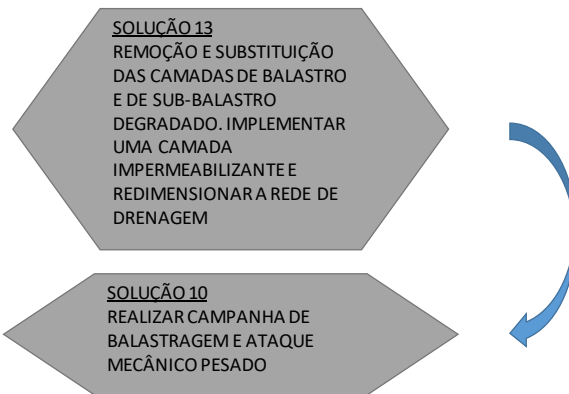
EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?



VERIFICA-SE A PRESENÇA DE ÁGUA OU MARCAS DE ENCHARCAMENTO?



2. SOLUÇÕES



3. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

VALORES ENTRE 500€/m E 1000€/m - \$\$\$

4. TEMPO DE EXECUÇÃO

COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA: - ENTRE 8 A 24 HORAS - 0000 (SUPENSÃO DE CIRCULAÇÃO C/TRANSBORDO)

5. JUSTIFICATIVO PARA A INTERVENÇÃO

INSERIDA NO CONTRATO DE EMPREITADA DE REABILITAÇÃO DO TÚNEIS DO MINHO ESTA PROPOSTA APRESENTA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÓMICA ASSIM COMO CONDIÇÕES DE ACESSIBILIDADES QUE PERMITEM QUE SEJA DEVIDAMENTE IMPLEMENTADA. A INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA É A SOLUÇÃO MAIS ECONÓMICA, SENDO POSSÍVEL REALIZAR TRABALHOS DESTES TIPO PARCIALMENTE EM INTERDIÇÕES MENORES, MAS COM RESERVAS NA QUALIDADE FINAL DOS TRABALHOS E COM SOBRECUSTOS ASSOCIADOS A DURAÇÃO DOS TRABALHOS.

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

		Sim/ Não	Caminho	MODO DE CORRECÇÃO	ONEROSIDADE	CONSTRANGIMENTOS TEMPORAIS	OPÇÃO DE RISCO MODERADO
P 01	AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?	NÃO	Resposta n.º P 03				
P 02							
P 03	A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?	NÃO	Resposta n.º P 07				
P 04							
P 05							
P 06							
P 07	EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?	SIM	Resposta n.º P 10				
P 08							
P 09							
P 10	VERIFIQUE-SE A PRESENÇA DE ÁGUA OU MARCAS DE ENCHUFCAMENTO?	SIM	SOLUÇÃO 13	REMOÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DAS CAMADAS DE BALASTRO E DE SUB-BALASTRO PRECISANDO, PARA EMMENTAR, UMA CAMADA IMPERMEABILIZANTE E SEM DIMENSIONAR A REDE DE DRENAGEM. (VER TAMBÉM OUTRAS CONSIDERAÇÕES)	VALORES ENTRE 500€/m E 1.000€/m - \$\$\$	COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA. - ENTRE 8 A 24 HORAS - 0000 (SUPLENÇÃO DE CIRCULAÇÃO C/TRANSBORDO)	SOLUÇÃO 13 - IMPLEMENTAR UMA CAMADA DRENANTE E REDIMENSIONAR A REDE DE DRENAGEM.
P 11							
P 12							
P 13							
P 14							
P 15							
P 16							
P 17							
OUTRAS CONSIDERAÇÕES							
(NOTA: EQUACIONAR TAMBÉM COMO PARTE DA SOLUÇÃO UMA CAMPANHA DE BALASTAGEM + ATAQUE PESADO)							


<b>RELATÓRIO DE INSPEÇÃO GEOTÉCNICA À VIA-FÉRREA</b>
--

Identificação da obra : CASO 2A : LINHA DE CASCAIS - PK 12+350	Data: NOVEMBRO 2007
--	---------------------

Local: Linha de Cascais - PK 12+350, Paço D'arcos, Oeiras	Relatório Nº: 03
---	------------------

Tecnico: _____	
----------------	--

Descrição da anomalia detectada: Desmoronamento do solo da base de assentamento das valetas de betão e fissuração da plataforma na lateral á via. Marcas de arrastamento de solo pela percolação de água infiltrada na plataforma.	
--	--

Esquema/Foto:	
---------------	--

Descrição da zona afetada:
----------------------------

Extensão longitudinal da deficiência (m):	<input type="text" value="30"/>
---	---------------------------------

Profundidade (m)	<input type="text" value="1"/>
------------------	--------------------------------

Localização:	Eixo da via <input type="text"/>	Banqueta <input type="text"/>	Lateral <input checked="" type="checkbox"/>
--------------	-------------------------------------	----------------------------------	--

Parâmetros da estrutura afetados:
-----------------------------------

Camada de balastro	<input type="text"/>
--------------------	----------------------

Drenagem	<input checked="" type="checkbox"/>
----------	-------------------------------------

Camada de Sub-balastro	<input checked="" type="checkbox"/>
------------------------	-------------------------------------

Terrenos de fundação da plataforma	<input checked="" type="checkbox"/>
------------------------------------	-------------------------------------

Inspeções Complementares Realizadas
-------------------------------------

Sondagens	<input type="text"/>
-----------	----------------------

Ensaios	<input type="text"/>
---------	----------------------

Observações:
--------------

Responsável pela inspeção: _____
----------------------------------

1. PERCURSO DE AVALIAÇÃO

AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?

SIM

A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE Á CAMADA DE BALASTRO?

NÃO

EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?

NÃO

2. SOLUÇÕES

REALIZAR NOVAS SONDAJENS E ENSAIOS PARA VERIFICAR A CAPACIDADE DE SUPORTE DOS SOLOS DA PLATAFORMA EM FUNÇÃO DAS CARGAS NECESSÁRIAS

3. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

N/A

4. TEMPO DE EXECUÇÃO

N/A

5. JUSTIFICATIVO PARA A INTERVENÇÃO

NÃO TENDO SIDO REALIZADAS NOVAS SONDAJENS PARA AVERIGUAR O ESTADO DOS SOLOS EXISTENTES A INTERVENÇÃO REALIZADA LIMITOU-SE À MITIGAÇÃO DAS ÁGUAS EXISTENTES DA PLATAFORMA E AO REFORÇO DO BALASTRO COM TRABALHOS MANUAIS DE NIVELAMENTOS DA VIA FÉRREA. APESAR DISTO A ZONA FOI COLOCADA EM MONITORIZAÇÃO E A AGUARDAR HIPÓTESES DE UMA INTERVENÇÃO MAIS PROFUNDA FACE AO HISTÓRICO DE ASSENTAMENTOS QUE SE VERIFICARAM POSTERIORES À MITIGAÇÃO. UMA INTERVENÇÃO NA LINHA DE CASCAIS É SEMPRE CONSIDERADA COMO UM ESFORÇO ECONÓMICO DEVIDO AOS CONSTRANGIMENTOS QUE AS OBRAS OBRIGAM IMPLICANDO ATRASOS E ATÉ SUSPENSÃO DE COMPOSIÇÕES, PELO QUE A DECISÃO DE AGUARDAR PODERÁ TER SIDO SUPORTADA COM BASE NESTES FACTORES DESCONSIDERANDO AS AVALIAÇÕES TÉCNICAS.

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

P 01	As deficiências detectadas são de pequena dimensão, em zonas localizadas?	Sim/ Não	Caminho	MODO DE CORRECÇÃO	ONEROSIDADE	CONSTRANGIMENTOS TEMPORAIS	OPÇÃO DE RISCO MODERADO
P 02	A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL, RESTRIÇA E A CAPACIDADE DE MANUTENÇÃO?	NÃO	Resposta a P 05				
P 03							
P 04							
P 05	EXISTE INTERRUPÇÃO ENTRE A CAMADA DE MANUTENÇÃO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?	NÃO	Resposta a P 15	(VER TAMBÉM OUTRAS CONSIDERAÇÕES)			
P 06							
P 07							
P 08							
P 09							
P 10							
P 11							
P 12							
P 13							
P 14							
P 15	OS SOLOS APRESENTAM A CAPACIDADE PORTANTE NECESSÁRIA PARA O OBJETIVO PREVISÍVEL?						
P 16							
P 17							
OUTRAS CONSIDERAÇÕES							
(NOTA: REALIZAR NOVAS SONDAGENS E ENSAIOS PARA VERIFICAR A CAPACIDADE DE SUPOORTE DOS SOLOS DA PLATAFORMA EM FUNÇÃO DAS CARGAS NECESSÁRIAS).							

## RELATÓRIO DE INSPEÇÃO GEOTÉCNICA À VIA-FÉRREA

Identificação da obra : CASO 2B : LINHA DE SINTRA - PK 19+350

Data: MAIO 2008

Local: Linha de Sintra - PK 19+350, Rio de Mouro, Sintra

Relatório Nº: 04

Tecnico: \_\_\_\_\_

Descrição da anomalia detectada: O encontro da ponte apresenta sinais de instabilidade da zona do aterro ferroviário. Os taludes laterais apresentam-se completamente descalços e com sinais de ravinamentos. As juntas do muro guarda-balastro no topo do encontro indiciam sinais de abatimentos nas zonas em aterro.

Esquema/Foto:



Descrição da zona afetada:

Extensão longitudinal da deficiência (m):

30

Profundidade (m)

5

Localização:

Eixo da via

Banqueta

Lateral

Parâmetros da estrutura afetados:

Camada de balastro

Drenagem

Camada de Sub-balastro

Terrenos de fundação da plataforma

Inspeções Complementares Realizadas

Sondagens

Ensaios

Observações: Na realização da sondagem quando se atingiu a cota 1,5m de profundidade o buraco abateu arrastando para o seu interior parte da camada de balastro e sub-balastro. Foi possível verificar a falta de consolidação do aterro técnico do encontro da ponte e a desconsolidação generalizada dos seus taludes. Foi ainda possível verificar o arrastamento de solos nas laterais á via pela percolação de água fora das drenagens existentes.

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

1. PERCURSO DE AVALIAÇÃO

AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?

SIM

A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE Á CAMADA DE BALASTRO?

NÃO

EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?

NÃO

AGUARDAR COMPLEMENTOS Á INFORMAÇÃO ORIUNDOS DE SONDAGENS/ENSAIOS

OS SOLOS APRESENTAM A CAPACIDADE PORTANTE NECESSÁRIA PARA O OBJETIVO PRETENDIDO?

SIM

VERIFICA-SE A PRESENÇA DE ÁGUA OU MARCAS DE ENCHARCAMENTO DE ORIGEM SUBTERRÂNEA?

SIM

2. SOLUÇÕES

REALIZAR NOVAS SONDAGENS E ENSAIOS PARA VERIFICAR A CAPACIDADE DE SUPORTE DOS SOLOS DA PLATAFORMA EM FUNÇÃO DAS CARGAS NECESSÁRIAS

**SOLUÇÃO 7**  
EXECUÇÃO DE SANEAMENTO POR DRENAGEM PROFUNDA DO SOLO E COMPLETO ENCAMINHAMENTO DAS ÁGUAS ATRAVÉS DE DRENOS PROFUNDOS OU COLOCAÇÃO DE TELAS DRENANTES. SUBSTITUIÇÃO DOS SOLOS SATURADOS SE NECESSÁRIO.

**SOLUÇÃO 6**  
REMOÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO, PROCEDER A NOVA COMPACTAÇÃO DA PLATAFORMA E CAMADA DE SUB-BALASTRO EM FUNÇÃO DAS SOLICITAÇÕES, REPOSIÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO E SUA REGULARIZAÇÃO.

3. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

VALORES ENTRE 500€/m E 1000€/m - \$\$\$

4. TEMPO DE EXECUÇÃO

COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA:  
- ENTRE 4 A 8 HORAS - 000 (SUSPENSÃO DE CIRCULAÇÃO S/TRANSBORDO)

5. JUSTIFICATIVO PARA A INTERVENÇÃO

ESTANDO O PROBLEMA SITUADO NUM ENCONTRO DE UMA OBRA DE ARTE A AVALIAÇÃO TERÁ DE SER MUITO MAIS PONDERADA, PRINCIPALMENTE NA SEQUÊNCIA DOS PROBLEMAS DECORRIDOS COM AS MEDIDAS MITIGADORAS REALIZADAS. VERIFICANDO-SE A FALHA DECORRENTE DAS INJEÇÕES E COMPROVANDO A EXISTÊNCIA DE DESCALÇAMENTOS NO ATERRO TÉCNICO DA OBRA DE ARTE, É PRECISO ANALISAR O PROJETO INICIAL E IMPLEMENTAR MEDIDAS DE CARACTER PROFUNDO COM CARACTERÍSTICAS DEFINITIVAS. UMA VEZ QUE QUALQUER INTERVENÇÃO MITIGADORA SE VERIFICA INFRUTÍFERA, SEM A CORRECTA COMPACTAÇÃO DO ATERRO DO ENCONTRO DA PONTE, HÁ QUE RESOLVER ESSA QUESTÃO PRIMEIRO.

Responsável pela inspeção:

Data:

P. 01	AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?	Sim/ Não	Caminho	MODO DE CORRECÇÃO	ONEROSIDADE	CONSTRANGIMENTOS TEMPORAIS	OPÇÃO DE RISCO MODERADO
P. 02	A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?	NÃO					
P. 03							
P. 04							
P. 05	EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?	NÃO	Resposta # P. 15	(VER TAMBÉM OUTRAS CONSIDERAÇÕES)			
P. 06							
P. 07							
P. 08							
P. 09							
P. 10							
P. 11							
P. 12							
P. 13							
P. 14							
P. 15	OS SOLOS APRESENTAM A CAPACIDADE PORTANTE NECESSÁRIA PARA O OBJETIVO PRETENDIDO?	SIM	Resposta # P. 16				
P. 16	VERIFICA-SE A PRESENÇA DE ÁGUA COM MARCAS DE ENCHARCAMENTO DE ORIGEM SUBTERRÂNEA?	SIM	SOLUÇÃO 7	EXECUÇÃO DE SANEAMENTO POR DRENAGEM PROFUNDA DO SOLO E COMPLETO ENCHARCAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE DEBENOS PROFUNDOS OU COLOCAÇÃO DE TELAS DRENANTES, SUBSTITUIÇÃO DOS SOLOS SATURADOS SE NECESSÁRIO.(VER TAMBÉM OUTRAS CONSIDERAÇÕES)	VALORES ENTRE 200€/m E 1.000€/m - \$\$\$	COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA. - ENTRE 4 A 8 HORAS - 000 (SUSPENSÃO DE CIRCULAÇÃO S/TRANSPORTO)	SOLUÇÃO 10 - IMPLEMENTAR UMA CAMADA DRENANTE E REDIMENSIONAR A REDE DE DRENAGEM.
P. 17							
OUTRAS CONSIDERAÇÕES							
(NOTA: EQUACIONAR TAMBÉM COMO PARTE DA SOLUÇÃO A REMOÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO, PROCEDER A NOVA COMPACTAÇÃO DA PLATAFORMA E CAMADA DE SUB-BALASTRO EM FUNÇÃO DAS SOLICITAÇÕES, REPOSIÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO E SUA REGULARIZAÇÃO							

## RELATÓRIO DE INSPEÇÃO GEOTÉCNICA À VIA-FÉRREA

Identificação da obra : CASO 2C : LINHA DE SINTRA - PK 20+270

Data: MARÇO 2008

Local: Linha de Sintra - PK 20+270, Rio de Mouro, Sintra

Relatório Nº: 05

Tecnico: \_\_\_\_\_

Descrição da anomalia detectada: Verificou-se o abatimento da plataforma do lado da via ascendente originado pela incapacidade dos orçãos de drenagem em encaminhar as águas pluviais em forte abundância. A água galgou a plataforma da via provocando o arrastamento de parte da plataforma e a queda do talude. Verifica-se instabilidade em toda a zona.

Esquema/Foto:



Descrição da zona afetada:

Extensão longitudinal da deficiência (m):

Profundidade (m)

Localização:

Eixo da via

Banqueta

Lateral

Parâmetros da estrutura afetados:

Camada de balastro

Drenagem

Camada de Sub-balastro

Terrenos de fundação da plataforma

Inspeções Complementares Realizadas

Sondagens

Ensaios

Observações:

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

1. PERCURSO DE AVALIAÇÃO

AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?

NÃO

A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?

NÃO

EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?

SIM

VERIFICA-SE A PRESENÇA DE ÁGUA OU MARCAS DE ENCHARCAMENTO?

SIM

2. SOLUÇÕES

**SOLUÇÃO 13**  
REMOÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DAS CAMADAS DE BALASTRO E DE SUB-BALASTRO DEGRADADO. IMPLEMENTAR UMA CAMADA IMPERMEABILIZANTE E REDIMENSIONAR A REDE DE DRENAGEM

**SOLUÇÃO 10**  
REALIZAR CAMPANHA DE BALASTRAGEM E ATAQUE MECÂNICO PESADO



3. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

VALORES ENTRE 500€/m E 1000€/m - \$\$\$

4. TEMPO DE EXECUÇÃO

COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA: - ENTRE 8 A 24 HORAS - 0000 (SUPENSÃO DE CIRCULAÇÃO C/TRANSBORDO)

5. JUSTIFICATIVO PARA A INTERVENÇÃO

INDEPENDENTEMENTE DO RESULTADO DESTA AVALIAÇÃO É NECESSÁRIO IR MAIS ALÉM NO QUE CONCERNE À SOLUÇÃO A PROPÔR PARA O SUPORTE DO TALUDE AFETADO E QUE A MESMA SEJA CONJUGADA COM A CONSOLIDAÇÃO DA PLATAFORMA. TENDO-SE VERIFICADO ASSENTAMENTOS CONTÍNUOS NA PLATAFORMA APÓS OS TRABALHOS DE MITIGAÇÃO É CLARO QUE AS MEDIDAS TOMADAS NÃO FORAM SUFICIENTES E QUE A DEGRADAÇÃO NÃO SE ENCONTRA REDUZIDA APENAS À PLATAFORMA NA ZONA DO ESCORREGAMENTO, MAS É UMA CONSTANTE NAQUELA ÁREA NECESSITANDO DE UMA GRANDE INTERVENÇÃO DE FORMA A SANEAR POR COMPLETO AS PATOLOGIAS EXISTENTES. SEJA A NÍVEL DE SOLOS, DRENAGENS OU TALUDES.

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

		Sim/Não	Caminho	MODO DE CORRECÇÃO	ONEROSIDADE	CONSTRANGIMENTOS TEMPORAIS	OPÇÃO DE RISCO MODERADO
P 01	ALDEIAS DE INCLINAÇÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?	NÃO	Resposta a P 03				
P 02							
P 03	ÁZONA AFECTADA É SUPERIOR A 10 METROS DE ALTEZURA?	NÃO	Resposta a P 07				
P 04							
P 05							
P 06							
P 07	EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?	SIM	Resposta a P 10				
P 08							
P 09							
P 10	VER SE CÁ-SE A PRESENÇA DE ÁGUA OU MARCAS DE ENCHUFCAMENTO?	SIM	SOLUÇÃO 13	REMOÇÃO E SUBSTITUIÇÃO DAS CAMADAS DE BALASTRO E DE SUB-BALASTRO DEACORDO, IMPLANTAR UMA CAMADA IMPERMEABILIZANTE E REDIMENSIONAR A REDE DE DRENAGEM. (VER TAMBÉM OUTRAS CONSIDERAÇÕES)	VALORES ENTRE 500€/m <sup>2</sup> E 1.000€/m <sup>2</sup> - \$\$\$	COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA - ENTRE 8 A 24 HORAS - 0000 (SUSPENSÃO DE CIRCULAÇÃO C/TRANSBORDO)	SOLUÇÃO 13: IMPLANTAR UMA CAMADA DRENANTE E REDIMENSIONAR A REDE DE DRENAGEM.
P 11							
P 12							
P 13							
P 14							
P 15							
P 16							
P 17							
OUTRAS CONSIDERAÇÕES							
(NOTA: EQUACIONAR TAMBÉM COMO PARTE DA SOLUÇÃO UMA CAMPANHA DE BALASTRAGEM + ATAQUE PESADO)							

## RELATÓRIO DE INSPEÇÃO GEOTÉCNICA À VIA-FÉRREA

Identificação da obra : CASO 3A : LINHA DO SENA - CONFIGURAÇÃO TIPO A E TIPO C

Data: Junho 2012

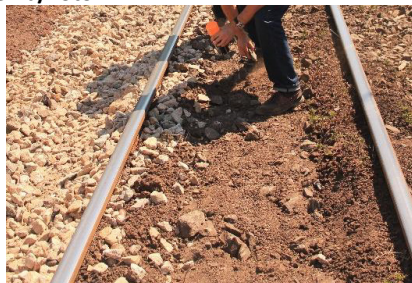
Local: Linha do Sena - Dona Ana (km 293) e Necungas (km 466) - Moçambique

Relatório Nº: 06

Tecnico: \_\_\_\_\_

Descrição da anomalia detectada: Diversas insuficiências de drenagem longitudinal e transversal, quer por ausência de elementos quer por mau funcionamento dos existentes. Verificou-se o arrastamento e a contaminação do balastro por sedimentos transportados pela água. Redução substancial da rigidez e da resistência ao corte dos solos da subestrutura.

Esquema/Foto:



Descrição da zona afetada:

Extensão longitudinal da deficiência (m):

Profundidade (m)

Localização:

Eixo da via

Banqueta

Lateral

Parâmetros da estrutura afetados:

Camada de balastro

Drenagem

Camada de Sub-balastro

Terrenos de fundação da plataforma

Inspeções Complementares Realizadas

Sondagens

Ensaio

Observações: Configuração tipo A e C - Módulo de deformabilidade medido no topo da plataforma = 40 Mpa. Foram realizados ensaios laboratoriais, ensaios com o defletómetro de impacto portátil (DIP), realização de DPSH, ensaios com o Dilatómetro de Marchetti (DMT) e poços para sondagens. Foram recolhidas amostras remexidas e intactas. (ensaio granulométricos, de plasticidade, CBR e do grau de compactação em relação ao ensaio Proctor Modificado)

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

1. PERCURSO DE AVALIAÇÃO

AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?

NÃO

A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?

NÃO

EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?

NÃO

AGUARDAR COMPLEMENTOS À INFORMAÇÃO ORIUNDOS DE SONDAGENS/ENSAIOS

OS SOLOS APRESENTAM A CAPACIDADE PORTANTE NECESSÁRIA PARA O OBJETIVO PRETENDIDO?

NÃO

NA ZONA A INTERVENICIONAR EXISTE A POSSIBILIDADE DE SUSPENSÃO DAS CIRCULAÇÕES DE FORMA CONTÍNUA DURANTE O PERÍODO DE EXECUÇÃO DOS TRABALHOS?

SIM

2. SOLUÇÕES

REALIZAR NOVAS SONDAGENS E ENSAIOS PARA VERIFICAR A CAPACIDADE DE SUPORTE DOS SOLOS DA PLATAFORMA EM FUNÇÃO DAS CARGAS NECESSÁRIAS

**SOLUÇÃO 18**  
RENOVAÇÃO INTEGRAL DA PLATAFORMA INCLUINDO PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA PARA ORIENTAÇÃO DA SOLUÇÃO DE PROJETO

3. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

VALORES SUPERIORES A 1000€/m - \$\$\$

4. TEMPO DE EXECUÇÃO

SEM CONSTRANGIMENTOS POR SUSPENSÃO DA CIRCULAÇÃO COMERCIAL

5. JUSTIFICATIVO PARA A INTERVENÇÃO

QUANDO NA AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES EXISTENTES O RESULTADO É O PIOR QUE SE PODE OBTER, A SOLUÇÃO É SEM DUVIDA RENOVAR, MAS RENOVAR COM A VISÃO DE DURABILIDADE E SEM DEIXAR DE FORA AS CONDICIONANTES DA ENVOLVENTE NOMEADAMENTE NO QUE DIZ RESPEITO À DRENAGEM, TALUDES E ACESSIBILIDADES PARA MANUTENÇÃO, SÓ ASSIM É QUE O INVESTIMENTO SE JUSTIFICA.

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

		Sim/ Não	Caminho	MODO DE CORRECÇÃO	ONEROSIDADE	CONSTRANGIMENTOS TEMPORAIS	OPÇÃO DE RISCO MODERADO
P 01	AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?	NÃO	Resposta # P 03				
P 02							
P 03	A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?	NÃO	Resposta # P 07				
P 04							
P 05							
P 06							
P 07	EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?	NÃO	Resposta # P 12	(VER OUTRAS CONSIDERAÇÕES)			
P 08							
P 09							
P 10							
P 11							
P 12	OS SOLOS APRESENTAM A CAPACIDADE PORTANTE NECESSÁRIA PARA O OBJETIVO PREENSADO?	NÃO	Resposta # P 14				
P 13							
P 14	NA ZONA A INTERVENÇÃO EMITE A POSSIBILIDADE DE SUPLENÇÃO DAS CIRCULAÇÕES DE FORMA CONTÍNUA DURANTE O PERÍODO DE EXECUÇÃO DOS TRABALHOS?	SIM	SOLUÇÃO 18	RENOVAÇÃO INTEGRAL DA PLATAFORMA INCLUINDO PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA PARA ORIENTAÇÃO DA SOLUÇÃO DE PROIETO.	VALORES SUPERIORES A 10000/m - \$555	COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA - SUPERIOR A 24 HORAS - 0000 (SUSPENSÃO DE CIRCULAÇÃO INSERIDA EM VUP OU ENCFERRAMENTO À EXPLORAÇÃO ATÉ CONCLUSÃO DOS TRABALHOS)	SOLUÇÃO 6 - REALIZAÇÃO DE INICIQUES DE REFERENÇÃO NOS TERRENOS DE FUNDAÇÃO.
P 15							
P 16							
P 17							
OUTRAS CONSIDERAÇÕES							
(NOTA: REALIZAR NOVAS SONDAGENS E ENSAIOS PARA VERIFICAR A CAPACIDADE DE SUPORTE DOS SOLOS DA PLATAFORMA EM FUNÇÃO DAS CARGAS NECESSÁRIAS).							

## RELATÓRIO DE INSPEÇÃO GEOTÉCNICA À VIA-FÉRREA

Identificação da obra : CASO 3B : LINHA DO SENA - CONFIGURAÇÃO TIPO B E TIPO D

Data: Junho 2012

Local: Linha do Sena - Dona Ana (km 293) e Necungas (km 466) - Moçambique

Relatório Nº: 07

Tecnico: \_\_\_\_\_

Descrição da anomalia detectada: Não se verificam grandes constrangimentos ao correto funcionamento da drenagem. A estrutura da via -fêrrea apresenta-se com condições de suporte e sem evidências de assentamentos pontuais. O balastro apresenta-se rombo nas arestas com evidências de fim de vida útil registando-se a ausência de camada de sub-balastro.

Esquema/Foto:



Descrição da zona afetada:

Extensão longitudinal da deficiência (m): Profundidade (m) 

Localização:

Eixo da via

Banqueta

Lateral

Parâmetros da estrutura afetados:

Camada de balastro Drenagem Camada de Sub-balastro Terrenos de fundação da plataforma 

Inspeções Complementares Realizadas

Sondagens Ensaio 

Observações: Configuração tipo B e D - Módulo de deformabilidade medido no topo da plataforma = 80 Mpa. Foram realizados ensaios laboratoriais, ensaios com o defletómetro de impacto portátil (DIP), realização de DPSH, ensaios com o Dilatómetro de Marchetti (DMT) e poços para sondagens. Foram recolhidas amostras remexidas e intactas. (ensaios granulométricos, de plasticidade, CBR e do grau de compactação em relação ao ensaio Proctor Modificado)

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

1. PERCURSO DE AVALIAÇÃO

AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?

NÃO

A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?

NÃO

EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?

NÃO

AGUARDAR COMPLEMENTOS À INFORMAÇÃO ORIUNDOS DE SONDAJENS/ENSAIOS

OS SOLOS APRESENTAM A CAPACIDADE PORTANTE NECESSÁRIA PARA O OBJETIVO PRETENDIDO?

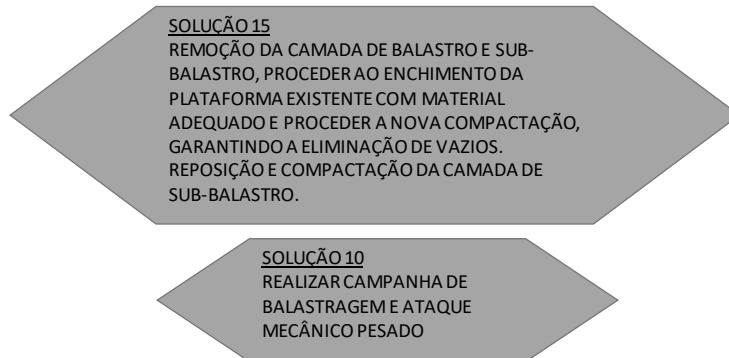
SIM

VERIFICA-SE A PRESENÇA DE ÁGUA OU MARCAS DE ENCHARCAMENTO DE ORIGEM SUBTERRÂNEA?

NÃO

2. SOLUÇÕES

REALIZAR NOVAS SONDAJENS E ENSAIOS PARA VERIFICAR A CAPACIDADE DE SUPORTE DOS SOLOS DA PLATAFORMA EM FUNÇÃO DAS CARGAS NECESSÁRIAS



3. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

VALORES ENTRE 500€/m e 1000€/m - \$\$\$

4. TEMPO DE EXECUÇÃO

SEM CONSTRANGIMENTOS POR SUSPENSÃO DA CIRCULAÇÃO COMERCIAL

5. JUSTIFICATIVO PARA A INTERVENÇÃO

PELA ANÁLISE DO CASO ESTÁ INERENTE QUE A FALTA DE CAMADA DE SUB-BLASTRO É A POTENCIADORA DESTE TIPO DE COMPORTAMENTO ASSIM COMO DE UMA COMPACTAÇÃO QUE ELIMINE OS VAZIOS DE FORMA DEFINITIVA E PERMITA AOS SOLOS EXISTENTES O COMPORTAMENTO ADEQUADO UMA VEZ QUE A SUA APETÊNCIA É VERIFICADA PELA GARANTIA DE CAPACIDADE DE SUPORTE PARA AS CARGAS A QUE ESTÃO SUJEITOS.

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

		Sim/ Não	Caminho	MODO DE CORRECÇÃO	ONEROSIDADE	CONSTRANGIMENTOS TEMPORAIS	OPÇÃO DE RISCO MODERADO
P 01	AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?	NÃO	Resposta n.º P 03				
P 02							
P 03	A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?	NÃO	Resposta n.º P 07				
P 04							
P 05							
P 06							
P 07	EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?	NÃO	Resposta n.º P 12	(VER OUTRAS CONSIDERAÇÕES)			
P 08							
P 09							
P 10							
P 11							
P 12	OS SOLOS APRESENTAM A CAPACIDADE PORTANTE NECESSÁRIA PARA O OBJETIVO PREENSADO?	SIM	Resposta n.º P 13				
P 13	VERIFICA-SE A PRESENÇA DE ÁGUA OU MARCAS DE ENCHARGAMENTO?	NÃO	SOLUÇÃO 15	REMOÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO E SUB-BALASTRO, ENCHIMENTO DA PLATAFORMA EXISTENTE COM MATERIAL ADEQUADO E PROCEDER A NOVA COMPACTAÇÃO, GARANTINDO A ELIMINAÇÃO DE VAZIOS; REPOSICIONAR E COMPACTAR A CAMADA DE SUB-BALASTRO.(VER TAMBÉM OUTRAS CONSIDERAÇÕES)	VALORES ENTRE 500€/m <sup>3</sup> F 1000€/m <sup>3</sup> - \$\$\$	COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA - SUPERIOR A 24 HORAS - 00000 (SUSPENSÃO DE CURTIU AÇÃO INTRINSECA FIMVIP CII) ENCERRAMENTO À EXPLORAÇÃO ATÉ CONCLUSÃO DOS TRABALHOS)	SOLUÇÃO 8 - REALIZAÇÃO DE INJEÇÕES DE REFORÇO DOS TERRENOS E FUNDAÇÃO.
P 14							
P 15							
P 16							
P 17							
OUTRAS CONSIDERAÇÕES							
(NOTA: EQUACIONAR TAMBÉM COMO PARTE DA SOLUÇÃO UMA CAMPANHA DE BALASTAGEM + ATAQUE PESADO)							

## RELATÓRIO DE INSPEÇÃO GEOTÉCNICA À VIA-FÉRREA

Identificação da obra : CASO 3C : LINHA DO SENA - CONFIGURAÇÃO TIPO E

Data: Junho 2012

Local: Linha do Sena - Dona Ana (km 293) e Necungas (km 466) - Moçambique

Relatório Nº: 08

Tecnico: \_\_\_\_\_

Descrição da anomalia detectada: Não se verificam grandes constrangimentos ao correto funcionamento da drenagem. A estrutura da via -férrea apresenta-se com condições de suporte e sem evidências de assentamentos pontuais. O balastro apresenta-se sem contaminações apenas com necessidades de reforço das banquetas.

Esquema/Foto:



Descrição da zona afetada:

Extensão longitudinal da deficiência (m): Profundidade (m) 

Localização:

Eixo da via Banqueta Lateral 

Parâmetros da estrutura afetados:

Camada de balastro Drenagem Camada de Sub-balastro Terrenos de fundação da plataforma 

Inspeções Complementares Realizadas

Sondagens Ensaios 

Observações: Configuração tipo E - Módulo de deformabilidade medido no topo da plataforma = 60 Mpa. Foram realizados ensaios laboratoriais, ensaios com o defletómetro de impacto portátil (DIP), realização de DPSH, ensaios com o Dilatómetro de Marchetti (DMT) e poços para sondagens. Foram recolhidas amostras remexidas e intactas. (ensaios granulométricos, de plasticidade, CBR e do grau de compactação em relação ao ensaio Proctor Modificado)

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

1. PERCURSO DE AVALIAÇÃO

AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?

NÃO

A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?

SIM

EXISTE CONTAMINAÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO?

NÃO

2. SOLUÇÕES

**SOLUÇÃO 10**  
REALIZAR CAMPANHA DE BALASTRAGEM E ATAQUE MECÂNICO PESADO

3. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

VALORES ENTRE 100€/m E 500€/m - \$\$

4. TEMPO DE EXECUÇÃO

SEM CONSTRANGIMENTOS POR SUSPENSÃO DA CIRCULAÇÃO COMERCIAL

5. JUSTIFICATIVO PARA A INTERVENÇÃO

ESTANDO GARANTIDA UMA CAMADA DE BALASTRO COM 0,25CM E SEM APARENTES CONTAMINAÇÕES JUSTIFICA-SE QUE APENAS UMA CAMPANHA DE ATAQUE MECÂNICO PESADO SEJA O SUFICIENTE PARA FAZER FACE À MANUTENÇÃO DA VIA INCLUINDO O REFORÇO COM BALASTRO NOVO ONDE ESTE SE VERIFIQUE NECESSÁRIO

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

	Sim/ Não	Caminho	MODO DE CORRECÇÃO	ONEROSIDADE	CONSTRANGIMENTOS TEMPORAIS	OPÇÃO DE RISCO MODERADO
P 01	NÃO	Resposta # P 03				
P 02						
P 03	SIM	Resposta # P 05				
P 04						
P 05						
P 06	NÃO	Solução 10	REALIZAR CAMPANHA DE BALASTAGEM E ATUAR EM PUNTO PESADO	VALORES ENTRE 100€/m <sup>2</sup> E 500€/m <sup>2</sup> - \$\$	COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA - ENTRE 4 A 8 HORAS - (00) (SUSPENÇÃO DE CIRCULAÇÃO (STRANSBORDO))	
P 07						
P 08						
P 09						
P 10						
P 11						
P 12						
P 13						
P 14						
P 15						
P 16						
P 17						
OUTRAS CONSIDERAÇÕES						

## RELATÓRIO DE INSPEÇÃO GEOTÉCNICA À VIA-FÉRREA

Identificação da obra : CASO 3D : LINHA DO SENA - CONFIGURAÇÃO TIPO F

Data: Junho 2012

Local: Linha do Sena - Dona Ana (km 293) e Necungas (km 466) - Moçambique

Relatório Nº: 09

Tecnico: \_\_\_\_\_

Descrição da anomalia detectada: Não se verificam grandes constrangimentos ao correto funcionamento da drenagem. A estrutura da via -fêrrea apresenta-se com condições de suporte e sem evidências de assentamentos pontuais. A camada de balastro apresenta-se de espessura bastante reduzida (<0,20m) sem indícios de sub-balastro.

Esquema/Foto:



Descrição da zona afetada:

Extensão longitudinal da deficiência (m): Profundidade (m) 

Localização:

Eixo da via Banqueta Lateral 

Parâmetros da estrutura afetados:

Camada de balastro Drenagem Camada de Sub-balastro Terrenos de fundação da plataforma 

Inspeções Complementares Realizadas

Sondagens Ensaios 

Observações: Configuração tipo F - Módulo de deformabilidade medido no topo da plataforma = 60 Mpa. Foram realizados ensaios laboratoriais, ensaios com o defletómetro de impacto portátil (DIP), realização de DPSH, ensaios com o Dilatómetro de Marchetti (DMT) e poços para sondagens. Foram recolhidas amostras remexidas e intactas. (ensaios granulométricos, de plasticidade, CBR e do grau de compactação em relação ao ensaio Proctor Modificado)

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

1. PERCURSO DE AVALIAÇÃO

AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?

NÃO

A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE Á CAMADA DE BALASTRO?

NÃO

EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?

SIM

VERIFICA-SE A PRESENÇA DE ÁGUA OU MARCAS DE ENCHARCAMENTO?

NÃO

2. SOLUÇÕES

**SOLUÇÃO 14**  
REMOÇÃO SUPERFICIAL DA CAMADA DE BALASTRO (20CM), COMPACTAÇÃO DO RESTANTE BALASTRO NA CAMADA DE SUB-BALASTRO.

**SOLUÇÃO 10**  
REALIZAR CAMPANHA DE BALASTRAGEM E ATAQUE MECÂNICO PESADO



3. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

VALORES ENTRE 500€/m E 1000€/m - \$\$\$

4. TEMPO DE EXECUÇÃO

SEM CONSTRANGIMENTOS POR SUSPENSÃO DA CIRCULAÇÃO COMERCIAL

5. JUSTIFICATIVO PARA A INTERVENÇÃO

INDEPENDENTEMENTE DE UMA CAMADA DE BALASTRO SER ACEITÁVEL, A INEXISTÊNCIA DE CAMADA DE SUB-BALASTRO IMPEDE A DURABILIDADE DA PLATAFORMA DE VIA PRECONIZADA. O CONCEITO DE APROVEITAR O BALASTRO EXISTENTE PARA A REALIZAÇÃO DE UMA CAMADA DE SUB-BALASTRO DEVIDAMENTE COMPACTADA REVERTE EM ECONOMIA QUE PODERÁ SER CONTABILIZADA PARA A REALIZAÇÃO DE OUTRAS ATIVIDADES NECESSÁRIAS TAIS COMO O ATAQUE E BALASTRAGEM JUSTIFICANDO A INTERVENÇÃO PROPOSTA

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

		Sim/ Não	Caminho	MODO DE CORRECÇÃO	ONEROSIDADE	CONSTRANGIMENTOS TEMPORAIS	OPÇÃO DE RISCO MODERADO
P 01	AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?	NÃO	Resposta n.º P 03				
P 02							
P 03	A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?	NÃO	Resposta n.º P 07				
P 04							
P 05							
P 06							
P 07	EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?	SIM	Resposta n.º P 10				
P 08							
P 09							
P 10	VERIFICA-SE A PRESENÇA DE ÁGUA OU MARCAS DE ENCHUFCAMENTO?	NÃO	SOLUÇÃO 14	REMOÇÃO SUPERFICIAL DA CAMADA DE BALASTRO (20CM), COMPACTAÇÃO DO PRESTANTE BALASTRO NA CAMADA DE SUB-BALASTRO (VER TAMBÉM OUTRAS CONSIDERAÇÕES)	VALORES ENTRF 50€/m F. 1000€/m - \$\$\$	COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA - ENTRE 4 A 8 HORAS - (00) (SUSPENSÃO DE CIRCULAÇÃO S/TRANSBORDO)	SOLUÇÃO 11. REALIZAR CAMPANHA DE DESGUARNECIMENTO MECÂNICO DE BALASTRO.
P 11							
P 12							
P 13							
P 14							
P 15							
P 16							
P 17							
OUTRAS CONSIDERAÇÕES							
(NOTA: EQUACIONAR TAMBÉM COMO PARTE DA SOLUÇÃO UMA CAMPANHA DE BALASTRAGEM + ATAQUE PESADO)							

## RELATÓRIO DE INSPEÇÃO GEOTÉCNICA À VIA-FÉRREA

Identificação da obra : CASO 4A : SECÇÃO 5 DO CORREDOR DE NACALA - 20% DO TROÇO MONITORIZADO Data: 2012  
 Local: Linha do Sena - Nayuchi a Entrelagos - Malawi/Moçambique Relatório Nº: 10  
 Técnico: \_\_\_\_\_

Descrição da anomalia detectada: Verificam-se constrangimentos ao correto funcionamento das drenagens. A estrutura da via -fêrrea apresenta-se sem condições de suporte e com assentamentos generalizados. A camada de balastro apresenta-se bastante contaminada sem indícios de sub-balastro.

Esquema/Foto:



Descrição da zona afetada:

Extensão longitudinal da deficiência (m):

Profundidade (m)

Localização:

Eixo da via

Banqueta

Lateral

Parâmetros da estrutura afetados:

Camada de balastro

Drenagem

Camada de Sub-balastro

Terrenos de fundação da plataforma

Inspeções Complementares Realizadas

Sondagens

Ensaios

Observações: Zonas monitorizadas com necessidades específicas de tratamento profundo (20% da extensão total). Foram realizados ensaios laboratoriais, realização de DPSH (compacidade das camadas de fundação), ensaios com Dilatómetro de Marchetti (DMT), ensaios de carga em placa e uma campanha de Georadar (2D e 3D). Foram recolhidas amostras.

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

1. PERCURSO DE AVALIAÇÃO

AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?

NÃO

A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE Á CAMADA DE BALASTRO?

NÃO

EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?

NÃO

AGUARDAR COMPLEMENTOS Á INFORMAÇÃO ORIUNDOS DE SONDAGENS/ENSAIOS

OS SOLOS APRESENTAM A CAPACIDADE PORTANTE NECESSÁRIA PARA O OBJETIVO PRETENDIDO?

NÃO

NA ZONA A INTERVENICIONAR EXISTE A POSSIBILIDADE DE SUSPENSÃO DAS CIRCULAÇÕES DE FORMA CONTÍNUA DURANTE O PERÍODO DE EXECUÇÃO DOS TRABALHOS?

NÃO

2. SOLUÇÕES

REALIZAR NOVAS SONDAGENS E ENSAIOS PARA VERIFICAR A CAPACIDADE DE SUPORTE DOS SOLOS DA PLATAFORMA EM FUNÇÃO DAS CARGAS NECESSÁRIAS

**SOLUÇÃO 17**  
REALIZAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DOS TERRENOS DE FUNDAÇÃO TIPO INJEÇÕES DE CALDAS, COLUNAS DE JETGROUT, VIBROCOMPACTAÇÃO, COLOCAÇÃO DE GEOGRELHAS, DEEP SOIL MIXING (SOLUÇÕES PASSÍVEIS DE RESOLUÇÃO POR FASES)

3. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

VALORES ENTRE 100€/m E 500€/m - \$\$

4. TEMPO DE EXECUÇÃO

COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA:  
- ENTRE 8 A 24 HORAS - 0000 (SUSPENSÃO DE CIRCULAÇÃO C/TRANSBORDO)

5. JUSTIFICATIVO PARA A INTERVENÇÃO

APÓS MONITORIZAÇÃO 20% DA VIA NÃO APRESENTAVA CONDIÇÕES DE SUPORTE ÁS NECESSIDADES SENDO NECESSÁRIA UMA INTERVENÇÃO PROFUNDA QUE DOTA-SE A PLATAFORMA DE RESISTÊNCIA SUFICIENTE PARA FAZER FACE Á EXPLORAÇÃO COMERCIAL FUTURA. A EXPLORAÇÃO COMERCIAL NÃO PODE SER SUSPensa PELO QUE AS SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA ESTAS ZONAS TERÃO DE SER O MÍNIMO POSSÍVEL DE PERTURBADORAS Á CIRCULAÇÃO FERROVIÁRIA, INVIABILIZANDO O RECURSO Á RENOVACÃO INTERGRAL DA PLATAFORMA E JUSTIFICANDO ESTE TIPO DE INTERVENÇÃO

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

		Sim/ Não	Caminho	MODO DE CORRECÇÃO	ONEROSIDADE	CONSTRANGIMENTOS TEMPORAIS	OPÇÃO DE RISCO MODERADO
P 01	AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?	NÃO	Resposta # P 03				
P 02							
P 03	A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?	NÃO	Resposta # P 07				
P 04							
P 05							
P 06							
P 07	EXISTE INTRUSÃO ENTRE A CAMADA DE BALASTRO E A CAMADA DE SUB-BALASTRO?	NÃO	Resposta # P 12	(VER OUTRAS CONSIDERAÇÕES)			
P 08							
P 09							
P 10							
P 11							
P 12	OS SOLOS APRESENTAM A CAPACIDADE PORTANTE NECESSÁRIA PARA O OBJETIVO PREENSADO?	NÃO	Resposta # P 14				
P 13							
P 14	NA ZONA A INTERVENÇÃO EMITA A POSSIBILIDADE DE SUSPENSÃO DAS CIRCULAÇÕES DE FORMA CONTÍNUA DURANTE O PERÍODO DE EXECUÇÃO DOS TRABALHOS?	NÃO	SOLUÇÃO 17	REALIZAÇÃO DE SOLUÇÕES DE REFORÇO DOS TERRENOS DE FUNDAÇÃO TIPO INIEÇÕES DE CALDAS, COLUNAS DE TETRAU, VIBROCOMPACTAÇÃO, COLOCAÇÃO DE GEORRELIHAS (SOLUÇÕES PACÍFICAS DE RESOLUÇÃO POR FASES) .	VALORES ENTRE 500€/m <sup>2</sup> E 1.000€/m <sup>2</sup> - \$\$\$	COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA - ENTRE 8 A 24 HORAS - 0000 (SUSPENSÃO DE CIRCULAÇÃO C/TRANSBORDO)	
P 15							
P 16							
P 17							
OUTRAS CONSIDERAÇÕES							
(NOTA: REALIZAR NOVAS SONDAGENS E ENSAIOS PARA VERIFICAR A CAPACIDADE DE SUPORTE DOS SOLOS DA PLATAFORMA EM FUNÇÃO DAS CARGAS NECESSÁRIAS).							

## RELATÓRIO DE INSPEÇÃO GEOTÉCNICA À VIA-FÉRREA

Identificação da obra : CASO 4B : SECÇÃO 5 DO CORREDOR DE NACALA - 80% DO TROÇO MONITORIZADO Data: 2012  
 Local: Linha do Sena - Nayuchi a Entrelagos - Malawi/Moçambique Relatório Nº: 11  
 Técnico: \_\_\_\_\_

Descrição da anomalia detectada: Não se verificam constrangimentos ao correto funcionamento das drenagens. A estrutura da via -fêrrea apresenta-se com condições de suporte e sem assentamentos pontuais. A camada de balastro apresenta-se com evidências de fim de vida útil e espessura insuficiente (<0,20m)

Esquema/Foto:



Descrição da zona afetada:

Extensão longitudinal da deficiência (m):

Profundidade (m)

Localização:

Eixo da via

Banqueta

Lateral

Parâmetros da estrutura afetados:

Camada de balastro

Drenagem

Camada de Sub-balastro

Terrenos de fundação da plataforma

Inspeções Complementares Realizadas

Sondagens

Ensaios

Observações: Zonas monitorizadas com necessidade de reabilitação superficial (80% da extensão total). Foram realizados ensaios laboratoriais, realização de DPSH (compacidade das camadas de fundação), ensaios com Dilatómetro de Marchetti (DMT), ensaios de carga em placa e uma campanha de Georadar (2D e 3D). Foram recolhidas amostras.

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

1. PERCURSO DE AVALIAÇÃO

AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?

NÃO

A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?

SIM

EXISTE CONTAMINAÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO?

SIM

VERIFICA-SE A PRESENÇA DE ÁGUA OU MARCAS DE ENCHARCAMENTO?

NÃO

2. SOLUÇÕES

SOLUÇÃO 11  
REALIZAR CAMPANHA DE DESGUARNECIMENTO MECÂNICO DE BALASTRO

SOLUÇÃO 10  
REALIZAR CAMPANHA DE BALASTRAGEM E ATAQUE MECÂNICO PESADO



3. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

VALORES ENTRE 100€/m E 500€/m - \$\$

4. TEMPO DE EXECUÇÃO

COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA:  
- ENTRE 4 A 8 HORAS - 000 (SUSPENSÃO DE CIRCULAÇÃO S/TRANSBORDO)

5. JUSTIFICATIVO PARA A INTERVENÇÃO

APÓS MONITORIZAÇÃO 80% DA VIA APRESENTAVA CONDIÇÕES DE SUPORTE ÀS NECESSIDADES SENDO NECESSÁRIA APENAS UMA INTERVENÇÃO A NÍVEL DA CAMADA DE BALASTRO. COM ZONAS CONTAMINADAS E OUTRAS NÃO CONTAMINADAS O DESGUARNECIMENTO DO BALASTRO TERIA DE SER IMPLEMENTADO COM UM LEVANTAMENTO RIGOROSO GARANTINDO QUE O MESMO APENAS SE REALIZE NAS ZONAS QUE DELE NECESSITAM IMPEDINDO O AUMENTO DE CUSTOS QUE ESTE TIPO DE INTERVENÇÃO ARRASTA NOMEADAMENTE NO QUE DIZ RESPEITO AOS EQUIPAMENTOS PESADOS. O ATAQUE E BALASTRAGEM SERÁ O SUFICIENTE PARA GARANTIR A REABILITAÇÃO DO RESTO DO TROÇO TAL COMO VIABILIZADO PELA INTERVENÇÃO PROPOSTA.

Responsável pela inspeção: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

		Sim/ Não	Caminho	MODO DE CORRECÇÃO	ONEROSIDADE	CONSTRANGIMENTOS TEMPORAIS	OPÇÃO DE RISCO MODERADO
P 01	AS DEFICIÊNCIAS DETECTADAS SÃO DE PEQUENA DIMENSÃO, EM ZONAS LOCALIZADAS?	NÃO	Resposta # P 03				
P 02							
P 03	A ZONA AFETADA É SUPERFICIAL E RESTRINGE-SE À CAMADA DE BALASTRO?	SI	Resposta # P 05				
P 04							
P 05							
P 06	EXISTE CONTAMINAÇÃO DA CAMADA DE BALASTRO?	SI	Resposta # P 09				
P 07							
P 08							
P 09	VERIFICA-SE A PRESENÇA DE ÁGUA OU MARCAS DE ENCHANCAMENTO?	NÃO	SOLUÇÃO 11	REALIZAR CAMPANHA DE DESGUARNECIMENTO MECÂNICO DE BALASTRO. (VER TAMBÉM OUTRAS CONSIDERAÇÕES)	VALORES ENTRE 100€/m E 200€/m - \$5	COM NECESSIDADE DE INTERDIÇÃO DE VIA TEMPORÁRIA - ENTRE 48 HORAS - 000 (SUSPENSÃO DE CIRCULAÇÃO S/TRANSPORTO)	
P 10							
P 11							
P 12							
P 13							
P 14							
P 15							
P 16							
P 17							
OUTRAS CONSIDERAÇÕES							
(NOTA: EQUACIONAR TAMBÉM COMO PARTE DA SOLUÇÃO UMA CAMPANHA DE BALASTRAGEM + ATAQUE PESADO)							

