

INFLUÊNCIA DA SUBSTRUTURA NA EVOLUÇÃO DA DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DA VIA- FÉRREA

JOÃO CARLOS FERREIRA CERDEIRAL

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM GEOTECNIA



Orientador: Professor Doutor Eduardo Manuel Cabrita Fortunato

JULHO DE 2014

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2013/2014

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2013/2014 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Ao meu Pai

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Professor Eduardo Fortunato pela disponibilidade, aconselhamento e ajuda prestados.

Agradeço ao Engenheiro André Paixão, igualmente pela constante disponibilidade, empenho e por toda a ajuda prestada com o *Matlab*, fundamental para a realização deste trabalho.

À REFER, por disponibilizar os dados referentes à Variante de Alcácer, permitindo desta forma um estudo mais aprofundado sobre o tema .

Aos meus amigos de sempre que já há muito me acompanham e que me apoiaram sempre que precisei e aos meus amigos da turma 2 que, na sua maioria, foram uma agradável surpresa.

Aos meus irmãos e cunhadas, irmã e cunhado, por todo o apoio que sempre me deram e por acreditarem em mim e sempre me apoiaram.

A ti, por tudo.

Por último, à minha mãe, pelo amor e compreensão que demonstrou ao longo desta fase, por sempre acreditar em mim e nas minhas capacidades e, sobretudo, pelos valores e ensinamentos que, juntamente com o meu pai, sempre me transmitiu ao longo da minha vida.

RESUMO

A degradação da qualidade geométrica da via-férrea é um fator muito importante na consideração da viabilidade da mesma. Assim, é necessário que a análise da via-férrea seja feita correta e antecipadamente de modo a evitar problemas acrescidos.

No desenvolvimento desta tese é feito um estudo de uma linha férrea balastrada recentemente construída em Portugal, designada por Variante de Alcácer, com o intuito de encontrar uma relação entre as características da sua subestrutura e a degradação da qualidade geométrica medida ao nível dos carris. Nesta pesquisa são analisados os dados recolhidos pelo Veículo de Inspeção da Via (VIV) *EM120* e é determinada, em relação ao perfil longitudinal da via, a localização de especificidades quer da superestrutura, como por exemplo juntas de dilatação, quer da subestrutura, nomeadamente, as zonas de transição entre terraplenagens e pontes, viadutos, passagens hidráulicas e passagens de fauna.

É feita uma análise pormenorizada dos parâmetros geométricos da via, e da sua evolução no tempo, tendo em conta as tolerâncias admitidas, e a existência das singularidades referidas anteriormente.

No final são apresentadas as principais conclusões obtidas na análise efetuada.

PALAVRAS-CHAVE: Subestrutura da via-férrea; parâmetros geométricos da via-férrea; degradação da geometria da via-férrea.

ABSTRACT

The degradation of the geometric quality of the railroad is a very important factor when considering its feasibility. Thus, it is necessary that the analysis of the railroad is made correctly and in advance to avoid more substantial issues.

Throughout this thesis a study about a ballasted railway line recently built in Portugal, named Variante de Alcácer, is carried out in order to find a relationship between its substructure's characteristics and the degradation of the geometric quality measured on the rails. In this research, data gathered by the Track Inspection Vehicle (*TIV*) *EM120* are analyzed and the location of the superstructure specificities, like expansion joints, as well of the substructure, including the transition zones between embankments and bridges, culverts and wildlife crossings, is determined in relation to the longitudinal profile of the track.

A thorough analysis of the geometrical parameters of the track and its evolution in time is made, considering the allowed tolerances, and the existence of the afore mentioned singularities.

At the end, the main conclusions obtained from the analysis carried out are presented.

KEYWORDS: Substructure of the railroad; railroad's geometric parameters; degradation of the railroad's geometry.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	2
2. VIA FÉRREA BALASTRADA	5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. ESTRUTURA DA VIA.....	5
2.2.1. CARRIS	6
2.2.2. ELEMENTOS DE LIGAÇÃO	7
2.2.3. TRAVESSAS.....	7
2.2.4. BALASTRO	8
2.2.5. SUB-BALASTRO	9
2.3. FUNDAÇÃO DA VIA	10
2.4. ZONAS DE TRANSIÇÃO	11
2.4.1. A PROBLEMÁTICA DAS ZONAS DE TRANSIÇÃO	11
2.4.2. SOLUÇÕES PARA AS ZONAS DE TRANSIÇÃO	12
2.4.2.1. Aterro em cunha.....	12
2.4.2.2. Lajes de transição	12
2.4.2.3. Aplicação de material betuminoso ou calda de cimento.....	13
2.4.2.4. Utilização de material resiliente.....	13
2.4.2.5. Intervenção ao nível das travessas.....	13
2.4.2.6. Reforço com geossintéticos.....	14
3. QUALIDADE GEOMÉTRICA DA VIA FÉRREA	15
3.1. PARÂMETROS AVALIADOS.....	15
3.1.1. BITOLA.....	15

3.1.2.	NIVELAMENTO TRANSVERSAL.....	16
3.1.3.	NIVELAMENTO LONGITUDINAL.....	16
3.1.4.	ALINHAMENTO.....	17
3.1.5.	EMPENO	18
3.2.	TOLERÂNCIAS DE ALARME	18
3.2.1.	TOLERÂNCIA DE ALERTA	19
3.2.2.	TOLERÂNCIA DE INTERVENÇÃO	20
3.2.3.	TOLERÂNCIA DE AÇÃO IMEDIATA	20
3.3.	VEÍCULO DE INSPEÇÃO DA VIA – EM120.....	21

4. VARIANTE DE ALCÁCER: CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO GEOMÉTRICA.....

23

4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA VARIANTE DE ALCÁCER	23
4.2.	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DO TROÇO EM ESTUDO.....	25
4.2.1.	VERIFICAÇÃO DAS TOLERÂNCIAS	26
4.2.1.1.	Nivelamento Longitudinal D1 ($3 < \lambda < 25$ m).....	26
4.2.1.2.	Nivelamento Longitudinal D2 ($25 < \lambda < 70$ m).....	27
4.2.1.3.	Alinhamento D1 ($3 < \lambda < 25$ m).....	27
4.2.1.4.	Alinhamento D2 ($25 < \lambda < 70$ m).....	28
4.2.1.5.	Empeno (base 3m)	29
4.2.1.6.	Bitola e Bitola Média	29
4.2.2.	INFLUÊNCIA DA SUPERESTRUTURA E DA SUBESTRUTURA.....	30
4.2.2.1.	Nivelamento longitudinal	31
4.2.2.2.	Alinhamento.....	34
4.2.2.3.	Empeno de base 3m.....	34
4.2.2.4.	Bitola	34
4.2.3.	EVOLUÇÃO DA DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DA VIA-FÉRREA	37
4.2.3.1.	Nivelamento longitudinal	37
4.2.3.2.	Alinhamento.....	40
4.2.3.3.	Empeno com base de 3m.....	42
4.2.3.4.	Bitola	44

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
5.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES	47
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	48
BIBLIOGRAFIA	49
ANEXOS	53
ANEXO I Desvio padrão dos parâmetros geométricos	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquema estrutural da via balastrada: a) perfil longitudinal; b) perfil transversal (Fortunato, 2005).....	6
Figura 2.2 - Tipos de travessas de betão: a) travessa bibloco; b) travessa monobloco (Vale, 2010)....	8
Figura 2.3 - Aspetos que causam maiores taxas de degradação em zonas de transição (Fortunato et al, 2013).....	12
Figura 3.1 - Bitola pontual (IT.VIA.018, 2009).....	16
Figura 3.2 - Nivelamento transversal (IT.VIA.018, 2009).....	16
Figura 3.3 - Nivelamento longitudinal (IT.VIA.018, 2009).....	17
Figura 3.4 – Alinhamento (IT.VIA.018, 2009).....	17
Figura 3.5 – Empeno (IT.VIA.018, 2009).....	18
Figura 3.6 - VIV EM120 (Fortunato, 2005).....	21
Figura 4.1 - Esquema elucidativo do traçado da Variante de Alcácer (REFER, 2009b).....	24
Figura 4.2 - Nivelamento Longitudinal D1 Esquerdo.....	26
Figura 4.3 - Nivelamento Longitudinal D1 Direito.....	26
Figura 4.4 - Nivelamento Longitudinal D2 Esquerdo.....	27
Figura 4.5 - Nivelamento Longitudinal D2 Direito.....	27
Figura 4.6 - Alinhamento D1 Esquerdo.....	28
Figura 4.7 - Alinhamento D1 Direito.....	28
Figura 4.8 - Alinhamento D2 Esquerdo.....	28
Figura 4.9 - Alinhamento D2 Direito.....	29
Figura 4.10 - Empeno (base 3m).....	29
Figura 4.11 - Bitola.....	30
Figura 4.12 - Bitola Média.....	30
Figura 4.13 - Exemplo dos blocos técnicos: a) tipo 1; b) tipo 2 (Fortunato e Paixão, 2014).....	31
Figura 4.14 - Relação entre o desvio padrão do nivelamento longitudinal D1 esquerdo (em troços de 200m) e a localização das obras de arte e juntas de dilatação da via.....	33
Figura 4.15 - Relação entre o desvio padrão do nivelamento longitudinal D2 esquerdo (em troços de 200m) e a localização das obras de arte e juntas de dilatação da via.....	33
Figura 4.16 - Relação entre o desvio padrão do alinhamento D1 esquerdo (em troços de 200m) e a localização das obras de arte e juntas de dilatação da via.....	35
Figura 4.17 - Relação entre o desvio padrão do alinhamento D2 esquerdo (em troços de 200m) e a localização das obras de arte e juntas de dilatação da via.....	35

Figura 4.18 - Relação entre o desvio padrão do empeno com base de 3m (em troços de 200m) e a localização das obras de arte e juntas de dilatação da via	36
Figura 4.19 - Relação entre o desvio padrão da bitola (em troços de 200m) e a localização das obras de arte e juntas de dilatação da via	36
Figura 4.20 - Evolução do desvio padrão (em troços de 200m) do nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo ao longo do tempo	37
Figura 4.21 - Evolução do desvio padrão do nivelamento longitudinal ao longo do tempo entre o Pk 84.545m e o Pk 84.745m.....	38
Figura 4.22 - Evolução do desvio padrão do nivelamento longitudinal ao longo do tempo entre o Pk 66.345m e o Pk 66.545m.....	39
Figura 4.23 - Evolução do desvio padrão do nivelamento longitudinal ao longo do tempo entre o Pk 84.745m e o Pk 84.945m.....	39
Figura 4.24 - Evolução do desvio padrão (em troços de 200m) do alinhamento D1 do carril esquerdo ao longo do tempo	40
Figura 4.25 - Evolução do desvio padrão do alinhamento ao longo do tempo entre o Pk 84.745m e o Pk 84.945m.....	40
Figura 4.26 - Evolução do desvio padrão do alinhamento ao longo do tempo entre o Pk 71.345m e o Pk 71.545m.....	41
Figura 4.27 - Evolução do desvio padrão do alinhamento ao longo do tempo entre o Pk 84.545m e o Pk 84.745m.....	41
Figura 4.28 - Evolução do desvio padrão (em troços de 200m) do empeno com base de 3m ao longo do tempo	42
Figura 4.29 - Evolução do desvio padrão do empeno de base 3m ao longo do tempo entre o Pk 80.145m e o Pk 80.345m.....	43
Figura 4.30 - Evolução do desvio padrão do empeno de base 3m ao longo do tempo entre o Pk 69.945m e o Pk 70.145m.....	43
Figura 4.31 - Evolução do desvio padrão do empeno de base 3m ao longo do tempo entre o Pk 66.345m e o Pk 66.545m.....	44
Figura 4.32 - Evolução do desvio padrão (em troços de 200m) da bitola ao longo do tempo.....	44
Figura 4.33 - Evolução do desvio padrão da bitola ao longo do tempo entre o Pk 71.745m e o Pk 71.945m	45
Figura 4.34 - Evolução do desvio padrão da bitola ao longo do tempo entre o Pk 73.345m e o Pk 73.545m	45
Figura 4.35 - Evolução do desvio padrão da bitola ao longo do tempo entre o Pk 67.145m e o Pk 67.345m	46

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Classe da capacidade de carga da plataforma (UIC719R, 1994, adaptado)	10
Quadro 3.1 - Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668mm e 1435mm – Alerta (IT.VIA.018, 2009).....	19
Quadro 3.2 - Tolerâncias do desvio padrão para linhas de bitola 1668mm e 1435mm – Alerta (IT.VIA.018, 2009)	20
Quadro 3.3 - Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668mm e 1435mm – Intervenção (IT.VIA.018, 2009)	20
Quadro 3.4 - Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668mm e 1435mm – Ação Imediata (IT.VIA.018, 2009)	21
Quadro I.1 - Desvio padrão do nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo	57
Quadro I.2 - Desvio padrão do alinhamento D1 do carril esquerdo (mm)	64
Quadro I.3 - Desvio padrão do empeno com 3m de base (mm).....	71
Quadro I.4 - Desvio padrão da bitola (mm).....	78

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

λ – comprimento de onda

σ – desvio padrão

EN – Estrada Nacional

GPS – Global Positioning System

HMA – Hot Mix Asphalt

HDPE – High Density Polyethylene (Polietileno de Alta Densidade Reciclado)

IC – Itinerário Complementar

IMU – Inertial Measuring Unit

Matlab – Matrix Laboratory

NP – Norma Portuguesa

OGMS – Optical Gage Measuring System

REFER – Rede Ferroviária Nacional

UIC – Union International de Chemin de fer

A – Alinhamento

B - Bitola

BT – Bloco Técnico

D1 – Gama de comprimentos de onda entre 3 e 25 m

D2 – Gama de comprimentos de onda entre 25 e 70 m

E3m – Empeno de base 3 m

n. a. – não aplicável

NL – Nivelamento Longitudinal

Pk – Ponto quilométrico

QS – Qualidade do Solo

TVI – Track Inspection Vehicle

V – Velocidade

VIV – Veículo de Inspeção da Via

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Considerado como um dos principais símbolos da revolução industrial do século XIX, o caminho-de-ferro teve grande influência no desenvolvimento da sociedade até os dias de hoje. Inicialmente o comboio era utilizado como meio de transporte de mercadorias, tornando-se num meio muito eficaz e rentável, uma vez que era capaz de transportar grandes quantidades de mercadoria a custos relativamente reduzidos.

Mais tarde, foram feitas melhorias e adaptações de modo a servir como meio de transporte de passageiros. Assim, com o passar do tempo, os cuidados com o caminho-de-ferro tiveram de ter especial atenção, pois, de modo não perder competitividade com o surgimento dos meios aéreos, era necessário ir de encontro às necessidades e exigências dos passageiros. Para isso, cada vez mais se procurou encurtar o tempo de transporte, aumentando a velocidade praticada, quer através da melhoria da infraestrutura quer da utilização de material circulante mais rápido. Outro fator muito importante era oferecer comodidade aos passageiros durante as deslocações.

Como todas as obras de engenharia, também a via-férrea sofre degradação ao longo do tempo e, sem os cuidados necessários, esta degradação pode inviabilizar o funcionamento da mesma. Para isso é necessário fazer uma avaliação ao longo do tempo de modo a observar a evolução da degradação e a agir em tempo útil. A avaliação é por isso muito importante, pois, se os problemas forem detetados com antecedência, o custo de reparação pode ser significativamente menor. Assim, com o passar dos anos houve também uma procura pela melhoria dos métodos de inspeção da via-férrea de modo a analisar mais eficazmente a degradação da mesma.

A reparação da via-férrea é maioritariamente feita tendo em conta apenas a superestrutura, ou seja, quando aparece um problema na via, geralmente este é corrigido a nível do armamento da via (carril, travessa e fixações) ou da camada de balastro. Contudo, com o passar dos tempos, também a subestrutura pode ter que ser intervencionada, de modo a aumentar a qualidade da via-férrea. Deste modo, no surgimento de um problema, é necessário perceber se este ocorre apenas a nível da superestrutura ou também da subestrutura. Se ocorrer por deficiências na subestrutura, a sua correção através de ações na superestrutura não resolverá esse mesmo problema e ele voltará a surgir com o passar do tempo e implicará novas reparações. Esta análise é muito importante, pois a reparação da subestrutura tem custo muito elevado e só deve ser feita em caso estritamente necessário.

A análise conjunta do valor dos parâmetros geométricos ao longo do traçado e da sua evolução com o tempo bem como das características da via, em particular no que se refere à existência de

singularidades, deverá permitir tomar decisões relativas às ações de manutenção e reabilitação a levar a cabo.

1.2. OBJETIVOS

Como foi referido anteriormente, de modo a tornar o comboio um meio de transporte mais competitivo, é necessário reduzir os tempos de percurso e aumentar a satisfação dos passageiros, em particular no que se refere à comodidade. Deste modo, é preciso manter uma adequada geometria da via e efetuar reparações de irregularidades que possam surgir.

Esta dissertação tem como objetivo mostrar que as características da subestrutura da via-férrea influenciam a evolução da degradação da qualidade geométrica da mesma.

Para isso será analisada a Variante de Alcácer, uma vez que é uma via-férrea construída recentemente e são muitos os dados disponíveis para se proceder a esta avaliação.

Através dos dados recolhidos pelo Veículo de Inspeção da Via (VIV) EM120 serão analisados os principais parâmetros geométricos da via-férrea, e através do perfil longitudinal da via será recolhida informação referente a especificidades que ocorrem ao longo da mesma, tais como, zonas de transição para: pontes, viadutos, passagens hidráulicas e passagens de fauna.

Com estes dados será produzida informação para se tentar perceber se as características da subestrutura influenciam ou não a degradação da via e a sua evolução no tempo.

Além das singularidades da subestrutura, também se terá em conta especificidades da superestrutura, como as juntas de dilatação dos carris, de modo a complementar esta análise.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação está dividida em 5 capítulos e está orientada segundo os objetivos atrás referidos.

Neste primeiro capítulo, *Introdução*, é feito um enquadramento do tema em questão, são referidos os objetivos que se pretende atingir e a forma como o trabalho se organiza.

No capítulo 2, *Via-férrea balastrada*, é feita uma descrição da mesma, uma vez que é este tipo de via que vai ser estudado, caracterizando-se especificamente a superestrutura, a subestrutura e a fundação. É dada especial atenção às zonas de transição, aterro – obra de arte, uma vez que é nestas zonas onde, muitas vezes, surgem irregularidades na via.

No capítulo 3, *Qualidade geométrica da via-férrea*, são descritos pormenorizadamente os parâmetros geométricos analisados: bitola, nivelamento transversal, nivelamento longitudinal, alinhamento e empeno. São também referidas as tolerâncias que estes parâmetros devem cumprir, segundo o documento IT.VIA.018 (2009) emitido pela REFER. Por último, é descrito o funcionamento do Veículo de Inspeção da Via (VIV) EM120, uma vez que é este veículo que inspeciona a via-férrea portuguesa e fornece os dados que fazem parte da análise deste trabalho.

No capítulo 4, *Variante de Alcácer: caracterização e avaliação da qualidade geométrica*, inicialmente é descrito o caso de estudo, a Variante de Alcácer. De seguida é feita a análise dos parâmetros geométricos da via-férrea verificando se estes cumprem as tolerâncias exigidas. Depois desta verificação é analisada a influência que as características da superestrutura e da subestrutura possam ter na degradação da via-férrea. Finalmente é estudada a evolução da degradação da

qualidade geométrica da via-férrea e também é feita uma análise procurando encontrar alguma relação entre as especificidades da subestrutura e esta evolução.

Finalmente, no capítulo 5, *Considerações finais*, é feita uma análise geral dos resultados obtidos no capítulo anterior e é feita uma conclusão final. São também descritas algumas sugestões para desenvolvimentos futuros.

2

VIA FÉRREA BALASTRADA

2.1. INTRODUÇÃO

A via férrea balastrada consiste basicamente numa estrutura plana composta por carris e travessas que se encontram apoiados numa camada de balastro. O balastro repousa sobre uma camada de sub-balastro que forma a camada de transição para a fundação. Os carris e as travessas são ligados por elementos de ligação. Estes componentes e outras estruturas, tais como aparelhos de mudança da via, são considerados como parte da via férrea.

Desde o começo, a estrutura da via balastrada não teve uma mudança substancial. Contudo, foram efetuados vários desenvolvimentos após a Segunda Guerra mundial, tais como: introdução do carril soldado; o uso de travessas de betão; perfis ferroviários mais pesados; elementos de ligação inovadores; mecanização da manutenção; introdução de equipamentos de medição avançados e sistemas de gestão de manutenção (Esveld, 2001). Mais tarde, na década de setenta, aquando da introdução da alta velocidade na Europa, este tipo de via balastrada com estrutura mais clássica foi caracterizado como sendo a melhor solução, pois oferece um dos melhores compromissos entre rigidez e amortecimento (Fortunato, 2005).

2.2. ESTRUTURA DA VIA

Na Figura 2.1 é apresentado um esquema dos componentes de uma via férrea balastrada, que se encontra dividida entres duas grandes categorias: a superestrutura e a subestrutura. No seguimento deste trabalho a superestrutura é constituída pelos carris, pelos elementos de ligação e pelas travessas. A subestrutura é constituída pelo balastro, pelo sub-balastro e pela fundação.

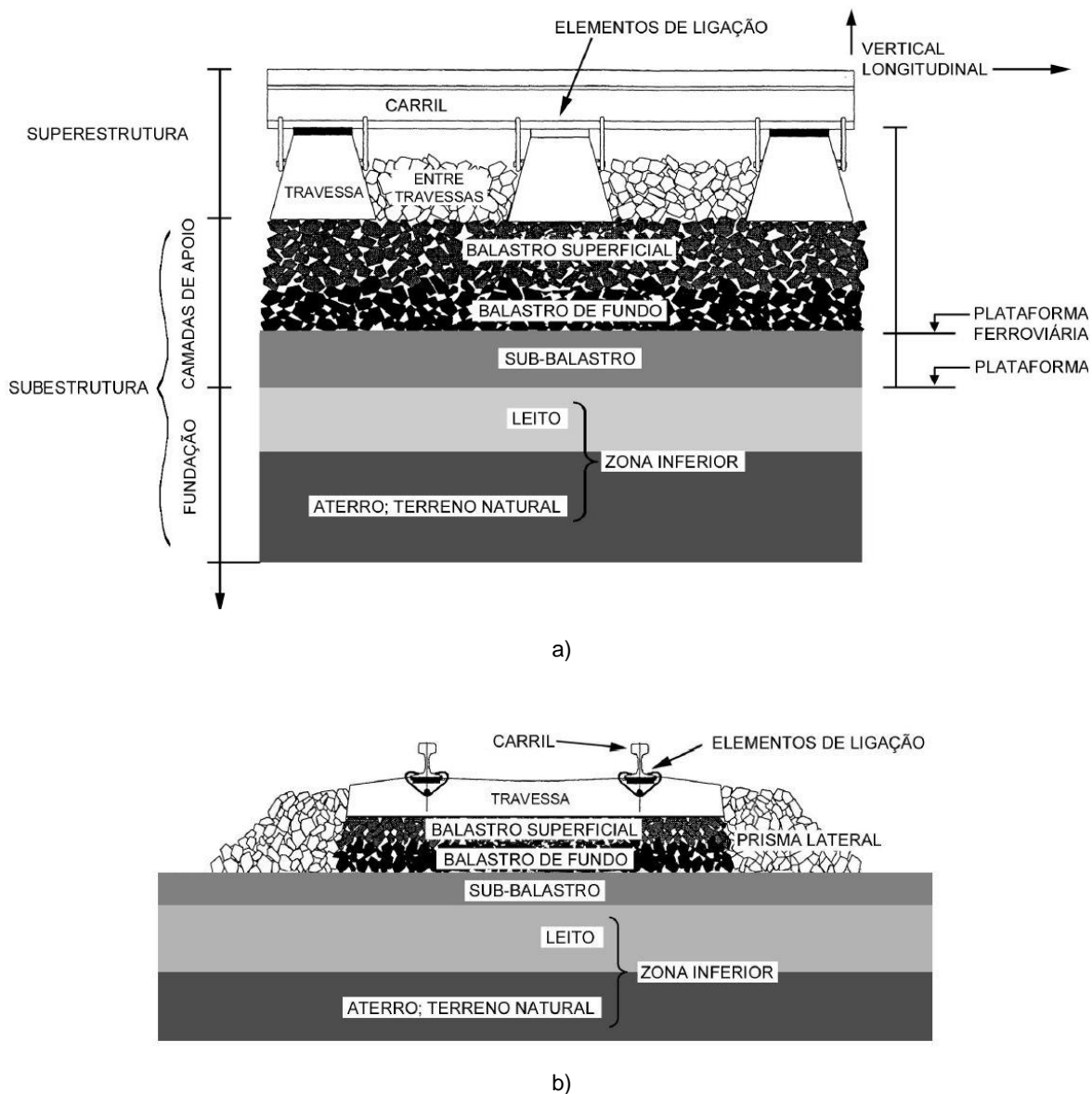


Figura 2.1 - Esquema estrutural da via balastrada: a) perfil longitudinal; b) perfil transversal (Fortunato, 2005)

De seguida serão descritos, pormenorizadamente, os elementos constituintes deste tipo de via.

2.2.1. CARRIS

Os carris têm como funções suportar e transferir as cargas concentradas das rodas para as travessas e impor direção, no plano, às rodas dos comboios. É também importante que tenham rigidez necessária para que as cargas que se transferem das rodas para as travessas não provoquem flexão excessiva (Fortunato, 2005).

Os materiais que constituem os carris, a sua inércia à flexão, as características das juntas, ou a sua ausência, assim como as solicitações a que estes estão sujeitos, são importantes no que se refere a todos os elementos da via (Fortunato, 2005). Assim sendo, os carris devem oferecer resistência à

flexão quer na direção vertical, quer na horizontal, e oferecer também resistência à compressão na direção longitudinal (Vale, 2010).

Quanto ao carril sem juntas ou carril de *barra longa*, há a referir que este tipo de carril apresenta vantagens em relação ao carril com juntas, como, por exemplo: i) menor deterioração dos componentes da via, o que implica maior intervalo de tempo entre as operações de manutenção e conservação; ii) menor geração de ruído e vibrações; iii) menor oscilação dos comboios (Fortunato, 2005). Como desvantagem, o carril de *barra longa* está sujeito a elevados esforços internos provenientes de variações de temperatura.

2.2.2. ELEMENTOS DE LIGAÇÃO

Os elementos de ligação têm como função estabelecer o apoio dos carris (palmilhas) e a fixação dos mesmos às travessas (elementos de fixação), oferecendo resistência aos esforços provocados pelas ações verticais, laterais, longitudinais e de torção (transmitidas pelas rodas), e aos esforços originados pelas variações de temperatura dos carris. Devem também minimizar as tensões e as vibrações que são provocadas pelas cargas dinâmicas.

É de salientar que o tipo de ligação depende do tipo de travessa da via. Tratando-se de travessas de madeira são aplicados apoios metálicos, de modo a assegurarem as tensões admissíveis e a protegerem a madeira face ao desgaste mecânico. Nas travessas de betão são aplicados elementos que sejam capazes de amortecer as vibrações provocadas pelas rodas de modo a reduzir o atrito entre o carril e a travessa e também promover o isolamento elétrico dos circuitos da via (Fortunato, 2005).

2.2.3. TRAVESSAS

As travessas são elementos da via colocados entre os carris e o balastro e têm como funções: i) receber e distribuir as cargas dos carris para a camada de balastro com níveis de tensão aceitáveis; ii) suportar o sistema de fixação dos carris; iii) impedir movimentos verticais, laterais e longitudinais dos carris; iv) preservar a bitola e a inclinação do carril dentro dos limites definidos; v) garantir isolamento elétrico entre os dois carris da via (Fortunato, 2005, Vale, 2010).

No passado as travessas eram construídas em madeira, material que ainda hoje é usado em diversas situações. Contudo, devido ao seu custo elevado, vida curta e baixa resistência lateral o seu uso na Europa está particularmente limitado às situações em que as travessas de betão não são adequadas.

As travessas de betão começaram a ser utilizadas no século XIX, mas foi após a 2ª Guerra Mundial que tiveram um aumento de utilização mais expressivo, sendo estas de betão armado pré-esforçado. Estas travessas dividem-se em dois grandes grupos: travessas bibloco (betão armado) e travessas monobloco (betão pré-esforçado), como se indica a Figura 2.2.

A travessa bibloco tem como vantagem relativamente à travessa de monobloco o facto de permitir mobilizar maior resistência lateral na interação com o balastro, pois existe um maior número e superfícies de contacto entre a travessa e o balastro. Contudo a travessa monobloco é menos suscetível à fenilhação, dado ser pré-esforçada (Vale, 2010). Também é importante referir que esta garante uma melhor drenagem das águas pluviais comparativamente com a travessa bibloco (Vale, 2010).

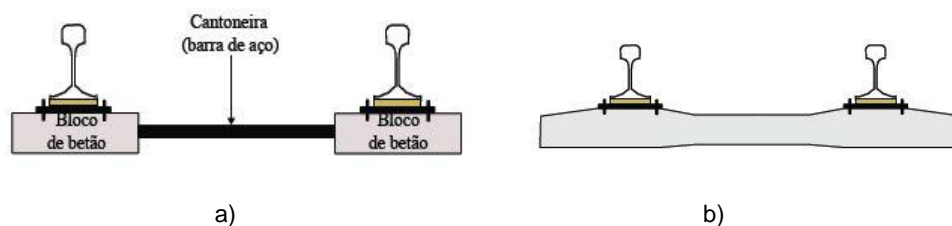


Figura 2.2 - Tipos de travessas de betão: a) travessa bibloco; b) travessa monobloco (Vale, 2010)

Relativamente às dimensões, é possível observar que têm aumentado ao longo do tempo, implicando deste modo uma diminuição da tensão aplicada ao balastro e num aumento da estabilidade da via lateral (Fortunato, 2005).

2.2.4. BALASTRO

A camada de balastro desempenha um papel importante na estabilidade da via. Influencia quer a estabilidade vertical, quer as estabilidades lateral e longitudinal da via, através do atrito entre as partículas de balastro e as superfícies de contacto das travessas e do imbricamento entre as partículas de balastro (Fortunato, 2005).

A camada de balastro tem como principais funções: i) servir de apoio às travessas; ii) resistir às ações verticais, laterais e longitudinais aplicadas às travessas, de modo a manter o correto alinhamento da via; iii) promover a absorção de vibrações; iv) permitir o escoamento de material poluente proveniente do material circulante; v) facilitar as operações de conservação relacionadas com o nivelamento e o alinhamento da via, devido à possibilidade de arranjo das partículas de balastro; vi) permitir o escoamento das águas da chuva que caem na via; vii) evitar o aparecimento de vegetação; viii) minimizar os efeitos das ações climáticas sobre as camadas subjacentes; ix) reduzir a tensão transmitida pelas travessas às camadas subjacentes e fazer essa transferência da forma mais uniforme possível (Fortunato, 2005).

Na Figura 2.1, anteriormente apresentada, mostra-se que na camada de balastro estão diferenciadas quatro zonas: i) balastro entre travessas; ii) prisma lateral; iii) balastro superficial sujeito às ações mecânicas de conservação; 4) balastro de fundo, ou seja, localizado a profundidade superior (Fortunato, 2005).

O volume e as características do tráfego, e o tipo e a frequência das intervenções de conservação, de reabilitação e de renovação do balastro (normalmente 15 a 20 anos), têm um papel fundamental na evolução do estado físico das partículas de balastro (Selig *et al*, 1982).

As características mecânicas (resistência e deformabilidade) e hidráulicas (permeabilidade) condicionam o comportamento da camada de balastro, sendo que estas características se devem manter, tanto quanto possível, no tempo. Essas características dependem, entre outros fatores, da espessura e da compactidade da camada e das características das partículas (forma, dureza, dimensões, etc.).

O uso de material de balastro de elevada qualidade evita o seu desgaste, o que evita também o desgaste das travessas, provocado pela lama abrasiva formada por partículas resultantes do desgaste do balastro e água.

Segundo a Norma Europeia (NP-EN13450, 2005) o balastro é classificado consoante a granulometria, a forma de partículas, a resistência à fragmentação, a resistência ao desgaste por atrito (Micro-Deval) e a durabilidade, apresentando ainda indicações relativas à avaliação da sua conformidade e à marcação e etiquetagem dos materiais (Vale, 2010). EM Portugal, a REFER, por seu lado, distingue este material em: Tipo I, balastros para sistemas ferroviários de alta velocidade e velocidade alta e Tipo II, balastros para rede convencional (Fortunato, 2005).

O balastro tem que ser obtido de rochas duras e sãs, considerando-se rocha dura e sã aquela que revela elevada resistência à fragmentação e ao desgaste. Adicionalmente, as rochas têm de possuir resistência à ação dos agentes atmosféricos. A título exemplificativo, podem fazer parte constituinte do balastro rochas graníticas, gabros, dioritos, doleritos, basaltos e quartzitos, sendo que quaisquer calcários (mesmo siliciosos, sub-cristalinos ou cristalinos) consideram-se interditos no fabrico deste produto (Ferreira, 2010).

Aumentando a espessura do balastro contribui-se para a redução da tensão na plataforma. Contudo, podem surgir alguns problemas relacionados com a homogeneidade da via, especialmente a compacidade, que varia de forma significativa.

Atualmente é possível atingir elevados valores de compacidade e estes valores tendem a aumentar ao longo do tempo devido à circulação dos comboios. De facto, ao longo do tempo há uma variação da granulometria do material da camada de balastro, provocada por: i) esmagamento causado por ações mecânicas durante as obras de construção, de conservação e de reabilitação, e pela circulação dos comboios; ii) desgaste provocado por ações físicas e químicas associadas ao meio ambiente; iii) migração de partículas finas, quer das que se depositam na via, quer das que ascendem da fundação. Com estas alterações a camada de balastro pode não responder corretamente às suas funções pois, estes fenómenos conduzem à contaminação do balastro com material mais fino, o que leva à sua colmatação e, conseqüentemente, à perda das suas características, como a resiliência e a permeabilidade (Fortunato, 2005).

2.2.5. SUB-BALASTRO

A camada de sub-balastro é uma camada interposta entre a camada de balastro, constituída por partículas de boa qualidade, e a fundação, cujo material é de menor qualidade. A camada de sub-balastro tem como funções principais: i) proteger a plataforma; ii) reduzir o nível de tensão na fundação; iii) separar o balastro da fundação, evitando quer a interpenetração, quer a migração do material fino, quer o desgaste da fundação pela ação mecânica do balastro; iv) funcionar como elemento drenante e filtrante da plataforma (Fortunato, 2005, Vale, 2010).

Habitualmente, esta camada é constituída por um material granular, mas, em casos especiais, pode ser constituída por uma base de betão pobre. As vantagens do emprego deste material sob a camada de balastro são a proteção da fundação e a melhor distribuição da carga à fundação. No entanto, são várias as desvantagens, que não podem ser ignoradas, tais como: i) possível fendilhação da camada de betão; ii) existência de fenómenos de bombagem de finos; iii) solução pouco económica (UIC719R, 1994).

Em construções novas, o sub-balastro pode ter uma ou diversas camadas, se tal for necessário ou mais económico, pois, à partida, não deverão existir limitações geométricas relacionadas com a altimetria da rasante da via, ao contrário do que acontece muitas vezes nas vias antigas que se pretendem renovar.

Em suma, é pretendido que o sub-balastro seja pouco deformável (módulo de deformabilidade elevado) e tenha baixa permeabilidade. Para tal, estas características podem ser obtidas utilizando um único material ou um conjunto de materiais com distintas funções. Normalmente utilizam-se materiais naturais bem graduados, areias cascalhentas, compostas em central, materiais naturais britados ou detritos de pedreiras. As partículas devem ter boa resistência ao desgaste e a sua granulometria deve poder proporcionar as funções de filtro e de separação entre o balastro e a fundação (Fortunato, 2005).

2.3. FUNDAÇÃO DA VIA

A fundação tem um papel fundamental na qualidade e desempenho da via, pois esta está sujeita às cargas repetidas dos comboios e contribui significativamente para a deformação reversível e para a deformação permanente e, deste modo, influencia a deterioração dos elementos da superestrutura e do balastro.

A fundação é executada em terreno natural ou em aterro. Normalmente distingue-se duas zonas da fundação: i) a fundação em geral; ii) a camada superficial, designada de leito. Esta tem como funções: i) servir de apoio à superestrutura e às camadas de apoio da via e suportar as tensões impostas pelas cargas repetidas, sem atingir a rotura e sem deformações excessivas (reversíveis e permanentes); ii) manter uma posição estável no tempo, não sendo demasiadamente afetada pelas ações ambientais, como os ciclos de molhagem e secagem associados à pluviosidade; iii) resistir ao atrito e ao desgaste causados pelo balastro e (ou) sub-balastro, fenómenos que tendem a causar a bombagem de finos e consequentes assentamentos; iv) constituir uma adequada superfície para colocação e compactação do sub-balastro (Fortunato, 2005).

A *Ficha UIC719R* (1994) classifica a plataforma das terraplenagens nas classes P1, P2 e P3, correspondentes a plataformas medíocre, média e boa, respetivamente, conforme as características do solo de fundação e dos materiais utilizados na camada de leito Quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Classe da capacidade de carga da plataforma (UIC719R, 1994, adaptado)

Qualidade do solo de fundação	Classe da plataforma	Camada de leito	
		Qualidade do material	Espessura (m)
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0,50
	P2	QS3	0,35
	P3	QS3	0,50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0,35
QS3	P3	QS3	-

Os solos QS1 são solos medíocres; os solos QS2 e QS3 são solos de qualidade média e boa, respetivamente. A qualidade do solo (QSi) depende do tipo de solo, do seu estado hídrico e das condições hidrogeológicas e hidrológicas do local.

2.4. ZONAS DE TRANSIÇÃO

2.4.1. A PROBLEMÁTICA DAS ZONAS DE TRANSIÇÃO

Com o passar dos tempos, cada vez mais o transporte ferroviário passa por ser uma alternativa aos outros meios de transporte e, de modo a tornar este meio mais atrativo, nota-se um investimento intensivo para que se pratiquem maiores velocidades, de modo a ir ao encontro das necessidades dos utilizadores. Contudo, com o aumento da velocidade é necessário ter preocupações acrescidas, pois, para atingir maiores velocidades o traçado das linhas férreas deve ser tão reto quanto possível, o que implica o atravessamento de solos com menor qualidade e, por vezes, a construção de estruturas de grande rigidez: pontes, passagens hidráulicas, passagens de fauna, etc.. As zonas de transição, por exemplo *aterro – obra de arte*, são pontos sensíveis da infraestrutura ferroviária e merecem particular atenção.

Efetuada uma pesquisa bibliográfica, verificou-se que, tradicionalmente, as soluções para as zonas de transição de vias férreas passavam por uma abordagem a nível estrutural ou estritamente geotécnica. Muitos estudos apontam as variações de rigidez que ocorrem nas zonas de transição como a causa principal de degradação registada. O desenvolvimento de assentamentos diferenciais é identificado como uma patologia comum das zonas de transição, contribuindo deste modo para o acelerar do processo de degradação da via. Para além dos assentamentos diferenciais ocorrem ainda nestas zonas de transição outras patologias, sendo muitas vezes consequência dos assentamentos diferenciais, tais como: aparecimento de travessas flutuantes ou partidas, ou a acumulação de águas por drenagem pouco eficiente (Ribeiro, 2012).

A degradação em zonas de transição pode ser causada por diversos fatores e amplificada pela combinação dos mesmos. Os principais aspetos que desencadeiam e aumentam a degradação são (Paixao *et al*, 2013):

- Variação acentuada da rigidez vertical da via (Figura 2.3 a)) – é consequência das diferentes características mecânicas dos materiais da superestrutura ou subestrutura, provocando assentamentos diferenciais. Quando os comboios atravessam estas transições, as cargas dinâmicas são amplificadas, o que pode provocar a degradação localizada na via, danificando os componentes ou esmagando as partículas de balastro e causando assentamentos diferenciais;
- As irregularidades do perfil longitudinal do carril (Figura 2.3 b)) - não são esperados assentamentos significativos nas pontes ou outras estruturas; no entanto, as camadas de solo dos aterros e a sua fundação geralmente sofrem deformações plásticas. Como resultado, aparecem assentamentos diferenciais entre a via, sobre o aterro, e sobre a estrutura, fazendo com que o perfil do carril seja irregular. Esta situação também amplifica as cargas dinâmicas, causando danos adicionais para a via. Este fator pode levar a casos graves de defeitos de geometria da via na aproximação da ponte e, como resultado, podem aparecer travessas sem suporte (ou "travessas suspensas") (Lundqvist e Dahlberg, 2005, Varandas, 2013).

Várias entidades ferroviárias identificaram estes problemas e implementaram medidas construtivas para reduzir as taxas de degradação, suavizando a rigidez das transições e minimizando o desenvolvimento de assentamentos diferenciais. Para melhorar o desempenho das zonas de transição, têm sido construídos aterros, na aproximação à obra de arte, em forma de cunha, com materiais granulares com e sem coesão.

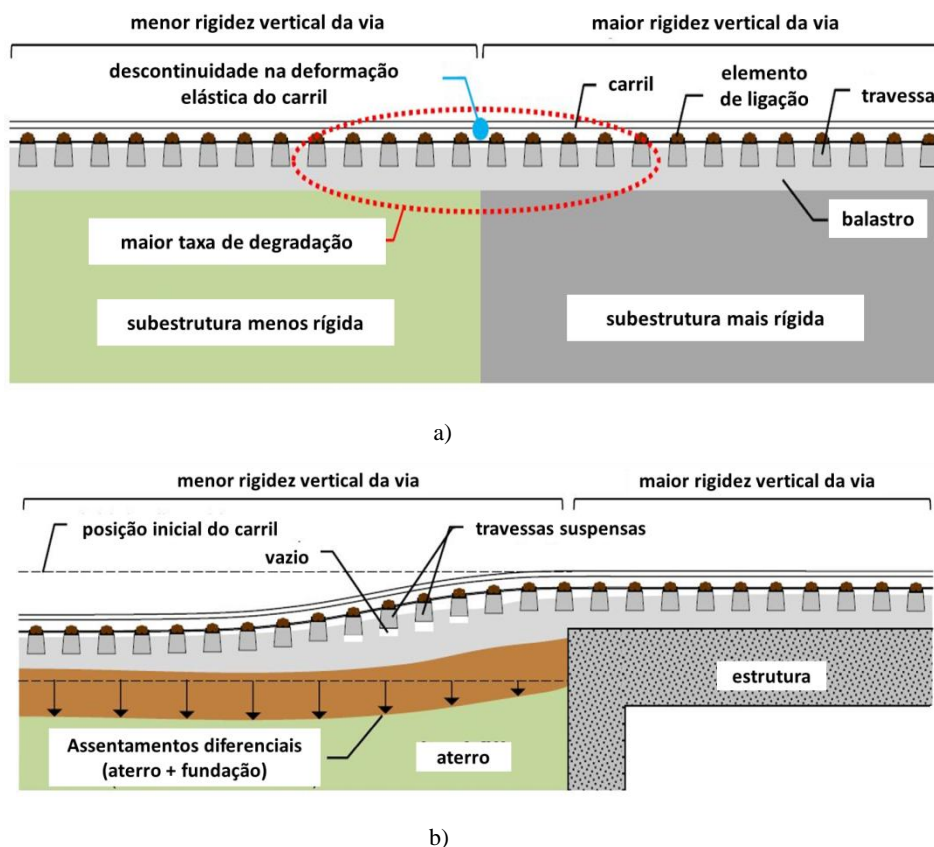


Figura 2.3 - Aspectos que causam maiores taxas de degradação em zonas de transição (Fortunato *et al*, 2013)

2.4.2. SOLUÇÕES PARA AS ZONAS DE TRANSIÇÃO

2.4.2.1. Aterro em cunha

Esta solução é bastante utilizada e consiste na construção de cunhas de transição, de acordo com geometrias específicas, e compreende camadas bem compactadas de materiais granulares selecionados.

Estas cunhas são, geralmente, constituídas por duas partes: uma cunha de material granular tratado com cimento e uma outra cunha do mesmo material não tratado. O material tratado é colocado entre a estrutura rígida e a cunha de material não tratado. Para além do reforço introduzido no material do bloco técnico, é também usual efetuar o reforço das camadas da via na zona de transição. Em algumas soluções prevê-se o tratamento do material de sub-balastro e da camada de leito com cimento ou a incorporação de uma camada adicional reforçada (Ribeiro, 2012).

2.4.2.2. Lajes de transição

A utilização da laje de transição, colocada entre a camada de balastro e de sub-balastro, tem como objetivo garantir o aumento gradual da rigidez desde a zona de aterro até à ponte. Esta solução também é utilizada na transição de uma via balastrada para uma não balastrada, pois, também aqui existe uma variação da rigidez (Read e Li, 2006).

As principais funções desta estrutura consistem em eliminar o espaço que se pode desenvolver entre a estrutura e o aterro, evitar a degradação da camada de balastro, acomodar os assentamentos diferenciais que se desenvolvem entre a estrutura e o aterro e contribuir para uma adequada drenagem das águas evitando que estas se infiltrem no aterro (Ribeiro, 2012).

É muito importante que a compactação do aterro antes da instalação da laje de transição seja feita com rigor, pois deste modo podem ser evitados assentamentos sob a laje.

2.4.2.3. Aplicação de material betuminoso ou calda de cimento

A camada de mistura betuminosa (HMA - Hot Mix Asphalt) é colocada entre o solo e o balastro, permitindo uma melhor degradação das cargas, o que é principalmente utilizado quando a fundação é constituída por solos moles (Read e Li, 2006).

Na instalação da camada de HMA é muito importante garantir que esta fica completamente protegida da oxidação e das variações de temperatura que afetam as propriedades do material. A aplicação desta camada permite reduzir a concentração de tensões nas camadas da via, permite um melhor controlo da geometria da via e da compactação, ao mesmo tempo que evita a migração de partículas finas provenientes da fundação da via, que contaminam a camada de balastro (Selig e Waters, 1994).

Em alternativa a esta solução pode recorrer-se à utilização de mistura solo-cimento para se obter o mesmo objetivo (Li e Davis, 2005). Esta é também uma solução de estabilização da fundação, cuja rigidez obtida depende da dosagem de cimento a utilizar (Seara e Correia, 2008).

A aplicação da calda de cimento consiste no reforço da plataforma da via através da injeção de calda de cimento a alta pressão que se mistura com o solo destruindo a sua estrutura inicial e melhorando as suas propriedades mecânicas. Esta solução é normalmente aplicada como medida corretiva no caso de aparecimento de deformações significativas nas zonas de transição. Para a aplicação desta técnica é necessário efetuar o reconhecimento das características dos solos no local onde se pretende efetuar o reforço de forma a planear adequadamente a intervenção (Ribeiro, 2012).

2.4.2.4. Utilização de material resiliente

A incorporação de elementos resilientes influencia a rigidez global da via, sendo a variação das suas características uma ferramenta extremamente útil no controlo da variação de rigidez da via: palmilhas de borracha sob os carris, sob as travessas ou mantas elásticas sob a camada de balastro são alguns dos elementos mais frequentemente utilizados.

O seu dimensionamento deve ser efetuado de forma a que a rigidez global da via na ponte coincida com a rigidez existente nas zonas adjacentes, mais flexíveis.

2.4.2.5. Intervenção ao nível das travessas

O aumento gradual do comprimento das travessas é aplicado com o objetivo de aumentar a área de suporte e contacto para a transmissão das cargas ao terreno, conferindo à via um módulo mais elevado. Outra forma de aumentar esta área de contato passa pela redução do espaçamento entre travessas (Read e Li, 2006).

Por vezes também se aplicam travessas de material compósito, que atuam sobretudo ao nível da superestrutura. Esta solução consiste na substituição das travessas de betão por travessas de material compósito (Read e Li, 2006). Segundo Lampo *et al*, estas travessas são constituídas principalmente por polietileno de alta densidade reciclado (HDPE). Dos vários tipos de HDPE destacam-se: HDPE reforçado com fibras de vidro; HDPE misturado com borracha modificada e reforçado com fibras de vidro; HDPE reforçado com polímeros; HDPE combinado com produtos minerais (Seara e Correia, 2008).

2.4.2.6. Reforço com geossintéticos

Na engenharia geotécnica os geossintéticos são muito utilizados, nomeadamente no reforço das camadas de solo, obtendo-se resultados bastante satisfatórios e soluções eficientes. As geogrelhas além de permitirem o maior confinamento do material granular, também permitem que as águas na camada do solo sejam facilmente drenadas.

Esta solução é muitas vezes aplicada quando se reabilita uma via com problemas e ainda na construção de novas vias, nomeadamente em zonas de transição. Numerosos estudos mostram que os solos reforçados com geossintéticos apresentam maior resistência, e por isso menor probabilidade de desenvolvimento de deformação ao longo do tempo, do que os solos não reforçados (Ribeiro, 2012).

A geogrelha deverá ser selecionada em função do tipo de material que se pretende reforçar, permitindo deste modo o correto funcionamento do conjunto. A geometria da grelha, a rigidez, a secção de nervura e a resistência da junta são fatores que influenciam a eficácia do reforço efetuado pela geogrelha (Brown *et al*, 2007).

Um estudo feito por Shin *et al* (2002) na linha de alta velocidade de ligação entre Seoul e Pusan na Coreia do Sul, permitiu concluir que a diminuição do assentamento permanente do solo, proporcionada pela aplicação de geossintéticos se deve ao aumento da rigidez e ao facto de as distribuições das tensões se efetuar de forma mais eficaz.

3

QUALIDADE GEOMÉTRICA DA VIA FÉRREA

3.1. PARÂMETROS AVALIADOS

Ao longo do tempo a degradação da via torna-se num sério problema que deve ser devidamente resolvido, pois, se se desenvolver excessivamente pode inviabilizar o funcionamento da mesma. Se a manutenção e a reabilitação forem feitas corretamente é possível assegurar ao utilizador qualidade de transporte e ao mesmo tempo podem ser evitados possíveis gastos avultados no caso de a degradação atingir limites preocupantes.

A qualidade de uma via-férrea para comboios de passageiros comporta dois aspetos: i) a qualidade relacionada com parâmetros de conforto e com parâmetros de segurança, a qual depende do traçado e dos parâmetros geométricos adotados; ii) a qualidade resultante das características dos materiais utilizados e da adequada execução dos trabalhos de construção da via (Fortunato, 2005).

Para que a segurança e o conforto dos passageiros esteja assegurada é efetuada a medição geométrica da via, consistindo no levantamento geométrico dos seguintes parâmetros: i) bitola; ii) nivelamento transversal; iii) nivelamento longitudinal; iv) alinhamento; v) empeno.

De seguida, os parâmetros referidos serão descritos com maior detalhe segundo a norma IT.VIA.018 (2009) publicada pela REFER.

3.1.1. BITOLA

A bitola pode ser avaliada em valores pontuais ou médios.

A *bitola pontual* corresponde à menor distância G , entre as faces internas da cabeça de dois carris adjacentes, medida no ponto P a uma distância Z_P do plano de rolamento, que varia entre 0 mm e 15 mm (Figura 3.1).

A *bitola pontual* é medida diretamente e avaliada por comparação com o valor nominal. Excetuam-se as zonas de curva com sobrelargura, onde ao valor da tolerância será adicionada a sobrelargura de projeto, desde que a soma não exceda os limites de bitola pontual definidos.

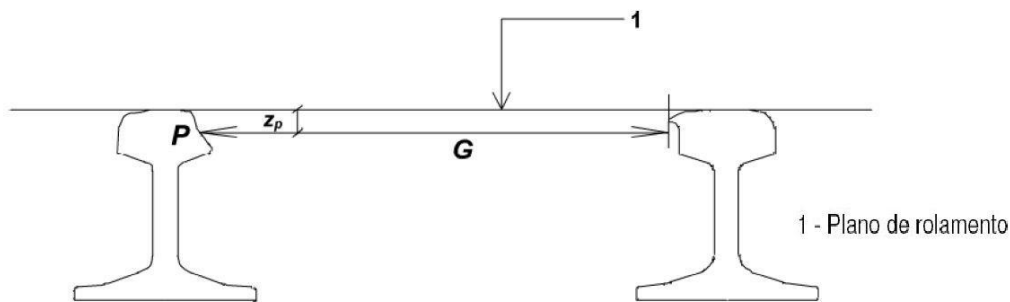


Figura 3.1 - Bitola pontual (IT.VIA.018, 2009)

A *bitola média* representa a média, em 100 m, da diferença entre a *bitola pontual* e a bitola nominal. Por exemplo, a *bitola média* ao Pk 1.250 é a que resulta da média dos valores registados entre o Pk 1.200 e o Pk 1.300.

3.1.2. NIVELAMENTO TRANSVERSAL

Diferença em altura da mesa de rolamento de cada carril obtida pelo ângulo entre o plano de rolamento e o plano horizontal de referência.

Corresponde à dimensão do cateto vertical de um triângulo retângulo que tem como hipotenusa um valor de referência representativo da distância entre os eixos dos carris (Figura 3.2).

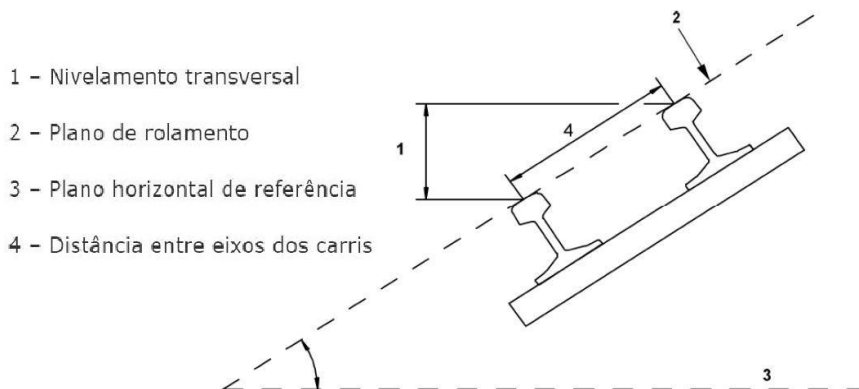


Figura 3.2 - Nivelamento transversal (IT.VIA.018, 2009)

O nivelamento transversal é medido diretamente e avaliado por comparação com os valores de referência.

3.1.3. NIVELAMENTO LONGITUDINAL

- Medição com sistemas inerciais

Corresponde ao desvio ZP' na direção Z, perpendicular ao plano de rolamento, em consecutivas posições, do eixo de cada carril, em relação a uma linha de referência paralela ao plano de rolamento, calculado em sucessivas medições (Figura 3.3).

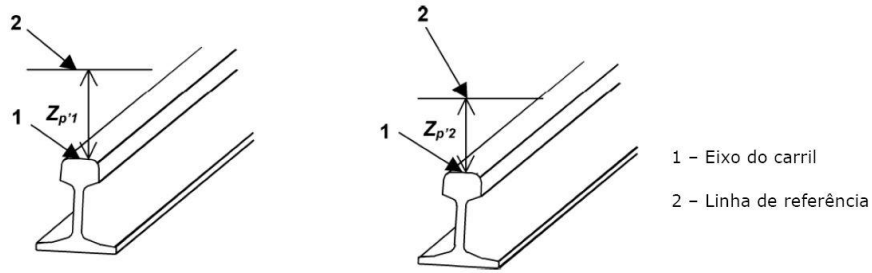


Figura 3.3 - Nivelamento longitudinal (IT.VIA.018, 2009)

O nivelamento longitudinal é calculado em cada fila, a partir da respetiva posição vertical e filtrado nas bandas de comprimentos de onda D1 ($3 < \lambda < 25$ m) e D2 ($25 < \lambda < 70$ m).

- Medição por cordas

O nivelamento longitudinal é medido nas duas filas, com cordas de 10m simétricas ou assimétricas com uma relação de 60% para 40%, e comparados com os respetivos valores de referência.

No caso de medições manuais utilizam-se exclusivamente cordas simétricas de 10m. Na avaliação da geometria baseada nestas medições, como suporte a ações de manutenção, aplicam-se as tolerâncias definidas para D1.

3.1.4. ALINHAMENTO

- Medição com sistemas inerciais

Desvio y_p na direção y , paralela ao plano de rolamento, em consecutivas posições, de P em cada carril, em relação a uma linha de referência intermédia, calculado em sucessivas medições (Figura 3.4).

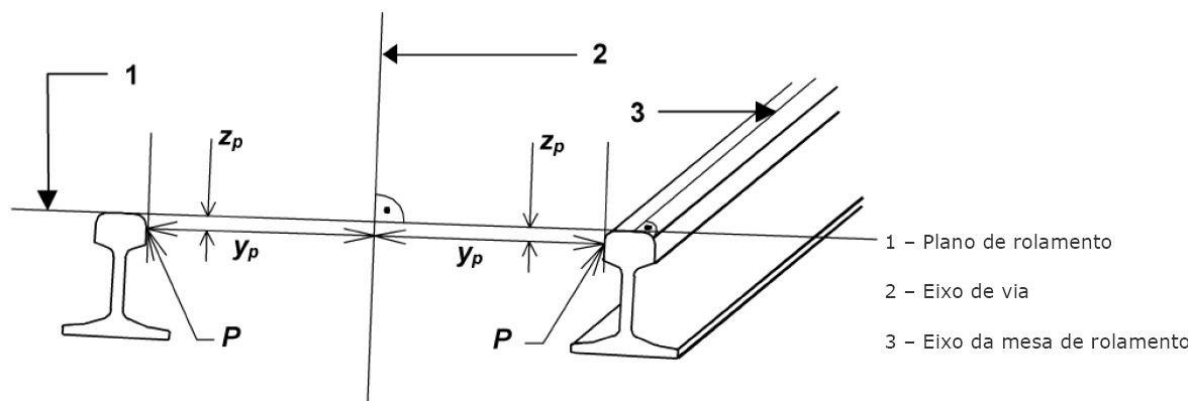


Figura 3.4 – Alinhamento (IT.VIA.018, 2009)

O alinhamento é calculado em cada fila, a partir da respetiva posição horizontal e filtrado nas bandas de comprimentos de onda D1 e D2.

- Medição por cordas

O alinhamento é medido nas duas filas, com cordas de 10m simétricas ou assimétricas com uma relação de 60% para 40%, e comparados com os respetivos valores de referência.

No caso de medições manuais utilizam-se exclusivamente cordas simétricas de 10m. Na avaliação da geometria baseada nestas medições, de suporte a ações de manutenção, aplicam-se as tolerâncias definidas para D1. Para efeitos de receção de trabalhos o corredor definido pelo valor de referência e pelas tolerâncias terá de conter os valores de projeto.

3.1.5. EMPENO

Considerando-se quatro pontos sobre a mesa de rolamento dos carris, dois sobre cada carril, formando um retângulo, define-se como empeno, a distância vertical de um dos pontos ao plano formado pelos outros três.

Na prática, o valor do empeno corresponde à diferença de dois nivelamentos transversais numa determinada base de medição (Figura 3.5).

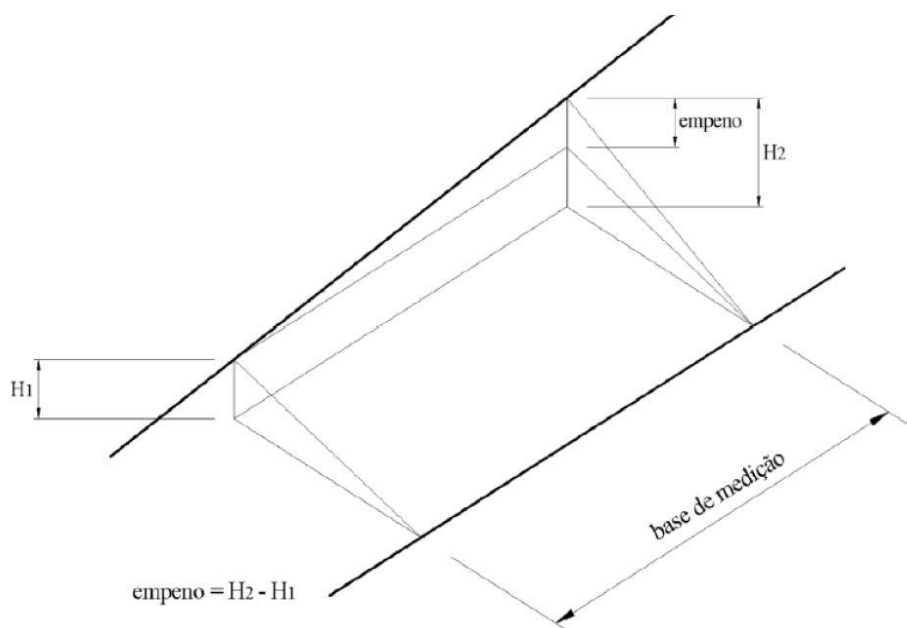


Figura 3.5 – Empeno (IT.VIA.018, 2009)

O empeno é calculado numa base de 3m.

Na avaliação para efeitos de decisão sobre ações de manutenção, a análise é efetuada por comparação do valor obtido com a tolerância que lhe seja aplicável.

3.2. TOLERÂNCIAS DE ALARME

A avaliação da qualidade da via, com vista à decisão sobre ações de manutenção é efetuada através da consideração das seguintes tolerâncias: i) alerta (planeamento de trabalhos); ii) intervenção (ações de curto prazo); iii) ação imediata.

Conforme é referido na norma IT.VIA.018 (2009), as tolerâncias de receção e as de ação imediata são de aplicação obrigatória, as tolerâncias de alerta e de intervenção são estabelecidas como valores de referência, que dependerão da política de conservação adotada pela REFER, nomeadamente, no

que respeita ao nível de qualidade da via pretendido, aos prazos de correção das anomalias, à frequência das inspeções e ao tipo de monitorização afeto às anomalias de maior gravidade.

De seguida, será descrita a definição das diferentes tolerâncias de alarme, conforme a norma IT.VIA.018 (2009), que permitem a avaliação da via para decisão sobre ações de manutenção. É importante referir que as tolerâncias aqui descritas serão para linhas com bitola 1668mm e 1435mm.

3.2.1. TOLERÂNCIA DE ALERTA

A tolerância de alerta corresponde ao valor do parâmetro geométrico que, quando atingido, originará que o troço em questão seja incluído na programação de trabalhos de manutenção.

O horizonte da programação de trabalhos será definido pelo órgão responsável pela manutenção da infraestrutura, tendo em conta os limites escolhidos e os meios disponíveis.

No Quadro 3.1 estão discriminados os limites da tolerância de alerta impostos para cada parâmetro geométrico, e no Quadro 3.2 estão os limites da tolerância de desvio padrão.

Quadro 3.1 - Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668mm e 1435mm – Alerta (IT.VIA.018, 2009)

Classe	VI	V	IV	III	II	I
Velocidade [km/h]	$V \leq 40$	$40 < V \leq 80$	$80 < V \leq 120$	$120 < V \leq 160$	$160 < V \leq 230$	$V > 230$
Parâmetro [mm]						
Bitola	-7 / +25	-7 / +25	-7 / +25	-6 / +25	-4 / +20	-3 / +20
Bitola Média	n.a. / +25	-6 / +25	-5 / +22	-3 / +16	-3 / +16	-1 / +16
Nivelamento Longitudinal D1	± 18	± 18	± 16	± 15	± 12	± 10
Nivelamento Longitudinal D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	± 20	± 18
Alinhamento D1	± 15	± 15	± 11	± 9	± 8	± 7
Alinhamento D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	± 15	± 13
Empeno (base 3 metros)	± 12	± 12	± 12	± 12	± 9	± 9

Nas curvas, a diferença entre o valor do nivelamento transversal e o seu valor de projeto não deverá exceder 20mm.

Quadro 3.2 - Tolerâncias do desvio padrão para linhas de bitola 1668mm e 1435mm – Alerta (IT.VIA.018, 2009)

Classe	Velocidade	Desvio Padrão [mm]	
	[km/h]	Nivelamento Longitudinal D1	Alinhamento D1
VI	$V \leq 40$	3,3	2,1
V	$40 < V \leq 80$	3,0	1,8
IV	$80 < V \leq 120$	2,7	1,5
III	$120 < V \leq 160$	2,4	1,3
II	$160 < V \leq 230$	1,9	1,1
I	$V > 230$	1,5	1,0

3.2.2. TOLERÂNCIA DE INTERVENÇÃO

A tolerância de intervenção corresponde ao valor do parâmetro geométrico que, quando atingido, originará que o trecho em questão seja, a curto prazo, alvo de ações de manutenção, por forma que a tolerância de ação imediata não seja atingida.

No Quadro 3.3 estão discriminados os limites da tolerância de alerta impostos para cada parâmetro geométrico.

Quadro 3.3 - Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668mm e 1435mm – Intervenção (IT.VIA.018, 2009)

Classe	VI	V	IV	III	II	I
Velocidade [km/h]	$V \leq 40$	$40 < V \leq 80$	$80 < V \leq 120$	$120 < V \leq 160$	$160 < V \leq 230$	$V > 230$
Parâmetro [mm]						
Bitola	-9 / +30	-9 / +30	-9 / +30	-8 / +30	-5 / +23	-4 / +23
Bitola Média	n.a. / +28	-7 / +28	-6 / +25	-4 / +18	-4 / +18	-2 / +18
Nivelamento Longitudinal D1	± 21	± 21	± 19	± 17	± 14	± 12
Nivelamento Longitudinal D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	± 23	± 20
Alinhamento D1	± 17	± 17	± 13	± 10	± 9	± 8
Alinhamento D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	± 17	± 14
Empeno (base 3 metros)	± 15	± 15	± 15	± 15	± 12	± 12

3.2.3. TOLERÂNCIA DE AÇÃO IMEDIATA

A tolerância de ação imediata corresponde ao valor do parâmetro geométrico que nunca deverá ser atingido. Caso o seja obrigará que o defeito em questão seja alvo de correção imediata ou que o respetivo trecho seja sujeito a redução de velocidade ou interdição.

No Quadro 3.4 estão discriminados os limites da tolerância de alerta impostos para cada parâmetro geométrico.

Quadro 3.4 - Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668mm e 1435mm – Ação Imediata (IT.VIA.018, 2009)

Classe	VI	V	IV	III	II	I
Velocidade [km/h]	$V \leq 40$	$40 < V \leq 80$	$80 < V \leq 120$	$120 < V \leq 160$	$160 < V \leq 230$	$V > 230$
Parâmetro [mm]						
Bitola	-11 / +35	-11 / +35	-11 / +35	-10 / +35	-7 / +28	-5 / +28
Bitola Média	n.a. / +32	-9 / +32	-8 / +27	-6 / +20	-6 / +20	-4 / +20
Nivelamento Longitudinal D1	± 31	± 28	± 26	± 23	± 20	± 16
Nivelamento Longitudinal D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	± 33	± 28
Alinhamento D1	± 25	± 22	± 17	± 14	± 12	± 10
Alinhamento D2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	± 24	± 20
Empeno (base 3 metros)	± 21	± 21	± 21	± 21	± 15	± 15

3.3. VEÍCULO DE INSPEÇÃO DA VIA – EM120

O Veículo de Inspeção da Via (VIV) EM120 (Figura 3.6) é um dos equipamentos mais utilizados para realizar a análise geométrica da via. Como este veículo circula a velocidade semelhante à de um comboio normal, podendo atingir a velocidade máxima de 120 km/h, tem a vantagem de avaliar de forma mais realista do que outros métodos o desempenho da via, uma vez que os registos são obtidos em condições de solicitação dinâmica semelhantes às que ocorrem durante a passagem dos comboios. O veículo em causa é manobrado por um condutor especializado, que é auxiliado por um operador de computador e operador de caixa de eventos, elementos constituintes da tripulação.



Figura 3.6 - VIV EM120 (Fortunato, 2005)

Este equipamento de medição é constituído basicamente por (REFER, 2001): um recetor *GPS* (*Global Positioning System*) que indica a posição na Terra em que o veículo se encontra, sendo que

essa informação permite estabelecer uma referência inicial e aferir as medições efetuadas pela caixa inercial; uma “caixa inercial” (*IMU-inertial measuring unit*) constituída por três acelerómetros que medem acelerações, que após dupla integração são transformadas em deslocamentos, segundo três eixos que formam 90°, e três giroscópios que medem as variações angulares em torno desses mesmos eixos; um “*encoder*” que indica a distância percorrida pelo veículo através da consideração do número de rotações e do perímetro de um dos rodados; e pelo OGMS (*optical gage measuring system*), um equipamento laser-ótico de medição da bitola que mede a distância entre a projeção do centro do eixo do *bogie* sobre o plano onde a bitola é medida (paralelo e 14mm abaixo do plano de rolamento) a cada um dos carris. Este sistema está integrado com o *IMU* na definição dos alinhamentos.

Com o veículo em movimento, o *IMU* efetua medições com frequência de 200 Hz, ou seja, a cada 0,005 segundos é definida uma nova posição do *IMU*, e por consequência dos carris. A nova posição é obtida por dois processos – sistema de giroscópios e sistema de acelerómetros – cujos resultados são comparados e, se necessário, corrigidos pela informação fornecida pelo GPS, o qual produz leituras à frequência de 1 Hz (Fortunato, 2005).

Como já foi referido anteriormente, para a caracterização da qualidade da geometria da via, os parâmetros geométricos, medidos numa campanha de inspeção, são os nivelamentos longitudinal e transversal, o alinhamento, a bitola e o empeno. A medição e o registo destes cinco parâmetros são feitos em pontos da via distanciados de 0,25 m.

4

VARIANTE DE ALCÁCER: CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO GEOMÉTRICA

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA VARIANTE DE ALCÁCER

A linha férrea designada por Variante de Alcácer constituiu uma das ações prioritárias da rede ferroviária nacional previstas pelo Governo, em Outubro de 2006, nas Orientações Estratégicas para o Sector Ferroviário. Segundo este documento, esta infraestrutura ferroviária teria as seguintes valências: i) contribui para o reforço da competitividade do Porto de Sines através da sua articulação com as plataformas logísticas do Poceirão e de Elvas, com os portos de Setúbal e Lisboa, e com a ligação de Alta Velocidade Lisboa/Madrid; ii) promove a interoperabilidade da rede ferroviária nacional com as redes transeuropeias de transporte de mercadorias, através da sua inserção no Corredor Sines – Elvas e no Eixo Ferroviário de Mercadorias Sines/Algeciras – Madrid – Paris (Projeto Prioritário n.º 16); iii) melhora a oferta ferroviária de passageiros de longo curso na ligação Lisboa – Algarve, pela maior fiabilidade, segurança e redução do tempo de percurso em cerca de 10 minutos (prática de velocidades de 200km/h para comboios convencionais e de 220km/h para comboios basculantes); iv) constitui um incentivo à transferência do tráfego rodoviário para a ferrovia, com todos os impactos positivos que daí advêm; v) reduz os encargos de exploração no domínio da conservação e manutenção.

Segundo o *Caderno de Encargos* do empreendimento (REFER (2009a), o traçado de via estabelece uma variante entre os quilómetros 58,741 e 94,700 da Linha do Sul, com uma extensão aproximada de 29 km, sensivelmente entre a saída sul da Estação do Pinheiro e o limite sul do ramal das areias da Somincor, e que encurta em 7,2 km o traçado existente. Entre a Estação do Pinheiro e o km 67,400 a variante desenvolve-se do lado esquerdo da linha atual e, a partir daí, do lado direito, conforme mostra a Figura 4.1, no sentido norte-sul.

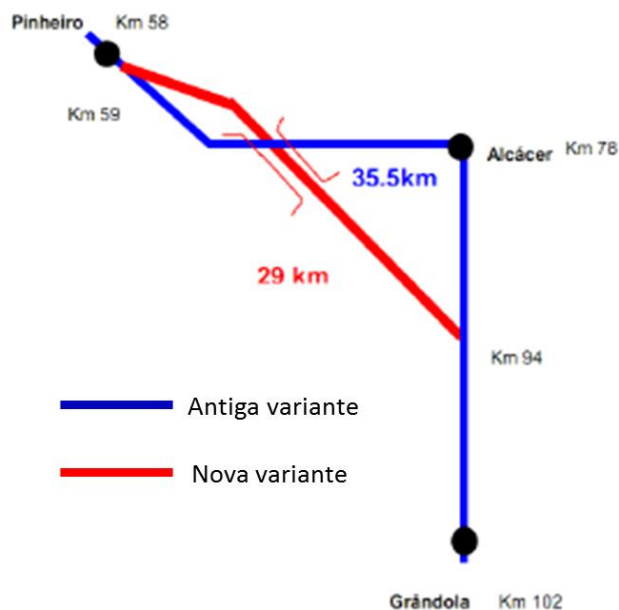


Figura 4.1 - Esquema elucidativo do traçado da Variante de Alcácer (REFER, 2009b)

A escolha da diretriz foi definida com base nas seguintes condicionantes: i) saída a sul da Estação do Pinheiro; ii) localização dos novos atravessamentos da baixa aluvial de Monte Novo e do rio Sado de modo a definir-se um perfil longitudinal adequado; iii) localização do novo atravessamento do rio Sado adequando-o às condicionantes ambientais; iv) minimização da movimentação de terras; v) minimização do viés das obras de arte a construir no cruzamento da EN 253 e da EN 120 (IC1) e sobre a linha-férrea existente; vi) aproveitamento dos troços em reta existentes a norte da Estação de Grândola e minimização de eventuais interferências com a zona de exploração de areias da Somincor.

A materialização do Projeto da Variante entre a Estação do Pinheiro e o km 94 da Linha do Sul foi estruturada nas seguintes empreitadas:

- 1ª Fase: Empreitada da “Variante entre a Estação do Pinheiro e o km 94 da Linha do Sul - 1ª Fase”;
- 2ª Fase: 1ª empreitada - “Variante de Alcácer (2ª Fase): Atravessamento Ferroviário do Rio Sado - Ponte e Viadutos de Acesso”; 2ª empreitada - “Variante de Alcácer (2ª Fase): Via-férrea e Instalações Fixas de Tração Elétrica”.

A *Empreitada de Execução da Variante de Alcácer entre a Estação do Pinheiro e o km 94 da Linha do Sul (1.ª Fase)* consistiu na realização de trabalhos de terraplenagem, drenagem, estruturas de proteção, construção de passagens hidráulicas, 15 passagens inferiores e superiores ao caminho-de-ferro e respetivos restabelecimentos de acesso, caminho paralelo à via-férrea, três viadutos sobre a ribeira de S. Martinho (852 m), ribeira de Água Cova (271 m) e IC1 (52 m), maciços de catenária, infraestruturas de subsolo dos sistemas de sinalização e telecomunicações, e vedação do espaço canal em toda a sua extensão.

A 1ª empreitada da 2ª Fase, denominada *Empreitada da Variante de Alcácer (2.ª Fase), Atravessamento Ferroviário do Sado: Ponte e Viadutos de Acesso*, caracteriza-se pela construção de

uma ponte e viadutos de acesso, garantindo o atravessamento sobre o rio Sado numa extensão aproximada de 2735 m.

A ponte é do tipo *bowstring*, em estrutura mista aço-betão, sendo a superestrutura (arcos+tabuleiro) integralmente metálica e a plataforma em laje de betão armado; tem três vãos de 160 m e uma extensão total de 480 m.

Os viadutos de acesso, norte e sul, em estrutura mista aço-betão, são constituídos por duas vigas metálicas de alma cheia sobre as quais assenta a laje de betão armado; têm uma extensão aproximada de 1115 m e 1140 m, respetivamente.

A 2ª empreitada da 2ª fase, *Empreitada da Variante de Alcácer (2.ª Fase), Via-férrea e Instalações Fixas de Tração Elétrica*, incluiu, além da construção da via-férrea e catenária, um conjunto de trabalhos nas zonas de ligação à Linha do Sul e nos encontros da nova ponte sobre o rio Sado.

Foi também assegurada a renovação integral do armamento de via e a melhoria das condições de drenagem da Estação do Pinheiro, bem como a construção de um resguardo, com um comprimento útil de 750 m, para materialização do *layout* ferroviário a Sul do km 94.

Nesta empreitada estavam também incluídos os trabalhos de terraplenagens e drenagens a realizar nas inserções da Variante de Alcácer à Linha do Sul, a Norte e a Sul, assim como na zona dos encontros do atravessamento sobre o rio Sado.

4.2. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DO TROÇO EM ESTUDO

A avaliação da qualidade geométrica da via em operação será feita utilizando os dados recolhidos pelo veículo de inspeção de via (VIV) *EM120*. Estes dados foram recolhidos em intervalos de 0,25m ao longo de aproximadamente 29km. Os parâmetros analisados serão os já descritos anteriormente no subcapítulo 3.1: bitola, nivelamento transversal, nivelamento longitudinal, alinhamento e empeno.

Para se proceder à análise da evolução da degradação da qualidade geométrica da via-férrea utilizaram-se os resultados de 8 campanhas efetuadas no troço em questão, nomeadamente as campanhas de maio de 2011, outubro de 2011, janeiro de 2012, abril de 2012, julho de 2012, outubro de 2012, maio de 2013 e julho de 2013. Os dados destas campanhas estão compreendidos entre o Pk 58.345m e o Pk 86.345m.

Uma vez que o número de dados é bastante elevado, cerca de 115 000 para cada parâmetro, foi necessário utilizar o software *Matlab* para o seu tratamento, de modo a ser efetuada uma análise em pormenor. Assim, através do *Matlab*, efetuaram-se os seguintes passos: i) verificar o sentido da medição, já que umas vezes era feita no sentido Norte-Sul e outras vezes no sentido Sul-Norte, e coloca-los todos no sentido Norte-Sul; ii) alinhar as campanhas, uma vez que estas não iniciavam e terminavam exatamente no mesmo Pk. Este alinhamento foi feito tendo como referência o traçado da via em curva e em reta, e o alinhamento transversal; iii) calcular o desvio padrão para cada parâmetro, em intervalos de 200m.

Com os dados tratados no *Matlab* utilizou-se o *Excel* para verificar as tolerâncias e proceder à análise da evolução da geometria da via-férrea.

4.2.1. VERIFICAÇÃO DAS TOLERÂNCIAS

Uma vez que a medição do *VIV EMI20* é feita de 0,25m em 0,25m e por isso existe um número avultado de dados para cada parâmetro, os mesmos serão representados graficamente de modo a que a verificação das tolerâncias de alerta, intervenção e ação imediata seja facilmente perceptível e de rápida análise. As tolerâncias de alerta, intervenção e ação imediata estão representadas com as cores verde, amarelo e vermelho respetivamente e são referentes à classe II, correspondente a $160 < V \leq 230$ km/h, uma vez que a velocidade máxima é 200km/h para comboios convencionais e 220km/h para comboios basculantes.

Os dados utilizados nesta análise são os medidos na campanha mais recente (julho de 2013) e as tolerâncias impostas são as referidas nos quadros do subcapítulo 3.2.

Uma vez que não existe informação suficiente para se proceder uma análise eficiente relativamente ao nivelamento transversal, este parâmetro não será avaliado.

4.2.1.1. Nivelamento Longitudinal D1 ($3 < \lambda < 25$ m)

O nivelamento longitudinal D1 é medido separadamente nos perfis esquerdo (Figura 4.2) e direito (Figura 4.3). Como se pode ver nas figuras, nenhuma das tolerâncias é ultrapassada, sendo cumprida a segurança da via.

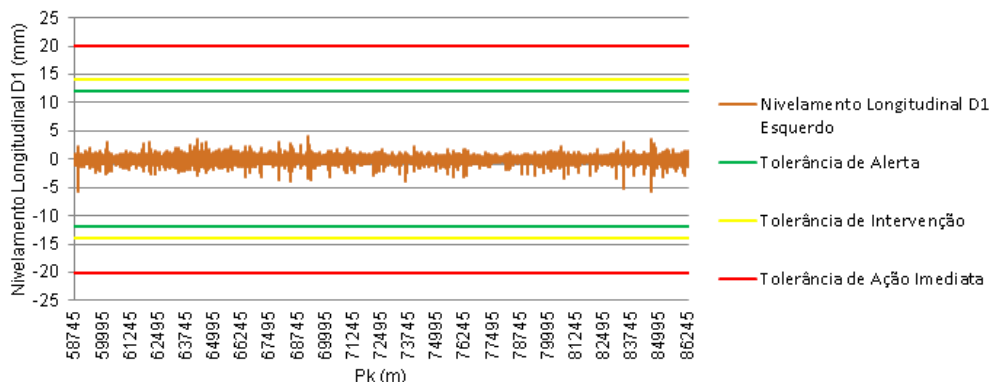


Figura 4.2 - Nivelamento Longitudinal D1 Esquerdo

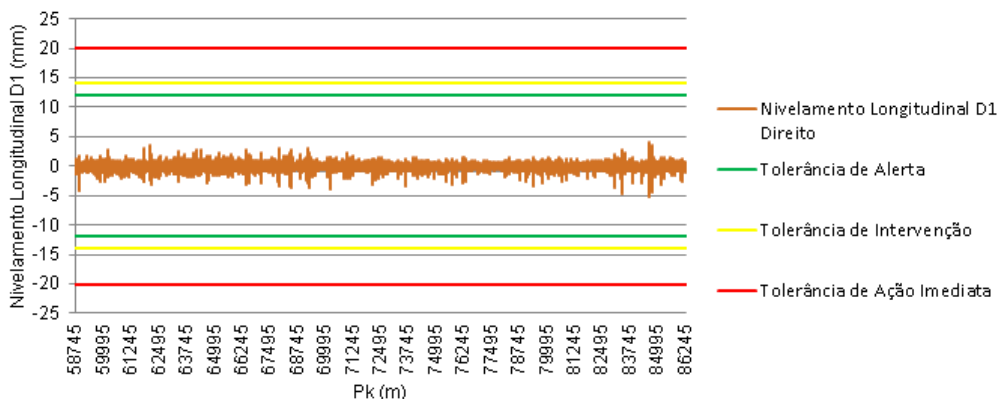


Figura 4.3 - Nivelamento Longitudinal D1 Direito

4.2.1.2. Nivelamento Longitudinal D2 ($25 < \lambda < 70$ m)

O nivelamento longitudinal D2 (Figura 4.4 e Figura 4.5) apenas difere do nivelamento longitudinal D1 no comprimento de onda da medição (λ), sendo neste caso $25 < \lambda < 70$ m. Tal como no parâmetro anterior, também este cumpre as tolerâncias exigidas.

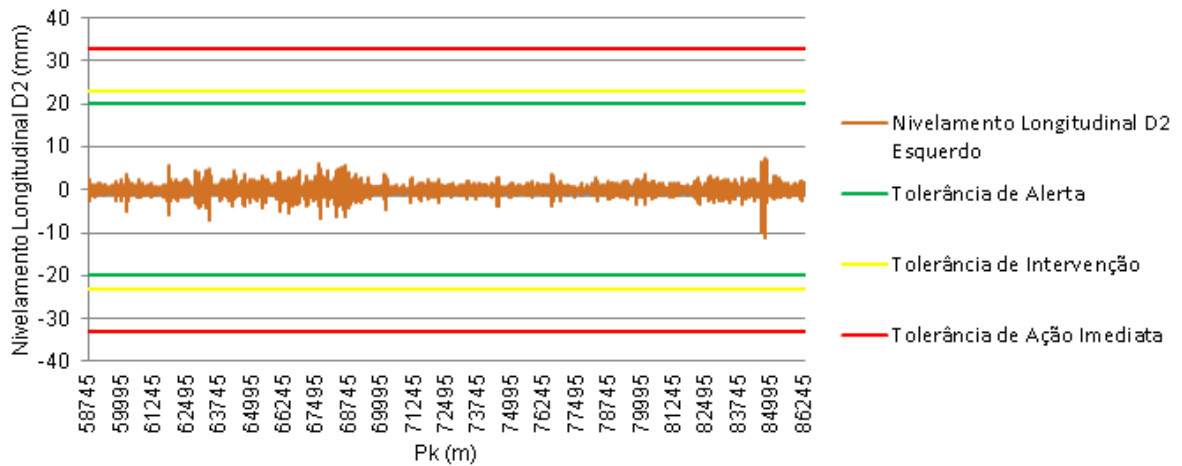


Figura 4.4 - Nivelamento Longitudinal D2 Esquerdo

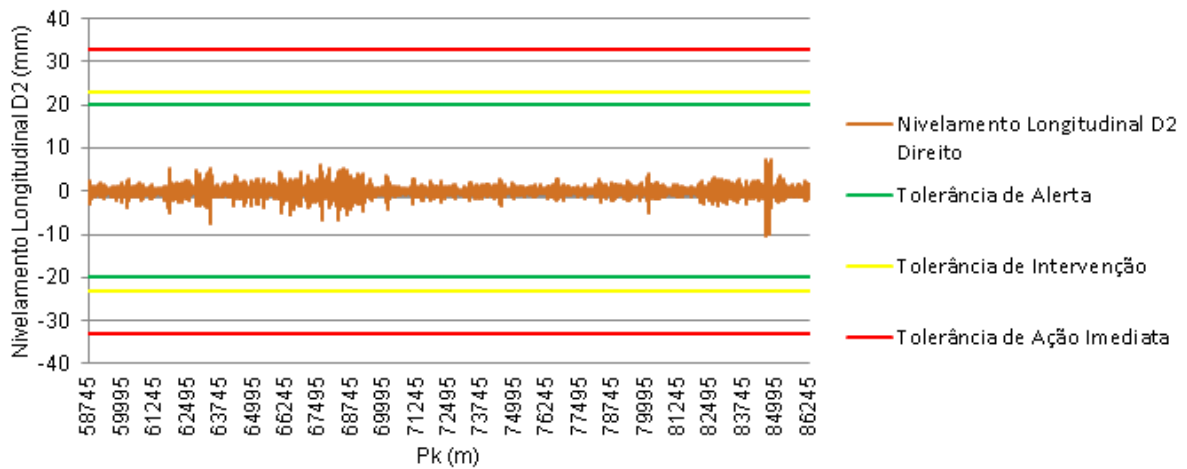


Figura 4.5 - Nivelamento Longitudinal D2 Direito

4.2.1.3. Alinhamento D1 ($3 < \lambda < 25$ m)

O alinhamento D1, medido no carril esquerdo (Figura 4.6) e direito (Figura 4.7) também cumpre as tolerâncias de alerta, intervenção e ação imediata, conforme se pode ver nas respectivas figuras.

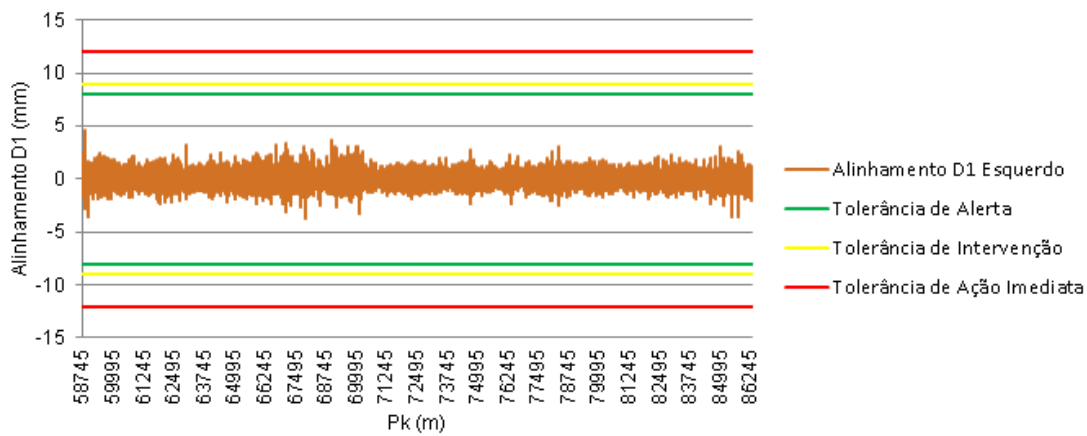


Figura 4.6 - Alinhamento D1 Esquerdo

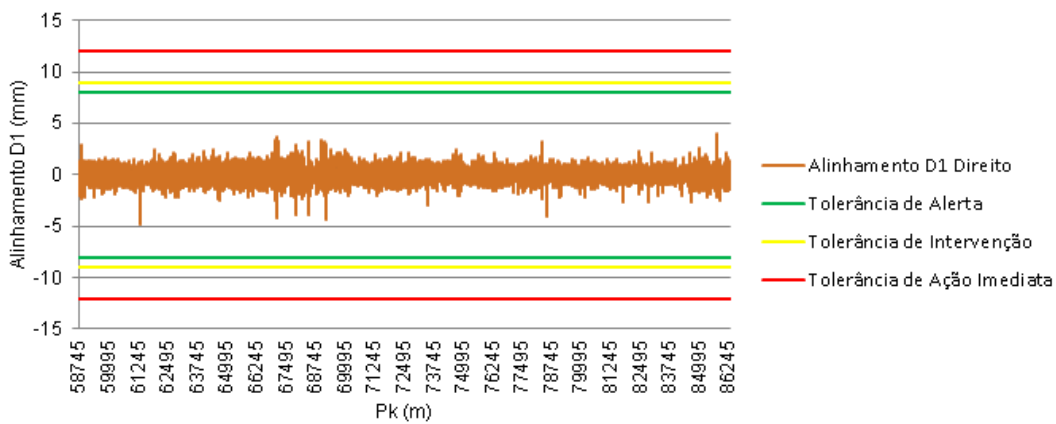


Figura 4.7 - Alinhamento D1 Direito

4.2.1.4. Alinhamento D2 ($25 < \lambda < 70$ m)

Também o alinhamento D2 (Figura 4.8 e Figura 4.9) cumpre as tolerâncias exigidas.

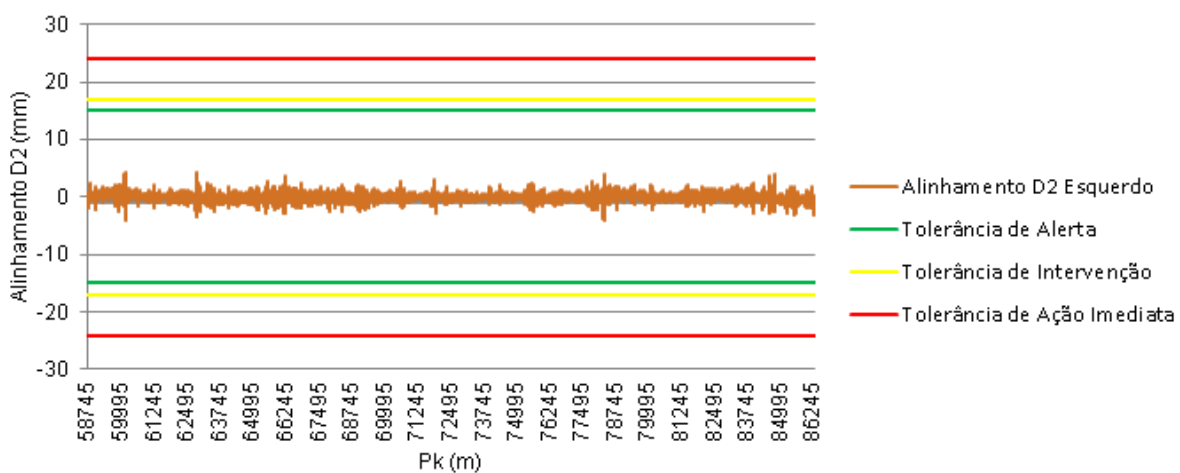


Figura 4.8 - Alinhamento D2 Esquerdo

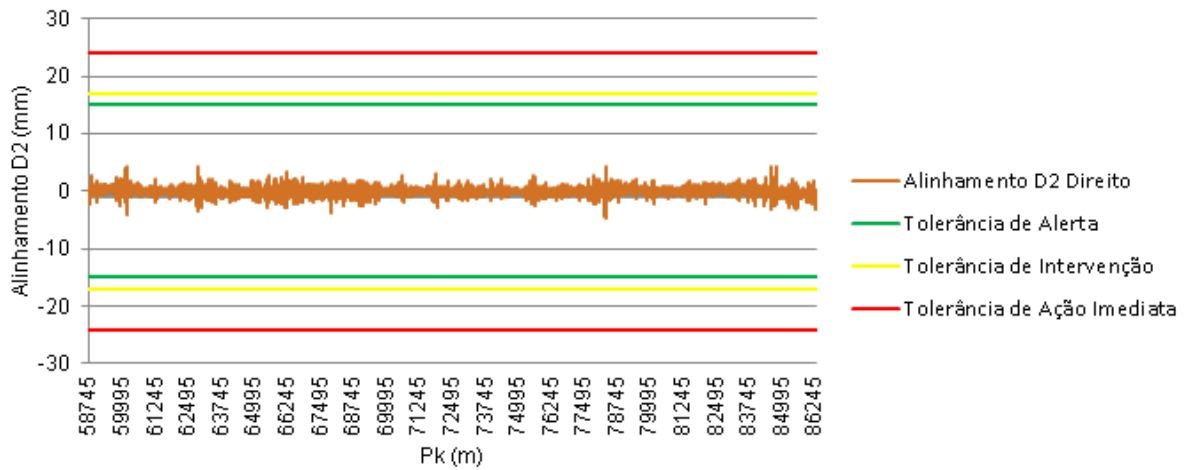


Figura 4.9 - Alinhamento D2 Direito

4.2.1.5. Empeno (base 3m)

O empeno com base de 3m também cumpre as tolerâncias de alerta, intervenção e de ação imediata, conforme se pode ver na Figura 4.10.

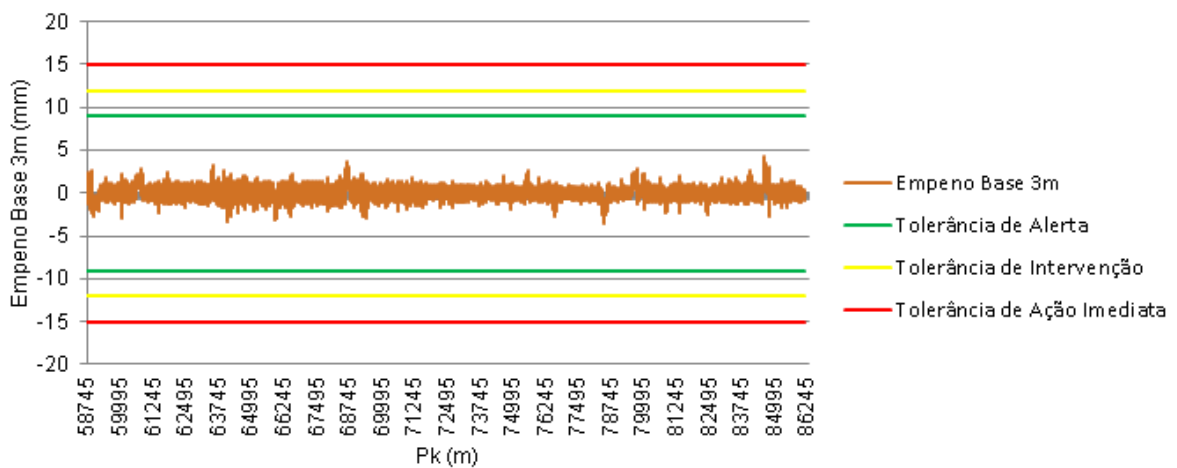


Figura 4.10 - Empeno (base 3m)

4.2.1.6. Bitola e Bitola Média

A bitola cumpre as tolerâncias exigidas, apesar de, próximo do Pk 85.000m, existir um pico que se aproxima da tolerância de alerta, como se pode ver na Figura 4.11. Contudo a respetiva tolerância não é excedida.

Por último, a bitola média (Figura 4.12) também se encontra dentro dos valores admissíveis para as tolerâncias de alerta, intervenção e ação imediata.

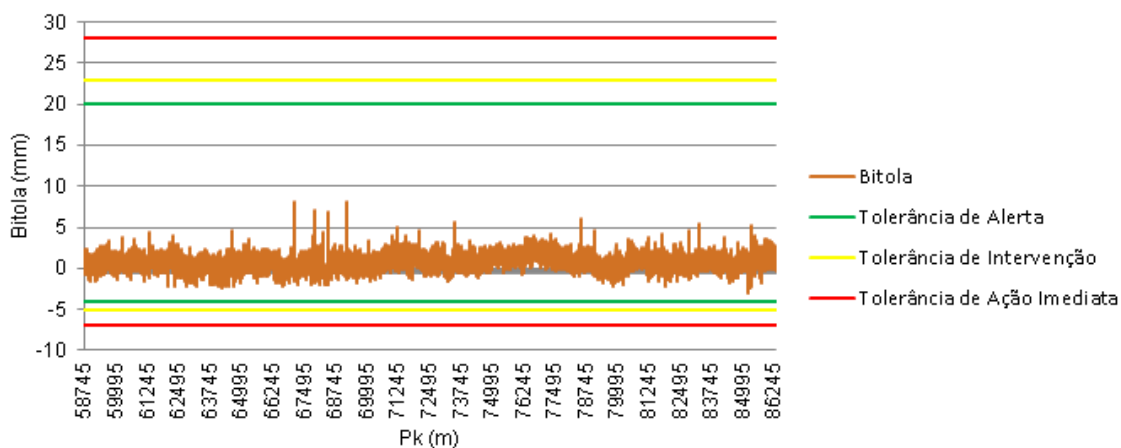


Figura 4.11 - Bitola

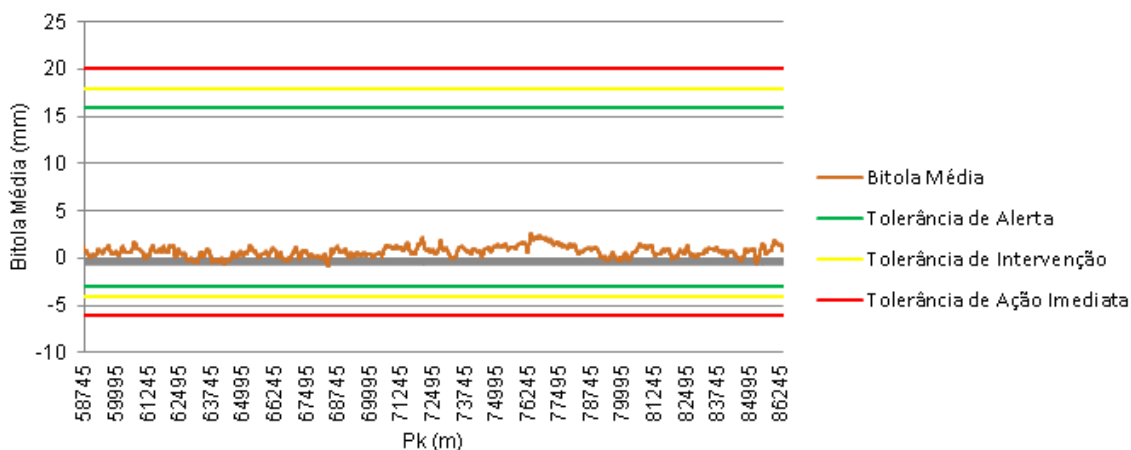


Figura 4.12 - Bitola Média

Como seria de esperar, uma vez que a construção desta via é recente, todos os parâmetros geométricos estão dentro dos limites exigidos pelo documento IT.VIA.018 (2009) emitido pela REFER.

4.2.2. INFLUÊNCIA DA SUPERESTRUTURA E DA SUBESTRUTURA

Apesar de serem cumpridas todas as tolerâncias, existem oscilações ao longo da via para todos os parâmetros geométricos.

De seguida será feita uma análise através do desvio padrão de cada parâmetro, em troços de 200m, tendo como principal objetivo encontrar uma possível relação existente entre os picos do desvio padrão e a localização de variações pontuais da superestrutura e da subestrutura. No Anexo A são apresentadas as tabelas com os valores do desvio padrão de cada campanha, para cada parâmetro.

Para esta análise serão considerados os valores recolhidos pela campanha de julho de 2013 e, através de um gráfico, procurar-se-á uma relação entre o desvio padrão e a localização de: i) blocos técnicos do tipo 1 (BT1) (Figura 4.13a); ii) blocos técnicos do tipo BT2, construídos junto de passagens hidráulicas e de passagens de fauna até 3m de profundidade (Figura 4.13b); iii) passagens superiores;

iv) blocos técnicos construídos junto de passagens hidráulicas e passagens de fauna a mais de 3m de profundidade; v) viadutos; vi) juntas de dilatação.

A localização das especificidades referidas no parágrafo anterior foi obtida através do perfil longitudinal de toda a via.

A possível influência na geometria da via da existência de passagens superiores prende-se com o facto de nessas zonas a subestrutura da via ser distinta, uma vez que existe um alargamento da plataforma, tendo em conta a possibilidade de a via poder vir a ser duplicada.

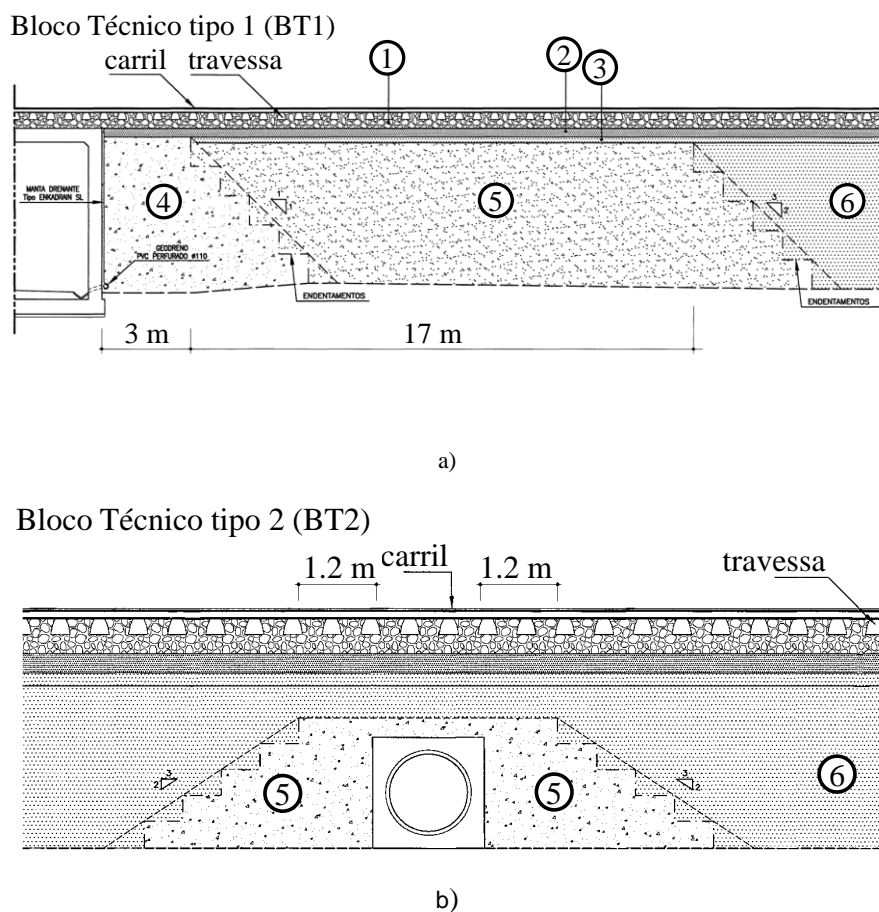


Figura 4.13 - Exemplo dos blocos técnicos: a) tipo 1; b) tipo 2 (Fortunato e Paixão, 2014)

4.2.2.1. Nivelamento longitudinal

Uma vez que o desvio padrão do nivelamento longitudinal é muito semelhante para o carril esquerdo e para o direito, apenas será representado o esquerdo, conforme mostra a Figura 4.14. Nesta figura está representado o desvio padrão do nivelamento longitudinal D1 (σ_{NLD1}) esquerdo em troços de 200m e é possível verificar que praticamente todos os picos de desvio padrão coincidem com a localização dos pontos especiais referidos anteriormente.

Uma análise mais detalhada permite verificar que os troços com maior desvio padrão se localizam na ponte que atravessa o rio Sado e no viaduto que passa sobre a EN 120. Sendo que na ponte que atravessa o rio Sado estes picos ocorrem nas juntas de dilatação.

É possível também observar que na presença de blocos técnicos junto de passagens hidráulicas e de passagens de fauna a mais de 3m de profundidade o desvio padrão normalmente não é muito significativo.

Junto do Pk 70.145m existe um pico que pode ser explicado por naquela zona estar a fronteira entre a 1ª e a 2ª fase da construção da via.

Aproximadamente junto do Pk 76.145m existe um aumento significativo do desvio padrão. Apesar de não existir nenhuma estrutura ou junta de dilatação nas proximidades deste troço, uma análise ao perfil longitudinal dessa zona da via permite verificar que nesse local está localizado um dreno profundo.

Na Figura 4.15 está representado o desvio padrão do nivelamento longitudinal D2 (σ_{NLD2}) do carril esquerdo.

A análise que se pode fazer é semelhante à anteriormente realizada, pois, tal como na anterior, aqui os picos de desvio padrão também se localizam nos troços onde estão localizados pontos particulares da via.

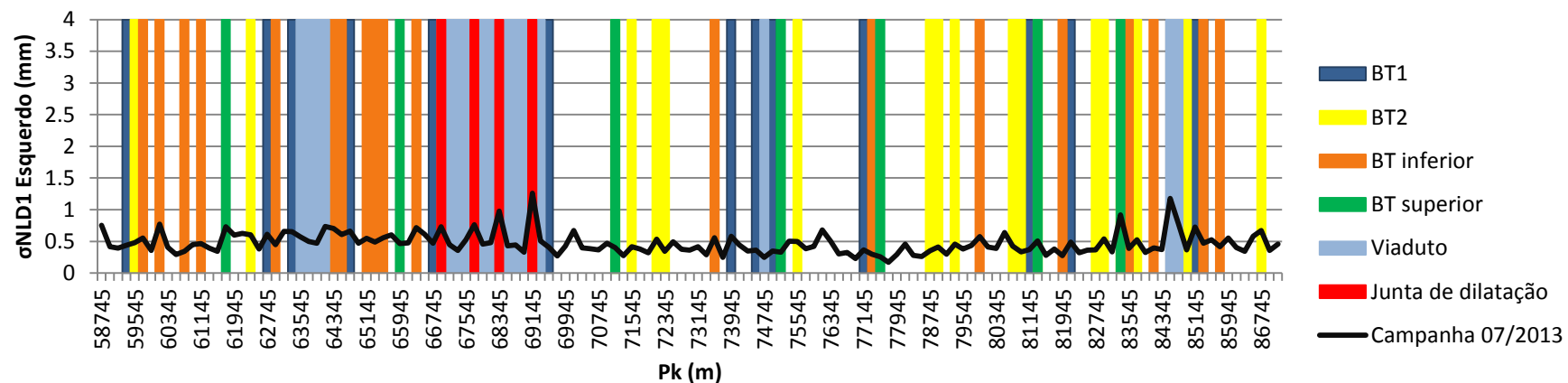


Figura 4.14 - Relação entre o desvio padrão do nivelamento longitudinal D1 esquerdo (em troços de 200m) e a localização das obras de arte e juntas de dilatação da via

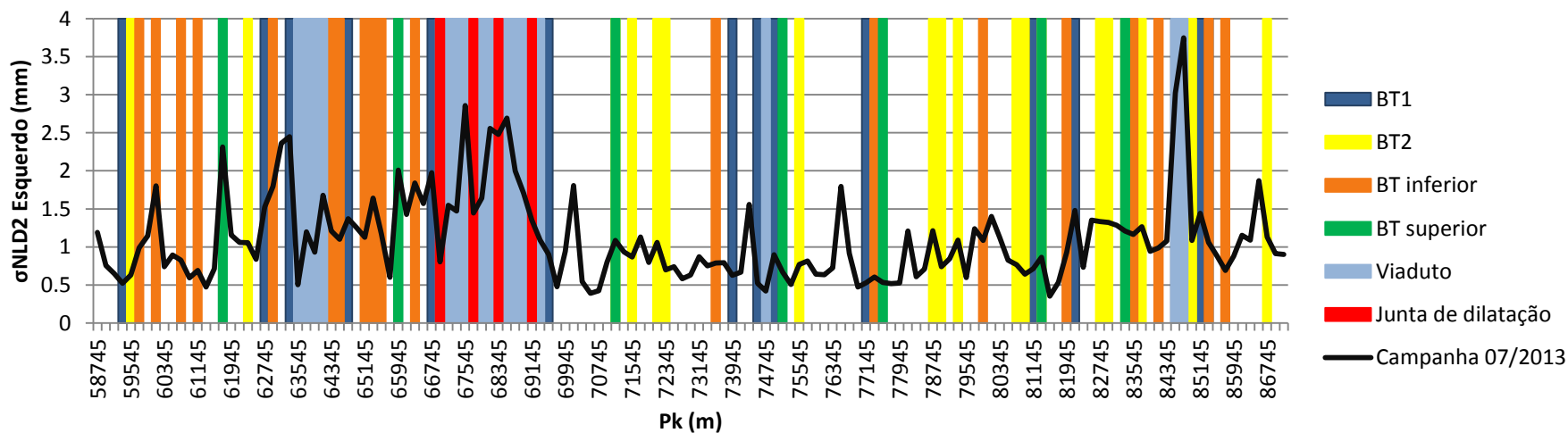


Figura 4.15 - Relação entre o desvio padrão do nivelamento longitudinal D2 esquerdo (em troços de 200m) e a localização das obras de arte e juntas de dilatação da via

4.2.2.2. Alinhamento

Este parâmetro também é medido separadamente nos dois carris. Contudo, uma vez que as medições são muito semelhantes relativamente ao carril esquerdo e direito, apenas serão apresentados os valores correspondentes ao carril esquerdo.

Como seria de esperar, ao longo da via também o alinhamento sofre oscilações. Na Figura 4.16 é possível verificar que, apesar de não haver picos do desvio padrão do alinhamento para comprimentos de onda D1 (σ_{AD1}) com valores elevados, quando estes existem encontram-se, muitas vezes, em zonas que têm pontos especiais, tal como no nivelamento longitudinal.

Na Figura 4.17 está representado o desvio padrão do alinhamento para comprimentos de onda D2 (σ_{AD2}). Também aqui se verifica que os valores de desvio padrão são mais elevados comparativamente com os de comprimento D1 e também aqui os picos, desta vez mais acentuados, se encontram nas zonas com pontos especiais.

4.2.2.3. Empeno de base 3m

O desvio padrão do empeno com base de 3m, representado na Figura 4.18, permite verificar que os picos de desvio padrão ($\sigma(\text{empeno } 3\text{m})$), calculado em troços com 200m, coincidem principalmente com a localização das juntas de dilatação existentes na ponte que atravessa o rio Sado. Também é possível observar que picos menores também coincidem com pontos especiais, tal como acontece nos parâmetros geométricos analisados anteriormente.

4.2.2.4. Bitola

Na Figura 4.19 está representado o desvio padrão em troços de 200m da bitola (σ_{bitola}) medido ao longo da via. É possível observar que os maiores picos do desvio padrão deste parâmetro coincidem com as juntas de dilatação existente na ponte que atravessa o rio Sado.

Existe também um pico ao Pk 76.145m que, tal como foi referido anteriormente, pode ser explicado pela existência de um dreno profundo, conforme se pode confirmar através do perfil longitudinal dessa zona.

O último pico significativo coincide com a interseção da via-férrea com uma passagem superior.

De um modo geral é possível verificar que muitas das zonas em que existem imperfeições são coincidentes em todos os parâmetros analisados. É também possível concluir que estas imperfeições ocorrem principalmente nas zonas onde se encontram as juntas de dilatação. Por último, conclui-se que, excetuando as zonas localizadas aos Pk 40.145m e Pk 76.145m, as imperfeições geométricas coincidem com a localização de obras de arte e das juntas de dilatação.

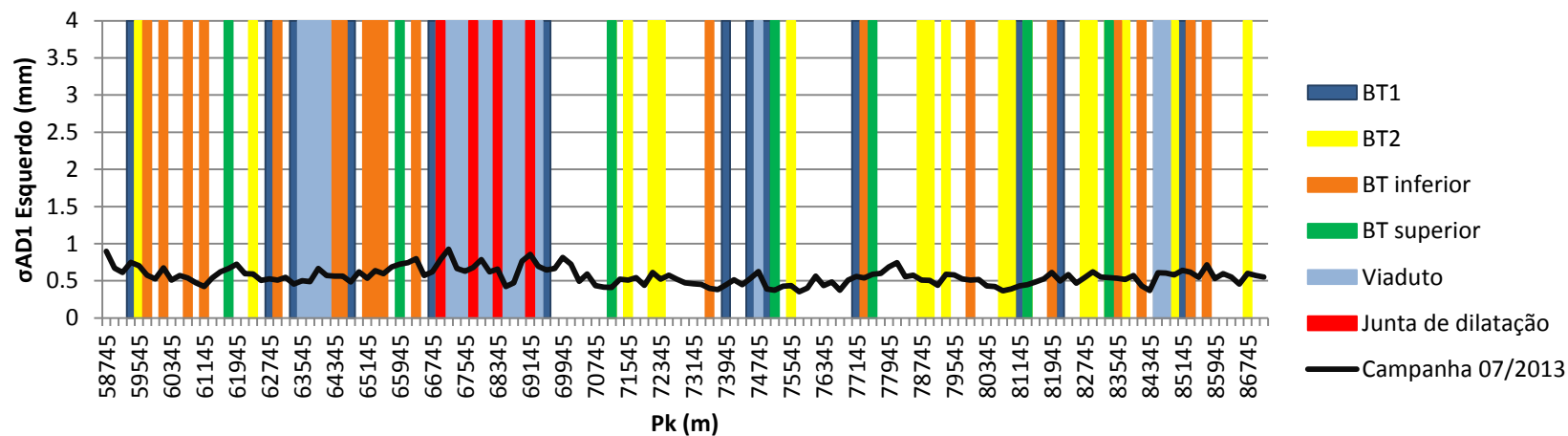


Figura 4.16 - Relação entre o desvio padrão do alinhamento D1 esquerdo (em troços de 200m) e a localização das obras de arte e juntas de dilatação da via

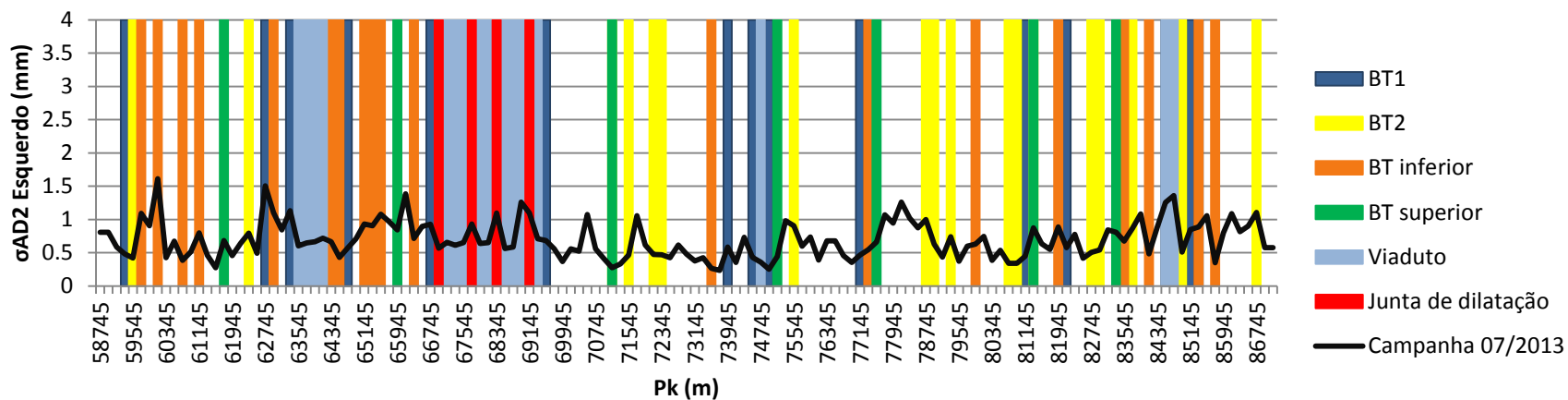


Figura 4.17 - Relação entre o desvio padrão do alinhamento D2 esquerdo (em troços de 200m) e a localização das obras de arte e juntas de dilatação da via

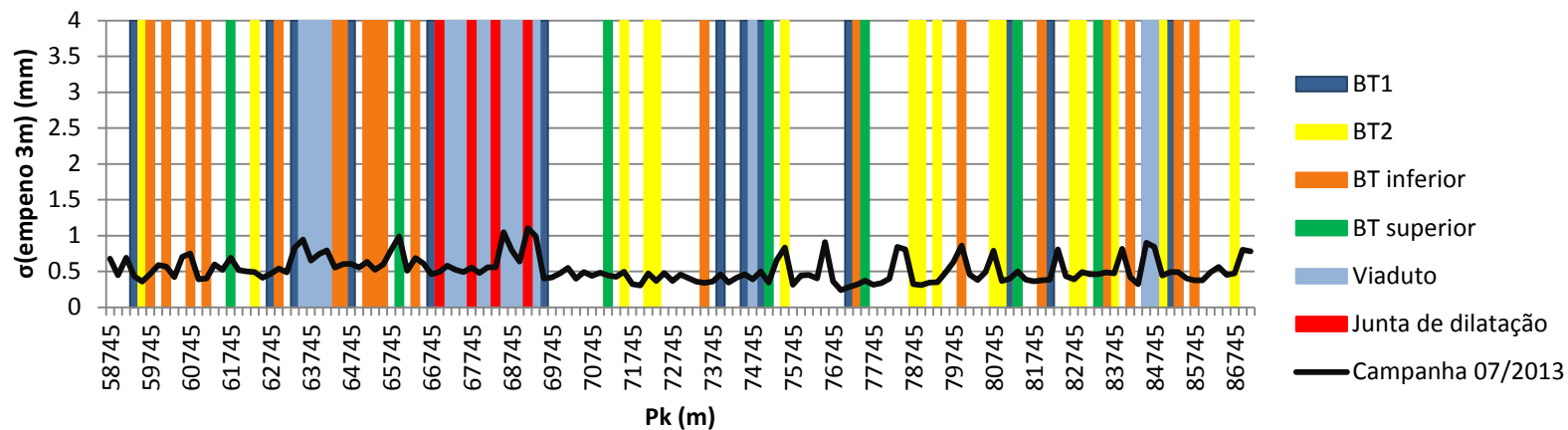


Figura 4.18 - Relação entre o desvio padrão do empeno com base de 3m (em troços de 200m) e a localização das obras de arte e juntas de dilatação da via

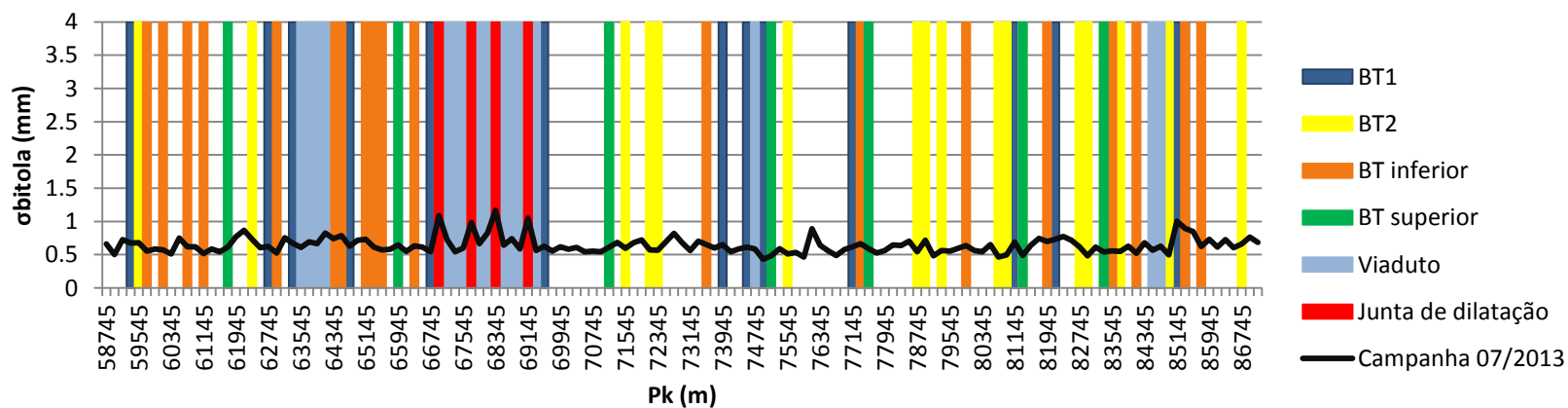


Figura 4.19 - Relação entre o desvio padrão da bitola (em troços de 200m) e a localização das obras de arte e juntas de dilatação da via

4.2.3. EVOLUÇÃO DA DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DA VIA-FÉRREA

A análise da evolução da degradação da qualidade geométrica da via-férrea foi feita através dos dados recolhidos pelo *VIV EM120* ao longo do tempo. Para esta análise foram utilizados os dados de 8 campanhas (maio de 2011, outubro de 2011, janeiro de 2012, abril de 2012, julho de 2012, outubro de 2012, maio de 2013 e julho de 2013). Contudo, nem todas as campanhas foram utilizadas na análise de alguns parâmetros geométricos, uma vez que os dados recolhidos em algumas delas eram relativamente díspares daqueles que foram recolhidos na maioria das campanhas, conforme será apresentado mais à frente.

De seguida serão analisados os três troços que tiveram maior evolução entre a primeira campanha, maio de 2011, e a última campanha, julho de 2013, para os seguintes parâmetros: nivelamento longitudinal D1, alinhamento D1, empeno com base de 3m e bitola. A análise para comprimentos de onda D2 não será efetuada, uma vez que é muito semelhante ao D1.

Uma vez mais, como os valores obtidos nas medições do carril esquerdo são muito semelhantes aos do carril direito, apenas serão apresentados os dados relativos ao carril esquerdo.

4.2.3.1. Nivelamento longitudinal

Como já foi referido, será efetuada uma análise da evolução da degradação da via relativamente ao nivelamento longitudinal D1 ($3 < \lambda < 25$ m) do carril esquerdo.

Como se pode ver na Figura 4.20, em determinados troços é possível observar que tem havido um aumento gradual do valor do desvio padrão do nivelamento longitudinal ao longo do tempo.

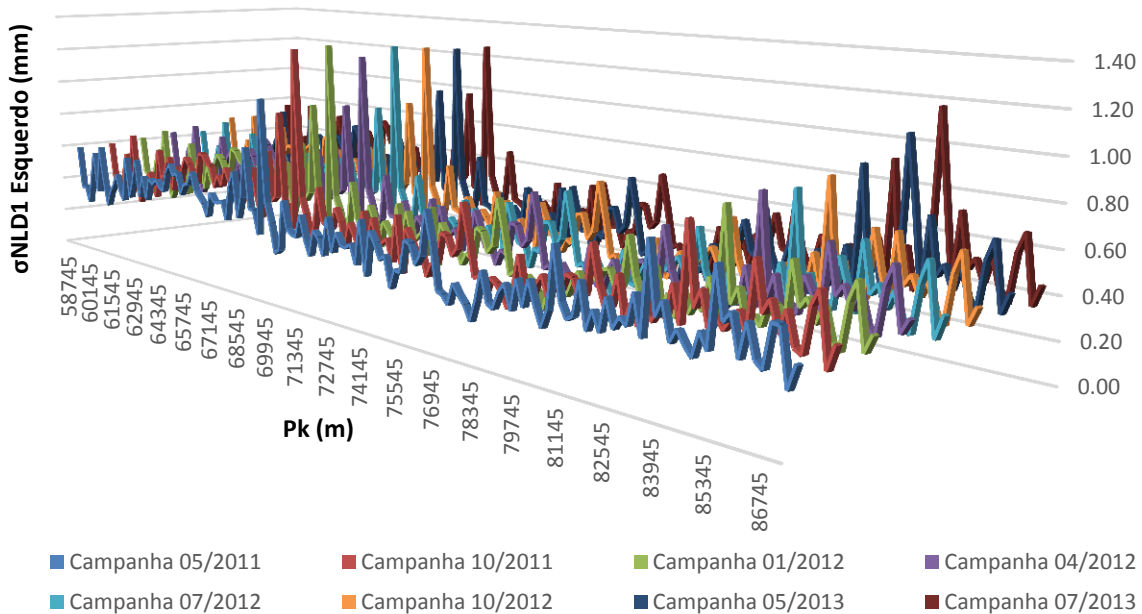


Figura 4.20 - Evolução do desvio padrão (em troços de 200m) do nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo ao longo do tempo

Após uma análise detalhada, foi determinada a percentagem de evolução deste parâmetro entre a campanha de maio de 2011 e a campanha de julho de 2013, para de seguida se estudar os troços onde

essa percentagem foi mais significativa, tentando-se procurar possíveis justificações para este aumento. Nesta análise o dia zero corresponde à primeira campanha.

O troço com a maior evolução de degradação está compreendido entre o Pk 84.545m e o Pk 84.745m, sendo esta cerca de 328%.

Como se pode ver na Figura 4.21 é nítida uma evolução deste parâmetro ao longo do tempo.

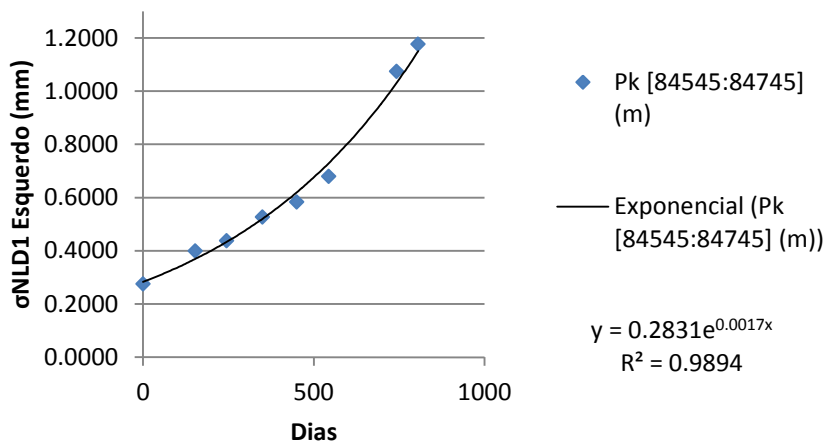


Figura 4.21 - Evolução do desvio padrão do nivelamento longitudinal ao longo do tempo entre o Pk 84.545m e o Pk 84.745m

Neste troço existe um bloco técnico do tipo 1, semelhante ao da Figura 4.13a, e uma parte do viaduto que passa sobre a EN120. A mudança de rigidez poderá ter influenciado esta evolução da degradação tão significativa.

Através de uma regressão exponencial estimou-se que, com esta evolução, o limite de alerta para o nivelamento longitudinal D1 (Quadro 3.2) pode ser ultrapassado em meados de julho de 2016. Posteriormente, na presença dos dados de uma campanha posterior a essa data seria interessante verificar se tal se concretizou.

O segundo troço com a maior taxa de evolução de degradação está compreendido entre o Pk 66.345m e o Pk 66.545m, sendo esta cerca de 104%. Essa evolução pode ser observada na Figura 4.22. Neste troço existe uma passagem hidráulica a cerca de 3m de profundidade. Aqui a evolução é menos acentuada e, através de uma regressão linear, prevê-se que o limite de alerta seja ultrapassado em 2023.

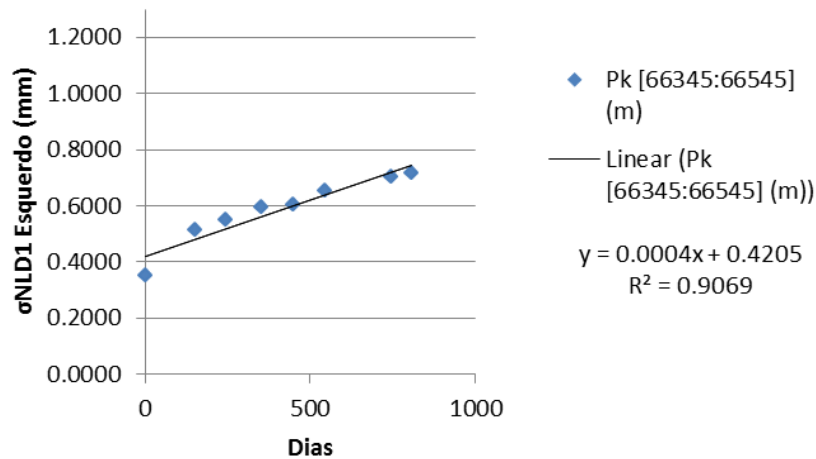


Figura 4.22 - Evolução do desvio padrão do nivelamento longitudinal ao longo do tempo entre o Pk 66.345m e o Pk 66.545m

O trecho seguinte está compreendido entre o Pk 84.745m e o Pk 84.945m (Figura 4.23), com uma taxa de evolução de cerca de 97%. Este trecho vem na continuidade do trecho referido inicialmente, portanto envolve a continuação do viaduto que passa sobre a EN120 e a passagem de obra de arte para aterro. Mais uma vez a mudança de rigidez pode ter provocado esta evolução.

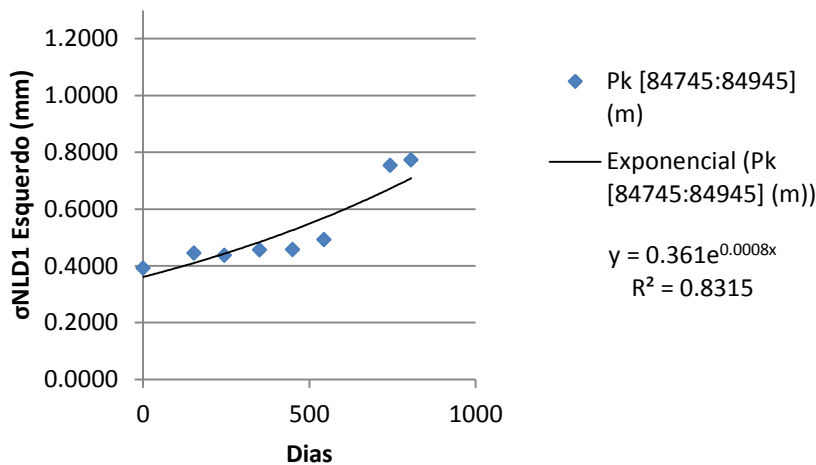


Figura 4.23 - Evolução do desvio padrão do nivelamento longitudinal ao longo do tempo entre o Pk 84.745m e o Pk 84.945m

Pode observar-se que no último ano a evolução foi mais significativa, e se continuar com esta tendência prevê-se que o limite de alerta seja ultrapassado em meados de março de 2019.

De um modo geral, os trechos onde a evolução do nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo é mais significativa coincidem com zonas onde se encontram especificidades da via, especialmente na envôlvia do viaduto que atravessa a EN120.

4.2.3.2. Alinhamento

De seguida será efetuada uma análise da evolução da degradação da via relativamente ao alinhamento D1 ($3 < \lambda < 25$ m) do carril esquerdo.

Para a análise deste parâmetro não foram considerados os dados recolhidos nas campanhas de janeiro de 2012 e julho de 2012, uma vez que tinham grandes oscilações que não se aproximavam da maioria das campanhas.

Na Figura 4.24 é possível observar que, em determinados troços, tem havido um aumento gradual do valor do desvio padrão do alinhamento ao longo do tempo.

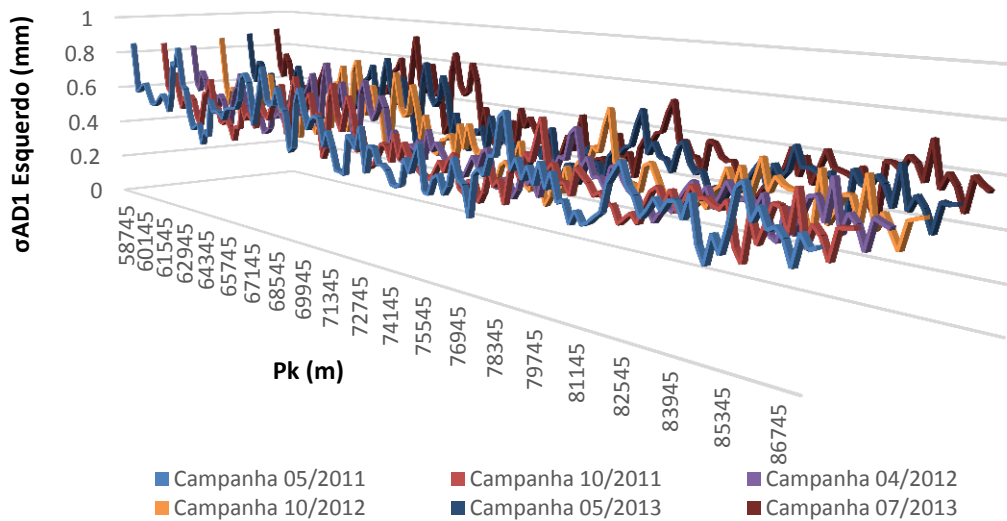


Figura 4.24 - Evolução do desvio padrão (em troços de 200m) do alinhamento D1 do carril esquerdo ao longo do tempo

O troço onde a evolução do desvio padrão do alinhamento D1 do carril esquerdo é mais acentuada (Figura 4.25) está compreendido entre o Pk 84.745m e o Pk 84.945m, e esta evolução entre a campanha de maio de 2011 e julho de 2013 é de, aproximadamente, 61%.

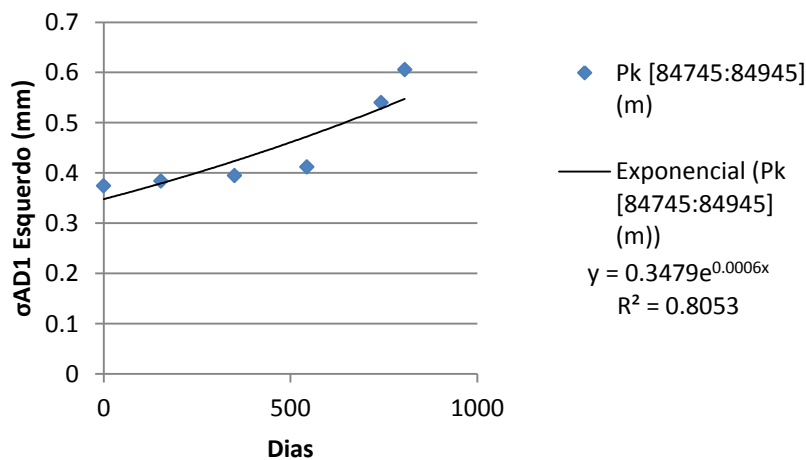


Figura 4.25 - Evolução do desvio padrão do alinhamento ao longo do tempo entre o Pk 84.745m e o Pk 84.945m

Este troço coincide com o viaduto que passa sobre a EN120 e a respetiva passagem de obra de arte para aterro. Tal como para o nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo, este troço tem também uma evolução significativa para o desvio padrão do alinhamento D1 do carril esquerdo.

Também se pode ver que no último ano houve um agravamento mais significativo. Se se mantiver esta tendência, prevê-se que o limite de alerta seja ultrapassado em meados de outubro de 2018.

O troço seguinte, compreendido entre o Pk 71.345m e o Pk 71,545m (Figura 4.26), tem uma evolução do desvio padrão do alinhamento D1 do carril esquerdo de, aproximadamente, 45%.

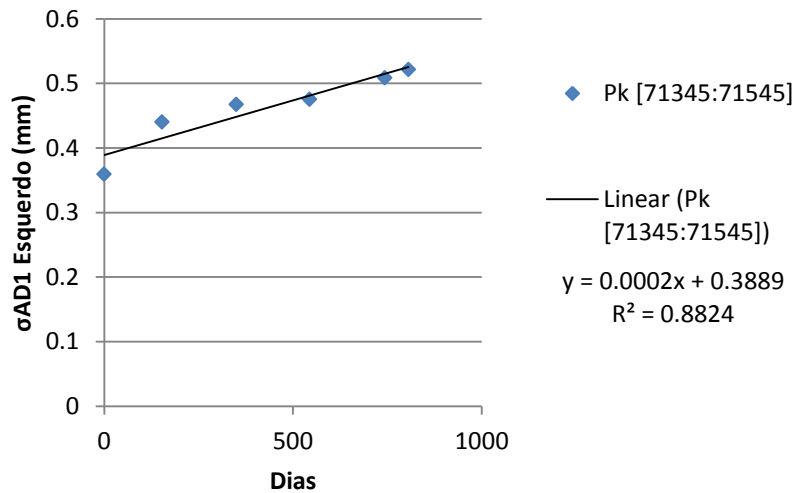


Figura 4.26 - Evolução do desvio padrão do alinhamento ao longo do tempo entre o Pk 71.345m e o Pk 71.545m

Neste troço não se encontra nenhuma especificidade da via. É uma zona de aterro, com uma altura aproximadamente constante e ligeiramente inferior a 1m, ao longo dos 200m. Pode prever-se, empiricamente, que o limite de alerta seja ultrapassado em meados de 2023.

O último troço analisado, com uma percentagem de evolução de cerca de 37%, está compreendido entre o Pk 84.545m e o Pk 84.745m (Figura 4.27).

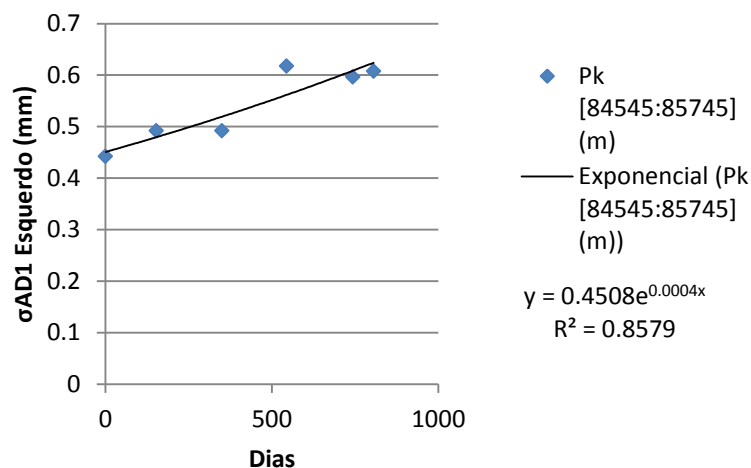


Figura 4.27 - Evolução do desvio padrão do alinhamento ao longo do tempo entre o Pk 84.545m e o Pk 84.745m

Este troço coincide com a passagem de aterro para o viaduto que passa sobre a EN120.

Em suma, verifica-se que, tal como no alinhamento longitudinal D1 do carril esquerdo, também aqui a zona envolvente ao viaduto que atravessa a EN120 é onde se verifica uma evolução mais significativa da degradação.

4.2.3.3. Empeno com base de 3m

De seguida será efetuada uma análise da evolução da degradação da via relativamente ao empeno com base de 3m. Apesar de não ser comum analisar este parâmetro através do desvio padrão, vai tentar encontrar-se uma relação.

Como se pode ver na Figura 4.28, numa primeira análise mais superficial, não são de notar grandes evoluções do desvio padrão ao longo do tempo.

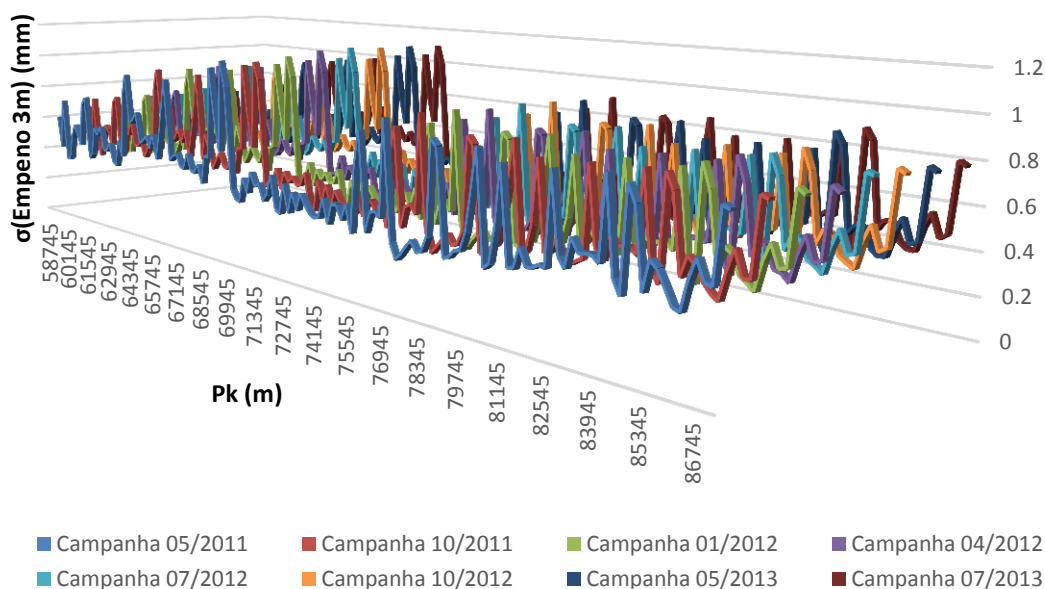


Figura 4.28 - Evolução do desvio padrão (em troços de 200m) do empeno com base de 3m ao longo do tempo

De seguida serão analisados mais pormenorizadamente os três troços onde a evolução do empeno com base de 3m é maior, entre a primeira e a última campanha.

Na Figura 4.29 está representada a evolução do desvio padrão do empeno de base 3m ao longo do tempo, para o troço compreendido entre o Pk 80.145m e o Pk 80.345m. Neste troço a evolução entre a primeira e última campanha é de, aproximadamente, 50%.

Neste troço não existem obras de arte. Há uma passagem de aterro para escavação e é uma zona que se encontra em curva e existe uma pequena concordância vertical. Não se encontra uma explicação para que a evolução do empeno de base 3m seja significativa.

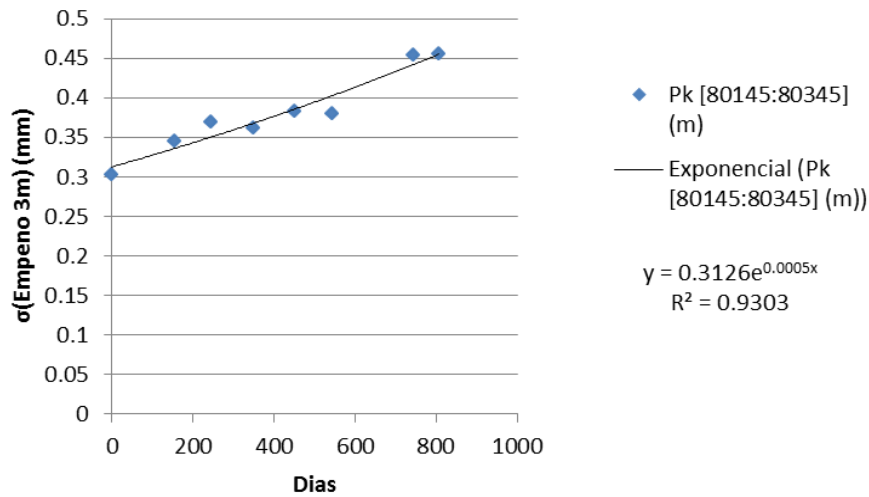


Figura 4.29 - Evolução do desvio padrão do empeno de base 3m ao longo do tempo entre o Pk 80.145m e o Pk 80.345m

O próximo troço, compreendido entre o Pk 69.945m e o Pk 70.145m, tem uma evolução de, aproximadamente, 44%.

Este troço encontra-se imediatamente a seguir à ponte que atravessa o rio Sado. Além dessa proximidade, não existe nenhuma obra de arte neste intervalo.

O facto de esta zona fazer parte da 2ª fase da construção da via, e o troço imediatamente a seguir fazer parte da 1ª fase, pode ter originado características diferentes a estes troços e daí originar esta evolução do empeno de base de 3m mais significativa.

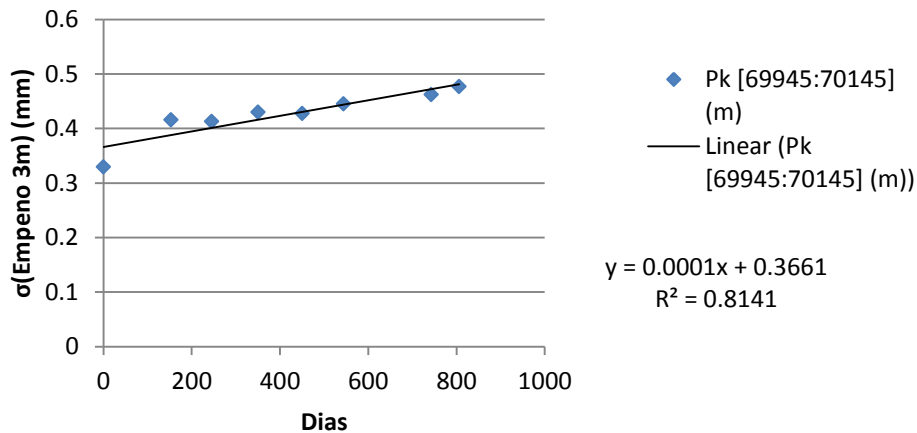


Figura 4.30 - Evolução do desvio padrão do empeno de base 3m ao longo do tempo entre o Pk 69.945m e o Pk 70.145m

Na Figura 4.31 está representada a evolução do desvio padrão do empeno de base 3m ao longo do tempo, para o troço compreendido entre o Pk 66.345m e o Pk 66.545m. Neste troço a evolução entre a primeira e última campanha é de, aproximadamente, 37%.

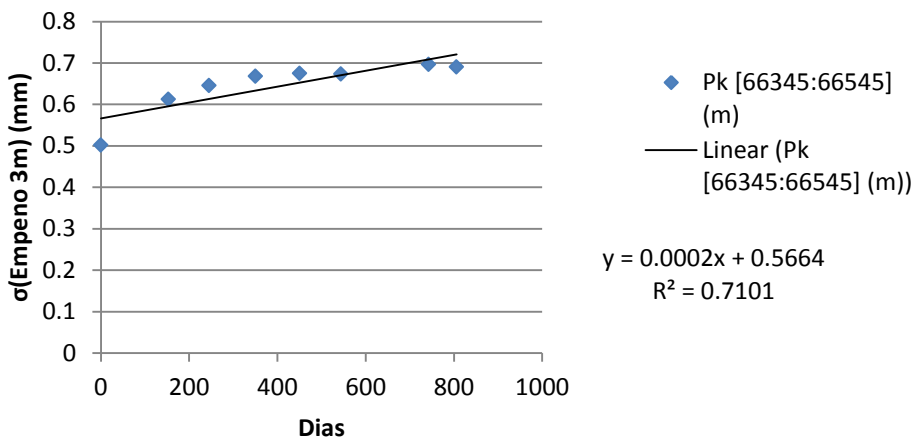


Figura 4.31 - Evolução do desvio padrão do empeno de base 3m ao longo do tempo entre o Pk 66.345m e o Pk 66.545m

Neste trecho existe uma passagem hidráulica a cerca de 5m de profundidade e um aterro com a mesma profundidade. Além disso também é uma zona onde há dreno profundo e máscaras drenantes.

Em suma, para este parâmetro, não parece haver uma relação muito direta com a presença de obras de arte.

4.2.3.4. Bitola

De seguida será efetuada uma análise da evolução da degradação da via relativamente à bitola. Apesar de não ser comum analisar este parâmetro através do desvio padrão, vai tentar encontrar-se uma relação.

Na Figura 4.32 está representada a evolução do desvio padrão (em treços de 200m) da bitola ao longo do tempo. Numa primeira análise não é visível uma evolução significativa.

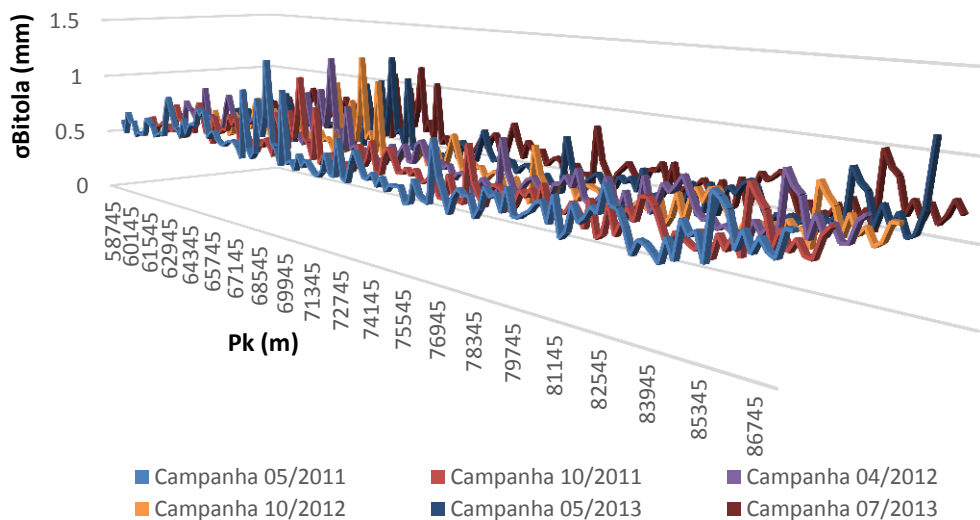


Figura 4.32 - Evolução do desvio padrão (em treços de 200m) da bitola ao longo do tempo

Para este parâmetro os dados recolhidos nas campanhas de janeiro de 2012 e julho de 2012, não foram considerados, uma vez que tinham grandes oscilações que não se aproximavam daquelas que foram registadas na maioria das campanhas.

De seguida serão analisados mais pormenorizadamente os três troços onde a evolução do desvio padrão (em troços de 200m) da bitola é maior, entre a primeira e a última campanha.

Na Figura 4.33 está representada a evolução do desvio padrão da bitola ao longo do tempo, para o troço compreendido entre o Pk 71.745m e o Pk 71.945m. Neste troço a evolução entre a primeira e última campanha é de, aproximadamente, 30%.

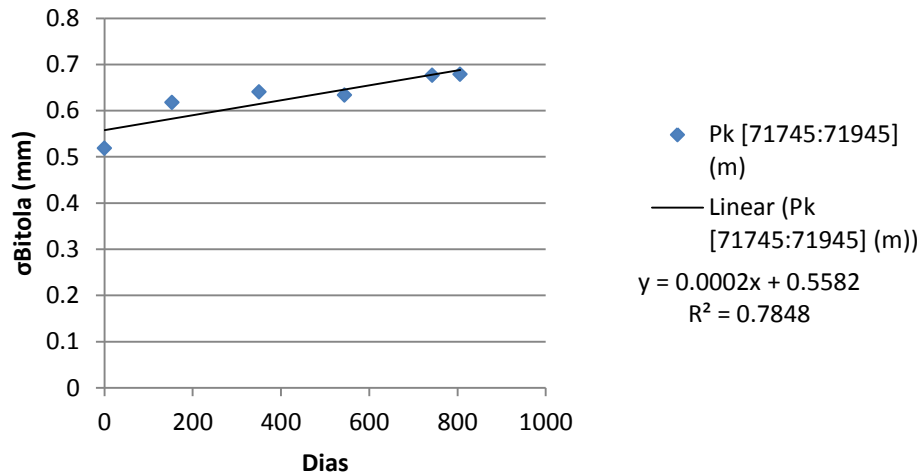


Figura 4.33 - Evolução do desvio padrão da bitola ao longo do tempo entre o Pk 71.745m e o Pk 71.945m

Neste troço existe uma passagem hidráulica a baixa profundidade.

No troço seguinte (Figura 4.34), compreendido entre o Pk 73.345m e o Pk 73.545m, a evolução do desvio padrão da bitola entre a primeira e a última campanha é de, aproximadamente, 26%.

Nesta zona não há obras de arte e parece não haver uma justificação aparente para esta variação.

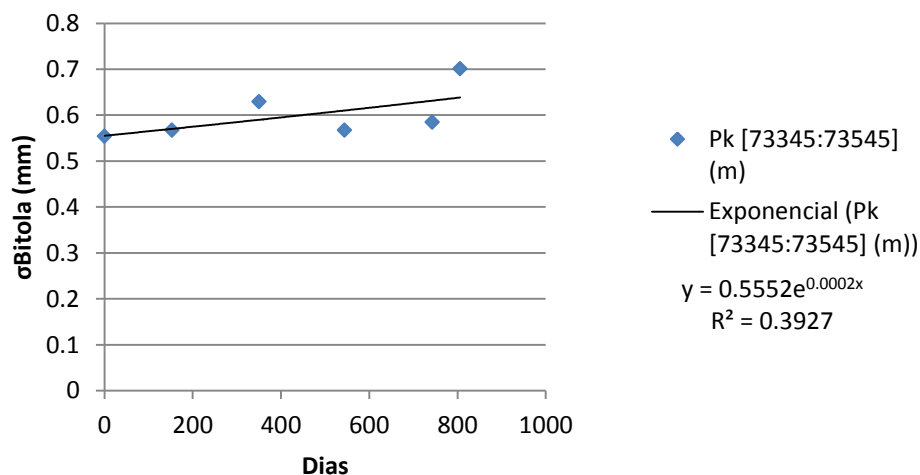


Figura 4.34 - Evolução do desvio padrão da bitola ao longo do tempo entre o Pk 73.345m e o Pk 73.545m

Por ultimo, na Figura 4.35 está representada a evolução do desvio padrão da bitola, no troço compreendido entre o Pk 67.145m e o Pk 67.345m. Neste troço a evolução da degradação é de, aproximadamente, 23%.

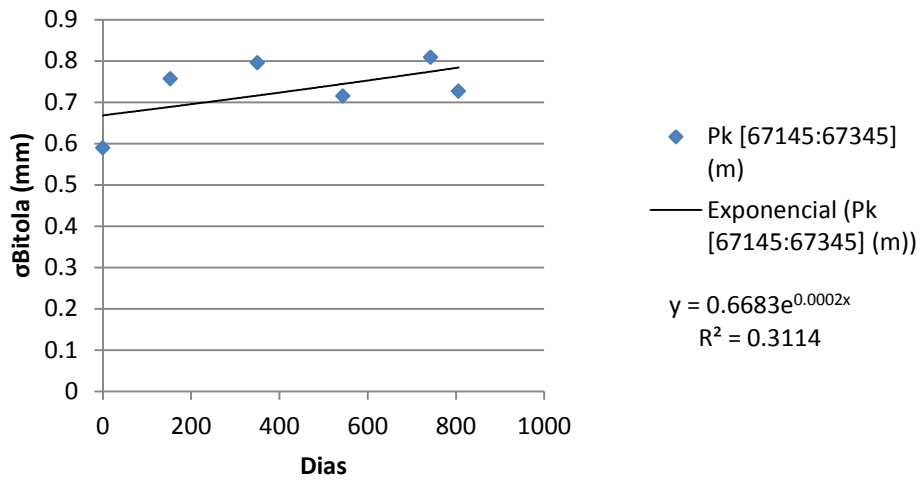


Figura 4.35 - Evolução do desvio padrão da bitola ao longo do tempo entre o Pk 67.145m e o Pk 67.345m

Tal como no troço anterior, também neste a variação do desvio padrão da bitola oscilou ao longo do tempo.

Este troço está inserido na ponte que atravessa o rio Sado, e desta forma não se encontra uma razão que justifique claramente a variação da bitola.

De um modo geral a bitola tem variações menos significativas, comparativamente com os outros parâmetros. No entanto, a variação desta não é constante, oscilando ao longo do tempo.

5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Com o aumento da exigência da qualidade de serviço da via-férrea é extremamente importante que seja feita uma análise correta e eficaz do funcionamento da mesma. Para isso é necessário haver uma avaliação dos parâmetros geométricos e perceber qual a evolução que estes têm ao longo do tempo e se esta evolução está ou não relacionada com zonas específicas da via-férrea, para se puder perceber e prever possíveis irregularidades.

Neste trabalho foi feito um estudo na linha férrea designada por Variante de Alcácer, com o intuito de encontrar uma relação entre as características da sua subestrutura e a degradação da qualidade geométrica medida ao nível dos carris.

Com o auxílio do *Matlab* foram trabalhados os dados de modo a serem corretamente utilizados e, de seguida, foi feita uma análise dos resultados no Excel. Os parâmetros estudados foram: o nivelamento longitudinal; o alinhamento; o empeno com base de 3m; e a bitola. O nivelamento transversal não foi analisada dado que não havia informação suficiente para proceder a uma análise eficiente.

Inicialmente verificou-se que nenhum dos parâmetros excede as tolerâncias exigidas pelo documento IT.VIA.018 (2009) emitido pela REFER. Estes resultados eram de esperar, uma vez que esta via foi construída recentemente.

Seguidamente, para se analisar a possível influência das características da subestrutura na degradação da via, foi feito um estudo para os parâmetros atrás referidos. Este estudo consiste no cálculo do desvio padrão para cada parâmetro, em troços de 200m, e na verificação, em cada um dos troços, da existência de alguma particularidade da via que possa influenciar a degradação. É importante salientar que para os parâmetros que são avaliados para o carril esquerdo e direito, apenas foram apresentados os relativos ao carril esquerdo, uma vez que os valores entre os dois carris são muito semelhantes.

Foi possível verificar que para o nivelamento longitudinal (NL) D1 ($3 < \lambda < 25\text{m}$) e D2 ($25 < \lambda < 70\text{m}$) os troços onde o desvio padrão é mais elevado coincidem com a localização das juntas de dilatação da ponte que atravessa o rio Sado e com o viaduto que passa sobre a EN120. Verificou-se também que grande parte dos picos deste desvio padrão coincide com viadutos e com passagens hidráulicas ou passagens de fauna que se localizam a menos de 3m de profundidade.

Através do desvio padrão do alinhamento (A) D1 e D2, em troços de 200m, do empeno de base 3m (E3m) e da bitola (B) verificou-se que, tal como no NL, também nestes as principais irregularidades ocorrem nas zonas referidas anteriormente. Contudo, também se verifica que os maiores valores de desvio padrão são ligeiramente inferiores comparativamente com os do NL.

De um modo geral confirma-se que as particularidades da subestrutura influenciam a degradação da qualidade geométrica da via-férrea.

Por último foi estudada a influência que as especificidades da subestrutura têm na evolução da degradação da via-férrea. Também aqui foi utilizada a estratégia de analisar a via através do desvio padrão para treços de 200m. Para verificar a evolução dos parâmetros ao longo do tempo foram utilizadas 8 campanhas de medição do *EM120*, compreendidas entre maio de 2011 e julho de 2013.

Com esta análise verifica-se que o nivelamento longitudinal D1 é o parâmetro que tem tido degradação com uma evolução mais significativa. Neste parâmetro os treços onde a evolução é maior coincidem com especificidades da subestrutura, em particular o viaduto que passa sobre a EN120 e uma passagem hidráulica que se encontra a menos de 3m de profundidade.

Relativamente ao alinhamento D1, verifica-se que, apesar de a taxa de degradação ser menor, tal como no alinhamento longitudinal D1 do carril esquerdo, também aqui a zona envolvente ao viaduto que atravessa a EN120 é aquela onde se verifica uma evolução mais significativa da degradação.

Relativamente ao empeno com base de 3m e à bitola parece não haver uma relação direta entre as especificidades da superestrutura e a degradação ao nível dos carris. Contudo, é de salientar que a evolução da bitola é relativamente irregular ao longo do tempo, não tendo uma evolução constante.

Em suma, pode concluir-se que existe uma relação direta entre a degradação da via e algumas especificidades da via e que, para o nivelamento longitudinal e para o alinhamento, parece existir uma relação entre estas especificidades e a evolução da degradação.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Uma vez que são efetuadas periodicamente medições dos parâmetros da via-férrea através do *EM120* seria pertinente verificar se a evolução dos parâmetros coincide com a aqui avaliada e, como foi feita uma previsão empírica relativamente às tolerâncias de alerta para o nivelamento longitudinal e alinhamento, seria interessante verificar se essas previsões se comprovaram.

BIBLIOGRAFIA

- Brown, S. F.; Kwan, J.; Thom, N. H. (2007). *Identifying the key parameters that influence geogrid reinforcement of railway ballast*. Geotextiles and Geomembranes, Volume 25, Issue 6, 12/09/2007. pp. 326-335.
- Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track*. Second Edition. MRT-Productions. Delft University of Technology.
- Ferreira, J. (2010). *Intervenções de construção, renovação e manutenção na via-férrea*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Fortunato, E. (2005). *Renovação de Plataformas Ferroviárias : Estudos Relativos à Capacidade de Carga*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Fortunato, E.; Paixão, A. (2014). "Influência da Subestrutura no Desempenho da Via-Férrea". Actas do XVII COBRAMSEG - Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica e VII Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia. Goiânia, Brasil, 9 a 13 de setembro de 2014 (aceite para publicação).
- Fortunato, E.; Paixão, A.; Calcada, R. (2013). *Railway Track Transition Zones: Design, Construction, Monitoring and Numerical Modelling*. International Journal of Railway Technology, Volume 2, Issue 4, pp. 33-58.
- Li, D.; Davis, D. (2005). *Transition of Railroad Bridge Approaches*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Volume 131, Issue 11, pp. 1392-1398.
- Lundqvist, A.; Dahlberg, T. (2005). *Load impact on railway track due to unsupported sleepers*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 01/03/2005. pp. 67-77.
- NP-EN13450 (2005) "Agregados para Balastro de Via Férrea". Instituto Português da Qualidade.
- Paixao, A.; Fortunato, E.; Calcada, R. (2013). *Design and construction of backfills for railway track transition zones*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 28/08/2013.
- Read, D.; Li, D. (2006). *Design of track transitions*. Research Results Digest 79, October/2006, Transportation Technology Center TTCl, Pueblo, Colorado
- REFER (2001). VIV02 (EM120) – Veículo de inspeção de via. Descrição dos sistemas de medição. Rede Ferroviária Nacional. Conservação Via e Geotecnia, Relatório Interno.
- REFER (2009a). *Caderno de Encargos. Variante de Alcácer: Linha do Sul, Ligação Ferroviária Sines – Elvas*.
- REFER (2009b). *Projecto de Execução; Variante de Alcácer (2ªFase): Via-Férrea e Instalações Fixas de Tracção Eléctrica*.
- REFER: IT.VIA.018 (2009) (Versão 02). "Tolerâncias dos parâmetros geométricos da via". 20/02/2009 REFER.
- Ribeiro, A. (2012). *Transições Aterro - Estrutura em Linhas Ferroviárias de Alta Velocidade: Análise Experimental e Numérica*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Seara, I.; Correia, A. G. (2008). "Zonas de Transição de Vias-Férreas. A Importância de uma Solução Geoestrutural". Em XI Congresso Nacional de Geotecnia, Coimbra, 8-11 Abril.

Selig, E.; Waters, J. (1994). *Track geotechnology and substructure management*. Thomas Telford Service Ltd. London.

Selig, E. T.; Yoo, T. S.; Panuccio, C. M. (1982). *Mechanics of ballast compaction Volume 1: Technical review of ballast compaction and related topics*. U.S. Department of Transportation. Federal Railroad Administration, Washington, DC., USA.

Shin, E. C.; Kim, D. H.; Das, B. M. (2002). *Geogrid-reinforced railroad bed settlement due to cyclic load*. *Geotechnical & Geological Engineering*, Volume 20, Issue 3, 01/09/2002. pp. 261-271.

UIC (1994). UIC719R: *Ouvrages en Terre et Couches d' Assise Ferroviaires*. UIC.

UIC (2002). *Feasibility Study Ballastless Track*. UIC Infrastructure Commission - Civil Engineering Support Group.

Vale, C. (2010). *Influência da qualidade dos sistemas ferroviários no comportamento dinâmico e no planeamento da manutenção preventiva de vias de alta velocidade*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Varandas, J. N. (2013). *Long-term behaviour of railway transitions under dynamic loading*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

ANEXOS

ANEXO I

DESVIO PADRÃO DOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS

Quadro I.1 - Desvio padrão do nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo

Pk (m)		Desvio padrão do nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
58,745	58,945	0.5841	0.5906	0.6117	0.6302	0.6215	0.6956	0.7422	0.7540						
58,945	59,145	0.3390	0.3697	0.3961	0.3930	0.3854	0.4038	0.4153	0.4185						
59,145	59,345	0.3438	0.3580	0.3815	0.3881	0.3776	0.3919	0.3935	0.3951						
59,345	59,545	0.2570	0.2631	0.3073	0.3430	0.3739	0.3637	0.4263	0.4369	sim					
59,545	59,745	0.4030	0.4244	0.4365	0.4303	0.4467	0.4728	0.4764	0.4815		sim				
59,745	59,945	0.5652	0.5438	0.5517	0.5476	0.5445	0.5641	0.5568	0.5549			sim			
59,945	60,145	0.3350	0.3269	0.3430	0.3356	0.3377	0.3598	0.3561	0.3560						
60,145	60,345	0.6099	0.6673	0.6791	0.6957	0.7046	0.7303	0.7453	0.7706			sim			
60,345	60,545	0.4093	0.3920	0.3905	0.3978	0.3804	0.3986	0.4075	0.4093						
60,545	60,745	0.2673	0.2672	0.2715	0.2855	0.2650	0.2949	0.2885	0.2931						
60,745	60,945	0.3497	0.3402	0.3392	0.3463	0.3224	0.3478	0.3418	0.3454			sim			
60,945	61,145	0.3950	0.3898	0.3992	0.4162	0.3994	0.4322	0.4481	0.4489						
61,145	61,345	0.4631	0.4585	0.4599	0.4748	0.4495	0.4716	0.4724	0.4687			sim			
61,345	61,545	0.3674	0.3772	0.3759	0.3920	0.3667	0.3959	0.4031	0.3951						
61,545	61,745	0.3227	0.3222	0.3208	0.3401	0.3155	0.3366	0.3494	0.3432						
61,745	61,945	0.5798	0.6070	0.6317	0.6593	0.6622	0.6877	0.7224	0.7289				sim		
61,945	62,145	0.3497	0.4262	0.4443	0.4829	0.4765	0.5235	0.5980	0.6009						
62,145	62,345	0.4407	0.5036	0.5145	0.5473	0.5348	0.5789	0.6270	0.6276						
62,345	62,545	0.5779	0.5771	0.5580	0.5810	0.5514	0.5707	0.6045	0.6032		sim				
62,545	62,745	0.3668	0.3857	0.3756	0.3885	0.3585	0.3771	0.3818	0.3807						
62,745	62,945	0.4919	0.5306	0.5166	0.5304	0.5395	0.5508	0.5796	0.6126	sim					
62,945	63,145	0.3600	0.4177	0.4228	0.4298	0.4059	0.4242	0.4477	0.4495			sim			

Pk (m)		Desvio padrão do nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
63,145	63,345	0.4840	0.5275	0.5287	0.5513	0.5468	0.5789	0.6396	0.6601						
63,345	63,545	0.4613	0.5989	0.5976	0.6123	0.5862	0.6077	0.6458	0.6522	sim					
63,545	63,745	0.4888	0.5631	0.5692	0.5710	0.5286	0.5434	0.5572	0.5710					sim	
63,745	63,945	0.4490	0.4736	0.5019	0.4882	0.4554	0.4879	0.4756	0.4976					sim	
63,945	64,145	0.4368	0.4638	0.4629	0.4628	0.4248	0.4442	0.4597	0.4706					sim	
64,145	64,345	0.5459	0.6395	0.6530	0.6862	0.6443	0.6653	0.7213	0.7369					sim	
64,345	64,545	0.5970	0.6391	0.6390	0.6566	0.6469	0.6707	0.6959	0.7030	sim		sim			
64,545	64,745	0.5411	0.5869	0.5866	0.5984	0.5716	0.5950	0.5952	0.6082			sim			
64,745	64,945	0.5574	0.5784	0.5678	0.5919	0.5956	0.6030	0.6511	0.6637	sim					
64,945	65,145	0.4416	0.4616	0.4727	0.4764	0.4544	0.4801	0.4758	0.4724						
65,145	65,345	0.5004	0.5327	0.5236	0.5292	0.5209	0.5361	0.5427	0.5478			sim			
65,345	65,545	0.5105	0.4794	0.4726	0.4851	0.4541	0.4721	0.4817	0.4883			sim			
65,545	65,745	0.5793	0.5860	0.5777	0.5750	0.5510	0.5613	0.5590	0.5588			sim			
65,745	65,945	0.4797	0.5156	0.5113	0.5220	0.5321	0.5638	0.5733	0.6045						
65,945	66,145	0.4460	0.4485	0.4552	0.4624	0.4374	0.4548	0.4628	0.4665				sim		
66,145	66,345	0.4159	0.4222	0.4323	0.4480	0.4227	0.4441	0.4753	0.4766						
66,345	66,545	0.3505	0.5115	0.5516	0.5933	0.6028	0.6524	0.7022	0.7171			sim			
66,545	66,745	0.4865	0.4974	0.5251	0.5391	0.5281	0.5631	0.6092	0.6124						
66,745	66,945	0.4409	0.4262	0.4447	0.4417	0.4478	0.4524	0.4682	0.4702	sim					
66,945	67,145	0.4431	0.6179	0.6325	0.6842	0.6181	0.7261	0.7279	0.7306					sim	sim
67,145	67,345	0.4570	0.4654	0.4828	0.4351	0.4682	0.4430	0.4532	0.4490					sim	
67,345	67,545	0.3580	0.3508	0.3589	0.3637	0.3647	0.3715	0.3665	0.3570					sim	
67,545	67,745	0.5410	0.5255	0.5249	0.5256	0.5149	0.5290	0.5316	0.5239					sim	

Pk (m)		Desvio padrão do nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
67,745	67,945	0.6351	0.7260	0.7556	0.7189	0.7502	0.7674	0.7763	0.7617					sim	sim
67,945	68,145	0.3865	0.4573	0.4424	0.4594	0.4389	0.4402	0.4708	0.4591					sim	
68,145	68,345	0.5036	0.4851	0.4905	0.4861	0.4573	0.4816	0.4773	0.4816					sim	
68,345	68,545	0.7785	0.9502	0.9810	0.9632	0.9370	0.9483	1.0102	0.9768					sim	sim
68,545	68,745	0.4519	0.4253	0.4135	0.4346	0.4374	0.4299	0.4335	0.4291					sim	
68,745	68,945	0.4460	0.4588	0.4545	0.4647	0.4426	0.4579	0.4592	0.4455					sim	
68,945	69,145	0.3210	0.3280	0.3127	0.3442	0.3195	0.3341	0.3447	0.3304					sim	
69,145	69,345	1.0538	1.3052	1.3178	1.2434	1.2912	1.2757	1.2606	1.2623					sim	sim
69,345	69,545	0.5066	0.5135	0.4959	0.5134	0.4981	0.4932	0.5042	0.5087					sim	
69,545	69,745	0.4000	0.4257	0.4217	0.4198	0.4137	0.4195	0.4091	0.4094	sim					
69,745	69,945	0.2460	0.2924	0.2713	0.2843	0.2564	0.2730	0.2674	0.2684						
69,945	70,145	0.2688	0.3581	0.3562	0.3690	0.3607	0.3895	0.4178	0.4259						
70,145	70,345	0.5349	0.5846	0.5930	0.6095	0.5894	0.6260	0.6592	0.6707						
70,345	70,545	0.3916	0.4072	0.3919	0.4019	0.3745	0.3909	0.3947	0.3977						
70,545	70,745	0.3660	0.3899	0.3755	0.3911	0.3615	0.3794	0.3848	0.3854						
70,745	70,945	0.3620	0.3803	0.3710	0.3711	0.3463	0.3658	0.3611	0.3650						
70,945	71,145	0.4800	0.4960	0.4862	0.4884	0.4406	0.4709	0.4717	0.4712						
71,145	71,345	0.3552	0.4287	0.4027	0.4037	0.3785	0.3975	0.3977	0.4010		sim		sim		
71,345	71,545	0.2794	0.2953	0.2761	0.2810	0.2516	0.2719	0.2685	0.2757						
71,545	71,745	0.4150	0.4316	0.4181	0.4236	0.3916	0.4130	0.4135	0.4158		sim				
71,745	71,945	0.3846	0.3740	0.3747	0.3857	0.3591	0.3764	0.3752	0.3783						
71,945	72,145	0.2979	0.3077	0.3191	0.3271	0.2998	0.3135	0.3184	0.3197						
72,145	72,345	0.5029	0.5113	0.5264	0.5307	0.5039	0.5269	0.5310	0.5355		sim				

Pk (m)		Desvio padrão do nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
72,345	72,545	0.3273	0.3364	0.3510	0.3423	0.3210	0.3400	0.3379	0.3420		sim				
72,545	72,745	0.4326	0.4866	0.4986	0.5001	0.4673	0.4908	0.4951	0.4959						
72,745	72,945	0.3737	0.3613	0.3708	0.3633	0.3618	0.3726	0.3772	0.3765						
72,945	73,145	0.3700	0.3665	0.3670	0.3669	0.3500	0.3502	0.3648	0.3617						
73,145	73,345	0.3932	0.3955	0.4044	0.4009	0.3913	0.4050	0.4140	0.4145						
73,345	73,545	0.2941	0.2821	0.2921	0.2871	0.2770	0.2819	0.2918	0.2898						
73,545	73,745	0.5288	0.5284	0.5453	0.5438	0.5327	0.5498	0.5626	0.5567			sim			
73,745	73,945	0.2506	0.2376	0.2527	0.2492	0.2365	0.2486	0.2490	0.2482						
73,945	74,145	0.4834	0.4736	0.4768	0.5195	0.5380	0.5152	0.5806	0.5809	sim					
74,145	74,345	0.4290	0.4129	0.4190	0.4257	0.4152	0.4323	0.4459	0.4419						
74,345	74,545	0.3530	0.3421	0.3521	0.3353	0.3324	0.3537	0.3499	0.3471						
74,545	74,745	0.3770	0.3642	0.3670	0.3435	0.3554	0.3642	0.3564	0.3593	sim					
74,745	74,945	0.2232	0.2549	0.2897	0.2606	0.2199	0.2763	0.2429	0.2477					sim	
74,945	75,145	0.3213	0.3246	0.3496	0.3415	0.3259	0.3497	0.3601	0.3492	sim					
75,145	75,345	0.3149	0.3361	0.3314	0.3273	0.3128	0.3305	0.3344	0.3315				sim		
75,345	75,545	0.4776	0.4892	0.4908	0.4925	0.4737	0.4906	0.5016	0.5037						
75,545	75,745	0.4666	0.4781	0.4771	0.4871	0.4778	0.5009	0.5071	0.4995		sim				
75,745	75,945	0.3714	0.3888	0.3787	0.3832	0.3572	0.3718	0.3836	0.3833						
75,945	76,145	0.4223	0.4315	0.4210	0.4243	0.4069	0.4202	0.4227	0.4214						
76,145	76,345	0.6489	0.6601	0.6585	0.6673	0.6536	0.6817	0.6816	0.6792						
76,345	76,545	0.4977	0.5034	0.4931	0.5039	0.4724	0.4998	0.5002	0.5015						
76,545	76,745	0.2733	0.3075	0.2926	0.2970	0.2842	0.3009	0.2897	0.3029						
76,745	76,945	0.2582	0.3197	0.3167	0.3228	0.3060	0.3227	0.3159	0.3245						

Pk (m)		Desvio padrão do nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
76,945	77,145	0.2201	0.2404	0.2177	0.2208	0.2061	0.2231	0.2189	0.2295						
77,145	77,345	0.3270	0.3268	0.3104	0.3432	0.3479	0.3402	0.3729	0.3662	sim					
77,345	77,545	0.2781	0.3047	0.2852	0.2944	0.2829	0.2919	0.2941	0.2966			sim			
77,545	77,745	0.2407	0.2642	0.2436	0.2594	0.2390	0.2599	0.2563	0.2571				sim		
77,745	77,945	0.1710	0.2004	0.1613	0.1701	0.1537	0.1702	0.1646	0.1700						
77,945	78,145	0.2763	0.3023	0.2768	0.2873	0.2673	0.2846	0.2888	0.2947						
78,145	78,345	0.4203	0.4676	0.4388	0.4596	0.4130	0.4450	0.4544	0.4559						
78,345	78,545	0.2772	0.2887	0.2757	0.2813	0.2602	0.2680	0.2725	0.2775						
78,545	78,745	0.2580	0.2681	0.2595	0.2648	0.2514	0.2640	0.2651	0.2630						
78,745	78,945	0.3391	0.3490	0.3362	0.3531	0.3326	0.3530	0.3556	0.3509		sim				
78,945	79,145	0.3869	0.3995	0.3865	0.4156	0.3869	0.4043	0.4159	0.4101		sim				
79,145	79,345	0.2709	0.2805	0.2808	0.2964	0.2701	0.2815	0.3058	0.2976						
79,345	79,545	0.4227	0.4224	0.4394	0.4539	0.4268	0.4430	0.4586	0.4555		sim				
79,545	79,745	0.3008	0.3486	0.3624	0.3698	0.3566	0.3749	0.3867	0.3820						
79,745	79,945	0.4327	0.4287	0.4240	0.4377	0.3986	0.4256	0.4404	0.4366						
79,945	80,145	0.3187	0.4178	0.4308	0.4399	0.4361	0.4570	0.5647	0.5741			sim			
80,145	80,345	0.2307	0.3301	0.3459	0.3760	0.3613	0.3780	0.4155	0.4096						
80,345	80,545	0.3186	0.3607	0.3638	0.3745	0.3549	0.3719	0.3962	0.3908						
80,545	80,745	0.6155	0.5984	0.6061	0.6262	0.5955	0.6180	0.6392	0.6394						
80,745	80,945	0.3675	0.4181	0.4176	0.4281	0.3931	0.4178	0.4307	0.4260		sim				
80,945	81,145	0.2979	0.3173	0.3316	0.3310	0.3119	0.3261	0.3381	0.3341		sim				
81,145	81,345	0.3185	0.3305	0.3524	0.3658	0.3586	0.3529	0.3839	0.3721	sim					
81,345	81,545	0.4826	0.4835	0.4906	0.5049	0.4681	0.4892	0.5042	0.5078		sim		sim		

Pk (m)		Desvio padrão do nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
81,545	81,745	0.2703	0.2712	0.2844	0.2868	0.2621	0.2705	0.2814	0.2790						
81,745	81,945	0.3673	0.3682	0.3805	0.3771	0.3537	0.3717	0.3781	0.3803						
81,945	82,145	0.2783	0.2721	0.2791	0.2724	0.2551	0.2746	0.2706	0.2747			sim			
82,145	82,345	0.4377	0.4450	0.4306	0.4566	0.4579	0.4498	0.4889	0.4876	sim					
82,345	82,545	0.3090	0.3080	0.3104	0.3088	0.2965	0.3119	0.3118	0.3188						
82,545	82,745	0.3664	0.3649	0.3767	0.3613	0.3531	0.3667	0.3615	0.3614						
82,745	82,945	0.3368	0.3395	0.3391	0.3392	0.3331	0.3537	0.3673	0.3682		sim				
82,945	83,145	0.4841	0.4943	0.4955	0.5176	0.5035	0.5231	0.5327	0.5405		sim				
83,145	83,345	0.2995	0.3236	0.3239	0.3359	0.3209	0.3344	0.3333	0.3323						
83,345	83,545	0.7235	0.7811	0.8209	0.8556	0.8447	0.8793	0.9153	0.9171		sim		sim		
83,545	83,745	0.4030	0.4100	0.3972	0.3933	0.3872	0.4036	0.3942	0.3908			sim			
83,745	83,945	0.4767	0.4958	0.4770	0.5044	0.4801	0.5060	0.5257	0.5267		sim				
83,945	84,145	0.3122	0.3269	0.3064	0.3120	0.3063	0.3173	0.3242	0.3258						
84,145	84,345	0.3752	0.3957	0.3697	0.3888	0.3726	0.3898	0.4012	0.3962			sim			
84,345	84,545	0.3174	0.3475	0.3312	0.3514	0.3398	0.3569	0.3686	0.3695						
84,545	84,745	0.2749	0.3992	0.4376	0.5271	0.5831	0.6793	1.0736	1.1764	sim				sim	
84,745	84,945	0.3913	0.4441	0.4370	0.4552	0.4568	0.4920	0.7535	0.7726	sim				sim	
84,945	85,145	0.3182	0.3460	0.3365	0.3591	0.3458	0.3605	0.3651	0.3670		sim				
85,145	85,345	0.6763	0.6728	0.6396	0.6887	0.6716	0.6821	0.7278	0.7270	sim					
85,345	85,545	0.4500	0.4528	0.4472	0.4644	0.4425	0.4519	0.4647	0.4693	sim		sim			
85,545	85,745	0.4962	0.5181	0.4940	0.5178	0.4943	0.5056	0.5226	0.5237						
85,745	85,945	0.3168	0.3860	0.3926	0.4179	0.3931	0.4151	0.4154	0.4182			sim			
85,945	86,145	0.4746	0.4895	0.4747	0.5015	0.4797	0.4929	0.5412	0.5530						

Pk (m)		Desvio padrão do nivelamento longitudinal D1 do carril esquerdo (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
86,145	86,345	0.3309	0.3457	0.3329	0.3661	0.3472	0.3550	0.3927	0.4033						
86,345	86,545	0.3006	0.3244	0.3023	0.3304	0.3087	0.3132	0.3377	0.3453						
86,545	86,745	0.4936	0.5281	0.5151	0.5499	0.5304	0.5442	0.5713	0.5798						
86,745	86,945	0.4900	0.6002	0.6074	0.6441	0.6370	0.6474	0.6700	0.6739		sim				
86,945	87,145	0.2474	0.2865	0.3229	0.3675	0.3117	0.3378	0.3552	0.3586						
87,145	87,345	0.3554	0.3969	0.4030	0.4347	0.4198	0.4228	0.4514	0.4552						

Quadro I.2 - Desvio padrão do alinhamento D1 do carril esquerdo (mm)

Pk (m)		Desvio padrão do alinhamento D1 do carril esquerdo (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
58,745	58,945	0.8494	0.8415	0.8207	0.8554	0.8760	0.8977						
58,945	59,145	0.5752	0.5880	0.5970	0.5812	0.6363	0.6705						
59,145	59,345	0.5846	0.5597	0.5591	0.4651	0.5916	0.6114						
59,345	59,545	0.6118	0.6722	0.6757	0.5626	0.7111	0.7478	sim					
59,545	59,745	0.6254	0.6682	0.6262	0.5472	0.7014	0.7051		sim				
59,745	59,945	0.5688	0.5425	0.5284	0.4546	0.5753	0.5739			sim			
59,945	60,145	0.5201	0.4771	0.4912	0.4318	0.5081	0.5272						
60,145	60,345	0.5136	0.5454	0.5466	0.5475	0.6519	0.6754			sim			
60,345	60,545	0.5281	0.4984	0.4810	0.3875	0.4989	0.5093						
60,545	60,745	0.5566	0.5591	0.5536	0.4840	0.5804	0.5729						
60,745	60,945	0.5822	0.5334	0.5238	0.5046	0.5384	0.5377			sim			
60,945	61,145	0.5525	0.4385	0.4459	0.4440	0.4610	0.4717						
61,145	61,345	0.4916	0.4040	0.3921	0.4072	0.3971	0.4234			sim			
61,345	61,545	0.5925	0.4948	0.5090	0.4778	0.5015	0.5395						
61,545	61,745	0.7703	0.5894	0.5890	0.5651	0.5802	0.6207						
61,745	61,945	0.7494	0.5959	0.6179	0.6309	0.6566	0.6662				sim		
61,945	62,145	0.8519	0.6688	0.6899	0.6745	0.7133	0.7221						
62,145	62,345	0.6497	0.5080	0.5254	0.5058	0.5745	0.5973						
62,345	62,545	0.6316	0.5223	0.5114	0.5403	0.5489	0.5941		sim				
62,545	62,745	0.4978	0.4429	0.4622	0.4569	0.4869	0.5048						
62,745	62,945	0.4218	0.4367	0.4654	0.4705	0.4935	0.5265	sim					
62,945	63,145	0.4369	0.4606	0.4770	0.4722	0.4758	0.5094			sim			

Pk (m)		Desvio padrão do alinhamento D1 do carril esquerdo (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
63,145	63,345	0.4547	0.4266	0.4610	0.5094	0.5278	0.5462						
63,345	63,545	0.3498	0.3552	0.3806	0.3514	0.4229	0.4551	sim					
63,545	63,745	0.4274	0.4344	0.3911	0.3580	0.4339	0.5003					sim	
63,745	63,945	0.4007	0.4284	0.4161	0.3529	0.4347	0.4896					sim	
63,945	64,145	0.5980	0.5661	0.5517	0.5125	0.5907	0.6683					sim	
64,145	64,345	0.5363	0.4813	0.4787	0.4371	0.5132	0.5716					sim	
64,345	64,545	0.5467	0.5198	0.5036	0.4135	0.5231	0.5649	sim		sim			
64,545	64,745	0.5356	0.4874	0.4817	0.4293	0.5348	0.5635			sim			
64,745	64,945	0.5078	0.4483	0.4297	0.3834	0.4813	0.4859	sim					
64,945	65,145	0.5633	0.5777	0.5619	0.4801	0.5716	0.6192						
65,145	65,345	0.5710	0.5594	0.5053	0.4158	0.4988	0.5356			sim			
65,345	65,545	0.5745	0.5207	0.5503	0.4764	0.5952	0.6377			sim			
65,545	65,745	0.5771	0.5087	0.5170	0.4347	0.5417	0.5948			sim			
65,745	65,945	0.6251	0.5758	0.5848	0.5701	0.6274	0.6851						
65,945	66,145	0.7415	0.6157	0.6367	0.6814	0.6871	0.7230				sim		
66,145	66,345	0.7629	0.6508	0.6803	0.6896	0.7046	0.7456						
66,345	66,545	0.7195	0.6992	0.7463	0.7759	0.7695	0.7991			sim			
66,545	66,745	0.5086	0.4483	0.4758	0.4325	0.5612	0.5710						
66,745	66,945	0.5985	0.5134	0.5415	0.5171	0.5972	0.6229	sim					
66,945	67,145	0.6873	0.6568	0.7118	0.7569	0.7252	0.7891					sim	sim
67,145	67,345	0.8083	0.7517	0.8113	0.8146	0.8156	0.9240					sim	
67,345	67,545	0.6441	0.5832	0.5957	0.5982	0.6221	0.6648					sim	
67,545	67,745	0.6225	0.5704	0.5754	0.5343	0.5774	0.6280					sim	

Pk (m)		Desvio padrão do alinhamento D1 do carril esquerdo (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
67,745	67,945	0.6316	0.6210	0.6166	0.6230	0.6380	0.6774					sim	sim
67,945	68,145	0.7167	0.6785	0.7233	0.6924	0.7230	0.7864					sim	
68,145	68,345	0.6174	0.5340	0.5549	0.5390	0.5678	0.6220					sim	
68,345	68,545	0.6068	0.5821	0.6157	0.5816	0.6120	0.6576					sim	sim
68,545	68,745	0.4124	0.3623	0.3919	0.3779	0.3776	0.4255					sim	
68,745	68,945	0.4385	0.4179	0.4331	0.3601	0.4258	0.4747					sim	
68,945	69,145	0.6577	0.6517	0.6834	0.6106	0.7159	0.7636					sim	
69,145	69,345	0.7315	0.7440	0.7442	0.7772	0.8161	0.8564					sim	sim
69,345	69,545	0.6216	0.5767	0.6106	0.6016	0.6453	0.6934					sim	
69,545	69,745	0.5391	0.5147	0.5558	0.5597	0.6009	0.6451	sim					
69,745	69,945	0.5910	0.6100	0.6036	0.5791	0.6327	0.6659						
69,945	70,145	0.6088	0.6925	0.6818	0.7250	0.7603	0.8137						
70,145	70,345	0.6004	0.6083	0.6254	0.6122	0.6705	0.7255						
70,345	70,545	0.4687	0.4286	0.4443	0.4500	0.4664	0.4920						
70,545	70,745	0.5478	0.5364	0.5211	0.5819	0.5785	0.5931						
70,745	70,945	0.4700	0.4026	0.3960	0.4403	0.4277	0.4376						
70,945	71,145	0.3695	0.3639	0.3761	0.4093	0.4176	0.4138						
71,145	71,345	0.3669	0.3871	0.3849	0.3987	0.4057	0.4105		sim		sim		
71,345	71,545	0.3594	0.4404	0.4678	0.4755	0.5088	0.5215						
71,545	71,745	0.5474	0.4922	0.4486	0.4807	0.4873	0.5083		sim				
71,745	71,945	0.5229	0.4861	0.4943	0.5077	0.5313	0.5440						
71,945	72,145	0.4890	0.4109	0.4080	0.3963	0.4184	0.4379						
72,145	72,345	0.5981	0.5506	0.5524	0.5669	0.5909	0.6134		sim				

Pk (m)		Desvio padrão do alinhamento D1 do carril esquerdo (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
72,345	72,545	0.3874	0.4320	0.4570	0.4487	0.4920	0.5229		sim				
72,545	72,745	0.5150	0.5142	0.4991	0.5729	0.5460	0.5752						
72,745	72,945	0.5122	0.4598	0.4574	0.4706	0.4816	0.5239						
72,945	73,145	0.4376	0.4130	0.4167	0.4265	0.4665	0.4733						
73,145	73,345	0.4415	0.4067	0.4196	0.4590	0.4678	0.4587						
73,345	73,545	0.4188	0.3842	0.3948	0.3636	0.4248	0.4525						
73,545	73,745	0.3621	0.3786	0.3703	0.3220	0.3795	0.3981			sim			
73,745	73,945	0.3565	0.3710	0.3666	0.3256	0.3796	0.3815						
73,945	74,145	0.3705	0.4167	0.4184	0.4042	0.4262	0.4444	sim					
74,145	74,345	0.4923	0.4628	0.4685	0.4256	0.4782	0.5161						
74,345	74,545	0.4312	0.4168	0.4179	0.3913	0.4234	0.4480						
74,545	74,745	0.5012	0.4771	0.4916	0.4548	0.5281	0.5316	sim					
74,745	74,945	0.5665	0.5076	0.5146	0.5309	0.5758	0.6241					sim	
74,945	75,145	0.3596	0.3564	0.3561	0.3348	0.3534	0.3886	sim					
75,145	75,345	0.3563	0.3407	0.3422	0.3115	0.3579	0.3724				sim		
75,345	75,545	0.4308	0.4017	0.3912	0.4216	0.4206	0.4296						
75,545	75,745	0.4500	0.3925	0.3868	0.3624	0.4189	0.4369		sim				
75,745	75,945	0.3688	0.3138	0.3123	0.2585	0.3378	0.3539						
75,945	76,145	0.4134	0.3650	0.3570	0.3051	0.3877	0.4029						
76,145	76,345	0.5366	0.4778	0.4628	0.4260	0.5177	0.5629						
76,345	76,545	0.4453	0.3968	0.3863	0.3290	0.4104	0.4378						
76,545	76,745	0.4263	0.4326	0.4160	0.4523	0.4539	0.4833						
76,745	76,945	0.2939	0.3289	0.3410	0.3274	0.3537	0.3720						

Pk (m)		Desvio padrão do alinhamento D1 do carril esquerdo (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
76,945	77,145	0.4808	0.4732	0.4582	0.4661	0.4867	0.5109						
77,145	77,345	0.5094	0.5011	0.5100	0.5025	0.5237	0.5594	sim					
77,345	77,545	0.4859	0.4531	0.4726	0.4740	0.5094	0.5392			sim			
77,545	77,745	0.5730	0.5683	0.5352	0.5613	0.5421	0.5893				sim		
77,745	77,945	0.5743	0.5346	0.5268	0.5418	0.5533	0.5993						
77,945	78,145	0.7363	0.6285	0.6399	0.6540	0.6485	0.6876						
78,145	78,345	0.7623	0.7247	0.6676	0.7363	0.7188	0.7465						
78,345	78,545	0.5299	0.5048	0.5026	0.4896	0.5264	0.5544						
78,545	78,745	0.5824	0.5441	0.5518	0.5240	0.5827	0.5752						
78,745	78,945	0.4990	0.4631	0.4705	0.4334	0.5225	0.5115		sim				
78,945	79,145	0.5594	0.4745	0.4798	0.4282	0.5173	0.5066		sim				
79,145	79,345	0.4874	0.4260	0.4325	0.3998	0.4661	0.4404						
79,345	79,545	0.5845	0.5429	0.5284	0.5154	0.5701	0.5887		sim				
79,545	79,745	0.4800	0.5159	0.5395	0.5324	0.6057	0.5812						
79,745	79,945	0.5539	0.4879	0.4810	0.4701	0.5161	0.5269						
79,945	80,145	0.4366	0.4431	0.4417	0.4013	0.4771	0.5111			sim			
80,145	80,345	0.4517	0.4640	0.4295	0.4270	0.4951	0.5179						
80,345	80,545	0.3634	0.4157	0.3743	0.3685	0.4142	0.4313						
80,545	80,745	0.4198	0.4217	0.3931	0.3629	0.4344	0.4242						
80,745	80,945	0.3717	0.3521	0.3373	0.3368	0.3651	0.3665		sim				
80,945	81,145	0.3853	0.3795	0.3801	0.3849	0.4186	0.3904		sim				
81,145	81,345	0.4125	0.4054	0.4079	0.4209	0.4604	0.4331	sim					
81,345	81,545	0.4353	0.3687	0.3917	0.3857	0.4329	0.4463		sim		sim		

Pk (m)		Desvio padrão do alinhamento D1 do carril esquerdo (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
81,545	81,745	0.5504	0.4462	0.4514	0.4643	0.4787	0.4843						
81,745	81,945	0.5968	0.5048	0.4956	0.4859	0.5274	0.5253						
81,945	82,145	0.6430	0.5263	0.5290	0.5631	0.5678	0.6115			sim			
82,145	82,345	0.5529	0.4616	0.4607	0.4810	0.4664	0.4960	sim					
82,345	82,545	0.5202	0.5241	0.5164	0.5785	0.5699	0.5836						
82,545	82,745	0.4451	0.4435	0.4388	0.4351	0.5144	0.4706						
82,745	82,945	0.4812	0.4951	0.4890	0.5324	0.5486	0.5447		sim				
82,945	83,145	0.5285	0.5548	0.5519	0.6258	0.6556	0.6216		sim				
83,145	83,345	0.4862	0.5106	0.4993	0.4939	0.5718	0.5508						
83,345	83,545	0.5290	0.5174	0.4880	0.5595	0.5768	0.5438		sim		sim		
83,545	83,745	0.5328	0.4951	0.5035	0.5298	0.5645	0.5351			sim			
83,745	83,945	0.4707	0.4850	0.4668	0.5186	0.5400	0.5179		sim				
83,945	84,145	0.5679	0.5244	0.5287	0.5186	0.5719	0.5729						
84,145	84,345	0.3903	0.3572	0.3752	0.4065	0.3983	0.4311			sim			
84,345	84,545	0.3245	0.3039	0.3590	0.3646	0.3730	0.3711						
84,545	84,745	0.4421	0.4922	0.4920	0.6172	0.5964	0.6076	sim				sim	
84,745	84,945	0.3743	0.3839	0.3947	0.4121	0.5402	0.6055	sim				sim	
84,945	85,145	0.4772	0.4607	0.4789	0.4640	0.5377	0.5811		sim				
85,145	85,345	0.6191	0.5419	0.5481	0.5327	0.5844	0.6403	sim					
85,345	85,545	0.6448	0.5370	0.5553	0.5357	0.5548	0.6169	sim		sim			
85,545	85,745	0.5103	0.4438	0.4619	0.4395	0.4726	0.5474						
85,745	85,945	0.5685	0.6139	0.6324	0.6236	0.6438	0.7177			sim			
85,945	86,145	0.4926	0.4071	0.4310	0.4220	0.4692	0.5304						

Pk (m)		Desvio padrão do alinhamento D1 do carril esquerdo (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
86,145	86,345	0.5094	0.4953	0.5120	0.4920	0.5333	0.5970						
86,345	86,545	0.4735	0.4602	0.4766	0.4287	0.4894	0.5512						
86,545	86,745	0.3830	0.3770	0.3876	0.3656	0.4010	0.4563						
86,745	86,945	0.5060	0.5004	0.5117	0.4800	0.5237	0.5995		sim				
86,945	87,145	0.4552	0.5025	0.4967	0.4913	0.5177	0.5706						
87,145	87,345	0.4687	0.5076	0.4850	0.4999	0.5256	0.5496						

Quadro I.3 - Desvio padrão do empeno com 3m de base (mm)

Pk (m)		Desvio padrão do empeno com 3m de base (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
58,745	58,945	0.5964	0.6454	0.6393	0.6493	0.6752	0.6710	0.6823	0.6818						
58,945	59,145	0.4031	0.4383	0.4318	0.4320	0.4246	0.4193	0.4471	0.4495						
59,145	59,345	0.7068	0.7051	0.7000	0.6984	0.6986	0.6936	0.6941	0.6941						
59,345	59,545	0.3347	0.4283	0.4087	0.4310	0.4235	0.4010	0.4297	0.4353	sim					
59,545	59,745	0.3437	0.3441	0.3473	0.3454	0.3637	0.3591	0.3668	0.3617		sim				
59,745	59,945	0.4859	0.4779	0.4713	0.4705	0.4856	0.4742	0.4687	0.4684			sim			
59,945	60,145	0.5629	0.5426	0.5519	0.5748	0.5772	0.5665	0.5869	0.5891						
60,145	60,345	0.5037	0.5160	0.5222	0.5216	0.5302	0.5496	0.5576	0.5691			sim			
60,345	60,545	0.4451	0.4267	0.4246	0.4210	0.4404	0.4240	0.4214	0.4223						
60,545	60,745	0.7034	0.7009	0.6986	0.7035	0.7107	0.7053	0.7040	0.7048						
60,745	60,945	0.7489	0.7381	0.7404	0.7555	0.7588	0.7418	0.7466	0.7499			sim			
60,945	61,145	0.3739	0.3834	0.3770	0.3954	0.3917	0.3819	0.3901	0.3892						
61,145	61,345	0.4052	0.3912	0.3860	0.4078	0.4070	0.4047	0.4018	0.4050			sim			
61,345	61,545	0.5702	0.5533	0.5527	0.5873	0.5950	0.5810	0.6013	0.5997						
61,545	61,745	0.5286	0.5160	0.5148	0.5391	0.5432	0.5137	0.5232	0.5237						
61,745	61,945	0.5832	0.6071	0.6088	0.6590	0.6541	0.6502	0.6761	0.6947				sim		
61,945	62,145	0.4482	0.4558	0.4710	0.5105	0.5047	0.5017	0.5159	0.5189						
62,145	62,345	0.4444	0.4602	0.4555	0.4935	0.4844	0.4835	0.5056	0.5011						
62,345	62,545	0.4905	0.4897	0.4681	0.5034	0.4955	0.4822	0.4965	0.4913		sim				
62,545	62,745	0.3856	0.3984	0.3821	0.4079	0.4033	0.4031	0.4010	0.4124						
62,745	62,945	0.3686	0.4347	0.4455	0.4731	0.4640	0.4625	0.4626	0.4704	sim					
62,945	63,145	0.5207	0.5116	0.5074	0.5496	0.5397	0.5275	0.5424	0.5435			sim			

Pk (m)		Desvio padrão do empeno com 3m de base (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
63,145	63,345	0.4330	0.4521	0.4406	0.4617	0.4518	0.4654	0.4833	0.4889						
63,345	63,545	0.7949	0.8292	0.8194	0.8268	0.8360	0.8315	0.8288	0.8358	sim					
63,545	63,745	0.9315	0.9540	0.9464	0.9531	0.9451	0.9415	0.9458	0.9444					sim	
63,745	63,945	0.6477	0.6305	0.6451	0.6522	0.6563	0.6465	0.6544	0.6536					sim	
63,945	64,145	0.6715	0.6745	0.7219	0.7309	0.7448	0.7270	0.7456	0.7426					sim	
64,145	64,345	0.7108	0.7391	0.7748	0.8057	0.7657	0.7797	0.8047	0.7951					sim	
64,345	64,545	0.5366	0.5345	0.5443	0.5548	0.5665	0.5546	0.5602	0.5563	sim		sim			
64,545	64,745	0.5553	0.5547	0.5853	0.5952	0.6070	0.6030	0.6069	0.6042			sim			
64,745	64,945	0.5857	0.6074	0.6087	0.5999	0.6136	0.5991	0.6092	0.6102	sim					
64,945	65,145	0.5158	0.5371	0.5521	0.5522	0.5581	0.5456	0.5542	0.5537						
65,145	65,345	0.5979	0.6078	0.6128	0.6223	0.6448	0.6267	0.6350	0.6348			sim			
65,345	65,545	0.4609	0.4588	0.4756	0.4782	0.5012	0.4998	0.5144	0.5236			sim			
65,545	65,745	0.5991	0.5977	0.6199	0.6092	0.6150	0.6058	0.6011	0.5994			sim			
65,745	65,945	0.7600	0.7453	0.7653	0.7700	0.8007	0.7862	0.7958	0.8025						
65,945	66,145	0.9376	0.9546	0.9722	0.9781	0.9813	0.9741	0.9933	0.9917				sim		
66,145	66,345	0.4750	0.4601	0.4850	0.4991	0.5051	0.4890	0.5083	0.5121						
66,345	66,545	0.5016	0.6121	0.6457	0.6676	0.6751	0.6731	0.6966	0.6902			sim			
66,545	66,745	0.5197	0.5293	0.5599	0.5682	0.5712	0.5547	0.6084	0.6124						
66,745	66,945	0.4509	0.4192	0.4381	0.4635	0.4493	0.4502	0.4723	0.4615	sim					
66,945	67,145	0.4422	0.4707	0.4838	0.4942	0.4849	0.4865	0.5071	0.4940					sim	sim
67,145	67,345	0.5298	0.5173	0.5430	0.5733	0.5695	0.5578	0.5906	0.5815					sim	
67,345	67,545	0.4401	0.4458	0.4859	0.5027	0.5118	0.4876	0.5254	0.5237					sim	
67,545	67,745	0.4322	0.4368	0.4549	0.4798	0.4893	0.4703	0.5022	0.4928					sim	

Pk (m)		Desvio padrão do empeno com 3m de base (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
67,745	67,945	0.4794	0.4974	0.5340	0.5580	0.5486	0.5333	0.5631	0.5561					sim	sim
67,945	68,145	0.3811	0.4194	0.4135	0.4573	0.4742	0.4435	0.4688	0.4795					sim	
68,145	68,345	0.5412	0.5660	0.5518	0.5609	0.5538	0.5456	0.5550	0.5618					sim	
68,345	68,545	0.5384	0.5708	0.5690	0.5683	0.5579	0.5616	0.5666	0.5608					sim	sim
68,545	68,745	1.0418	1.0459	1.0388	1.0501	1.0550	1.0403	1.0516	1.0467					sim	
68,745	68,945	0.7729	0.7828	0.7970	0.8048	0.7970	0.7946	0.8059	0.7978					sim	
68,945	69,145	0.5826	0.5879	0.6154	0.6228	0.6471	0.6287	0.6477	0.6417					sim	
69,145	69,345	1.0858	1.0689	1.0904	1.1128	1.1208	1.1116	1.1110	1.1049					sim	sim
69,345	69,545	0.9442	0.9727	0.9760	0.9942	0.9819	0.9766	0.9915	0.9926					sim	
69,545	69,745	0.3847	0.3865	0.3951	0.4036	0.4128	0.4099	0.4025	0.4057	sim					
69,745	69,945	0.3401	0.4100	0.3992	0.4228	0.4038	0.4082	0.4060	0.4170						
69,945	70,145	0.3294	0.4157	0.4127	0.4297	0.4276	0.4453	0.4619	0.4766						
70,145	70,345	0.4621	0.4949	0.5094	0.5289	0.5324	0.5229	0.5445	0.5529						
70,345	70,545	0.3883	0.3884	0.3871	0.3973	0.3937	0.3948	0.3934	0.3984						
70,545	70,745	0.5039	0.4868	0.4806	0.4831	0.4967	0.4828	0.4896	0.4929						
70,745	70,945	0.4359	0.4363	0.4246	0.4460	0.4393	0.4215	0.4404	0.4383						
70,945	71,145	0.4525	0.4677	0.4700	0.4845	0.4848	0.4816	0.4834	0.4837						
71,145	71,345	0.3664	0.4281	0.4209	0.4397	0.4293	0.4303	0.4455	0.4444		sim		sim		
71,345	71,545	0.4064	0.4404	0.4259	0.4332	0.4397	0.4243	0.4259	0.4283						
71,545	71,745	0.5125	0.5036	0.5004	0.4920	0.4943	0.4861	0.4926	0.4957		sim				
71,745	71,945	0.3358	0.3197	0.3204	0.3263	0.3208	0.3176	0.3232	0.3259						
71,945	72,145	0.3204	0.3132	0.3156	0.3176	0.3239	0.3167	0.3104	0.3082						
72,145	72,345	0.4820	0.4795	0.4601	0.4867	0.4825	0.4651	0.4797	0.4745		sim				

Pk (m)		Desvio padrão do empeno com 3m de base (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
72,345	72,545	0.3338	0.3641	0.3589	0.3722	0.3662	0.3543	0.3677	0.3687		sim				
72,545	72,745	0.4458	0.4645	0.4740	0.4849	0.4893	0.4811	0.4770	0.4812						
72,745	72,945	0.3592	0.3546	0.3589	0.3682	0.3854	0.3680	0.3739	0.3698						
72,945	73,145	0.4494	0.4449	0.4476	0.4544	0.4558	0.4514	0.4550	0.4564						
73,145	73,345	0.3949	0.3929	0.3971	0.4094	0.4150	0.4013	0.4093	0.4082						
73,345	73,545	0.3553	0.3497	0.3428	0.3574	0.3604	0.3456	0.3610	0.3588						
73,545	73,745	0.3422	0.3380	0.3343	0.3478	0.3500	0.3362	0.3429	0.3400			sim			
73,745	73,945	0.3493	0.3430	0.3551	0.3643	0.3684	0.3562	0.3590	0.3619						
73,945	74,145	0.4506	0.4387	0.4518	0.4618	0.4636	0.4499	0.4596	0.4621	sim					
74,145	74,345	0.3266	0.3432	0.3400	0.3619	0.3389	0.3365	0.3447	0.3445						
74,345	74,545	0.4353	0.4303	0.4142	0.4265	0.4218	0.4070	0.4135	0.4115						
74,545	74,745	0.4331	0.4322	0.4506	0.4512	0.4592	0.4507	0.4635	0.4618	sim					
74,745	74,945	0.3651	0.3582	0.3751	0.3672	0.3943	0.3944	0.3896	0.3896					sim	
74,945	75,145	0.4483	0.4536	0.4871	0.4938	0.4914	0.4850	0.5014	0.5001	sim					
75,145	75,345	0.3083	0.3130	0.3324	0.3306	0.3439	0.3307	0.3452	0.3475				sim		
75,345	75,545	0.6489	0.6452	0.6541	0.6533	0.6634	0.6491	0.6537	0.6566						
75,545	75,745	0.8302	0.8319	0.8327	0.8346	0.8292	0.8332	0.8279	0.8349		sim				
75,745	75,945	0.3308	0.3312	0.3245	0.3162	0.3127	0.3153	0.3105	0.3149						
75,945	76,145	0.4373	0.4403	0.4351	0.4347	0.4451	0.4379	0.4394	0.4436						
76,145	76,345	0.4474	0.4586	0.4559	0.4453	0.4594	0.4492	0.4491	0.4510						
76,345	76,545	0.4219	0.4159	0.4077	0.4067	0.4041	0.4041	0.3986	0.4035						
76,545	76,745	0.9079	0.9166	0.9160	0.9052	0.9176	0.9149	0.9082	0.9102						
76,745	76,945	0.3151	0.3466	0.3631	0.3713	0.3750	0.3738	0.3642	0.3644						

Pk (m)		Desvio padrão do empeno com 3m de base (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
76,945	77,145	0.2375	0.2420	0.2349	0.2496	0.2310	0.2423	0.2392	0.2419						
77,145	77,345	0.2681	0.2767	0.2798	0.2924	0.2774	0.2770	0.2818	0.2823	sim					
77,345	77,545	0.3110	0.3154	0.3174	0.3296	0.3243	0.3162	0.3178	0.3215			sim			
77,545	77,745	0.3463	0.3529	0.3470	0.3695	0.3584	0.3571	0.3680	0.3714				sim		
77,745	77,945	0.2971	0.3042	0.3068	0.3307	0.3130	0.3043	0.3202	0.3172						
77,945	78,145	0.3080	0.3203	0.3066	0.3377	0.3204	0.3184	0.3374	0.3380						
78,145	78,345	0.3826	0.3860	0.3843	0.4003	0.3843	0.3916	0.3993	0.3986						
78,345	78,545	0.8437	0.8414	0.8410	0.8384	0.8438	0.8380	0.8456	0.8438						
78,545	78,745	0.8103	0.8010	0.8081	0.8117	0.8129	0.8097	0.8093	0.8086						
78,745	78,945	0.3024	0.2959	0.3160	0.3257	0.3274	0.3214	0.3232	0.3250		sim				
78,945	79,145	0.3144	0.3036	0.3025	0.3143	0.3120	0.3134	0.3119	0.3102		sim				
79,145	79,345	0.3503	0.3364	0.3368	0.3455	0.3419	0.3242	0.3363	0.3445						
79,345	79,545	0.3565	0.3605	0.3460	0.3519	0.3384	0.3390	0.3527	0.3515		sim				
79,545	79,745	0.4455	0.4776	0.4788	0.4816	0.4893	0.4761	0.4789	0.4845						
79,745	79,945	0.6345	0.6336	0.6319	0.6394	0.6262	0.6220	0.6260	0.6298						
79,945	80,145	0.8419	0.8635	0.8621	0.8599	0.8650	0.8592	0.8624	0.8627			sim			
80,145	80,345	0.3027	0.3448	0.3699	0.3624	0.3830	0.3802	0.4534	0.4562						
80,345	80,545	0.3305	0.3560	0.3722	0.3827	0.3912	0.3866	0.3905	0.3837						
80,545	80,745	0.4940	0.4843	0.4970	0.4904	0.4948	0.4921	0.4959	0.4927						
80,745	80,945	0.7873	0.7929	0.7890	0.7914	0.7871	0.7853	0.7930	0.7894		sim				
80,945	81,145	0.3322	0.3679	0.3628	0.3708	0.3552	0.3684	0.3665	0.3667		sim				
81,145	81,345	0.3356	0.3831	0.4002	0.4107	0.4017	0.4034	0.4051	0.4006	sim					
81,345	81,545	0.4336	0.4447	0.4548	0.4654	0.4751	0.4528	0.4701	0.5039		sim		sim		

Pk (m)		Desvio padrão do empeno com 3m de base (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
81,545	81,745	0.3551	0.3657	0.3756	0.3792	0.3819	0.3699	0.3812	0.3857						
81,745	81,945	0.3579	0.3465	0.3601	0.3671	0.3590	0.3464	0.3617	0.3622						
81,945	82,145	0.3782	0.3663	0.3648	0.3785	0.3813	0.3558	0.3776	0.3771			sim			
82,145	82,345	0.3710	0.3835	0.3762	0.3854	0.3729	0.3774	0.3855	0.3849	sim					
82,345	82,545	0.8014	0.8072	0.8075	0.8088	0.8072	0.8116	0.8051	0.8070						
82,545	82,745	0.4349	0.4360	0.4336	0.4321	0.4460	0.4349	0.4355	0.4346						
82,745	82,945	0.3888	0.3923	0.3849	0.3899	0.3948	0.3927	0.3841	0.3888		sim				
82,945	83,145	0.5274	0.5161	0.4817	0.4891	0.4948	0.4712	0.4853	0.4939		sim				
83,145	83,345	0.4680	0.4712	0.4604	0.4595	0.4627	0.4452	0.4624	0.4600						
83,345	83,545	0.4725	0.4780	0.4667	0.4587	0.4779	0.4598	0.4622	0.4622		sim		sim		
83,545	83,745	0.4715	0.4778	0.4801	0.4824	0.4848	0.4775	0.4886	0.4901			sim			
83,745	83,945	0.4452	0.4528	0.4436	0.4537	0.4614	0.4568	0.4602	0.4737		sim				
83,945	84,145	0.8228	0.8228	0.8098	0.8170	0.8190	0.8070	0.8119	0.8187						
84,145	84,345	0.3969	0.4178	0.4081	0.4200	0.4185	0.4045	0.4216	0.4241			sim			
84,345	84,545	0.3291	0.3485	0.3175	0.3266	0.3214	0.3114	0.3274	0.3231						
84,545	84,745	0.7934	0.8206	0.8416	0.8508	0.8390	0.8451	0.9005	0.9008	sim				sim	
84,745	84,945	0.7158	0.7464	0.7325	0.7371	0.7452	0.7480	0.8403	0.8452	sim				sim	
84,945	85,145	0.3664	0.3981	0.4210	0.4281	0.4290	0.4260	0.4507	0.4437		sim				
85,145	85,345	0.5066	0.4926	0.5051	0.5024	0.4982	0.5028	0.4949	0.4928	sim					
85,345	85,545	0.4736	0.4664	0.4852	0.4886	0.4962	0.4847	0.4963	0.4922	sim		sim			
85,545	85,745	0.4085	0.4023	0.4010	0.3950	0.4100	0.3995	0.4077	0.4060						
85,745	85,945	0.3379	0.3625	0.3769	0.3863	0.3881	0.3727	0.3756	0.3789			sim			
85,945	86,145	0.3266	0.3379	0.3452	0.3531	0.3587	0.3533	0.3778	0.3767						

Pk (m)		Desvio padrão do empeno com 3m de base (mm)								Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	janeiro de 2012	abril de 2012	julho de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a														
86,145	86,345	0.4613	0.4599	0.4730	0.4723	0.4763	0.4760	0.4854	0.4885						
86,345	86,545	0.5520	0.5604	0.5567	0.5633	0.5621	0.5567	0.5623	0.5620						
86,545	86,745	0.4636	0.4508	0.4607	0.4544	0.4603	0.4461	0.4512	0.4519						
86,745	86,945	0.4541	0.4499	0.4679	0.4698	0.4697	0.4681	0.4695	0.4755		sim				
86,945	87,145	0.7717	0.7879	0.7937	0.7818	0.8164	0.8097	0.7975	0.8021						
87,145	87,345	0.7583	0.7745	0.7681	0.7540	0.8031	0.7891	0.7768	0.7816						

Quadro I.4 - Desvio padrão da bitola (mm)

Pk (m)		Desvio padrão da bitola (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
58,745	58,945	0.5945	0.6024	0.6109	0.5722	0.6209	0.6611						
58,945	59,145	0.4834	0.4621	0.5084	0.4270	0.4828	0.5017						
59,145	59,345	0.6719	0.5336	0.7359	0.6307	0.6857	0.7249						
59,345	59,545	0.5846	0.5423	0.6750	0.5216	0.6084	0.6762	sim					
59,545	59,745	0.5986	0.5721	0.6581	0.5448	0.6301	0.6782		sim				
59,745	59,945	0.4787	0.4917	0.6047	0.4797	0.5705	0.5549			sim			
59,945	60,145	0.5134	0.5599	0.6333	0.5032	0.5367	0.5846						
60,145	60,345	0.5053	0.5127	0.5973	0.4297	0.5078	0.5707			sim			
60,345	60,545	0.5041	0.5151	0.6222	0.4490	0.4742	0.5117						
60,545	60,745	0.6530	0.7547	0.8854	0.6378	0.6675	0.7479						
60,745	60,945	0.6184	0.6320	0.6123	0.5793	0.5911	0.6185			sim			
60,945	61,145	0.5985	0.6192	0.6494	0.6039	0.6188	0.6197						
61,145	61,345	0.5125	0.4842	0.5234	0.5122	0.4851	0.5148			sim			
61,345	61,545	0.5324	0.5513	0.5526	0.5217	0.5238	0.5841						
61,545	61,745	0.5535	0.5965	0.5665	0.5294	0.5351	0.5440						
61,745	61,945	0.5380	0.5387	0.5776	0.5469	0.5836	0.6160				sim		
61,945	62,145	0.7403	0.7252	0.7403	0.7451	0.7169	0.7673						
62,145	62,345	0.8739	0.8053	0.8575	0.8067	0.8324	0.8651						
62,345	62,545	0.7525	0.6984	0.7122	0.6683	0.7244	0.7314		sim				
62,545	62,745	0.6250	0.5576	0.6224	0.5779	0.5666	0.6036						
62,745	62,945	0.6131	0.5728	0.6176	0.5868	0.5831	0.6230	sim					
62,945	63,145	0.5504	0.4776	0.5066	0.4658	0.5194	0.5242			sim			

Pk (m)		Desvio padrão da bitola (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
63,145	63,345	0.7155	0.7151	0.7210	0.7398	0.7566	0.7547						
63,345	63,545	0.5889	0.5868	0.6558	0.6474	0.6339	0.6704	sim					
63,545	63,745	0.6612	0.5879	0.6471	0.5722	0.5815	0.6091					sim	
63,745	63,945	0.6931	0.6257	0.6903	0.6009	0.6433	0.6936					sim	
63,945	64,145	0.6850	0.6203	0.6541	0.5721	0.6140	0.6639					sim	
64,145	64,345	0.8280	0.7540	0.8221	0.7235	0.7430	0.8265					sim	
64,345	64,545	0.7739	0.6693	0.7478	0.6424	0.6744	0.7420	sim		sim			
64,545	64,745	0.8179	0.7326	0.7864	0.7350	0.7747	0.7868			sim			
64,745	64,945	0.5999	0.5352	0.6385	0.5407	0.5971	0.6281	sim					
64,945	65,145	0.6498	0.6188	0.6944	0.6057	0.6392	0.7185						
65,145	65,345	0.6655	0.6300	0.6900	0.5840	0.6336	0.7303			sim			
65,345	65,545	0.5957	0.5539	0.6385	0.5353	0.5751	0.6120			sim			
65,545	65,745	0.5715	0.5108	0.5833	0.5100	0.5519	0.5732			sim			
65,745	65,945	0.5689	0.4914	0.5942	0.5233	0.5222	0.5801						
65,945	66,145	0.5998	0.5919	0.6580	0.6223	0.5718	0.6450				sim		
66,145	66,345	0.6145	0.5452	0.5646	0.5463	0.4945	0.5461						
66,345	66,545	0.6170	0.6160	0.6380	0.5743	0.5804	0.6313			sim			
66,545	66,745	0.5748	0.5523	0.5888	0.5388	0.6056	0.6126						
66,745	66,945	0.4957	0.4856	0.5586	0.4574	0.4956	0.5424	sim					
66,945	67,145	1.0437	0.8387	0.9843	1.0462	1.0201	1.0888					sim	sim
67,145	67,345	0.5892	0.7568	0.7956	0.7147	0.8088	0.7262					sim	
67,345	67,545	0.5165	0.5342	0.5909	0.4927	0.4925	0.5443					sim	
67,545	67,745	0.5645	0.5680	0.6936	0.5566	0.5548	0.6004					sim	

Pk (m)		Desvio padrão da bitola (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
67,745	67,945	0.9898	0.8757	1.0258	0.9202	1.0621	0.9842					sim	sim
67,945	68,145	0.7017	0.6665	0.7381	0.5899	0.6095	0.6659					sim	
68,145	68,345	0.8578	0.8504	0.9229	0.8062	0.8414	0.8243					sim	
68,345	68,545	1.2977	1.1511	1.2848	1.2751	1.2632	1.1673					sim	sim
68,545	68,745	0.6609	0.6788	0.7167	0.6270	0.6493	0.6404					sim	
68,745	68,945	0.6351	0.6472	0.7316	0.6925	0.6890	0.7387					sim	
68,945	69,145	0.5066	0.5256	0.5772	0.5340	0.5512	0.5880					sim	
69,145	69,345	1.0855	0.9342	0.9248	1.0995	1.1102	1.0497					sim	sim
69,345	69,545	0.5360	0.5051	0.5970	0.5036	0.5412	0.5608					sim	
69,545	69,745	0.5624	0.5814	0.6295	0.5743	0.5991	0.6291	sim					
69,745	69,945	0.4976	0.5319	0.5582	0.4937	0.5461	0.5529						
69,945	70,145	0.6228	0.6073	0.6171	0.5706	0.5788	0.6183						
70,145	70,345	0.5353	0.5482	0.5506	0.5091	0.5269	0.5791						
70,345	70,545	0.5904	0.5398	0.6241	0.5686	0.5947	0.6100						
70,545	70,745	0.5438	0.5526	0.5538	0.5650	0.5463	0.5443						
70,745	70,945	0.5041	0.5154	0.5494	0.5426	0.5417	0.5554						
70,945	71,145	0.4933	0.5031	0.5269	0.5326	0.5233	0.5432						
71,145	71,345	0.5365	0.5768	0.5981	0.5801	0.5946	0.6152		sim		sim		
71,345	71,545	0.6726	0.7136	0.6873	0.6654	0.6888	0.6852						
71,545	71,745	0.5258	0.5585	0.5458	0.5119	0.5389	0.5940		sim				
71,745	71,945	0.5188	0.6181	0.6405	0.6338	0.6767	0.6789						
71,945	72,145	0.8008	0.7569	0.7062	0.6529	0.6298	0.7198						
72,145	72,345	0.5210	0.5387	0.5896	0.5259	0.5393	0.5706		sim				

Pk (m)		Desvio padrão da bitola (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
72,345	72,545	0.4988	0.5292	0.5844	0.5290	0.5463	0.5654		sim				
72,545	72,745	0.6409	0.6754	0.7245	0.6552	0.6698	0.6951						
72,745	72,945	0.7373	0.7307	0.7569	0.7809	0.7884	0.8179						
72,945	73,145	0.6431	0.6593	0.6564	0.6386	0.6427	0.6783						
73,145	73,345	0.5598	0.5648	0.5789	0.5160	0.5682	0.5641						
73,345	73,545	0.5536	0.5675	0.6289	0.5672	0.5845	0.7009						
73,545	73,745	0.6022	0.6085	0.6357	0.6003	0.6319	0.6501			sim			
73,745	73,945	0.5172	0.5677	0.5884	0.5596	0.5921	0.6010						
73,945	74,145	0.5883	0.6144	0.6197	0.5781	0.5933	0.6524	sim					
74,145	74,345	0.5009	0.5254	0.5218	0.4938	0.5131	0.5434						
74,345	74,545	0.5475	0.5436	0.5713	0.5354	0.5604	0.5854						
74,545	74,745	0.5474	0.5734	0.5859	0.5659	0.5877	0.6136	sim					
74,745	74,945	0.5528	0.5620	0.5746	0.5469	0.5596	0.5864					sim	
74,945	75,145	0.4446	0.4500	0.4402	0.4102	0.4163	0.4323	sim					
75,145	75,345	0.4526	0.4520	0.4502	0.4378	0.4770	0.4818				sim		
75,345	75,545	0.6225	0.6280	0.5712	0.5506	0.5422	0.5914						
75,545	75,745	0.5177	0.4860	0.5324	0.4535	0.4806	0.5131		sim				
75,745	75,945	0.4945	0.4559	0.5214	0.4643	0.4842	0.5349						
75,945	76,145	0.4830	0.4505	0.4729	0.3869	0.4297	0.4658						
76,145	76,345	0.9232	0.8639	0.8772	0.8004	0.8383	0.8915						
76,345	76,545	0.6703	0.6145	0.6463	0.5937	0.6362	0.6437						
76,545	76,745	0.5643	0.5232	0.5460	0.5208	0.5245	0.5571						
76,745	76,945	0.4439	0.4574	0.4793	0.4238	0.4594	0.4880						

Pk (m)		Desvio padrão da bitola (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
76,945	77,145	0.5677	0.5750	0.5747	0.5296	0.5502	0.5787						
77,145	77,345	0.6227	0.6201	0.6256	0.5650	0.5874	0.6192	sim					
77,345	77,545	0.5873	0.6140	0.6446	0.6023	0.6165	0.6651			sim			
77,545	77,745	0.5973	0.5770	0.5893	0.5834	0.5493	0.5895				sim		
77,745	77,945	0.4584	0.4668	0.5007	0.4730	0.5057	0.5240						
77,945	78,145	0.5247	0.5200	0.5391	0.5496	0.5404	0.5619						
78,145	78,345	0.6746	0.6200	0.6340	0.5943	0.6240	0.6464						
78,345	78,545	0.6158	0.5857	0.6328	0.5782	0.5889	0.6355						
78,545	78,745	0.6393	0.6414	0.6996	0.5645	0.6307	0.7035						
78,745	78,945	0.5313	0.5424	0.6298	0.5058	0.5412	0.5435		sim				
78,945	79,145	0.6985	0.6910	0.7575	0.6197	0.7036	0.7167		sim				
79,145	79,345	0.5237	0.4861	0.5777	0.4249	0.5051	0.4833						
79,345	79,545	0.5251	0.5543	0.5425	0.4901	0.5455	0.5646		sim				
79,545	79,745	0.5573	0.5227	0.5582	0.4834	0.5333	0.5524						
79,745	79,945	0.5815	0.5400	0.6133	0.5216	0.6070	0.5943						
79,945	80,145	0.6370	0.6134	0.7383	0.5613	0.6227	0.6395			sim			
80,145	80,345	0.6622	0.5477	0.6114	0.5159	0.5628	0.5630						
80,345	80,545	0.5270	0.4624	0.5425	0.4994	0.5244	0.5439						
80,545	80,745	0.7120	0.6538	0.6724	0.6071	0.6690	0.6508						
80,745	80,945	0.4577	0.4211	0.4977	0.4256	0.4584	0.4641		sim				
80,945	81,145	0.5036	0.4532	0.5515	0.4960	0.4979	0.4958		sim				
81,145	81,345	0.6838	0.6483	0.7864	0.6531	0.6862	0.6901	sim					
81,345	81,545	0.5741	0.4609	0.5646	0.4748	0.4851	0.4882		sim		sim		

Pk (m)		Desvio padrão da bitola (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
81,545	81,745	0.6146	0.5518	0.6460	0.6317	0.6272	0.6412						
81,745	81,945	0.6881	0.6479	0.7641	0.7067	0.6840	0.7455						
81,945	82,145	0.6513	0.5732	0.7153	0.6256	0.6415	0.6984			sim			
82,145	82,345	0.8358	0.7320	0.7666	0.7177	0.7141	0.7325	sim					
82,345	82,545	0.7167	0.7338	0.8332	0.7261	0.7467	0.7754						
82,545	82,745	0.7069	0.6799	0.7263	0.6348	0.7088	0.7186						
82,745	82,945	0.6030	0.5647	0.6248	0.5400	0.5816	0.6191		sim				
82,945	83,145	0.4576	0.4471	0.5884	0.4477	0.4936	0.4842		sim				
83,145	83,345	0.5528	0.5629	0.6132	0.5463	0.5683	0.6149						
83,345	83,545	0.5405	0.5419	0.5519	0.5511	0.5413	0.5373		sim		sim		
83,545	83,745	0.4990	0.5089	0.5827	0.5625	0.5766	0.5600			sim			
83,745	83,945	0.4464	0.4852	0.5503	0.5047	0.5311	0.5467		sim				
83,945	84,145	0.6028	0.6098	0.5586	0.5793	0.5649	0.6302						
84,145	84,345	0.4812	0.4514	0.5120	0.4871	0.4796	0.5221			sim			
84,345	84,545	0.7218	0.6032	0.6443	0.6143	0.6087	0.6810						
84,545	84,745	0.6367	0.5167	0.5702	0.5614	0.5723	0.5686	sim				sim	
84,745	84,945	0.6715	0.6105	0.6292	0.5851	0.6098	0.6277	sim				sim	
84,945	85,145	0.5027	0.4974	0.5155	0.4690	0.4976	0.4951		sim				
85,145	85,345	0.9106	0.9265	0.9695	0.8725	0.9246	1.0018	sim					
85,345	85,545	0.8785	0.8438	0.8759	0.7923	0.8352	0.8933	sim		sim			
85,545	85,745	0.8192	0.7847	0.8308	0.7366	0.7920	0.8501						
85,745	85,945	0.6130	0.5699	0.5942	0.5716	0.5932	0.6239			sim			
85,945	86,145	0.7324	0.7006	0.7442	0.7149	0.7368	0.7290						

Pk (m)		Desvio padrão da bitola (mm)						Particularidades					
		maio de 2011	outubro de 2010	abril de 2012	outubro de 2012	maio de 2013	julho de 2013	BT1	BT2	BT inferior	BT superior	Viaduto	Junta de dilatação
de	a												
86,145	86,345	0.6133	0.5839	0.6275	0.6011	0.6121	0.6122						
86,345	86,545	0.7091	0.6615	0.7100	0.6544	0.7026	0.7243						
86,545	86,745	0.6415	0.5808	0.6117	0.5560	0.5649	0.6067						
86,745	86,945	0.6155	0.5723	0.6180	0.5872	0.5915	0.6623		sim				
86,945	87,145	0.7787	0.7080	0.7496	0.7092	0.7387	0.7659						
87,145	87,345	0.7756	0.7631	0.7915	0.7072	1.1575	0.6844						