



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

André Filipe Cruz Carvalho

MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DAS INFRAESTRUTURAS
FERROVIÁRIAS COM REUTILIZAÇÃO DE TRAVESSAS

MAINTENANCE OF THE QUALITY OF THE RAILWAY
INFRASTRUCTURE WITH THE REUTILIZATION OF SLEEPERS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de
Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,
orientada pelo Professor Doutor Adelino Jorge Lopes Ferreira

Janeiro de 2020

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

André Filipe Cruz Carvalho

MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DAS INFRAESTRUTURAS FERROVIÁRIAS COM REUTILIZAÇÃO DE TRAVESSAS

MAINTENANCE OF THE QUALITY OF THE RAILWAY INFRASTRUCTURE WITH THE REUTILIZATION OF SLEEPERS

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,
orientada pelo Professor Doutor Adelino Jorge Lopes Ferreira

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC
declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Janeiro de 2020



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

AGRADECIMENTOS

Terminada a realização desta dissertação e de mais um objetivo a que me propus, quero deixar o meu profundo agradecimento a todos aqueles que desde o início da minha vida pessoal e académica contribuíram para que fosse atingido. O vosso apoio e ajuda foram cruciais para o realizar deste sonho.

Ao meu orientador, Professor Doutor Adelino Ferreira, por todos os ensinamentos transmitidos, por acreditar em mim, pela disponibilidade, pelo acompanhamento e orientação constante ao longo deste caminho. Ao Professor Doutor Rui Simões pelo interesse e ajuda na elaboração desta dissertação e pela disponibilidade que sempre tem para com os alunos. Ao Professor Doutor Alberto Martins pelas importantes palavras de apoio e incentivo quando o mesmo faltava. Aos funcionários do DEC envolvidos nesta dissertação, em especial ao Senhor Ricardo e Dona Lucinda, pela preocupação, disponibilidade, ajuda e amizade que sempre tiveram.

À empresa Infraestruturas de Portugal e a todos os seus intervenientes pela oportunidade que me proporcionaram, pela simpatia com que me receberam, por poder ter acompanhado o seu dia a dia e por todas as informações disponibilizadas. Ao Eng.º Pedro Pires pela sabedoria transmitida, pela experiência, acessibilidade, disponibilidade e pelos contactos. Ao Eng.º José Coutinho e à Eng.ª Daniela Rodrigues pela disponibilização constante de documentos essenciais para o desenrolar deste estudo. Um agradecimento especial ao Eng.º Bruno Ribeiro, pelo tempo que disponibilizou, pela ajuda, orientação, dedicação e empenho, pelos princípios, valores e ensinamentos que me foi transmitindo e por toda a paciência que teve para me acompanhar.

A toda a minha querida família por todo o carinho. Dedico este trabalho aos heróis da minha história, aos meus queridos pais e ao meu pequenino, ao meu irmão. Pelos esforços constantes que fazem para me proporcionarem o melhor, por todos os valores transmitidos, pelo apoio, pelo suporte, pelo carinho, pela educação e motivação, pelos conselhos, pelos exemplos que são, por tudo. Sem vocês nada disto seria possível, orgulho-me tanto de vocês!

À minha menina, a minha namorada, o meu porto seguro, o meu suporte em todas as horas e em todos os momentos. A tua constante preocupação e atenção, o carinho e amor que me dás, tornam-te tão especial. Aos seus pais, por acompanharem de perto esta aventura, pelo cuidado, pela ajuda, amizade, incentivo e todo o carinho partilhado.

A todos os meus amigos, pessoais e de todas as atividades associativas. Aos “Entachados” pela amizade verdadeira, por estarem presentes em todos os momentos, pelas opiniões críticas e constitutivas, pela honestidade, por todas as palavras de apoio!

Ao Heitor, pela confidencialidade, simplicidade, humildade, honestidade, atenção e incentivo em todos os momentos vividos conjuntamente. Aos seus pais e à sua irmã, pela preocupação e amizade que sempre demonstraram.

Ao meu amigo de todos os momentos, João Ferreira. Desde o início desta caminhada que estiveste presente em todos os momentos, com a tua boa disposição e constante preocupação, com uma palavra amiga, incentivando-me e ajudando-me. Todas as noites de estudo, todas as atividades extracurriculares, todos os jantares, tiveram um sabor especial a teu lado, não imagino como seria de outra forma, muito dificilmente teriam sido melhores. Certamente que caminharemos juntos pela vida fora.

A todos que privaram comigo ao longo desta caminhada, em especial aos meus amigos de curso, às “Estrelas e à DECFamília”, e da mais irreverente festa Académica do País, pelo companheirismo, pela amizade, pelo trabalho, pela dedicação, pela mudança, pelos inúmeros momentos vividos, por terem acreditado e confiado em mim.

Aos que aqui não foram mencionados, dirijo, ainda assim, um enorme obrigado. Levar-vos-ei comigo para a vida.

Never Try, Never Win...

RESUMO

As infraestruturas ferroviárias apresentam um ciclo de vida útil. As ações de manutenção e renovação das vias desde sempre foram tema de preocupação dos gestores ferroviários. No entanto, devido ao aumento do desenvolvimento socioeconómico, esta preocupação é cada vez maior. Contudo, o estado atual da rede ferroviária nacional não apresenta, ainda, na totalidade da sua extensão, os valores desejados dos parâmetros de qualidade e conforto proporcionados aos passageiros. As degradações das características da infraestrutura ferroviária, em conjunto com o adiamento de ações de investimento para o melhoramento e a evolução das linhas, levam à sua progressiva degradação e a um aumento considerável dos custos de manutenção.

Das campanhas de inspeções visuais e da monitorização da via, detetam-se possíveis anomalias e falhas. Recorrendo-se à constante prevenção e ao atempado planeamento das intervenções é possível garantir que os valores dos parâmetros geométricos destas falhas se mantenham abaixo dos valores limites pré-estabelecidos pelas normas existentes.

Associado à sustentabilidade ambiental e a uma melhor gestão de otimização dos recursos financeiros disponíveis nas empresas surge a elaboração desta dissertação. Partindo das imposições legais quanto ao uso do creosoto na conservação das travessas de madeira e do material ferroviário que se encontra parqueado nas instalações da empresa Infraestruturas de Portugal, mas com potencialidade de reaplicação na via, propõe-se uma avaliação dessa possível reutilização. Efetuada a revisão de conhecimentos relativos à manutenção da qualidade dos parâmetros geométricos da via férrea, às suas patologias, aos equipamentos de inspeção e aos sistemas de avaliação da qualidade, recolheram-se dados relativos à Linha do Vouga, correspondendo ao estudo de caso.

Analisando a possível reutilização e modificação das travessas de betão bibloco regeneradas oriundas da via larga (bitola de 1668 mm) para reaplicação em via estreita (bitola 1000 mm) tendo em conta a análise de custos no ciclo de vida com matérias primas, com mão-de-obra e com as diversas ações de manutenção, efetua-se uma análise custo-benefício admitindo diversas alternativas possíveis.

O estudo aqui reproduzido procura contribuir para o apoio na tomada de decisões por parte das entidades competentes associadas a esta reutilização, tendo em consideração os níveis de qualidade e segurança pretendidos.

Palavras-chave: Infraestruturas Ferroviárias, Ciclo de Vida, Manutenção, Travessas de Betão Bibloco, Regeneradas, Bitola, Reutilização, Custo-Benefício

ABSTRACT

Railway infrastructure has a life cycle. Track maintenance and renewal have always concerned infrastructure managers. Nevertheless, due to socioeconomic development, this concern keeps growing. However, the current state of the national railway network does not yet meet, in its entirety, the desired values regarding mainly the quality of services and comfort parameters required by passengers. The railway infrastructure wear and the postponement of investments to improve and evolve the tracks lead to their progressive degradation and a considerable increase in the maintenance costs.

Frequent visual inspection and track monitoring campaigns are important actions to minimize possible failures and abnormalities. Constant prevention and timely planning of intervention make it possible to ensure that the values of the geometric parameters of these failures remain below the limit values pre-established by the existing norms.

This dissertation emerges from the association of environmental sustainability and management optimization of companies' financial resources. In this sense, it proposes an evaluation of reutilization of material stored by Infraestruturas de Portugal, considering the legal impositions concerning the use of creosote in the conservation of wooden sleepers. This dissertation also presents a case study taking into consideration data related to the Vouga Track, collected after the knowledge review regarding the quality maintenance of the geometric parameters of the railway track, its pathologies, the inspection equipment and the systems of quality evaluation.

Examining the possible reutilization and modification of the regenerated twin-block concrete sleepers deriving from the wide track (gauge of 1668 mm) for reapplication in narrow track (gauge of 1000 mm) taking into account the cost analysis, during the life cycle, with raw materials, labor and the maintenance work, a cost-benefit analysis is made considering several possible alternatives.

This research aims at contributing as a support to competent entities concerning this reutilization of material, observing the intended quality and security levels.

Keywords: Railway Infrastructures, Life Cycle, Maintenance, Twin-block concrete sleepers, Regenerated, Gauge, Reutilization, Cost-Benefit.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivo	3
1.3	Estrutura da Dissertação	4
2	CONSTITUIÇÃO E AÇÕES DE MANUTENÇÃO DA VIA-FÉRREA.....	6
2.1	Elementos Existentes na Ferrovia.....	7
2.1.1	Infraestrutura	7
2.1.2	Superestrutura.....	7
2.1.3	Balastro.....	8
2.1.4	Carris	10
2.1.5	Travessas	11
2.1.6	Sistemas de fixação	20
2.2	Parâmetros Geométricos de Via	22
2.2.1	Bitola	22
2.2.2	Nivelamento longitudinal	23
2.2.3	Nivelamento transversal	24
2.2.4	Alinhamento	24
2.2.5	Empeno.....	25
2.3	Tolerâncias dos Parâmetros Geométricos da Via	25
2.4	Atividades de Manutenção.....	28
3	ESTUDO DE CASO	30
3.1	Considerações Iniciais	30
3.2	Investimento na Ferrovia	30
3.3	Descrição do Estudo de Caso.....	31
3.4	Regeneração das Travessas de Betão Bloco	34
3.5	Modificação de Travessas de Via Larga para Via Estreita.....	35
3.6	Caracterização da Cantoneira	36
3.7	Soldadura da Cantoneira.....	37
3.8	Adaptação das Travessas de Betão Bloco.....	39
3.9	Troço Experimental	40
3.10	Estudo IP – Adaptação Travessas Bloco.....	43
3.11	Análise de Custos	44
3.12	Análise de Resultados	47
4	CONCLUSÕES E POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	51
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
	ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquema estrutural de um perfil em corte transversal da via balastrada – superestrutura e subestrutura (Oliveira, 2012).	6
Figura 2.2 – Contaminação da camada de balastro (Silva, 2012).	9
Figura 2.3 – Camada de balastro (Linha do Vouga).	10
Figura 2.4 – Perfil de carril vignole.	11
Figura 2.5 – Esquema do tomo da via (Fernave, 2003).	12
Figura 2.6 – Travessas de madeira.	13
Figura 2.7 – Travessas de betão monobloco.	13
Figura 2.8 – Travessas metálicas (Moreira, 2014).	13
Figura 2.9 – Travessas de compósitos de polímeros (Falcão, 2013).	13
Figura 2.10 – Travessas de betão monobloco.	18
Figura 2.11 – Travessa de betão bibloco.	18
Figura 2.12 – Sistema de pregação rígida (Pires, 2018).	20
Figura 2.13 – Sistema de fixação <i>Pandrol</i> – fixação elástica (Esveld, 2001).	21
Figura 2.14 – Sistema de fixação <i>Vossloh</i> – fixação elástica.	21
Figura 2.15 – Sistema de fixação RNP/PRX – fixação elástica.	21
Figura 2.16 – Sistema de fixação Nabla - fixação elástica.	21
Figura 2.17 – Bitola (IP: GR.IT.VIA.018, 2017).	22
Figura 2.18 – Nivelamento longitudinal (Leite, 2017).	23
Figura 2.19 – Nivelamento transversal (IP: GR.IT.VIA.018, 2017).	24
Figura 2.20 – Alinhamento (Falcão, 2013).	25
Figura 2.21 – Empeno (IP: GR.IT.VIA.018, 2017).	25
Figura 3.1 – Mapa da RFN – Linha do Vouga (adaptado de IP).	32
Figura 3.2 – Travessas bibloco existentes (10/2019) no Complexo Logístico do Entroncamento (CLE).	33
Figura 3.3 – Blocos de betão presentes nas TBB com identificação da zona crítica e dimensões das fissuras.	34
Figura 3.4 – Preparação, marcação e corte da cantoneira.	35
Figura 3.5 – Limpeza da cantoneira (desbravamento da corrosão).	35
Figura 3.6 – Sobreposição das cantoneiras, execução da soldadura (a MAG) e limpeza.	36
Figura 3.7 – Resultado final, obtido da adaptação da TBB (BB2) com bitola 1668 mm para bitola 1000 mm.	36
Figura 3.8 – Relação tensão – extensão (provete 1).	37

Figura 3.9 – Troço experimental localizado na Linha do Vouga entre o km 26+789 e o km 26+863.	40
Figura 3.10 – Junta assente em travessas de betão presente no troço experimental.	41
Figura 3.11 – Colmatação preenchida por vegetação – troço experimental (km 26+789 e km 26+863).	41
Figura 3.12 – Equipamento KRAB S-LIGHT (IP, 2016a).	42
Figura 3.13 – Lista de defeitos da Linha do Vouga, campanha de outubro de 2019.	43
Figura 3.14 – Evolução das alternativas ao longo dos anos admitindo 30 anos de vida útil das TBB (BB2) adaptadas.	47
Figura 3.15 – Evolução das alternativas ao longo dos anos admitindo 20 anos de vida útil das TBB (BB2) adaptadas.	48
Figura 3.16 – Nivelamento transversal e alinhamento das TBB (BB2) adaptadas utilizando um nível e uma régua.	49
Figura 3.17 – Nivelamento transversal das TBB (BB2) adaptadas utilizando a régua de bitola da IP.	49
Figura A1.1 – Montagem da corrente da desguarnecedora.	62
Figura A1.2 – Desguarnecedora em funcionamento.	62
Figura A1.3 – Funcionamento da desguarnecedora.	62
Figura A1.4 – Desguarnecedora e respetivos vagões.	62
Figura A1.5 – Reposição do balastro.	62
Figura A1.6 – Ataque na via.	62
Figura A2.1 – Marcação das travessas a substituir.	63
Figura A2.2 – Remoção do balastro.	63
Figura A2.3 – Aplicação do macaco sobre o carril e substituição das travessas.	63
Figura A2.4 – Aplicação dos novos sistemas de fixação nas travessas novas.	63
Figura A2.5 – Distribuição das travessas e fixação.	63
Figura A2.6 – Extração e armazenamento das fixações.	63
Figura A2.7 – Correção de bitola (se necessário).	64
Figura A2.8 – Furação das fixações.	64
Figura A2.9 – Aperto das fixações.	64
Figura A2.10 – Reposição do balastro e recolha do material não utilizado.	64
Figura A3.1 – Separação entre o bloco de betão e a cantoneira metálica.	65
Figura A3.2 – Degradação da travessa bibloco devido à corrosão da cantoneira metálica e do carril (Mourão, 2017).	65
Figura A3.3 – Empeno das cantoneiras metálicas.	65
Figura A3.4 – Diagrama geral de via Eirol – Eixo (REFER, 2013).	66
Figura A3.5 – Dados obtidos pelo Krab (outubro 2019) entre km 26+653 e km 27+500, Infraestruturas de Portugal.	66

Figura A3.6 – Marcação das TBB (BB2) para posterior corte.	67
Figura A3.7 – Corte da cantoneira presente na TBB (BB2).	67
Figura A3.8 – Resultado final do processo de adaptação recorrendo-se à soldadura (por eléctrodo revestido básico) topo a topo.	68
Figura A3.9 – Resultado final do processo de adaptação recorrendo-se à soldadura (por eléctrodo revestido básico) sobreposta.	68
Figura A3.10 – Corte das amostras de provetes de cantoneira das TBB (BB2).	69
Figura A3.11 – Numeração dos provetes.	69
Figura A3.12 – Medição da espessura da cantoneira recorrendo-se a um paquímetro.	69
Figura A3.13 – Maquinação dos provetes recorrendo-se à fresadora universal.	69
Figura A3.14 – Provetes maquinados e numerados.	69
Figura A3.15 – Ensaio na máquina universal.	69
Figura A3.16 – Ensaio com extensómetro.	69
Figura A3.17 – Resultado do estado do provete após o ensaio de tração.	69
Figura A4.1 – Estação do Tua – Centro Interpretativo do Vale do Tua.	70
Figura A4.2 – Travessas existentes na Linha do Tua – via estreita (bitola 1000 mm).	70

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Características dimensionais/peso das travessas de madeira (adaptado de Fernave, 2003).	19
Quadro 2.2 – Características dimensionais/peso das travessas de betão (adaptado de ADIF, 2017 e REFER, 2000).	19
Quadro 2.3 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1000 mm – limites de alerta (adaptado de IP: GR.IT.VIA.018, 2017).	27
Quadro 2.4 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1000 mm – limites de intervenção (adaptado de IP: GR.IT.VIA.018, 2017).	27
Quadro 2.5 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1000 mm – limites de ação imediata (adaptado de IP: GR.IT.VIA.018, 2017).	27
Quadro 3.1 – Tensões de cedência e última nominais obtidas dos ensaios aos provetes das cantoneiras.	39
Quadro 3.2 – Vida útil admitida (anos) dos principais constituintes da via férrea (Adaptado de IP 2016b).	46
Quadro A3.1 – Descrição do processo inicial de transformação das TBB (BB2) (adaptado de Ribeiro <i>et al.</i> , 2017).	67

ABREVIATURAS

ANSF	Autoridade Nacional de Segurança Ferroviária
AV	Aparelho de Via
BC	Barra Curta
BLS	Barra Longa Soldada
CCV	Custos por Ciclo de Vida
CEN	Comité Europeu de Normalização
CLE	Complexo Logístico do Entroncamento
CP	Comboios de Portugal
DEC	Departamento de Engenharia Civil
DAM-IVC	Direção Asset Management – Inspeção Via e Catenária
EN	Norma Europeia
EP, SA	Estradas de Portugal, SA
FCTUC	Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra
GIF	Gestores de Infraestruturas Ferroviárias
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IET	Instrução de Exploração Técnica
IMT	Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P.
ITV	Instrução Técnica de Via
IP	Infraestruturas de Portugal, S.A.
JIC	Junta Isolante Colada
JIN	Junta Isolante normal
MAG	<i>Metal Active Gas</i> (Gás Ativo de Metal)
MC	Manutenção Corretiva
MFGP	Mortos e Feridos Graves Ponderados
MIG	<i>Metal Inert Gas</i> (Gás Inerte de Metal)
MPC	Manutenção Preventiva Condicionada
MPS	Manutenção Preventiva Sistemática
ODMV	Órgão Detentor dos Materiais de Via aplicados na Rede Ferroviária Nacional
OEXEC	Órgão responsável pela Execução dos trabalhos de levantamento de via
OINSP	Órgão responsável pelos equipamentos ligeiros/pesados de Inspeção de via
OPREP	Órgão responsável pela Preparação para reutilização dos materiais de via usados

PETI3+	Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas 2014-2020
PR	Procedimento
REFER, EPE	Rede Ferroviária Nacional, EPE.
RFN	Rede Ferroviária Nacional
TA	Tolerância de Alerta
TAI	Tolerância de Ação Imediata
TI	Tolerância de Intervenção
TBB	Travessa de Betão Bibloco
TBM	Travessa de Betão Monobloco
TM	Travessa de Madeira
TDE	Tipologias de Exploração
TDI	Tipologias de Investimento
UE	União Europeia
UIC	União Internacional de Caminhos de Ferro

SIMBOLOGIA

A	Área de uma secção transversal
a_w	Espessura do cordão da soldadura
b	Base de medição do empeno
β_w	Fator de correlação para soldaduras de ângulo
cm	Centímetro
f_y	Tensão de cedência nominal
$F_{w,Rd}$	Resistência de um cordão de ângulo do esforço atuante na soldadura
f_u	Tensão última nominal à tração
G	Bitola
kg/m	Quilograma por metro
km	Quilómetro
km/h	Quilómetro por hora
KN	Kilo Newton
L_w	Comprimento total de soldadura.
m	Metro
mm	Milímetro
MPa	Mega Pascal
$N_{pl,Rd}$	Esforço normal resistente plástico da secção bruta
$V_{máx}$	Velocidade máxima
Z_p	Direção perpendicular ao plano de rolamento
%	Porcentagem
€	Euro
λ	Comprimento de onda
γ_{M0}	Coefficiente parcial de segurança para a resistência de secções transversais de qualquer classe
γ_{M2}	Coefficiente parcial de segurança para a resistência da soldadura

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Os meios de transporte constituem cada vez mais uma enorme utilidade para a evolução e crescimento de toda a humanidade tanto a nível económico como social. A possibilidade de se viajar comodamente e percorrendo com grande rapidez distâncias até há pouco inacessíveis, alterou todo o modo de vida das populações, possibilitou, por exemplo, migrações humanas, viagens de lazer e viagens de negócios. A troca comercial de mercadorias deu origem ao que seria o embrião das modernas redes logísticas (Martins, 2010). Com o constante desenvolvimento dos meios de transporte e das suas redes, os Gestores de Infraestruturas Ferroviárias (GIF) pretendem aumentar a qualidade da oferta e a competitividade face aos demais meios de transporte, procurando reduzir os tempos de viagens, aumentar a segurança e conforto dos passageiros.

Com o aumento do número de veículos rodoviários, principalmente nos centros urbanos, existem inúmeros problemas de saturação, pelo que o transporte ferroviário surge cada vez mais como uma alternativa sustentável para que o desenvolvimento das populações e da sociedade continue a ser uma constante. No entanto, a redução dos custos de transporte rodoviário por parte do desenvolvimento tecnológico e os interesses políticos terão conduzido, nas últimas décadas, a uma distribuição de investimentos desigual pelos diversos modos de transportes, o que terá levado ao declínio de alguns deles, nomeadamente do modo ferroviário (Cruz, 2017).

Para contrariar esta desigualdade, são várias as medidas políticas que têm vindo a ser impostas pela União Europeia (UE) aos governos dos estados membros. Fruto da Revolução Industrial, o transporte ferroviário revela ser um meio rápido, fiável, seguro e com grande capacidade para o transporte de mercadorias e passageiros.

Segundo Fortunato (2005), o desempenho das vias de caminho de ferro resulta de uma complexa interação dos diversos elementos e camadas do sistema, em resposta às solicitações impostas pelo material circulante em diversas condições ambientais. Para que o funcionamento seja adequado, cada componente do sistema estrutural deve cumprir adequadamente a sua função de forma para que o conjunto seja estável, resiliente, evite deformações permanentes significativas ao nível dos carris e o desgaste dos componentes.

Estamos a assistir a uma grande evolução das vias férreas. Quase toda a extensão da via foi melhorada e reforçada, as camadas de balastro adquiriram maior volume, altura e melhores características, as travessas passaram a ser produzidas em betão pré-esforçado, os carris ganharam maior peso linear e passaram a ser soldados (Moreira, 2014). Com a melhoria ao nível dos materiais e aliado a melhores estratégias de manutenção da via, a eficiência do transporte ferroviário aumentou significativamente.

No passado, a manutenção e renovação de vias férreas assentava normalmente em atividades planeadas segundo o conhecimento e a experiência de cada Gestor de Infraestrutura, adquirida ao longo de largas décadas de trabalhos de conservação (Pires, 2009). A preocupação com a gestão e manutenção das linhas férreas e de todas as suas componentes toma hoje em dia um papel preponderante para a sustentabilidade da operacionalidade de qualquer via.

A ação do tráfego e do meio ambiente são fatores que contribuem diretamente para a degradação da via-férrea logo após a sua construção, pelo que, quanto maior a utilização e mais agressivo for o ambiente, mais rapidamente se dá a degradação (Rodrigues, 2012a). As intervenções na via podem ser de vários tipos, salientando-se a renovação e a manutenção das existentes e a construção de novas linhas.

A manutenção periódica e preventiva realizada pelos GIF é assim crucial para manter a qualidade da via em patamares aceitáveis para a circulação de pessoas e bens, reduzindo os custos de intervenção e aumentando a vida útil dos constituintes e do sistema ferroviário para que se obtenha o máximo de rendimento económico da infraestrutura.

Nos dias de hoje, o negócio da ferrovia compete diretamente com outras alternativas de transporte, pelo que a redução dos custos operacionais com a manutenção e renovação dos constituintes da via tornou-se numa das maiores e aliciantes tarefas em busca de competitividade (Pires, 2009).

Os princípios de gestão da análise de Custos no Ciclo de Vida (CCV) desenvolvem, cada vez mais, um papel vital aos GIF na redução e otimização dos custos, fornecendo-lhes um melhor suporte técnico nas tomadas de decisão referentes às atividades de manutenção e renovação das vias com base nas previsões a médio e longo prazo (Dantas, 2014).

A empresa Infraestruturas de Portugal (IP) assume a gestão, a manutenção, o investimento e os projetos de modernização da rede ferroviária Portuguesa e das infraestruturas a ela ligadas. É a empresa pública que resulta da fusão entre a Rede Ferroviária Nacional (REFER, EPE.) e a empresa Estradas de Portugal (EP, SA). A fusão foi consagrada no dia 1 de junho de 2015, na

sequência do Decreto-Lei nº 91/2015 de 29 de maio. Na prática, as infraestruturas rodoviárias e ferroviárias passam a ser geridas por uma única empresa, de acordo com uma estratégia conjunta, integrada e complementar.

A IP, cujo único acionista é o Estado Português, está sujeita à tutela dos Ministérios do Planeamento e das Infraestruturas e das Finanças. Tem por objeto a conceção, projeto, construção, financiamento, conservação, exploração, requalificação, alargamento e modernização das redes rodoviária e ferroviária nacionais, incluindo-se nesta última o comando e controlo da circulação. Os valores primordiais pelos quais se rege são a ética, a segurança, e a sustentabilidade (IP@ 2019).

No que concerne às infraestruturas ferroviárias, esta empresa dedica-se ao cumprimento das seguintes tarefas: gestão e manutenção das vias-férreas; inspeção, diagnóstico e gestão de ativos das vias-férreas; renovação das vias existentes; e construção de novas vias.

Este trabalho versa sobre a reabilitação e conservação da via estreita da rede ferroviária nacional (RFN), que em colaboração com a empresa IP terá uma componente prática, aplicada à Linha do Vouga. Posteriormente, este mesmo caso prático poderá ser replicado noutras linhas de via estreita, nomeadamente na Linha do Tua.

1.2 Objetivo

A presente dissertação, realizada no âmbito do protocolo de cooperação existente entre a IP e a Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra (FCTUC), tem como propósito estudar a viabilidade (técnica e económica) do processo de adaptação das travessas de betão bibloco regeneradas de via larga (bitola 1668 mm) para reaplicação na via estreita (bitola 1000 mm), o tipo de soldadura a executar após o corte da cantoneira, o procedimento necessário para que estas travessas possam vir a ser aplicadas na via estreita, no caso prático da Linha do Vouga e a comparação de soluções de diferentes tipos de travessas, nomeadamente, com a utilização de materiais novos.

Salienta-se também a importância desta possível solução para as questões ambientais diretamente ligadas à reutilização e à sustentabilidade na otimização dos materiais provenientes das renovações da via.

Com este trabalho pretende-se elucidar o leitor acerca das componentes que integram a via férrea e as partes constituintes da sua manutenção.

Como objetivo último da dissertação, é apresentado um estudo de caso no sentido de obter uma noção bastante realista dos custos com o processo de reutilização, uma vez que se aplica a um caso prático real da RFN, através de dados e informações recolhidos na IP.

A realização do estudo de caso e a avaliação dos processos construtivos foram apenas possíveis através da disponibilização de dados e informação com a caracterização da rede por parte da empresa IP. Contudo, sendo a informação disponibilizada confidencial, o presente trabalho está sujeito a restrições no que diz respeito à divulgação dessa mesma informação.

1.3 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho encontra-se dividido em 5 capítulos, terminando com as respetivas referências bibliográficas e os anexos.

Neste primeiro capítulo **introdutório** é feito o enquadramento geral do tema, expondo a evolução que o setor dos transportes ferroviários teve ao longo dos anos e apresentando os principais objetivos que se pretendem atingir. Por fim, define-se a estrutura da dissertação e apresenta-se a empresa que cooperou neste estudo, a IP – Infraestruturas de Portugal, S.A.

No segundo capítulo faz-se referência à **constituição e ações de manutenção da via-férrea**, abordando os elementos existentes na ferrovia e os parâmetros geométricos da via. Sendo uma das finalidades desta dissertação, apresenta-se neste capítulo os diferentes tipos de travessas existentes e as suas características. Expõem-se as tolerâncias dos parâmetros geométricos da via para os quais os níveis de qualidade, conforto e segurança oferecidos deixam de ser os desejados e caracterizam-se as atividades de manutenção da infraestrutura ferroviária existentes na RFN. Classificam-se as atividades de manutenção e enunciam-se exemplos que, recorrentemente, são aplicados pela IP, garantindo a qualidade necessária aos parâmetros geométricos da via tendo em conta as tolerâncias permitidas.

O terceiro capítulo, designado por **estudo de caso**, aborda o objetivo principal desta dissertação. Começa-se por enunciar as considerações gerais iniciais do estudo de caso e o investimento que ocorrerá a curto prazo na ferrovia. Após a obtenção dos dados na IP e de visitas pessoais à Linha do Vouga, efetua-se a descrição do estudo de caso, demonstrando-se a quantidade de circulações diárias da Linha do Vouga, o tipo de comboios e as cargas transportadas. De seguida, demonstra-se o processo de escolha das travessas para possíveis reutilizações e o processo de regeneração. Recorrendo-se a várias empresas especializadas e credíveis efetua-se o processo de modificação das travessas de via larga (bitola 1668 mm) para via estreita (bitola 1000 mm). Caracteriza-se o aço presente na cantoneira e enuncia-se o tipo de soldadura

utilizada pelas empresas. Descreve-se o troço experimental já existente na Linha do Vouga e o estudo efetuado pela IP. Por fim, são definidos vários cenários de intervenção para se obter uma análise de custo. Com os dados obtidos das inspeções realizadas na Linha do Vouga e no troço experimental, verificam-se se as tolerâncias são cumpridas, comparam-se as atividades de manutenção no troço com as que existem ao longo da restante Linha do Vouga e analisam-se as várias soluções, nomeadamente em termos de alternativas de travessas para a via estreita (incluindo a travessa bloco adaptada), admitindo-se uma vida útil de 20 e 30 anos das travessas adaptadas para concluir acerca da viabilidade económica e ambiental de cada opção, finalizando-se a análise de resultados.

No quarto capítulo, designado por **conclusões e possíveis desenvolvimentos futuros**, apresentam-se as conclusões gerais do tema e algumas das consequências que resultam da reutilização e adaptação das travessas bloco, enunciando algumas sugestões para novos trabalhos futuros a desenvolver nesta área.

Finalmente, indicam-se as **referências bibliográficas**, onde se enumeram as pesquisas efetuadas, com especial expressão para os manuais da IP. Foram remetidos para **anexo** alguns dos aspetos que se consideram auxiliares para uma melhor compreensão dos assuntos abordados.

2 CONSTITUIÇÃO E AÇÕES DE MANUTENÇÃO DA VIA-FÉRREA

Desde a escolha do balastro, tipo de travessas, fixações e aparelhos da via, à execução da plataforma, a via-férrea foi evoluindo ao longo das últimas décadas em termos de qualidade, resistência e fiabilidade, proporcionando aos utilizadores maior segurança e conforto.

Define-se como via-férrea o conjunto de elementos que, desde os carris até às fundações, são responsáveis por permitir a circulação do material circulante, receber e transferir as cargas envolvidas na sua deslocação até ao solo e servir de base de sustentação e encaminhamento dos veículos ferroviários (Dantas, 2014).

A via distingue-se em duas partes fundamentais: superestrutura e infraestrutura/subestrutura. Os constituintes da superestrutura são: o balastro; os carris; as travessas; as fixações; os elementos de ligação; e ainda os aparelhos de via (AV). A infraestrutura é composta pela plataforma natural (ou terreno natural), pela fundação (também conhecida por leito da via) e pela camada de sub-balastro. O sub-balastro e o leito da via atingem normalmente uma duração na ordem dos 50 a 100 anos, desde que sejam convenientemente realizados os trabalhos de conservação, de reabilitação e de drenagem da superestrutura e subestrutura (Fortunato, 2005). Existem soluções para a camada de sub-balastro onde é utilizada uma camada de mistura betuminosa em substituição de material granular (via de apoio misto) (Fernandes, 2011).

A Figura 2.1 representa um perfil transversal da via balastrada, onde é possível observar as camadas mais correntes nas vias-férreas.

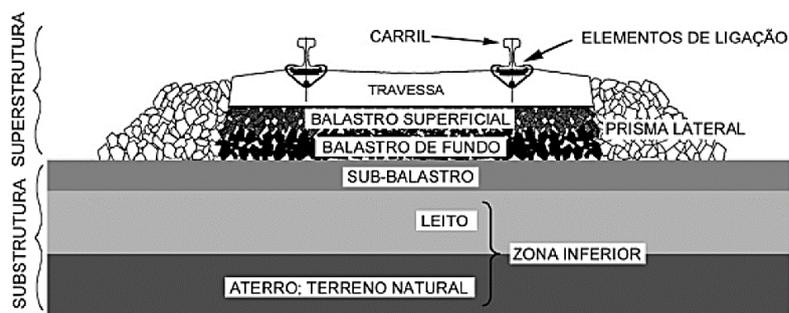


Figura 2.1 – Esquema estrutural de um perfil em corte transversal da via balastrada – superestrutura e subestrutura (Oliveira, 2012).

Existem vários tipos de veículos ferroviários sendo os veículos convencionais constituídos por uma locomotiva, que é o material motor, à qual estão acopladas carruagens para o transporte de passageiros ou vagões de mercadorias. Os veículos de média e alta velocidade ou os metropolitanos urbanos têm uma disposição diferente uma vez que são automotoras. Estes veículos são constituídos por duas cabeças, permitindo a condução nos dois sentidos de circulação e encontram-se totalmente agregados. As cargas transmitidas pelos veículos à via podem ser quase-estáticas, de baixa frequência, ou dinâmicas e de frequências elevadas (Valente, 2014).

2.1 Elementos Existentes na Ferrovia

Segundo Fortunato (2005), a possibilidade de prever o comportamento da via para um dado conjunto de condições é essencial para estabelecer orientações racionais para o projeto, construção e conservação. Nesse sentido, é necessário quantificar a importância de cada um dos componentes da via.

2.1.1 Infraestrutura

A infraestrutura tem como principal função a estabilidade da via, suportando a superestrutura ferroviária. A plataforma natural é vulgarmente formada pelos solos locais, granulares ou argilosos, sendo estes últimos de evitar utilizar, caso contrário, devem ser sujeitos a atividades de melhoramento e reforço. Serve de apoio à superestrutura e às camadas de apoio da via, mantendo a posição da via estável no tempo. A camada de leito deve ser um elemento de proteção do solo subjacente e assim ser constituído por um solo de melhor ou igual qualidade. A camada de sub-balastro é caracterizada pelo uso de materiais de elevada qualidade, de origem granular ou misturas betuminosas, e existe devido à necessidade de proteger a plataforma, reduzir o nível de tensões nos solos e manter constante a espessura de balastro. Serve também para proteger a camada de leito contra ações de gelo e funciona como elemento de impermeabilização, evitando a passagem de água para o solo de fundação (Leite, 2017).

2.1.2 Superestrutura

A superestrutura tem como finalidade permitir a circulação dos comboios nas melhores condições, suportar todos os esforços a que está submetida e permitir uma boa drenagem (Fernave, 2003). Os elementos que dela fazem parte estão sujeitos à degradação provocada pelas circulações, dependendo diretamente da frequência de utilização, da carga transportada, da velocidade das circulações, das condições climáticas, da estabilidade comportamental da

infraestrutura e da qualidade dos seus constituintes. Estes fatores devem constituir-se como critérios de base para a escolha dos vários constituintes da via férrea.

De seguida serão apresentados os elementos que constituem a superestrutura, assim como a descrição das suas características.

2.1.3 Balastro

O balastro é uma camada granular localizada entre as travessas e a fundação e é constituída por materiais granulares grosseiros que permitam uma boa compactação e estabilidade da via tanto vertical como horizontal. Existem dois tipos de balastos: balastro tipo I, utilizado para a rede de alta velocidade (velocidade > 220 km/h); e balastro tipo II, utilizado na rede convencional (velocidade ≤ 220 km/h).

As características do balastro devem ser adaptadas ao tipo de rede em estudo. Este deve ter como características uma boa resistência mecânica, ser pesado, ter forma angular, ter superfície rugosa, e ser constituído por material granular grosseiro com dimensão entre 31,5 e 50 mm (IP, 2019a). A camada de balastro deve também oferecer alta resistência longitudinal e transversal, garantir boa drenagem das águas pluviais, garantir a proteção contra efeitos de gelo/degelo e a elasticidade da via com a finalidade de amortecer as cargas dinâmicas, permitindo assim uma fácil correção da posição da via através da sua alteração, e boa absorção de vibrações mecânicas e sonoras (Profillidis, 2014).

Dos processos de degradação do balastro destacam-se: a ação do tráfego, que devido à onda de avanço das rodas faz com que a travessa alivie e volte a ter impacto sobre o balastro; os esforços dinâmicos que podem sobrecarregar o balastro, o que pode levar à rotura, ao deslizamento e à erosão das suas partículas; os trabalhos de conservação devidos a um ataque ou a um desguarnecimento com depuração do balastro; as contaminações ascendentes com finos das camadas subjacentes, quando não existem camadas protetoras ou estas estão executadas deficientemente; a contaminação descendente com elementos prejudiciais como carvão, minério, areia, restos de vegetação; e a deterioração devido às ações climáticas, como por exemplo geada, amplitudes térmicas, humidade (Silva, 2012).

O uso de balastro de elevada qualidade diminui o seu desgaste, prevenindo também o desgaste das travessas, provocado pela lama abrasiva formada por partículas resultantes do desgaste do balastro e água, como se pode observar na Figura 2.2.

O material para o balastro deve ser um material granular, 100% britado, isento de materiais poluentes, tais como partículas orgânicas e expansivas, metal ou plástico, para assim promover a distribuição homogênea das forças sobre a plataforma. Este deve ser obtido através de rochas duras e sãs, ou seja, rochas que possuam elevada resistência como é o caso de rochas graníticas, gabros, dioritos, doleritos, basaltos e quartzitos (Fortunato, 2005).

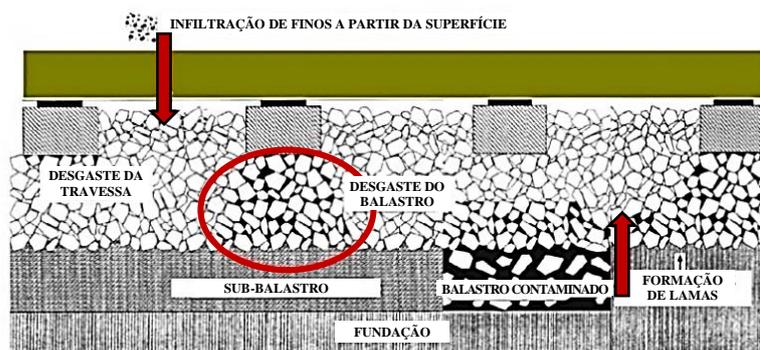


Figura 2.2 – Contaminação da camada de balastro (Silva, 2012).

Esta contaminação visível na Figura 2.2 produz deformações permanentes, provocando a diminuição da resiliência do balastro.

O comportamento da camada de balastro (Figura 2.3) é determinante na estabilidade da via. Desta forma, o seu desempenho é condicionado pelas suas características mecânicas e hidráulicas (Silva, 2012). As características da camada de balastro dependem de fatores, tais como a espessura e a compactidade. Por sua vez, as características das partículas dependem da forma, da dureza e das suas dimensões (Fortunato, 2005).

A distribuição granulométrica das partículas tem influência significativa no comportamento de deformação das vias férreas. A rigidez elástica do balastro aumenta com o aumento da uniformidade do tamanho das partículas, sendo que a densidade e o ângulo de atrito diminuem. Assim, a camada de balastro deve ter características intermédias que garantam boa drenagem e elevada resistência (Ferreira *et al.*, 2014).

Para linhas de alta velocidade, a espessura da camada de balastro aconselhável é 40 cm. É igualmente importante garantir 45 a 50 cm de balastro no prisma lateral (Figura 2.1), por forma a garantir uma adequada resistência ao deslocamento lateral (Valente, 2014).

A principal vantagem do balastro face a outros sistemas de via está na facilidade de efetuar as operações de manutenção e correção dos parâmetros geométricos da via através do ataque da

via. Devido à sua forma e dimensão, é possível substituir e/ou reaproveitar o balastro para reposição das propriedades originais (Dantas, 2014).



Figura 2.3 – Camada de balastro (Linha do Vouga).

No âmbito do protocolo com a IP, acompanhou-se uma atividade de renovação da superestrutura de via, nomeadamente o desguarnecimento mecânico pesado na Linha do Norte, como demonstrado no Anexo 1 da Figura A1.1 até à Figura A1.6, onde foi substituída toda a camada de balastro existente por balastro novo granítico. Nesta ação, para além da renovação do balastro também foram aplicadas travessas de betão monobloco, em substituição de travessas de madeira e substituído todo o carril existente.

2.1.4 Carris

Os carris são perfis de aço laminado formados por cabeça, alma e patilha (Figura 2.4), constituídos por uma só peça, sem soldaduras. Os carris são caracterizados, essencialmente, pelo seu peso por metro de comprimento, podendo encontrar-se o carril de 45 kg/m para linhas de tráfego leve, o carril de 54 kg/m e de 60 kg/m para linhas de tráfego pesado, e o carril de 71 kg/m para linhas de tráfego muito pesado (Luís, 2013).

Os carris são aplicados sobre as travessas e são os primeiros a receber as cargas transmitidas pelos veículos ferroviários visto que interagem diretamente com os seus rodados. Fornecem suporte à circulação dos veículos, transmitindo as suas cargas para os restantes elementos da via, garantem o guiamento das circulações e atuam como condutores do retorno da corrente elétrica em linhas eletrificadas (Falcão, 2013).

Segundo Leite (2017), a cabeça do carril deve ser maciça de modo a que o desgaste não afete o momento de inércia da secção. A alma do carril deve ter uma espessura mínima capaz de garantir resistência e rigidez transversal adequada. A espessura deverá ainda ter em

consideração o desgaste passível provocado pela corrosão ambiental. A patilha do carril, podendo também ser designado por patim, não deve ser muito esbelto, garantindo dessa forma que a alma continue perpendicular à travessa durante as sollicitações transversais, evitando deformações permanentes.

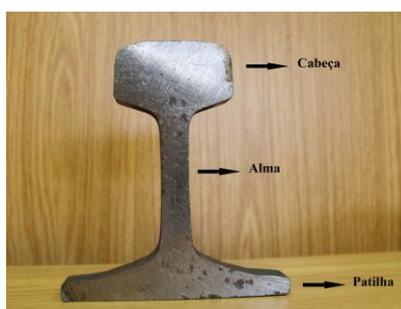


Figura 2.4 – Perfil de carril vignole.

O tipo de aço, a sua rigidez de flexão e a sua regularidade geométrica, as características relacionadas com a junção de dois carris, as juntas (ou a sua ausência), as sollicitações, sobretudo dinâmicas, a que os carris estão sujeitos, a qualidade das travessas e a qualidade das fixações podem influenciar o comportamento dos restantes elementos da via-férrea (Fernandes, 2011).

Os principais fatores de desgaste do carril são os esforços exercidos pelas circulações nas curvas de raio pequeno que provocam um desgaste acentuado na zona lateral da cabeça, as rampas de inclinação elevada que provocam um maior esforço nas máquinas, a aproximação a estações e/ou pontos de desaceleração ou aceleração acentuada e constante, tal como túneis, ou zonas costeiras devido à humidade e ações climáticas instáveis (Mourão, 2017).

2.1.5 Travessas

As travessas são os elementos que estão colocados sobre o balastro, suportam os carris e têm diversas funções, nomeadamente (Valente, 2014):

- Manter a bitola da via;
- Transmitir e redistribuir os esforços provenientes dos carris para o balastro com um nível de pressão adequado (estes esforços são devidos a cargas verticais resultantes da passagem dos veículos, sendo laterais pela ação da força centrífuga em curva ou longitudinais devido às variações de temperaturas ou às acelerações e frenagens dos veículos);
- Restringir os movimentos vertical, lateral e longitudinal do carril através do encastramento no balastro;

- Assegurar a inclinação dos carris, por forma a promover um contacto eficiente do sistema roda-carril. Segundo a Fernave (2003) o tombo é de 1/20 e tem como função facilitar o ajustamento do carril ao rodado e contrariar os esforços de derrube do carril pelo rodado (Figura 2.5);
- Manter a resistência mecânica adequada ao longo do tempo.

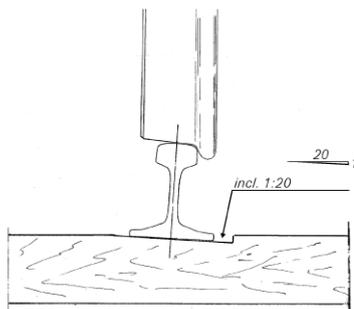


Figura 2.5 – Esquema do tombo da via (Fernave, 2003).

Os parâmetros mais importantes de uma travessa são as suas dimensões, que influenciam a área de apoio disponível para reduzir as tensões transmitidas à camada de balastro, e o seu peso, que assegura uma maior estabilidade longitudinal e transversal da via. O espaçamento entre travessas consecutivas é usualmente de 60 cm entre os seus eixos, tanto para as linhas convencionais como para as linhas de elevada velocidade (Fernandes, 2011).

Existem diversos tipos de travessas, diferindo no destino de aplicação (via corrente ou AV) e no material de que são feitas, podendo ser de madeira, betão, por ligas metálicas ou compósitos de polímeros, ilustradas nas Figuras 2.6, 2.7, 2.8 e 2.9, respetivamente. Até ao final do século XX, as travessas de maior utilização foram as de madeira. Atualmente têm vindo a ser gradualmente substituídas por travessas de betão pré-esforçado. A escolha do tipo de travessa a utilizar depende muito do tipo de via que se pretende e também do poder económico do Gestor da Infraestrutura.

Inicialmente foram usadas travessas em madeira dada a sua abundância em termos de matéria-prima na maioria dos países e as suas características, como a sua elevada resistência mecânica em todas as direções. Com o passar do tempo este tipo de material tem sido substituído por betão, que apresenta uma maior resistência lateral, uma maior durabilidade e também por questões ambientais cada vez mais preocupantes (Fernandes, 2011). As travessas metálicas nos dias de hoje tornaram-se pouco populares por evidenciarem várias desvantagens, mas foram utilizadas durante vários anos (Fortunato, 2005).



Figura 2.6 – Travessas de madeira.



Figura 2.7 – Travessas de betão monobloco.



Figura 2.8 – Travessas metálicas (Moreira, 2014).



Figura 2.9 – Travessas de compósitos de polímeros (Falcão, 2013).

A escolha do tipo de travessas a utilizar inclui atempadas e ponderadas avaliações técnicas e económicas de modo a viabilizar a solução a adotar. Das questões económicas salientam-se as seguintes: custos com a aquisição, o transporte e manuseamento; custos com a sua fixação; custos com a sua manutenção; e o provável valor que se obterá com a sua reciclagem. Das questões técnicas, entre outras, salientam-se as seguintes: as cargas que vão ter que suportar; e as velocidades que se pretende que sejam praticadas (Profillidis, 2014).

As **travessas de madeira (TM)**, quando comparadas com as travessas de betão, além do seu custo ser menor, têm maior flexibilidade, melhor distribuição de cargas e apresentam um peso relativamente reduzido permitindo maior facilidade no seu manuseamento, transporte e colocação em obra, mas não garantem uma eficaz e duradoura fixação dos carris e têm uma vida útil limitada à espécie/durabilidade e tratamento da madeira (Pires, 2018).

O processo de fabrico das travessas de madeira é simples, contemplando apenas os seguintes processos (Falcão, 2013):

- Corte: as travessas poderão não ter uma forma padrão, proporcionando desta forma o aproveitamento máximo da madeira bruta, minimizando os desperdícios;
- Secagem: pode ser feita por recurso a várias técnicas: ao ar livre; recorrendo a um forno apropriado; secagem a vapor; e ainda por secagem em óleo;
- Entalhe: procede-se à remoção da madeira no local de assentamento do carril, de modo a conferir-lhe o tombo, sendo ainda realizada a furação para aperto da fixação;
- Impregnação: tratamento por impregnação de modo a protegê-las contra a humidade e degradação que são provocadas quer pelo meio ambiente quer pelo ataque de insetos e fungos, para assim se evitar a podridão da madeira, o que permite aumentar a sua vida útil.

As respostas mecânicas, assim como o tempo de vida útil, variam com o tipo de madeira utilizado, com as exigências de tráfego e com o local de aplicação.

Quando utilizada, a madeira mole (pinho) poderá fendilhar facilmente se não estiver devidamente protegida, por exemplo, pela colocação de um chapim metálico entre a travessa e a parte inferior do carril, o que permite distribuir as cargas transmitidas pelo carril por uma área superior. Por sua vez, as madeiras duras (habitualmente azobé ou carvalho) apresentam resistências elevadas e uma longevidade prolongada, sendo por isso muitas vezes utilizadas em zonas especiais, como é o caso dos AV (Falcão, 2013).

A utilização de travessas de madeira centra-se fundamentalmente em vias menos recentes, em zonas de plataformas instáveis, em vias de tráfego reduzido e com carril em barra curta (BC) e para velocidades inferiores a 120 km/h.

O tratamento de conservação deste tipo de travessas assenta, normalmente, num processo de impregnação por creosoto, sendo este um produto altamente cancerígeno para os seres vivos e prejudicial para o meio ambiente. O seu uso subsiste há mais de um século, no entanto, esta substância deixou de poder ser colocada no mercado da UE, a menos que determinada empresa receba autorização nesse sentido. O Estado Português através do Decreto-Lei n.º 154/2012 de 16 de julho, indica que o dia 30 de abril de 2018 foi o prazo limite para respeitar a imposição da diretiva comunitária. No entanto, as travessas de madeira creosotadas ainda se encontram numa extensão bastante considerável da RFN, quer na via larga, quer na via estreita. Assim, alternativas ao seu uso estão a ser consideradas, procurando aumentar o tempo de vida útil e o desempenho ambiental.

O uso de travessas tratadas com creosoto implica gastos de combustíveis fósseis, de água e impactos ambientais inferiores em relação a produtos semelhantes produzidos com betão e materiais plástico/compósitos. A reciclagem de travessas para produção de energia deve continuar a ser apoiada e aumentada. O retorno de combustível obtido reciclando travessas tratadas com creosoto para recuperação de energia é cerca de 20 vezes maior do que a derivada de aterros (Christopher *et al.*, 2013).

Diversas otimizações de processos, tais como mudanças na sua constituição, no grau do óleo (creosoto) de impregnação, redução das quantidades de aplicação e a recuperação de energia obtida das travessas de madeira, reduziram, em parte, o impacto ambiental deste tipo de travessas (Werner *et al.*, 2009). Contudo a EU, através da Diretiva Comunitária 2011/71, estipula que não se podem continuar a aplicar travessas de madeira com creosoto.

De seguida serão apresentados os problemas que normalmente este tipo de travessas apresentam e que requerem uma ação por parte das equipas de manutenção (Mourão, 2017).

Combustão

Devido ao seu material, as travessas de madeira são um alvo fácil à propagação de incêndios. Mesmo com o tratamento que previne combustões a nível singular por parte das travessas, o mesmo não permite uma proteção total contra fogos que possam assolar zonas onde se encontre este tipo de travessas. A solução é a substituição imediata das travessas afetadas.

Degradação por microrganismos

Mesmo estando sujeitas a um tratamento que previne um ataque da maioria dos insetos e microrganismos presentes normalmente na madeira, a extensa exposição aos agentes climáticos provoca uma deterioração não só da travessa em si como também do tratamento ao qual a mesma foi sujeita.

Esta situação pode provocar a degradação gradual da travessa, quer a nível externo quer a nível interno, sendo este último o mais preocupante pois é de mais difícil identificação e controlo.

Redução da capacidade da fixação

A madeira, enquanto material, tem um nível de resistência que vai diminuindo à medida que é sujeita a solicitações, sendo a zona das fixações um dos primeiros locais a ceder, devido não só ao apodrecimento das travessas como também à sucessiva passagem dos comboios, provocando tensões elevadas nos tirafundos e danificando a furação.

A solução passa pelo reforço da furação com a introdução de espirais metálicas ou pela colocação de cavilhas de madeira e execução de nova furação para reapertar a fixação.

Acompanhou-se uma atividade de substituição de travessas de madeira de via estreita, demonstrado no Anexo 2 da Figura A2.1 até à Figura A2.10, em que a decisão de substituição se deveu à redução da capacidade de fixação do carril à travessa.

Destruição total ou parcial da travessa

Normalmente este tipo de ocorrências deve-se a uma situação de emergência, ou seja, um descarrilamento ou queda de carga por parte do veículo circulante. A solução recomendada é a substituição das travessas no mais curto espaço de tempo.

Lichtberger afirma que na Europa as travessas de madeira trocadas podem estar em condições de ser usadas em vias secundárias onde, com cargas adequadas, podem ter um segundo ciclo de vida quase tão longo como o primeiro (Valente, 2014).

As **travessas de betão** têm um período de vida que pode atingir os 50 anos. São resistentes e devido ao seu elevado peso volúmico conferem à via uma maior resistência ao deslocamento lateral, ou seja, resistem melhor ao aparecimento de defeitos de alinhamento, permitindo velocidades de circulação e cargas por eixo mais elevadas (Valente, 2014). Por sua vez, quando comparadas com as travessas de madeira, apresentam custos de produção e aplicação mais elevados e maiores dificuldades de manuseamento. Quando as plataformas da via são de reduzida qualidade é também mais difícil manter o nivelamento das mesmas.

As travessas de betão podem ser formadas por um só bloco de betão armado pré-esforçado (monobloco – TBM) ou formadas por dois blocos de betão armado ligados por uma cantoneira metálica (bibloco – TBB).

As TBM (Figura 2.10) apresentam um peso significativamente superior ao das TBB (Figura 2.11) proporcionando assim maior estabilidade e resistência à via, permitindo que sejam praticadas velocidades superiores e transporte de maiores cargas de mercadoria. Devem ser constituídas por aço de elevada resistência e betão com grande quantidade de cimento de boa qualidade e inertes de dimensões reduzidas. Uma das preocupações no que diz respeito a esta tipologia residiu, durante algum tempo, no momento fletor negativo verificado a meio vão que originava uma concentração elevada de tensões, provocando o fendilhamento. Assim, modificou-se a base da travessa alterando a geometria inicial (Leite, 2017). Nas travessas de betão monobloco existem travessas polivalentes que são dimensionadas para permitir a fixação do carril em bitola ibérica (1668 mm) ou bitola europeia (1435 mm).

As TBB são mais leves que as TBM, sendo mais utilizadas em zonas que não tenham um solo com capacidade para suportar o peso excessivo das travessas monobloco (Leite, 2017).

As TBB quando aplicadas em zonas instáveis, como por exemplo sobre fundações argilosas, apresentam dificuldades na sua manutenção, nomeadamente ao nível do seu nivelamento, podendo verificar-se a quebra da cantoneira na extremidade de ligação com o bloco de betão armado, resultando na separação dos dois blocos (TBB – Anexo 3, Figura A3.1).

Na travessa monobloco (Figura 2.10), não estando qualquer tipo de estrutura metálica exposta, faz com que a esse nível a degradação não seja tão acentuada. No entanto, este tipo de degradação evolui significativamente caso a armadura, por alguma razão fique a descoberto (e.g. reações expansivas de origem interna, resultantes da ocorrência de reações químicas do tipo álcalis-sílica e de ataque por sulfatos). A existência de reações expansivas no betão, quer tenham ou não provocado fendas na vizinhança das buchas do sistema de fixação, acarreta uma diminuição significativa da sua resistência (REFER, 2012a).

Sempre que a via apresente valores elevados de carga por eixo e/ou quando há instabilidade da fundação, reduz-se o espaçamento *standard* de 60 cm entre as travessas para uma melhor distribuição das cargas e redução das tensões transmitidas ao balastro. No entanto, verifica-se uma desvantagem nesta aplicação uma vez que subsiste uma maior dificuldade na execução dos trabalhos de conservação da via (Pires, 2018).



Figura 2.10 – Travessas de betão monobloco.



Figura 2.11 – Travessa de betão bibloco.

A distribuição das tensões ao balastro é diferente ao longo do comprimento da TBM, pelo que na zona central da travessa existe menor necessidade de degradação das cargas e, portanto, menor necessidade de volume de betão nessa zona.

No caso das TBB, a conexão dos dois blocos é efetuada através de uma cantoneira em aço (secção transversal em forma de Y ou L), sendo que esta funciona principalmente para manter a bitola da via no valor nominal, sendo que a degradação das tensões é efetuada e distribuída pelos dois blocos de betão (Profillidis, 2014).

A IP reutiliza recorrentemente as TBB que retira no decurso das ações de renovação de via, em que muitas vezes estas travessas já têm cerca de 40 anos de serviço, para reaplicar, após processo de escolha e regeneração, em linhas com condições de circulação semelhantes aos troços reabilitados, permitindo um segundo ciclo de vida que por vezes chega aos 20 anos.

No Quadro 2.1 e 2.2 apresentam-se as principais características dimensionais e de peso das diferentes tipologias das travessas de madeira e betão, respetivamente.

Quadro 2.1 – Características dimensionais/peso das travessas de madeira (adaptado de Fernave, 2003).

Tipo	Dimensões (m)			Peso (kg)
	Comprimento	Largura	Altura	
Via Estreita	1,85	0,24	0,12	43

Quadro 2.2 – Características dimensionais/peso das travessas de betão (adaptado de ADIF, 2017 e REFER, 2000).

Tipo	Designação	Dimensões (m)			Peso (kg)
		Comprimento	Largura	Altura	
Via Estreita	Monobloco	1,9	0,26	0,22	185
	Bibloco	1,80	0,2 a 0,29	0,197 a 0,225	188

As **travessas metálicas** são normalmente fabricadas em aço laminado e têm a forma de uma caleira invertida com extremidades dobradas para melhorar o encastramento no balastro. Têm uma vida útil compreendida entre 40 e 60 anos e, devido à sua forma, são relativamente leves quando comparadas com as restantes (Leite, 2017).

Apresentam como vantagens o seu reduzido peso que permite maior facilidade no seu manuseamento, a baixa altura das travessas que proporciona menores quantidades de balastro utilizado, mantêm a bitola da via constante durante um longo período de tempo e são dotadas de um período de vida bastante longo com manutenção das suas propriedades mecânicas (Profillidis, 2014).

Em contrapartida, a sua forma causa dificuldade no seu correto posicionamento na via, têm massa reduzida (falta de inércia), elevado nível de ruído (gastos adicionais em isolamento), custos de aquisição elevados, são vulneráveis a ambientes agressivos, por serem constituídas por um material sensível à corrosão, e não são indicadas para velocidades elevadas porque não garantem a qualidade exigida de nivelamento e alinhamento (Leite, 2017).

As **travessas constituídas por material composto polímeros** são na realidade uma mistura de plástico reciclado (polietileno) com borracha proveniente de pneus usados, aos quais são acrescentados aditivos. Podem também ser feitas através de misturas de polietileno e poliestireno (Falcão, 2013).

Alguns dos benefícios destas travessas são: elevada durabilidade; necessidade de manutenção bastante reduzida; serem provenientes de materiais recicláveis; serem eletricamente isoladas, resistentes aos fungos, insetos e agentes químicos; e não necessitarem de qualquer tipo de tratamento químico (por exemplo creosoto). Apresentam como desvantagens o reduzido peso próprio, essencial para o bom funcionamento da travessa em relação aos esforços atuantes na

via, e um custo de produção elevado comparativamente aos outros tipos de travessas (Leite, 2017). Atualmente, ainda são poucos utilizadas.

2.1.6 Sistemas de fixação

Devido ao aumento de cargas transportadas e à diferente velocidade de circulação, exige-se à superestrutura bons sistemas de fixação do binómio carril/travessa. Para travessas de madeira existem dois tipos de fixação, a pregação rígida, já pouco usual, e a fixação elástica. No entanto, para as travessas de betão utilizam-se apenas soluções elásticas.

Os elementos de fixação denominam-se pelo conjunto de materiais que asseguram a ligação carril-travessa da forma mais correta e segura. As fixações devem ter as seguintes propriedades (Profillidis, 2014):

- Manter a bitola o mais próximo possível do seu valor nominal ou definido;
- Manter constante a inclinação do carril sobre a travessa;
- Atenuar a vibração produzida pelos rodados dos veículos;
- Facilidade de instalação e manutenção;
- Isolamento elétrico;
- Capacidade de sustentar a deflexão;
- Prevenir o desgaste provocado pelo contacto entre os restantes componentes;
- Resistência à corrosão;
- Resistência ao vandalismo;
- Compatibilidade do tempo de vida útil com a travessa;
- Custo razoável.

A pregação rígida não garante resiliência vertical à via e não tem capacidade de se adaptar às deformações. Este tipo de fixação do carril à travessa consiste em pregar tirafundos diretamente no carril, como se pode ver na Figura 2.12.



Figura 2.12 – Sistema de pregação rígida (Pires, 2018).

As fixações elásticas conferem à via uma elasticidade vertical adequada sem que esta provoque instabilidade no carril e, dessa forma, conduzem as tensões para as travessas de uma forma constante e uniforme (Pires, 2018). Permitem também um aperto constante ao carril, conseguindo-se adaptar às movimentações. As atividades de manutenção preventiva são otimizadas e reduzidas ao estritamente necessário quando se utilizam fixações com propriedades ajustadas ao tipo de travessa (Profillidis, 2014).

Como exemplo de diferentes tipos de fixações elásticas tem-se as fixações *Pandrol*, *Vossloh*, *RNP/PRX* e *Nabla* que são apresentadas nas Figuras 2.13, 2.14, 2.15 e 2.16, respetivamente.



Figura 2.13 – Sistema de fixação *Pandrol* – fixação elástica (Esveld, 2001).



Figura 2.14 – Sistema de fixação *Vossloh* – fixação elástica.



Figura 2.15 – Sistema de fixação *RNP/PRX* – fixação elástica.



Figura 2.16 – Sistema de fixação *Nabla* - fixação elástica.

2.2 Parâmetros Geométricos de Via

Existem cinco parâmetros que permitem a análise da qualidade da via férrea:

- Bitola;
- Nivelamento longitudinal;
- Nivelamento transversal;
- Alinhamento;
- Empeno.

2.2.1 Bitola

É a menor distância (G) entre as faces internas da cabeça dos carris, medida no ponto P a uma distância Z_p do plano de rolamento, que varia entre 0 mm e 15 mm (Figura 2.17). Apesar da maioria dos países utilizar a bitola *standard* ($G = 1435$ mm) existem alguns, como é o caso de Portugal e Espanha, que optam por utilizar diferentes tipos de bitola, por razões de conveniência técnica e económica, sendo a mais habitual a de 1668 mm que é considerada de via larga, havendo ainda uma extensão considerável que apresenta bitola de 1000 mm denominada de via estreita ou métrica.

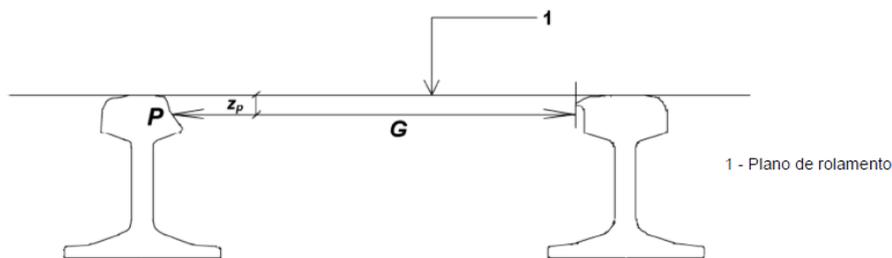


Figura 2.17 – Bitola (IP: GR.IT.VIA.018, 2017).

Segundo Ferreira *et al.* (2012) a resistência oferecida pelas curvas de raio reduzido quando sujeitas a elevados valores de nivelamento transversal (declives de inclinação), introduzem defeitos mais significativos no parâmetro da bitola da via do que quando estão sujeitas a declives de inclinação mais moderada.

Para uma melhor inserção dos *bogies* nas curvas de raio apertado (inferiores a 300 m) são adotados valores de sobrelargura para a bitola nominal que podem variar entre 5 e 25 mm. A implementação de sobrelargura é cada vez menos utilizada devido à extinção das locomotivas a vapor (grande rigidez e distância entre rodados), à maior robustez dos materiais de via

aplicados e aos efeitos colaterais que a sobrelargura provoca no carril da fila alta (desgaste lateral) (Fernave, 2003).

O desgaste lateral do carril exterior é provocado pelo efeito da força centrífuga quando os comboios circulam à velocidade de projeto e pelo efeito de contraguiamento dos rodados quando circulam a velocidades baixas. Estes esforços sobre a fila alta são tanto mais elevados quanto maiores forem a escala e a bitola da curva (agravada pela sobrelargura quando existe) e quanto menores forem o raio da curva e a velocidade de circulação.

2.2.2 Nivelamento longitudinal

O nivelamento longitudinal corresponde ao desvio Z_p na direção Z, perpendicular ao plano de rolamento em consecutivas posições, do eixo de cada fila de carril em relação à linha de referência paralela ao plano de rolamento, calculado em sucessivas medições (Figura 2.18). Tendo-se por base um plano de comparação, o nivelamento longitudinal define as variações da cota da superfície de rolamento de cada fila de carril.

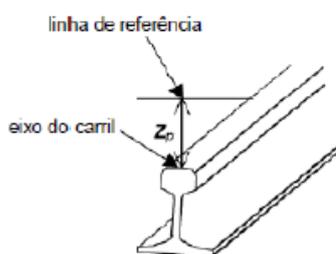


Figura 2.18 – Nivelamento longitudinal (Leite, 2017).

Permite, também, avaliar se a via apresenta defeitos longitudinais e qual a amplitude dos mesmos. Este é responsável pela regularidade do apoio dos rodados em movimento e assegura a estabilidade vertical dos veículos (Fernave, 2003).

Os defeitos de nivelamento podem ser verificados através de meios de inspeção pesados (EM120) e/ou ligeiros (visor e mira), existindo maior probabilidade de ser detetados nos seguintes pontos singulares (Miguel, 2015):

- Zonas com drenagem deficiente ou balastro contaminado;
- Sobre aterro instável;
- Pontos de descontinuidade no apoio das travessas (passagens de nível, encontros de obras de arte (pontes/pontões), etc.);
- Soldaduras e juntas de carris.

2.2.3 Nivelamento transversal

O nivelamento transversal é a diferença de cota entre os dois carris, medido pelo ângulo entre o plano de rolamento e o plano horizontal de referência, como mostra a Figura 2.19. A medição e controlo deste parâmetro geométrico permite aos GIF decidir sobre a necessidade de execução de trabalhos de correção do nivelamento transversal através de meios ligeiros (máquina portátil de compactação de balastro – e.g. ‘cobras’) quando a extensão é reduzida (habitualmente até cerca de 30 m) ou por meios pesados (“atacadeira”) para extensões superiores (IP, 2017).

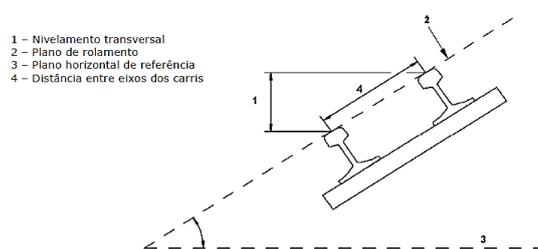


Figura 2.19 – Nivelamento transversal (IP: GR.IT.VIA.018, 2017).

A escala da via (nivelamento transversal em curva) consiste na elevação da fila de carril do exterior da curva, com o objetivo de contrariar os esforços transversais resultantes da força centrífuga. A escala de cada curva varia em função da velocidade de circulação (compromisso entre diferentes tipos de circulações – passageiros/mercadorias) e com o raio da curva.

Segundo Parente (2003), os comboios rápidos, para os quais a escala teórica é superior à escala real, exercem sobre a via esforços transversais dirigidos para o exterior da curva e proporcionais à insuficiência de escala. Por outro lado, o carril da fila exterior fica sobrecarregado em relação ao da fila interior e os passageiros ficam submetidos a uma aceleração centrífuga à qual são sensíveis. Os comboios de mercadorias lentos, para os quais a escala teórica é inferior à escala real, exercem sobre a via esforços transversais dirigidos para o interior da curva e proporcionais ao excesso de escala.

2.2.4 Alinhamento

Parâmetro medido separadamente para cada fila de carril, sendo obtido através de sucessivas medições na direção paralela ao plano de rolamento da posição do carril em relação a uma linha intermédia de referência, como se mostra na Figura 2.20 (Falcão, 2013). Quando existem irregularidades no alinhamento, a estabilidade das composições fica comprometida, podendo colocar o conforto e a segurança em causa.

- 1 – Plano de rolamento
- 2 – Linha de referência
- 3 – Linha central da mesa de rolamento

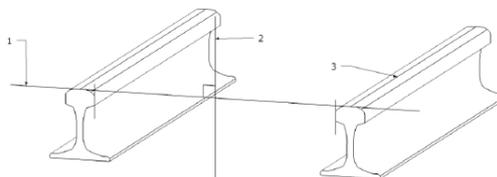


Figura 2.20 – Alinhamento (Falcão, 2013).

2.2.5 Empeno

O empeno é a diferença entre dois nivelamentos transversais numa determinada base de medição (Figura 2.21), tendo-se normalizado uma base de medição de 3 m para o cálculo do empeno. Adotou-se esta base de medição devido à distância entre eixos de um *bogie*. Contudo, o empeno pode ser calculado em qualquer base de medição, sendo que a IP já calcula este valor numa base de 10 m. Quando é detetado um empeno na via, verifica-se que apenas três dos quatro pontos assentam num plano, ficando sempre um por assentar (Rodrigues, 2012a).

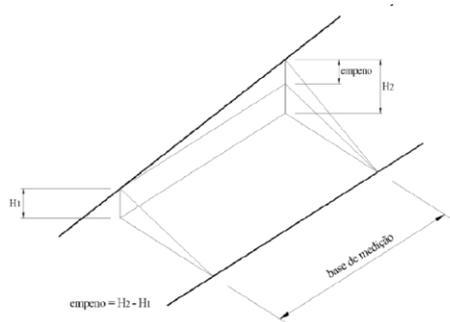


Figura 2.21 – Empeno (IP: GR.IT.VIA.018, 2017).

O empeno assume maior importância em curva uma vez que, quando conjugado com deficiências ao nível da suspensão das circulações, poderá provocar o galgamento do rodado para o exterior da fila alta e conseqüentemente o descarrilamento dos comboios.

2.3 Tolerâncias dos Parâmetros Geométricos da Via

A circulação dos veículos e o conforto dos passageiros será afetada com a existência de anomalias em qualquer um dos parâmetros anteriormente apresentados. Os defeitos de nivelamento longitudinal afetam o movimento de galope (movimento de rotação em torno de um eixo transversal), enquanto que os defeitos de nivelamento transversal afetam o movimento

de balanceio dos veículos. As irregularidades existentes na bitola da via e de alinhamento incidem no movimento de lacete (movimento de rotação da caixa de um veículo ferroviário ou de um *bogie* em torno do seu eixo vertical), aumentando as acelerações laterais. Por sua vez, os defeitos de empeno podem originar o descarrilamento dos veículos ferroviários (Rodrigues, 2012b).

Pelo exposto, são definidas na GR.IT.VIA.018 (IP, 2017) tolerâncias admissíveis para os parâmetros geométricos, em função da velocidade de circulação. Quanto maiores as velocidades praticadas numa linha, mais restritos são os limites impostos às tolerâncias. Nesta instrução técnica são definidas três tolerâncias:

- Tolerância de alerta (TA) – valor que, caso seja excedido, exige que o estado geométrico da via seja analisado e tido em conta nas operações de manutenção previstas;
- Tolerância de intervenção (TI) – valor que, caso seja excedido, exige uma manutenção preventiva condicionada a curto prazo para que o limite de ação imediata não seja atingido;
- Tolerância de ação imediata (TAI) – valor que, caso seja excedido, leva o gestor da infraestrutura a tomar medidas imediatas e urgentes para reduzir o risco de descarrilamento.

Para valores dos parâmetros geométricos que excedem a TAI, deverá ser imediatamente implementada uma imediata redução de velocidade à circulação até que a correção dos defeitos seja efetuada.

O controlo de qualidade realizado através das inspeções visa a comparação dos dados obtidos com os fixados em especificações técnicas normalizadas, e.g. GR.IT.VIA.018 (IP, 2017). Nessas especificações constam os parâmetros da via, ou seja, as definições e tolerâncias a respeitar. Caso existam diferenças não salvaguardadas, pode concluir-se que existem anomalias, procedendo-se de seguida à identificação das causas e à posterior reparação (Rodrigues, 2012a).

Após o diagnóstico, elabora-se um plano de manutenção da infraestrutura ferroviária de acordo com o orçamento disponível, baseado num conhecimento rigoroso do estado da infraestrutura, do histórico de intervenções e das cargas acumuladas (Miguel, 2015). Da análise dos limites de intervenção na via são definidas ações de manutenção. Estas, passam a poder ser planeadas com antecedência e monitorizadas antes, durante e após serem postas em prática (Pires, 2009).

Demonstra-se nos Quadros 2.3, 2.4 e 2.5 os limites de alerta, intervenção e ação imediata, respetivamente, para a via estreita (bitola de 1000 mm).

Quadro 2.3 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1000 mm – limites de alerta (adaptado de IP: GR.IT.VIA.018, 2017).

Classe	VI	V	IV
$V_{\text{máx}}$	≤ 40]40;80]]80;120]
Parâmetro (mm)			
Bitola Pontual¹	-7/+25	-7/+25	-7/+25
Bitola Média¹	n.a. /+25	-6/+25	-5/+22
Nivelamento Longitudinal² D1	± 18	± 18	± 16
Alinhamento² D1	± 15	± 15	± 11
Empeno³ (b = 3 m)	± 9	± 9	± 9

¹ – Desvio do valor máximo em relação ao valor nominal aplicável. A tolerância poderá ser aumentada sempre que haja sobrelargura, desde que a TAI não seja atingida.

² – Desvio do valor máximo em relação ao valor de referência.

³ – Amplitude máxima do defeito. A tolerância poderá ser aumentada em transições com disfarce de escala muito elevado, desde que a TAI não seja atingida.

$V_{\text{máx}}$ – Velocidade máxima (km/h).

n.a – Não aplicável.

D1 – Banda com $1 \text{ m} \leq \lambda \leq 25 \text{ m}$.

b – Base de medição do empeno.

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

Quadro 2.4 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1000 mm – limites de intervenção (adaptado de IP: GR.IT.VIA.018, 2017).

Classe	VI	V	IV
$V_{\text{máx}}$	≤ 40]40;80]]80;120]
Parâmetro (mm)			
Bitola Pontual¹	-9/+30	-9/+30	-9/+30
Bitola Média¹	n.a. /+28	-7/+28	-6/+25
Nivelamento Longitudinal² D1	± 21	± 21	± 19
Alinhamento² D1	± 17	± 17	± 13
Empeno³ (b = 3 m)	± 11	± 11	± 11

Quadro 2.5 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1000 mm – limites de ação imediata (adaptado de IP: GR.IT.VIA.018, 2017).

Classe	VI	V	IV
$V_{\text{máx}}$	≤ 40]40;80]]80;120]
Parâmetro (mm)			
Bitola Pontual¹	-11/+35	-11/+35	-11/+35
Bitola Média¹	n.a. /+32	-9/+32	-8/+27
Nivelamento Longitudinal² D1	± 31	± 28	± 26
Alinhamento² D1	± 25	± 22	± 17
Empeno³ (b = 3 m)	± 15	± 15	± 15

2.4 Atividades de Manutenção

As atividades na via-férrea poderão ser classificadas em dois tipos: renovação; e manutenção/conservação.

A renovação consiste na alteração das características técnicas de um ou vários componentes, permitindo à via apresentar um nível de qualidade igual ou superior ao projetado inicialmente (Pires, 2018).

A manutenção/conservação define-se como o conjunto das operações que são imprescindíveis para que a qualidade da via se mantenha em padrões aceitáveis, não sendo um objetivo deste tipo de intervenção reverter e aumentar o índice de qualidade para patamares semelhantes aos de projeto.

A atividade de manutenção atua de diferentes formas: Manutenção Preventiva Sistemática (MPS); Manutenção Preventiva Condicionada (MPC); e Manutenção Corretiva (MC).

A MC acontece assim que é detetado um valor de parâmetro geométrico e/ou anomalias tais como: árvores caídas e descarrilamentos, que impliquem a sua restrição e a sua correção imediata. A sua deteção poderá ou não implicar uma restrição de velocidade no troço assinalado desde que a anomalia é detetada até que esta esteja corrigida. Por se tratar de uma situação urgente não é sujeita a nenhum planeamento (Pires, 2018). Como atividade deste tipo apresenta-se a seguinte: substituição de barretas de madeira lamelada partidas e transformação de JIC (Junta Isolante Colada) em JIN (Junta Isolante Normal).

A MPS caracteriza-se por um planeamento cíclico elaborado no início da instalação da infraestrutura, onde são agendadas ações de inspeção e execução com uma determinada periodicidade. São exemplos de atividades de MPS, a manutenção de lubrificadores fixos de via, o reaperto da fixação elástica em travessa de madeira, a manutenção de JIC, a inspeção à via a pé e em contínuo com veículos pesados.

Segundo Leite (2017), existem diferentes abordagens na inspeção ferroviária. Atualmente as técnicas utilizadas incluem métodos de inspeção eletromagnética, medição com laser, técnicas de ultrassons de modo a observar a estrutura interna do carril, radares de prospeção para inspeção do balastro e sub-balastro e métodos de avaliação de anomalias que se geram no contacto roda-carril. Os equipamentos que realizam estas medições têm como principal função detetar com exatidão defeitos, variações e irregularidades da via que possam resultar em condições perigosas ou de desconforto para os passageiros.

Para a inspeção da ferrovia são utilizados variadíssimos equipamentos e sistemas, como por exemplo, a régua portátil de medição pontual dos parâmetros geométricos, o KRAB (medição em contínuo dos parâmetros geométricos), o RMF (medição de desgaste ondulatorio), os Ultrassons (auscultação ultrassónica de carris), o LaiserRail (medição do perfil transversal do carril) e o veículo pesado de inspeção - EM 120.

A MPC pode resultar de uma ação MPS ou MC e tem como objetivo recolocar a infraestrutura em normais condições de circulação. As atividades de desguarnecimento de via, ataque mecânico pesado, substituição de travessas, substituição de fixações, substituição de carril e nivelamentos (por ataque mecânico ligeiro) para reporem os parâmetros geométricos da via, são alguns exemplos de MPC.

As ações de manutenção, por vezes, são demoradas e acarretam encargos financeiros significativos. Por isso é necessário um planeamento estratégico de ação e uma gestão bem cuidada. Para tentar escapar à limitação financeira ou simplesmente numa tentativa de menores gastos, opta-se pela reutilização de vários materiais ao invés de adquirir novos componentes (Pires, 2018). Todas as intervenções na via férrea deverão ser realizadas com integral cumprimento da Instrução de Exploração Técnica (IET) nº 77 (REFER, 2009a) referente às normas e procedimentos de segurança em qualquer tipo e natureza de trabalho na infraestrutura ferroviária.

Segundo o Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT, 2019), sendo este a Autoridade Nacional de Segurança Ferroviária (ANSF), o desempenho da segurança do sistema ferroviário nacional, apesar de ter tido um ligeiro aumento da sinistralidade ferroviária (número de acidentes ferroviários) face ao ano anterior, verificou-se em 2018 uma redução de 10,0% das vítimas mortais, e a conseqüente redução do Índice MFGP (Mortos e Feridos Graves Ponderados) em 5,5%, registando-se um dos valores mais baixos dos últimos dez anos. Sabe-se ainda que as fatalidades verificadas no sistema ferroviário estiveram associadas a categorias de acidente relacionadas com os interfaces do sistema com elementos externos ao mesmo (passagens de nível e canal ferroviário), resultando do uso indevido do espaço ferroviário e não em resultado de acidentes ferroviários intrínsecos ao sistema (colisões, descarrilamentos, incêndio em material circulante ou outro). Estes dados vêm contribuir para a consolidação da tendência positiva que se tem verificado no desempenho geral da segurança ferroviária.

3 ESTUDO DE CASO

3.1 Considerações Iniciais

A Linha do Vouga vai ser alvo de ações de reabilitação da sua superestrutura de via férrea. O impedimento legal da continuidade do uso de creosoto (Diretiva Comunitária 2011/71/EU e de acordo com a Decisão de Execução (EU) 2017/2334 da comissão de 14 de dezembro de 2017), deverá implicar a substituição por parte da Infraestruturas de Portugal das travessas de madeira tratadas com creosoto por travessas de outro material, por imposição ambiental e com o objetivo de melhorar as condições existentes na via, proporcionando também uma maior comodidade e segurança aos seus utilizadores. O diretório da rede de 2020, que caracteriza a Rede Ferroviária Nacional e define as condições de acesso dos diversos operadores aos canais ferroviários, revela o volume de investimento previsto para a RFN nos próximos anos (IP, 2019b).

Assim, para dar resposta às questões anteriormente expostas, respeitando as condicionantes da legislação em vigor e atendendo à necessidade de intervenção com custos reduzidos, ter-se-á por consideração base no Estudo de Caso a reutilização e possível reaplicação de material ferroviário, nomeadamente as travessas de betão bloco regeneradas. A reabilitação da superestrutura de via férrea da Linha do Vouga nos termos atrás referidos serviu de suporte para esta dissertação, onde se descrevem os passos executados numa ação deste tipo, para, por fim, se poderem tirar diversas conclusões sobre os resultados obtidos.

3.2 Investimento na Ferrovia

A estrutura da programação e implementação do Quadro Comunitário Portugal 2020 assenta em quatro domínios temáticos: Competitividade e Internacionalização; Inclusão Social e Emprego; Capital Humano; e Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos. O Plano de Investimentos na RFN para o período 2014-2020 encontra enquadramento em dois deles, designadamente Competitividade e Internacionalização e Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos.

A nível nacional, o Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas 2014-2020 (PETI3+) estabelece um quadro de orientações para o setor dos transportes e um conjunto de intervenções prioritárias, com destaque para os investimentos na infraestrutura ferroviária, com vista à criação de valor para as empresas e para a economia Portuguesa, prosseguindo os princípios de programação do Acordo de Parceria 2014-2020.

O Plano de Investimentos da RFN inclui, entre outras:

- A construção de novos troços de ligações ferroviárias;
- A modernização das infraestruturas existentes, designadamente através da eletrificação e da instalação de sistemas de sinalização elétrica e telecomunicações;
- A eliminação de vários constrangimentos na infraestrutura, visando a otimização da infraestrutura, aumentando a sua eficiência e a qualidade do serviço prestado.

Com este investimento irá continuar a ocorrer a renovação e evolução tecnológica da infraestrutura ferroviária, proporcionando-se assim uma maior eficiência no transporte de mercadorias e passageiros. Deste modo e no sentido de salvaguardar a melhor qualidade geométrica da via e dos diversos equipamentos que a constituem é essencial efetuar periodicamente inspeções (com meios pesados ou apeadas) à via, ao estado do carril e à infraestrutura, com os objetivos de otimizar os recursos humanos e financeiros e elaborar planos de investimento de médio/longo prazo ajustados e sustentados.

3.3 Descrição do Estudo de Caso

A Linha do Vouga, no seu primeiro troço entre Espinho e Oliveira de Azeméis, foi inaugurada no dia 23 de novembro de 1908 pelo Rei D. Manuel II, tendo sido aberta à exploração no mês seguinte, sendo assim uma linha de caminho-de-ferro português muito antiga. À época da sua construção, foi considerado o mais importante investimento na região quer do ponto de vista social, quer económico. Mais tarde existiram diversas extensões da Linha, resultando numa extensão total de aproximadamente 140 quilómetros (km) (Pires, 2018). A construção da Linha enfrentou diversas dificuldades relacionadas com as características geográficas da zona, o que obrigou à construção de uma via com perfil bastante acidentado e sinuoso, razão que conduziu à opção pela via estreita com bitola métrica. É considerada uma Linha secundária na RFN, mas, ao contrário de outras linhas de via estreita do nosso país, que permanecem inoperáveis, continua a ser diariamente utilizada para o transporte de passageiros (Pires, 2018).

Atualmente, e atendendo ao estado de conservação dos constituintes da via e do tipo de exploração comercial, a Linha do Vouga serve 44 estações e apeadeiros numa extensão de 96 km lineares.

Para o estudo de caso, dividiram-se os 96 km em 4 troços distintos (Ribeiro *et al.*, 2017):

- Troço 1 – Espinho/Oliveira de Azeméis (32,3 km – necessidade urgente de reabilitação/renovação);

- Troço 2 – Oliveira de Azeméis/Sernada (28,9 km – necessidade urgente de reabilitação/renovação, no entanto, atualmente encontra-se encerrado à exploração comercial);
- Troço 3 – Sernada/Águeda (14,4 km – renovado em 2015 com travessas de madeira e carril 54E1 novos);
- Troço 4 – Águeda/Aveiro (20,4 km – necessidade urgente de reabilitação/renovação) – Anexo 3, Figura 3.1.



Figura 3.1 – Mapa da RFN – Linha do Vouga (adaptado de IP).

Os troços 1 e 3 são constituídos por via única não eletrificada, equipada com carril UIC 54 em barra curta (BC) de 36 m na maioria do traçado e travessas de madeira em toda a extensão. O troço 2 é constituído por via única não eletrificada, equipada com carril UIC 40 em barra curta (BC) de 36 m na maioria do traçado e travessas de madeira em toda a extensão. Na estação de Sernada existe ainda material de outras tipologias principalmente nos AV.

Na Linha do Vouga só circulam comboios de passageiros, que circulam a velocidade reduzida. Diariamente, no troço 1 circulam 16 comboios, no troço 2 efetuam-se 2 marchas (não fazem serviço de passageiros, circulando apenas até às oficinas, localizadas em Sernada) e nos troços 3 e 4 circulam 22 comboios. Aos sábados e domingos existe uma pequena redução, 34 e 29 comboios, respetivamente. Portanto, a Linha do Vouga tem uma utilização diária, na qual passaram em 2018 cerca de 500.000 passageiros.

Foi proposto pela IP que se estudasse a viabilidade de reaplicação na via estreita (bitola de 1000 mm) as travessas de betão bibloco BB2 regeneradas existentes no Complexo Logístico do Entroncamento (CLE) (Figura 3.2) com características de via larga (bitola de 1668 mm) após processo de adaptação. Até à data encontram-se parquoadas, com potencial de reaplicação, cerca de 23.000 travessas.

Considerando o planeamento das atividades de levantamento das TBB (BB2) que ainda se encontram na via larga da RFN, e utilizando a taxa de aproveitamento de 58% que se tem vindo a verificar, conclui-se que, só na Linha da Beira Alta, resultante do investimento no âmbito do Portugal 2020, serão levantadas a curto prazo cerca de 115.000 travessas de betão bibloco, demonstrando-se assim, o potencial desta solução. Atualmente, observando o estado de conservação das travessas na via estreita (Linha do Vouga) e substituindo-se todas as travessas, serão necessárias cerca de 130.000 travessas de betão bibloco.



Figura 3.2 – Travessas bibloco existentes (10/2019) no Complexo Logístico do Entroncamento (CLE).

Como enunciado anteriormente, está prevista uma intervenção onde será feita a substituição das travessas de madeira creosotadas. No entanto, esta possível reaplicação poderá ser estendida a troços com características idênticas. Como exemplo, refere-se a Linha do Tua (Anexo 4 Figuras A4.1 e A4.2). Atualmente, a extensão da rede ferroviária em exploração é de 2.545 km, sendo que 2.433 km correspondem a via larga e 112 km a via estreita (IMT, 2019).

Tendo em conta a atual conjuntura económico-financeira do país, associada à qual se equacionam os investimentos de custos afetos ao setor dos transportes, têm vindo a ser questionados, em particular, o funcionamento e a existência de determinadas infraestruturas e serviços ferroviários.

Reconhecendo o valor em termos sociais, económicos e de coesão territorial da Linha do Vouga, é relevante a sua intervenção ao invés do seu fecho à exploração.

O estudo de caso considerado aborda um problema de decisão no qual são analisados vários planos alternativos de intervenção e os correspondentes investimentos na infraestrutura ferroviária a serem realizados.

3.4 Regeneração das Travessas de Betão Bibloco

A escolha das travessas regeneradas assenta no Procedimento PR.VIA.002 (REFER, 2012b) que traduz o método de inspeção, as condições de manuseamento, transporte e armazenamento com vista à classificação dos materiais de via aplicados na RFN. Inicialmente, as travessas de betão bibloco são sujeitas a análises visuais e dimensionais para as classificar em função do seu potencial de reaplicação ou não na RFN. A análise visual passa pela verificação do empeno e corrosão da cantoneira, da desobstrução das furações, presença de fraturas, com ou sem destacamento de material e armaduras à vista nos blocos de betão. Na análise dimensional às travessas são verificadas e medidas as fissuras tendo por base uma zona que engloba os vários pontos críticos situada no betão e a qual não pode ser ultrapassada pela dimensão da fissura visível a “olho nu” – Figura 3.3, estando em concordância com o ponto 2.3 (localização/tipo de fissura) da Instrução Técnica IT.VIA.017 (REFER, 2008).

As travessas de betão bibloco BB2 regeneradas e preparadas para reaplicação poderão ser utilizadas na RFN (via larga) nas seguintes condições: com altura mínima de 20 cm de balastro abaixo da base da travessa; com eficiente drenagem do balastro e da plataforma; e em troços com velocidade máxima de 140 km/h (PR.VIA.002, REFER, 2012b), sendo que, para o estudo de caso, estes patamares de velocidade admissíveis estão muito sobredimensionados, uma vez que a Linha do Vouga tem velocidade máxima de projeto de 50 km/h. Posteriormente, as atividades de manuseamento, transporte e armazenamento das TBB, respeitando as classes funcionais, deverão obedecer ao estipulado na IT.VIA.004 (REFER, 2004). Salienta-se que as cantoneiras metálicas não podem apresentar corrosão acentuada nem empeno, à semelhança do que se vê no Anexo 3, Figura A3.2 e Figura A3.3, respetivamente, sendo liminarmente rejeitadas no âmbito do processo de regeneração caso estas anomalias sejam detetadas.

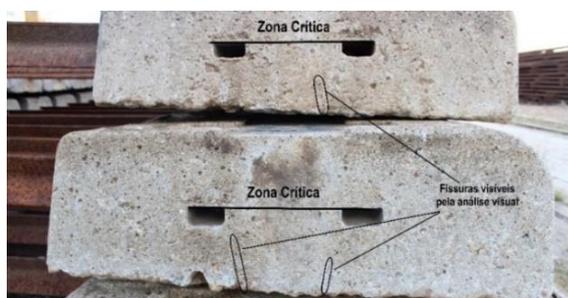


Figura 3.3 – Blocos de betão presentes nas TBB com identificação da zona crítica e dimensões das fissuras.

Após a inspeção dos materiais constituintes da via por parte dos órgãos responsáveis para o efeito (órgão detentor dos materiais de via aplicados na rede ferroviária nacional – ODMV; órgão responsável pela execução dos trabalhos de levantamento de via – OEXEC; órgão responsável pelos equipamentos ligeiros/pesados de inspeção de via – OINSP; órgão responsável pela preparação para reutilização dos materiais de via usados – OPREP) e sendo estes classificados com capacidade de reaplicação, os materiais são devidamente acomodados e armazenados para posterior reutilização.

3.5 Modificação de Travessas de Via Larga para Via Estreita

Para reaplicar as TBB do tipo BB2 regeneradas para a via estreita é necessário reduzir a distância entre blocos. Esta ação tem início com o corte a disco da cantoneira de aço em ‘L’ com auxílio de uma rebarbadora em dois locais e de seguida limpa-se as zonas da cantoneira a sobrepor. Por fim, sobrepondo-se as cantoneiras, efetua-se a soldadura. O processo encontra-se representado nas Figuras 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7.



Figura 3.4 – Preparação, marcação e corte da cantoneira.



Figura 3.5 – Limpeza da cantoneira (desbravamento da corrosão).



Figura 3.6 – Sobreposição das cantoneiras, execução da soldadura (a MAG) e limpeza.



Figura 3.7 – Resultado final, obtido da adaptação da TBB (BB2) com bitola 1668 mm para bitola 1000 mm.

Os prazos e a garantia de qualidade no processo de transformação desta solução estão assegurados pelos certificados de qualidade das empresas e dos seus trabalhadores.

Para uma melhor escolha dos materiais de solda a utilizar na ligação da cantoneira após o seu corte, descreve-se nos próximos subcapítulos as características da cantoneira e os diferentes tipos de soldadura existentes e adequados à solução em análise.

3.6 Caracterização da Cantoneira

Para efetuar uma escolha acertada do material de adição para a soldadura da cantoneira é imprescindível conhecer as características mecânicas e tecnológicas do aço presente na cantoneira tendo em conta o estado atual da mesma.

A caracterização do aço é fundamental para o cálculo do esforço normal resistente plástico da secção bruta ($N_{pl,Rd}$), calculado através da Equação (5.1) (NP EN 1993-1-1, 2010).

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.1)$$

Sendo:

A – Área de uma secção transversal;

f_y – Tensão de cedência nominal;

γ_{M0} – Coeficiente parcial de segurança para a resistência de secções transversais de qualquer classe.

A preparação e realização dos ensaios às amostras da cantoneira encontra-se no Anexo 3, Figura A3.10 até à Figura A3.17 Partindo do ensaio ao provete 1 (Figura 3.8), garantindo-se as disposições normativas (REFER, 2000; CEN, 2016a; CEN, 2016b) e tendo em consideração as dimensões atuais da espessura dos provetes (a espessura das cantoneiras está diminuída face aos fenómenos de corrosão provocados pelas condições climatéricas a que estiveram sujeitas), obteve-se o resultado apresentado na Equação (5.2).

$$N_{pl,Rd} = \frac{(8,598 \cdot 10^{-4}) \cdot (434,37 \cdot 10^3)}{1,0} = 373,47 \text{ KN} \quad (5.2)$$

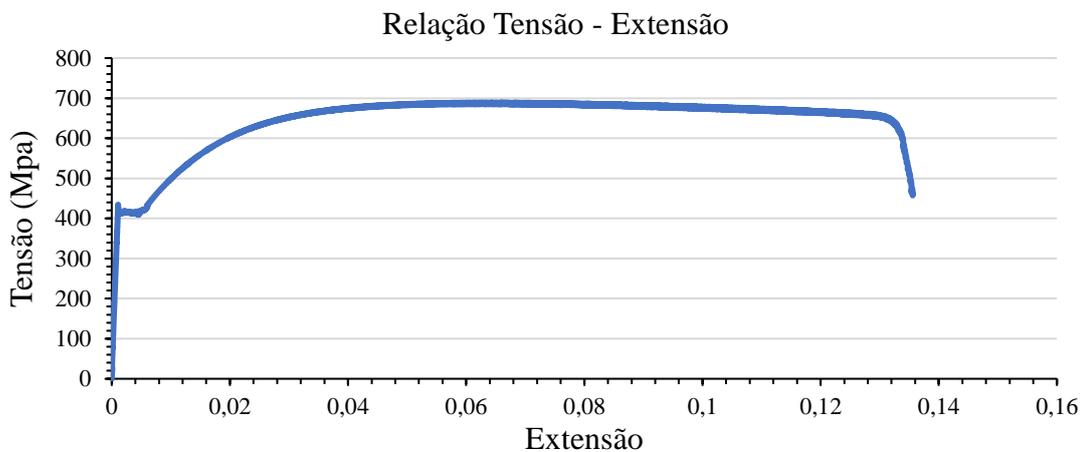


Figura 3.8 – Relação tensão – extensão (proвете 1).

3.7 Soldadura da Cantoneira

A soldadura é o processo de união de dois materiais similares ou não, sendo extensivamente utilizada na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas. Estabelece-se uma nova ligação metálica permanente e inamovível, com características mecânicas semelhantes às do metal base.

Segundo Quintino e Santos (1998), no início da utilização da soldadura como técnica de ligação havia o receio de a zona fundida ser a zona mais fraca, e que pudessem aí ocorrer fraturas prematuras. Atualmente, uma soldadura com qualidade aceitável, cumprindo os requisitos regulamentares, tem uma tensão limite de elasticidade e uma tensão de rotura superiores ao material base.

Para a execução da soldadura da cantoneira sobreposta existem diversos tipos possíveis de soldadura. No entanto, as que mais se adaptam são a Soldadura por elétrodo revestido básico, por Soldadura *Metal Inert Gas* (MIG) e *Metal Active Gas* (MAG). Optou-se por utilizar a soldadura das cantoneiras por MAG.

A resistência de um cordão de ângulo do esforço atuante na soldadura ($F_{w,Rd}$) pode ser calculada através da Equação (5.3) (EN 1993-1-8, 2010).

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \cdot a_w \cdot L_w \quad (5.3)$$

Sendo:

f_u – Tensão última nominal à tração;

β_w – Fator de correlação para soldaduras de ângulo;

γ_{M2} – Coeficiente parcial de segurança para a resistência da soldadura;

a_w – Espessura do cordão da soldadura;

L_w – Comprimento total de soldadura.

Neste caso, origina o valor apresentado na Equação (5.4).

$$F_{w,Rd} = \frac{689,44 \cdot 10^3 / \sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 54 \cdot 10^{-2} = 764,26 \text{ KN} \quad (5.4)$$

No Quadro 3.1 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos dos ensaios aos provetes da cantoneira presente nas travessas de betão bibloco (BB2).

Quadro 3.1 – Tensões de cedência e última nominais obtidas dos ensaios aos provetes das cantoneiras.

Provete	Tensão de cedência nominal média f_{ym} (MPa)	Tensão última nominal média à tração f_{um} (MPa)
1	434,37	689,44
2	412,03	671,23
3	434,23	690,93
4	420,32	701,47

Com a escolha acertada do material de adição e uma boa execução da soldadura, a resistência de um cordão de ângulo do esforço atuante na soldadura, valor apresentado na Equação (5.4), é duas vezes superior ao esforço normal resistente plástico da secção bruta da cantoneira original, valor apresentado na Equação (5.3). Utilizaram-se valores reais médios da tensão de cedência e última (f_{ym} ; f_{um}) dos provetes analisados.

Atualmente, o processo de soldadura é utilizado na ferrovia na união de dois carris que fraturaram e para a execução de barra longa soldada (BLS), que consiste num carril contínuo sem folgas com comprimento superior a 300 m. As BLS apresentam diversas vantagens em relação ao carril com juntas, como por exemplo (Fortunato, 2005):

- Menor deterioração dos componentes da via;
- Menor produção de ruído e vibrações;
- Menor oscilação do material circulante.

3.8 Adaptação das Travessas de Betão Bibloco

Após conclusão do processo descrito nos capítulos anteriores, obtém-se uma travessa de betão bibloco adaptada para a via estreita a partir das travessas regeneradas de via larga.

Este capítulo pretende descrever todo o processo industrializado a seguir para atingir uma travessa de betão bibloco adaptada para via estreita e os seus custos, os ensaios e monitorizações a realizar na aplicação da solução na infraestrutura ferroviária.

Para este estudo de otimização admite-se que a escolha das travessas para as classificar com potencialidade de reaplicação, as características do betão e restantes componentes cumpram os critérios normativos.

Foi solicitado a diversas empresas especializadas e certificadas/qualificadas (ISO 9001) em corte e soldadura a execução desta nova solução. Estas apresentaram orçamentos de execução para a modificação de 100.000 travessas, admitindo uma vida útil de 20 anos e de 30 anos e

tendo em conta as normas em vigor no controlo de qualidade do corte e da soldadura. Através de uma média de valores obtidos, utilizou-se como ponto de partida para o estudo em causa, 25,00€ por TBB (BB2) derivada do processo de adaptação.

O material de adição foi escolhido de acordo com a norma EN ISO 14341, o soldador é qualificado pela norma EN ISO 9606-1 e qualificação do procedimento de soldadura está de acordo com a EN ISO 15614-1. A inspeção visual de soldadura deve ser efetuada de acordo com a norma EN ISO 5817 classe C (ou classe B, no entanto o valor poderá aumentar 30 a 40% aproximadamente). Por fim, devem ser realizados ensaios não destrutivos por partículas magnéticas de acordo com as normas EN ISO 23278, EN ISO 17638 e EN ISO 9712.

De seguida, apresenta-se o que foi executado anteriormente na IP em relação a este tema e uma análise custo-benefício consoante as várias alternativas disponíveis.

3.9 Troço Experimental

Entre os kms 26+789 e 26+863 (Eirol e Eixo), encontra-se materializado um troço experimental com a adaptação de travessas regeneradas (Figura 3.9).



Figura 3.9 – Troço experimental localizado na Linha do Vouga entre o km 26+789 e o km 26+863.

A escolha do troço experimental teve por base uma boa acessibilidade rodoviária e encontrar-se em patamar, ou seja, com inclinação longitudinal de 0%.

As travessas de betão utilizadas para adaptação são do tipo bibloco e datam de 1965, onde a ligação entre os blocos era efetuada por um perfil com seção em ‘T’. As travessas de via larga foram adaptadas através do corte da cantoneira e de soldadura central topo a topo, estando aplicadas há cerca de 20 anos, sem que até à data se tenha sentido a necessidade e obrigação de substituição de alguma travessa adaptada. É de realçar que neste troço existe uma junta normal

(lacuna com aplicação de barretas de ferro) apoiada em travessas de betão bibloco e não são registadas quaisquer anomalias nas travessas do apoio (Figura 3.10), sendo um excelente indicador das reduzidas cargas que circulam na Linha do Vouga, uma vez que, se esta junta apoiada em TBB estivesse em qualquer via larga, os blocos de betão já estavam certamente com danos significativos que obrigariam à sua substituição no curto prazo.



Figura 3.10 – Junta assente em travessas de betão presente no troço experimental.

O carril presente neste troço é de perfil 54E1 (54 kg/m) em barra curta e é igual ao que se encontra aplicado em via larga, não sendo por isso necessária qualquer adaptação ao tipo de fixação do carril às travessas. A fixação existente neste troço é do tipo RNP/PRX que está a cair em desuso, encontrando-se, no entanto, em boas condições de conservação. A camada de balastro apresenta sinais de elevada colmatação (Figura 3.11). A drenagem do troço é deficiente, sendo que a vegetação em crescimento na superestrutura de via é um sinal claro que a capacidade elástica da camada de balastro está comprometida. No entanto, as travessas de betão bibloco, que até se comportam deficientemente em balastro colmatado, não apresentam sinais de instabilidade.



Figura 3.11 – Colmatação preenchida por vegetação – troço experimental (km 26+789 e km 26+863).

Do Diagrama Geral de Via (Anexo 3, Figura A3.4 (REFER, 2013)) verifica-se que a velocidade máxima de circulação no troço experimental é de 50 km/h.

O troço experimental tem um roteiro de inspeção integrado com os demais troços da Linha do Vouga, onde a inspeção à via a pé é executada com uma periodicidade mensal e as inspeções em unidade motora (acompanhamento das circulações de passageiros) quinzenalmente. A inspeção aos parâmetros geométricos de forma contínua, com auxílio do KRAB S-Light, é efetuada pela DAM-IVC com uma periodicidade semestral.

Segundo os gestores locais da manutenção da IP, o facto de estarem aplicadas travessas de betão bibloco regeneradas e adaptadas para a bitola métrica, não obriga à definição de um novo roteiro com uma periodicidade mais apertada nem atividades de execução extra. Por outro lado, até à data, não existe qualquer registo de comportamentos anómalos no troço experimental que sejam diferentes das restantes linhas onde estão aplicadas travessas bibloco regeneradas, mas não adaptadas.

O Krab S-Light (Figura 3.12) permite medir todos os parâmetros geométricos da via (bitola, alinhamento, nivelamento longitudinal e transversal e o empeno em contínuo) e está preparado para medir em linhas com bitola de 1000 mm, de 1435 mm e de 1668 mm. O equipamento é de fácil montagem e mobilização, mas exige o acompanhamento por parte de pelo menos um operador que pode empurrar ou puxar o equipamento ao longo da via, sendo a velocidade de medição dependente da velocidade de andamento do operador (IP, 2016a). Uma inspeção feita com este tipo de equipamento permite a observação ao detalhe do estado de qualquer ponto na via e os resultados são registados num computador a bordo com GPS integrado (Pires, 2018).

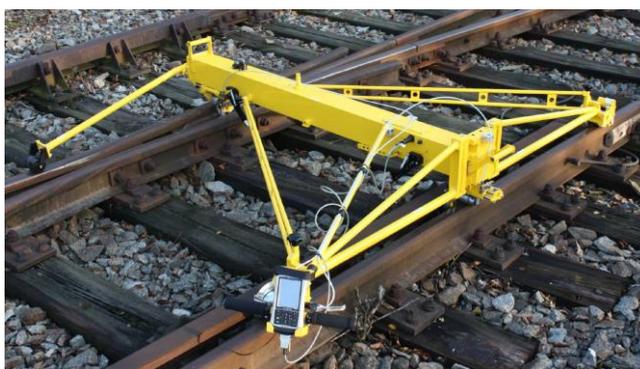


Figura 3.12 – Equipamento KRAB S-LIGHT (IP, 2016a).

Utilizando os dados obtidos pelo KRAB na campanha de outubro de 2019 ao troço experimental, observa-se somente 1 defeito (empeno – Anexo 3, Figura A3.5) com uma densidade de cerca de 13 defeitos/km. Analisando toda a Linha do Vouga (Figura 3.13),

verifica-se um aumento da densidade para cerca de 72 defeitos/km, podendo concluir-se que o troço experimental com travessas de betão bibloco apresenta uma densidade de defeitos inferior em cerca de 81% ao resto da Linha do Vouga. Verifica-se que a opção de aplicar travessas de betão bibloco adaptadas permite reduzir a quantidade de defeitos.

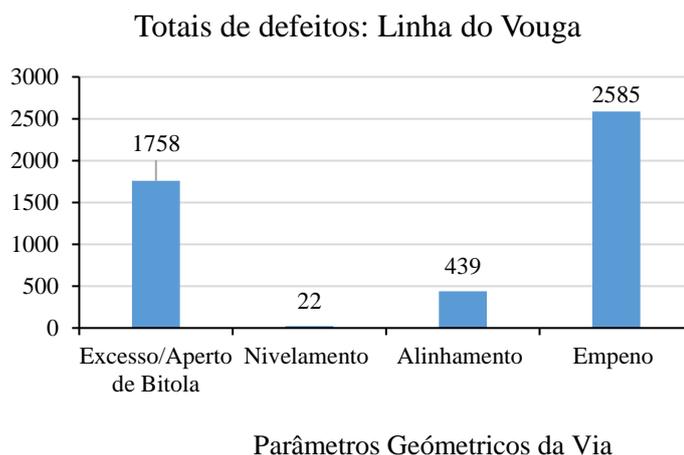


Figura 3.13 – Lista de defeitos da Linha do Vouga, campanha de outubro de 2019.

Com a análise e diagnóstico dos elementos recolhidos por todas as inspeções, o GIF analisa o estado da via, prioriza e programa os trabalhos para a correção de todas as anomalias identificadas com o intuito de prevenir que defeitos com amplitudes reduzidas atinjam amplitudes superiores ou determinem ocorrências na infraestrutura.

3.10 Estudo IP – Adaptação Travessas Bibloco

Ribeiro *et al.* (2017) concluíram que o processo de transformação, com meios internos da IP, das TBB BB2 de via larga para a via estreita resultaria num custo unitário de 5,88€, muito inferior comparativamente à opção de novas travessas de madeira tratadas com creosoto, assumindo o incumprimento legal, e de betão monobloco com preço unitário, na atualidade, de 24,29€ e 65,00€, respetivamente.

No Anexo 3, Quadro A3.1, encontra-se uma breve descrição do processo de transformação e nas Figuras A3.6, A3.7, A3.8, A3.9 a execução do processo seguido por Ribeiro *et al.* (2017). Tiveram em consideração os encargos iniciais da travessa regenerada (lavagem e armazenamento), os ordenados brutos dos operários da IP, a vida útil dos discos de corte, o tipo de solda, combustível e molde utilizado, entre outros fatores.

Numa análise direta, observa-se que a poupança é muito significativa, indo ao encontro dos princípios da IP de sustentabilidade ambiental e financeira. No entanto, o custo apresentado por Ribeiro *et al.* (2017) poderá ter imprecisões ao nível do tipo de soldadura efetuada e caracterização real do aço, dos tempos de execução das várias etapas da adaptação e da falta de efeito de escala, caso o processo seja efetuado de forma mais industrial.

Por exemplo, o tempo total para a adaptação das TBB demora cerca de 20 a 25 minutos por TBB, pelo que não seria viável a sua execução em grandes quantidades de modo a aprovisionar todas as travessas necessárias para a renovação integral da Linha do Vouga.

Assim, atendendo à falta de registos de resultados, verificou-se a necessidade da viabilização deste processo de modificação já efetuado.

3.11 Análise de Custos

Dada a necessidade de intervenção na Linha do Vouga pelo que é estabelecido pela Diretiva Comunitária 2011/71/EU e pelo estado de conservação dos componentes que a constituem, admite-se que a IP tem as seguintes alternativas ao seu dispor para a renovação desta via:

1. Continuar a aplicar travessas de madeira de pinho creosotadas, assumindo o incumprimento legal – manter a via clássica;
2. Substituir as travessas de madeira creosotadas por travessas de betão monobloco novas – substituir a via clássica por via modernizada;
3. Substituir as travessas de madeira creosotadas por travessas de betão bibloco regeneradas (BB2) e adaptadas de via larga para via estreita com vida útil de 30 anos – substituir a via clássica por via renovada;
4. Substituir as travessas de madeira creosotadas por travessas de betão bibloco regeneradas (BB2) e adaptadas de via larga para via estreita com vida útil de 20 anos – substituir a via clássica por via renovada.

Para a avaliação dos custos de manutenção da superestrutura da via nas alternativas anteriormente apresentadas, definiram-se diversos princípios:

- O ano 0 definiu-se como sendo o ano de 2020;
- A IP revogará os critérios que teve em conta para o fecho do troço de via entre Oliveira de Azeméis e Sernada (Troço 2) e o abrirá novamente à exploração, ficando os possíveis cerca de 96 km em total exploração;

- Análise apenas aplicada à plena via, uma vez que os custos com a conservação/modernização dos aparelhos de via serão iguais independentemente das alternativas em estudo;
- Tratando-se de uma análise comparativa, os custos relacionados com os trabalhos de drenagem longitudinal e transversal, terraplanagens e estabilização de taludes não foram contabilizados;
- Utilizou-se o preço unitário do carril 54E1 para o presente estudo comparativo, uma vez que não existe registo histórico do preço de carril de dimensão inferior. No entanto, qualquer preço que se utilizasse na análise não teria efeito na comparação de cenários;
- Análise efetuada a preços constantes de 2020.

Para a primeira alternativa, manter-se-á a via clássica, em que a superestrutura de via é constituída por uma altura de 15 cm de balastro granítico, apresentando juntas mecânicas entre os carris, ligados por barretas e parafusos de aço, cuja fixação elástica às travessas é efetuada com garras nabla. O comprimento das barras de carril 54E1 atinge um máximo de 36 m (BC).

Para a segunda alternativa, será implementada a via modernizada, onde a superestrutura de via é constituída por uma camada de balastro granítico de 30 cm, na qual assentam travessas de betão monobloco com fixação elástica *Vossloh* e o carril é igualmente 54E1, mas neste caso em BLS.

Para a terceira e quarta alternativas será implementada a via renovada, onde a superestrutura de via é constituída por uma camada de balastro granítico de 20 cm, na qual assentam travessas de betão bibloco adaptadas com fixação elástica nabla e o carril é igualmente 54E1 em BLS.

Em cada alternativa admite-se a aplicação de carril 54E1, tomando como exemplo o tipo de carril atualmente instalado na Linha do Vouga (à exceção do Troço 2 atualmente encerrado) e sabendo que não existem registos de anomalias relevantes relacionadas com este constituinte. Ainda assim, poderá considerar-se a aplicação de carril de perfil inferior (UIC50) de modo a que ainda seja compatível com a travessa de betão bibloco e se aproxime do tipo de carril indicado no normativo IT.VIA.020 (REFER, 2009b).

Apresenta-se, no Quadro 3.2, a vida útil estimada e admitida (anos) dos principais constituintes: plataforma, balastro, carril e travessa.

Quadro 3.2 – Vida útil admitida (anos) dos principais constituintes da via férrea (Adaptado de IP 2016b).

	Plataforma	Balastro	Carril	Travessa
Via Clássica (1)	60	30	35	10
Via Modernizada (2)	90	45	50	50
Via Renovada (3)	60	35	45	30
Via Renovada (4)	60	35	45	20

A vida útil das travessas de madeira foi ajustada às condições da infraestrutura da Linha do Vouga e de acordo com a experiência do GIF, onde se tem verificado de uma forma geral que as travessas de madeira têm vindo a diminuir a sua vida útil ao longo dos tempos.

Tendo em consideração o tipo de via definido para cada alternativa deste estudo de caso, foram definidas tipologias de intervenção de investimento (TDI) para o ano 0 (considerando que a vida útil dos constituintes já foi ultrapassada ou quando se altera o tipo de via) e tipologias de intervenção de exploração (TDE) para a manutenção da via ao longo da vida útil de cada componente. Os custos destas intervenções foram obtidos dos contratos de manutenção da via em vigor (IP, 2019c).

Relativamente a este assunto, salientam as seguintes atividades:

- Substituição de travessas de madeira por betão monobloco ou bibloco em plena via;
- Substituição de carril em barra curta ou em barra longa soldada em plena via (incluindo a substituição de carril, execução de soldaduras e regularização das tensões internas da barra);
- Desguarnecimento sem depuração de balastro em plena via (desguarnecimento de via, transporte de detritos resultantes a destino final, fornecimento e descarga de balastro, ataque mecânico pesado e estabilização dinâmica de via);
- Ataque mecânico pesado.

Foram também disponibilizados pela IP os valores anuais de MPS para as diferentes alternativas. Na análise dos custos de manutenção da via para cada uma das alternativas acima mencionadas, foi tido em conta que o troço 3 foi renovado em 2015. Assim, atendendo às políticas de sustentabilidade da IP, as intervenções necessárias variam no momento da sua aplicação de troço para troço consoante o seu estado de conservação.

Aplicando-se os pressupostos enunciados anteriormente e projetando os custos a 50 anos, apresentam-se nas Figuras 3.14 e 3.15 os custos anuais de investimento e de exploração acumulados, em milhões de euros, para as diversas alternativas.

3.12 Análise de Resultados

Considerando todos os troços da Linha do Vouga abertos à exploração (96 km) e analisando os cenários de intervenção por parte da IP com a estimativa a 30 anos de vida útil das TBB (BB2) adaptadas, ao nível do investimento inicial, a alternativa 1 é a solução economicamente mais vantajosa. Descartando a solução obtida do estudo da IP pelos prazos impostos para a obtenção das TBB (BB2) adaptadas e pela forma não credibilizada do seu processo de execução, analisa-se a alternativa 3 e 4 com base no preço médio obtido das empresas de corte e soldadura especializada que cumprem todos os normativos impostos. Assim, observando a Figura 3.14, é a partir do ano 11 que a solução 3 (Via Renovada considerando 30 anos de vida útil das TBB) se torna economicamente mais vantajosa, verificando-se esta mais valia até ao 31 ano. A partir do ano 32, a alternativa 2 começa a ser economicamente mais vantajosa, até ao ano 48, passando novamente a ser a alternativa 3 a partir deste ano.

No ano 20 da projeção de custos, a solução das travessas adaptadas (alternativa 3) revela uma poupança de cerca de 9,71 milhões de euros face à aplicação das travessas monobloco novas (alternativa 2) e cerca de 24,75 milhões de euros face à manutenção e contínua aplicação das travessas de madeira creosotadas (alternativa 1).

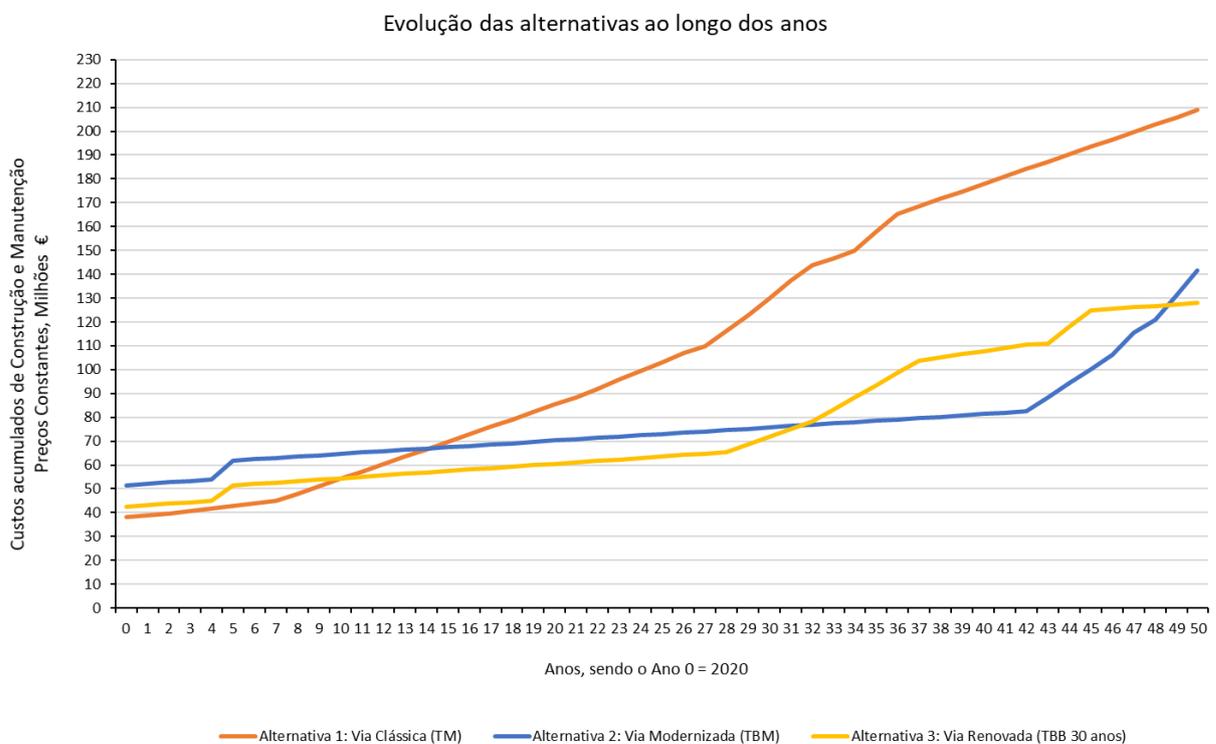


Figura 3.14 – Evolução das alternativas ao longo dos anos admitindo 30 anos de vida útil das TBB (BB2) adaptadas.

Com base na Figura 3.15 e comparando a alternativa 4 (Via Renovada considerando 20 anos de vida útil das TBB) com a alternativa 1, o investimento inicial da via renovada é naturalmente superior, mantendo os custos mais elevados até ao 10 ano, sendo que a partir do 11 ano a alternativa 4 é sempre economicamente mais vantajosa. Relativamente à alternativa 2, comprova-se que a alternativa 4 é economicamente mais vantajosa até ao ano 27. A partir do ano 28 e até ao ano 49 a alternativa 2 é a economicamente mais vantajosa. A partir do ano 50 a alternativa 4 volta a ser a mais vantajosa.

A 20 anos de análise, a solução das travessas adaptadas (alternativa 4) revela uma poupança de cerca de 7,04 milhões de euros face à aplicação das travessas monobloco novas (alternativa 2) e uma poupança de cerca de 22,09 milhões de euros face à manutenção e continua aplicação das travessas de madeira creosotadas (alternativa 1).

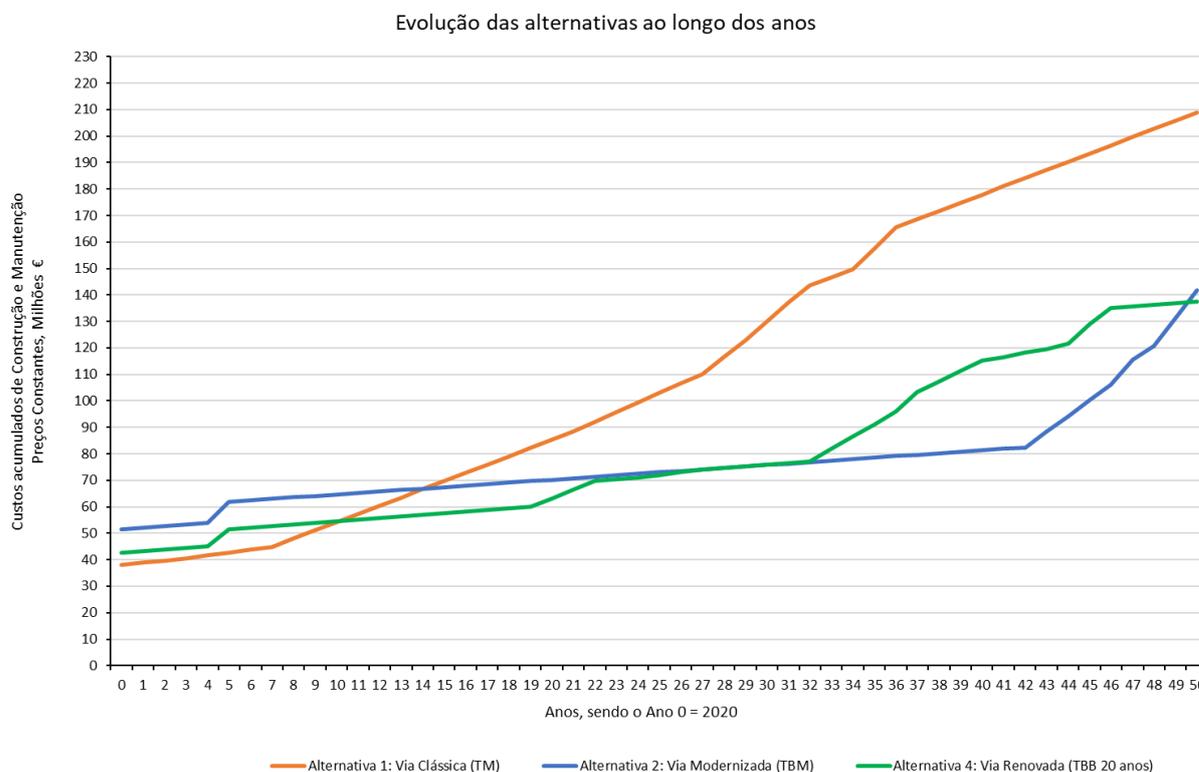


Figura 3.15 – Evolução das alternativas ao longo dos anos admitindo 20 anos de vida útil das TBB (BB2) adaptadas.

O processo de adaptação das travessas de betão bibloco poderá ser otimizado de forma a que o preço unitário da travessa seja o menor possível. No entanto, projetando-se os custos a longo prazo comprova-se que, para que a solução com travessas de betão bibloco (alternativa 3 e 4) seja economicamente mais vantajosa no ano 20, o preço unitário da TBB adaptada não pode ser superior a 85,56€ ou 61,30€, respetivamente. Pela mesma projeção, no ano 50, o preço unitário

máximo da TBB é fixado em 68,20 e 35,06 € para que as alternativas 3 e 4 apresentem os mesmos custos acumulados que a solução com TBM (alternativa 2).

Das verificações dimensionais após a adaptação das TBB (BB2) verificou-se que as mesmas cumprem as tolerâncias indicadas nas normas existentes. Os parâmetros nivelamento transversal dos carris e o nivelamento em perfil dos blocos de betão estão garantidos como se observa nas respetivas Figuras 3.16 e 3.17, recorrendo-se a uma superfície plana e com os sistemas de fixação aplicados. Verifica-se o desalinhamento dos blocos em planta, que deriva da execução da soldadura com sobreposição da cantoneira. No entanto, este desalinhamento que ronda apenas os 6 mm, devido à sobreposição das cantoneiras, está claramente dentro das tolerâncias definidas para o desquadramento das travessas definido na Norma ITV-5 (CP, 1979) que refere que o desquadramento não deve ser superior a 5 cm. A bitola nominal é garantida e controlada durante o processo de soldadura da cantoneira e com a utilização de um molde pré-definido.

Para abranger todos os valores de sobrelargura definidos no documento normativo IT.VIA.020 (REFER, 2009b), a bitola nominal controlada pelo molde é de 1010 mm, para que assim seja possível, à custa do jogo dos grampos nabla, obter valores de bitola entre 1000 mm em reta e 1020 mm em curvas de raio muito apertado (REFER, 2011)



Figura 3.16 – Nivelamento transversal e alinhamento das TBB (BB2) adaptadas utilizando um nível e uma régua.



Figura 3.17 – Nivelamento transversal das TBB (BB2) adaptadas utilizando a régua de bitola da IP.

Esta solução considera-se validada, tendo também como sustentação real o troço já implementado com travessas de 1956. No entanto, sugere-se que com a execução desta adaptação e implementação sejam realizados obrigatoriamente roteiros de inspeção para a

monitorização da evolução do traçado em perfil longitudinal e em planta, dos parâmetros geométricos, do perfil de carril, do binário de aperto do sistema de fixação, do aspeto geral das travessas e da cantoneira, nomeadamente da soldadura em 10% da extensão aplicada.

Optando-se pela adaptação da bitola com soldadura sem penetração total (sobreposta) deve-se recorrer às inspeções visuais, a ensaios com líquidos penetrantes (defeitos superficiais), a ensaios de macro e micrografia e pelo menos a 3 ensaios de tração por travessa (com escolha aleatória). Se fosse utilizada soldadura com penetração total (topo a topo), dever-se-ia continuar a verificar os ensaios executados às travessas sujeitas à soldadura sobreposta, incluindo-se os ensaios de RX/Ultrassons (defeitos em profundidade). Por fim, para ambos os processos, Têm que se verificar as propriedades dimensionais, tendo estas que cumprir as tolerâncias normativas (EN 1090-2, 2018).

4 CONCLUSÕES E POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O presente estudo pretendeu averiguar a viabilidade de utilização de materiais parqueados com potencialidade de reaplicação. Tendo em conta a alternativa de intervenção ao nível do modelo de gestão dos ativos das travessas bibloco, estimando o investimento no serviço e na infraestrutura, com base na procura potencial da Linha do Vouga e o seu equilíbrio económico-financeiro sustentável, pretendeu-se demonstrar a sua possível recuperação e adaptação com vista à otimização das atividades de renovação e manutenção inerentes ao transporte ferroviário, reduzindo o custo no ciclo de vida a longo prazo das vias-férreas.

Os ciclos de vida útil das componentes da superestrutura de via variam em função da conjugação de um conjunto significativo de fatores, dos quais se destacam como mais relevantes a capacidade resistente da plataforma de via, a eficiência da drenagem da mesma, os parâmetros de traçado de via implantados face às condições reais de exploração (velocidades, intensidade de tráfego, cargas, número de passageiros) e as condições ambientais a que se encontram sujeitos.

A inspeção constante ao estado de conservação das componentes da via-férrea, combinada com o planeamento atempado da sua intervenção, permitem um maior racionamento de meios, de atividades a efetuar no imediato e, inevitavelmente, a uma redução dos custos de operação, otimizando-os.

A escolha do tipo de travessas varia com o tipo de cargas e de comboios e a periodicidade de utilização. No entanto, a sua escolha tem que ser tida em conta com base nas condições de segurança e conforto que vai oferecer, nos impactos ambientais e nas atividades de manutenção que derivaram da sua aplicação.

As vias largas proporcionam maior capacidade de transporte e maior velocidade de circulação. No entanto, apresentam custos de construção mais elevados comparativamente às vias estreitas devido à maior dimensão da plataforma e das travessas.

Relativamente às TBB (BB2) instaladas na via estreita quando comparadas com as travessas de madeira, terão, à partida, um comportamento muito superior, pois a carga que circula no troço em estudo é muito inferior à carga que circulava em via larga, sendo o material circulante todo da classe de passageiros, o que se verificou pelos dados disponibilizados para consulta da IP.

Da análise de custos da implementação para a Linha em estudo das diversas alternativas disponíveis, verificou-se que a aplicação de barra curta, decorrente do valor dos raios aplicados, conduz a uma necessidade de manutenção da via mais frequente e exigente, tornando-a bastante mais onerosa que a aplicação de barra longa.

O investimento inicial resultante das alternativas é superior para a alternativa 2 (implementação das travessas monobloco). A atividade de investimento da via modernizada tem custos superiores em cerca de 17,8% comparativamente à via renovada (alternativas 3 e 4). Relativamente aos custos de exploração, a alternativa via modernizada (2), apresenta custos mais elevados em cerca de 19,2%.

De acordo com a Direção de Logística da IP, as TBB BB2, que são consideradas como não reaplicáveis na RFN, não representam um ganho financeiro para a empresa com a sua reciclagem e venda do material ferroso sobrando devido aos elevados custos de separação do ferro do betão e de logística. Contrariamente a este não ganho financeiro, do processo de adaptação das TBB BB2 existe um ganho financeiro com a venda da quantidade restante de cantoneira após corte. Desta atividade, poder-se-á aproveitar aproximadamente 2,4 kg por travessa, com um valor, na atualidade, entre cerca de 0,35€ e 0,40€ por travessa.

As TBB BB2 após regeneração têm sido reaplicadas novamente em vias largas e têm nova vida útil de mais de 20 anos, estando sujeitas a maiores solicitações, cargas e velocidades de circulação, quando comparadas com as da via estreita, pelo que, do ponto de vista técnico, a solução é validada assim como a vida útil estimada (20/30 anos). A durabilidade real expectável para estas travessas, considerando tratar-se de materiais usados e já com vários anos em serviço, é a principal dificuldade para viabilizar por completo esta solução.

Atualmente, as travessas parqueadas no CLE estão destinadas a serem reaplicadas em vias largas. No entanto, observando o planeamento para as renovações periódicas em via larga, de bitola 1668 mm, os custos de armazenamento e relacionados com o tempo decorrido entre o levantamento das TBB (BB2) das linhas, a entrada em armazém e o seu encaminhamento até ao destino final (reaplicação ou destruição para resíduo) serão significativos. Com a opção de adaptação e reaplicação na Linha do Vouga, conseguir-se-ia garantir que uma parte significativa das travessas bibloco teriam destino final definido aquando do seu levantamento das restantes linhas.

Os benefícios ambientais são incalculáveis. A reutilização do ferro nas indústrias de transformação de aços e o reaproveitamento de uma maior quantidade de material inutilizado

levará à sustentabilidade ambiental, integrando este material na Economia Circular, poupando-se os escassos recursos naturais que existem.

Para que esta operação possa ser levada a cabo, deve continuar a passar por uma escolha criteriosa do que é material ainda em condições de ser aplicado e o que deve ser imediatamente rejeitado. Assim, de modo a viabilizar ou não a ideia em estudo, como propostas futuras, aconselha-se a que sejam efetuados os seguintes ensaios complementares e compará-los com os que são efetuados às travessas novas. Ao betão devem-se efetuar:

- Ensaios de compressão em carotes de betão extraídos das TBB (BB2), recorrendo-se aos normativos existentes (NP EN1992, 2010); NP EN 206-1, 2007);
- Inspeção visual (fissuras, roturas);
- Verificação dimensional das peças (blocos).

Ao aço, aconselha-se a que sejam executados os seguintes ensaios:

- Ensaios de tração uniaxial (ISO 6892-1 (2016))
- Ensaio de tração da travessa de betão bibloco adaptada com a aplicação de cargas nos blocos para verifica o comportamento da soldadura da cantoneira;
- Ensaios de Tenacidade (EN 1993-1-10 (2005)) – Ensaios de choque Charpy de materiais metálicos).

Para a qualificação do processo de soldadura, deverão ser garantidos os normativos EN 1090-2 (2018), EN ISO 15612 (2018), EN 1993-1-9, efetuando-se os ensaios neles indicados.

Como possíveis propostas para desenvolvimentos futuros, recomenda-se também estudar a viabilidade de utilização das fixações usadas em detrimento de fixações novas, definindo os critérios na sua escolha, qual o tempo de vida útil que ainda têm e as atividades de manutenção a que podem estar sujeitas. Do estudo demonstrado ao longo desta dissertação, verificou-se que os custos com as fixações têm uma influência considerável no preço final por travessa adaptada. O sistema de fixação por cada TBB (BB2) tem um custo entre 16,00€ e 20,00€.

Recomenda-se que futuramente se implemente um novo troço experimental em traçado sinuoso, com travessas provenientes de diferentes momentos de adaptação, para comprovar os parâmetros geométricos, nomeadamente a bitola. Para isso, devem ser efetuadas inspeções com maior frequência no troço experimental, verificando-se o comportamento real das mesmas em todas as situações, nomeadamente em curva e em reta.

Deve ser ponderada e estudada a reconhecida vantagem da reutilização e reaplicação dos materiais oriundos das obras de renovação da restante rede ferroviária. As questões técnicas

resultantes de possíveis reutilizações têm, necessariamente, que garantir os níveis de conforto e segurança exigidos em conformidade com os requisitos legais, regulamentares e ambientais aplicáveis.

A solução estudada, com as informações e nas condições que foram indicadas, admitindo que o seu processo de seleção inicial foi bem executado, apresenta potencialidade de reprodução.

Apesar deste estudo ser uma análise comparativa entre cenários, num futuro desenvolvimento poder-se-á ter em consideração a inflação no cálculo dos vários custos envolvidos.

Por fim, interessa chamar a atenção para a necessidade de aumentar a produção de documentos deste tipo, tanto nas universidades como nas empresas. Num futuro próximo, devem existir mais protocolos de cooperação que permitam aos estudantes ter contacto próximo com o dia a dia das empresas e com o mercado de trabalho, proporcionando-lhes um contacto direto com questões reais e da atualidade.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIF (2017), Traviesas e Monobloque UIC 54. Dirección General de Explotación y Construcción. ADIF - Administrador de Infraestructuras Ferroviarias.

Christopher A. Bolin., Stephen T. Smith (2013), Life Cycle Assessment of Creosote-Treated Wooden Railroad Crossties in the US with Comparisons to Concrete and Plastic Composite Railroad Crossties, *Journal of Transportation Technologies*, 1-13.

Comissão Europeia (2017), Decisão de Execução (UE) 2017/2334 da Comissão de 14 de Dezembro de 2017, EU.

Comissão Europeia (2011), Directiva 2011/71/UE da Comissão de 26 de Julho de 2011, UE.

Cruz, S. (2017), Modo de Transporte Ferroviário: Análise Multiobjectivo de Intervenções de Renovação, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 1-75.

CEN (2016a), Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 1: General requirements EN 13230-1, European Committee For Standardization, Brussels.

CEN (2016b), Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 3: Twin-block reinforced sleepers EN 13230-3, European Committee For Standardization, Brussels.

CP (1979), Rectificação do Assentamento e Quadramento das Travessas. ITV-5. Instrução Técnica de Via, CP – Comboios de Portugal, Lisboa, 1-8.

Dantas, R. (2014), Modelo de Gestão de Ativos da via-férrea baseado em análise probabilística de Custos por Ciclo de Vida, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico de Lisboa, 1-101.

Diário da República, Ministério da Saúde, Decreto-Lei n.º 154/2012 de 16 de julho, 1-38.

Esveld, C. (2001), *Modern Railway Track, Second Edition*, Delft University of Technology, MRT-Productions, Netherlands, 1- 625

EN ISO 15614-1 (2017), Specification and qualification of welding procedures for metallic materials -Welding procedure test – Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys. Second edition. International Standard, Switzerland.

EN ISO 9606-1 (2013), Qualification testing of welders – Fusion welding - Part 1: Steels (ISO 9606-1:2012 including Cor 1:2012). European Committee For Standardization, Brussels.

EN ISO 9606-1 (2012), Qualification testing of welders – Fusion welding – Part 1:Steels. Second edition. International Standard, Geneva.

EN ISO 5817 (2014), Welding – Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) – Quality levels for imperfections. Third edition. International Standard, Geneva.

EN ISO 14341 (2010), Welding consumables – Wire electrodes and weld deposits for gas shielded metal arc welding of non alloy and fine grain steels – Classification. Second edition. International Standard, Geneva.

EN ISO 23278 (2015), Non-destructive testing of welds – Magnetic particle testing – Acceptance levels. Second edition. International Standard, Geneva.

EN ISO 17638 (2016), Non-destructive testing of welds – Magnetic particle testing. Second edition. International Standard, Geneva.

EN ISO 9712 (2012), Non-destructive testing – Qualification and certification of NDT personnel. Four edition. International Standard, Geneva.

EN ISO 6892 – 1 (2016), Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at room temperature. Second edition. International Standard, Geneva.

EN ISO 15612 (2018), Specification and qualification of welding procedures for metallic materials – Qualification by adoption of a standard welding procedure specification. Second edition. International Standard, Geneva.

EN 1993-1-10 (2005), Eurocode 3. Design of steel structures. Material toughness and through-thickness properties, European Committee For Standardization, Brussels.

EN 1090-2 (2018), Execution of steel structures and aluminium structures. Technical requirements for steel structures, European Committee For Standardization, Brussels.

EN 1993-1-9 (2010), Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-9: Fatigue. European Committee For Standardization, Brussels.

Falcão, L. (2013), Modelo Probabilístico para Análise da Qualidade dos Parâmetros Geométricos da Via-férrea, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 1-88.

Fernandes, J. (2011), Modelação do Comportamento Mecânico de Vias-férreas, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, 1-141.

Fernave (2003), *Manual de Via: Características Gerais*, Fernave – Formação Técnica, Psicologia Aplicada e Consultoria em Transportes e Portos, S. CP – Comboios de Portugal, Lisboa, Módulo 1 – Módulo 17, 1-544.

Ferreira, A., Ferreira, M., Paiva, C. (2014), Ballast drainage in Brazilian railway infrastructures, Elsevier – Journal Construction and Building Materials, 58-63.

Ferreira, A., Rodrigues, F. (2012), Influencia del trazado en la calidad geométrica de vías férreas, Via Libre Técnica, Investigación Ferroviaria, 1-10.

Fortunato, E. (2005), *Renovação de Plataformas Ferroviárias, Estudos Relativos à Capacidade de Carga*, Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 1-519.

IMT (2019), Relatório Anual (2018) de Segurança Ferroviária na Rede Ferroviária Nacional, IMT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P., Autoridade Nacional de Segurança Ferroviária, Lisboa, 1-81.

IP (2019c), Caderno de Encargos – Condições Técnicas Gerais: Preços unitários da Especialidade de Via Lote 1, COM Norte, IP - Infraestruturas de Portugal, Lisboa, 1-172.

IP (2019b), Diretório da Rede 2020. IP – Infraestruturas de Portugal, Lisboa, 1-156.

IP (2019a), Especificações Técnicas para Fornecimento de Balastro Novo. GR.IT.VIA.015. . Instrução Técnica de Via n.º 15, IP – Infraestruturas de Portugal, Lisboa, 1-19.

IP@2019, <http://www.infraestruturasdeportugal.pt/rede/ferroviaria>. Infraestruturas de Portugal (página internet oficial).

IP (2016a), *Manual de utilização do equipamento ligeiro de inspeção geométrica de via Krab Slight*. Unidade de Via e Catenária, IP – Infraestruturas de Portugal, 1-38.

IP (2016b), Tipologias de Intervenção: Via-Férrea, Direção de Asset Management, Departamento de Revisão e Monitorização Unidade de Via, IP – Infraestruturas de Portugal, Lisboa, 1-27.

IP (2017), Tolerâncias dos Parâmetros Geométricos da Via. GR.IT.VIA.018. Instrução Técnica de Via n.º 18, IP - Infraestruturas de Portugal, Lisboa, 1-32.

Leite, M. (2017), Especificações Técnicas da Via-Férrea, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 1-226.

Luís, J. (2013), Modelo de Gestão de Obras de Via-Férrea na Perspetiva da Empresa Construtora, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 1-280.

Martins, P. (2010), Desgaste Ondulatório em Caminhos de Ferro, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 1- 124.

Matos, A., Sousa, A., Ribeiro, B., Maio, C., Pinto, R., Carvalhos, S. (2017), Second Life Sleeper, Relatório Interno, Protocolo de Cooperação Infraestruturas de Portugal Academia/INDEG-ISCTE Executive Education Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 1-57.

Miguel, F. (2015), Inspeção de Infraestruturas Ferroviárias: Avaliação não destrutiva com o Radar de Prospecção, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, 1-140.

Moreira, A. (2014), Métodos de Dimensionamento de Vias-férreas, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 1-120.

Mourão, J. (2017), *Gestão e Manutenção da Infraestrutura Ferroviária, os Vários Tipos de Ações de Manutenção, Relatório de Estágio*, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 1 - 143.

NP EN 1993-1-1 (2010), Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, LNEC, Portugal.

NP EN 1993-1-8 (2010), Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço Parte 1-8: Projeto de ligações, LNEC, Portugal.

NP EN ISO 9001 (2015), *Sistemas de Gestão da Qualidade: Requisitos*, Instituto Português da Qualidade, LNEC, Portugal.

NP EN 1992 (2010) – Eurocódigo 2 Projeto de estruturas de betão Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios, Instituto Português da Qualidade, LNEC, Portugal.

NP EN 206-1 (2007) – *Betão, Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade*. 2ª edição. Instituto Português da Qualidade, CT 104 (ATIC), Portugal.

Oliveira, A. (2012), *Via Balastrada versus Via Não Balastrada*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 1- 141.

Pires, P. (2009), *Conservação de Vias Férreas*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 1-88.

Parente, F. (2003), *Projecto de Vias Ferreas*, Apontamentos da unidade curricular de Projeto de Via da Pós-Graduação em Engenharia Ferroviária, Faculdade de Engenharia da Universidade Católica Portuguesa, 1-77.

Pires, P. (2018), *Gestão da Manutenção de Infraestruturas Ferroviárias*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 1-66.

Profillidis, V. A. (2014), *Railway Management and Engineering*, Fourth Edition, Ashgate Publishing Company, Ed., Grécia, pp 1-517.

REFER (2011), *Catálogo de Materiais de Via, Travessa de betão bloco com fixação nábula*, REFER – Rede Ferroviária Nacional, Lisboa, 1-27.

REFER (2000), Especificação Técnica para Homologação, Controlo do Processo de Fabrico, Recepção, Armazenagem e Fornecimento de Travessas Bi-Bloco, de Betão Armado para Carril UIC 54. IMV-020. Especificação Técnica, REFER – Rede Ferroviária Nacional, Lisboa, 1-58.

REFER (2012b), Inspeção e Classificação de Materiais de Via Aplicados na Rede, e Condições a Observar com Vista à sua Reaplicação. PR.VIA.002. Procedimento n.º 002, REFER – Rede Ferroviária Nacional, Lisboa, 1-37.

REFER (2012a), Memorando – Travessas de Betão Monobloco Fissuradas. Relatório Técnico, Protocolo de Cooperação Laboratório Nacional de Engenharia Civil/REFER, Lisboa, 1-13.

REFER (2009a), Normas e Procedimentos de Segurança em Trabalhos na Infra-estrutura Ferroviária I.E.T.77. Instrução Técnica de Exploração nº77, Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, REFER - Rede Ferroviária Nacional, Lisboa, 1-63.

REFER (2009b), Parâmetros para projecto de linhas de bitola 1000mm IT.VIA.002. Instrução Técnica de Via nº002, 2009 - Rede Ferroviária Nacional, Lisboa, 1-61.

REFER (2008), Procedimento para Identificação de Fissuras em Travessas de Betão Monobloco IT.VIA.017. Instrução Técnica de Via nº17, 2012 – Rede Ferroviária Nacional, Lisboa, 1-12.

REFER (2004), Procedimento para o Manuseamento, Transporte, Armazenamento e Assentamento de Travessas de Betão IT.VIA.004. Instrução Técnica de Via nº004, REFER – Rede Ferroviária Nacional, Lisboa, 1-22.

REFER (2013), Diagrama Geral de Via – Linha do Vouga, REFER – Rede Ferroviária Nacional, Lisboa.

Rodrigues, D. (2012a), Manutenção e conservação de vias férreas: análise de casos práticos, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 1-129.

Rodrigues, F. (2012b), Migração de bitola de via estreita para via larga, consequências técnicas e operacionais, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 1-92.

Santos, F e Quintino, L. (1998), *Processos de Soldadura*, Instituto de Soldadura e Qualidade 2ª edição, Oeiras, Portugal, 1-632.

Silva, T. (2012), *Inspeção e Reabilitação de Infraestruturas Ferroviárias*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, 1-181.

UIC@2019, <https://uic.org/>, International Union Of Railways (página internet oficial).

Valente, C. (2014), *Análise da Degradação do Carril: Caso de Estudo da Rede Ferroviária Portuguesa*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico de Lisboa, 1-148.

Werner, F., Schrägle, R., Richter, K. (2009), *Life cycle assessment (LCA) of railway sleepers: Comparison of railway sleepers made from concrete, steel, beech wood and oak wood*, Study in order of Studiengesellschaft Holzschwellenoberbau e.V. (Society for Research on Wooden Railway Sleepers), 1-7.

ANEXOS

Anexo 1 – Desguarnecimento Mecânico, no âmbito da Renovação da Superestrutura de Via, da Linha do Norte



Figura A1.1 – Montagem da corrente da desguarnecedora.



Figura A1.2 – Desguarnecedora em funcionamento.



Figura A1.3 – Funcionamento da desguarnecedora.



Figura A1.4 – Desguarnecedora e respetivos vagões.



Figura A1.5 – Reposição do balastro.



Figura A1.6 – Ataque na via.

Anexo 2 – Atividades de Substituição das Travessas de Madeira e Retificação da Bitola (Via Estreita – Aveiro/Espinho)



Figura A2.1 – Marcação das travessas a substituir.



Figura A2.2 – Remoção do balastro.



Figura A2.3 – Aplicação do macaco sobre o carril e substituição das travessas.



Figura A2.4 – Aplicação dos novos sistemas de fixação nas travessas novas.



Figura A2.5 – Distribuição das travessas e fixação.

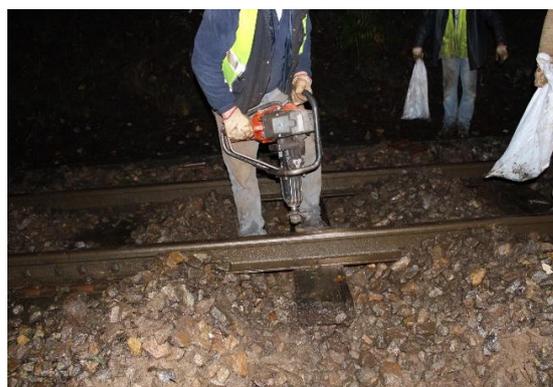


Figura A2.6 – Extração e armazenamento das fixações.



Figura A2.7 – Correção de bitola (se necessário).

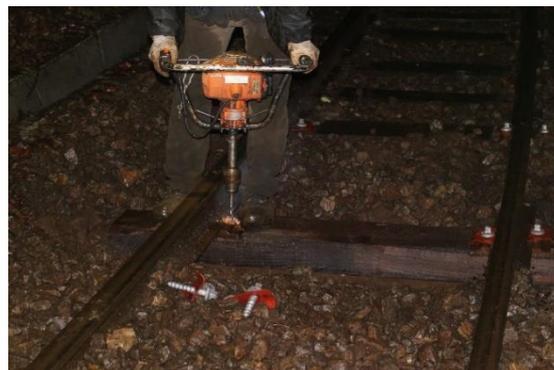


Figura A2.8 – Furação das fixações.

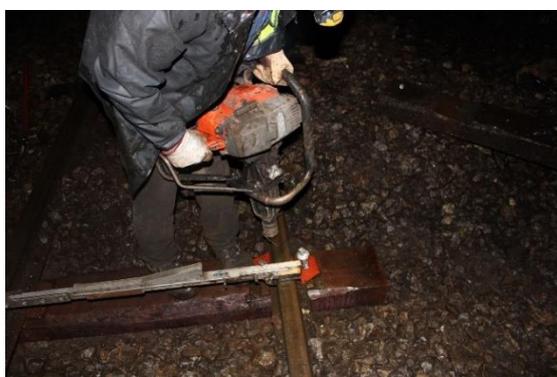


Figura A2.9 – Aperto das fixações.



Figura A2.10 – Reposição do balastro e recolha do material não utilizado.

Anexo 3 – Complementos ao Capítulo 3



Figura A3.1 – Separação entre o bloco de betão e a cantoneira metálica.



Figura A3.2 – Degradação da travessa bibloco devido à corrosão da cantoneira metálica e do carril (Mourão, 2017).



Figura A3.3 – Empeno das cantoneiras metálicas.

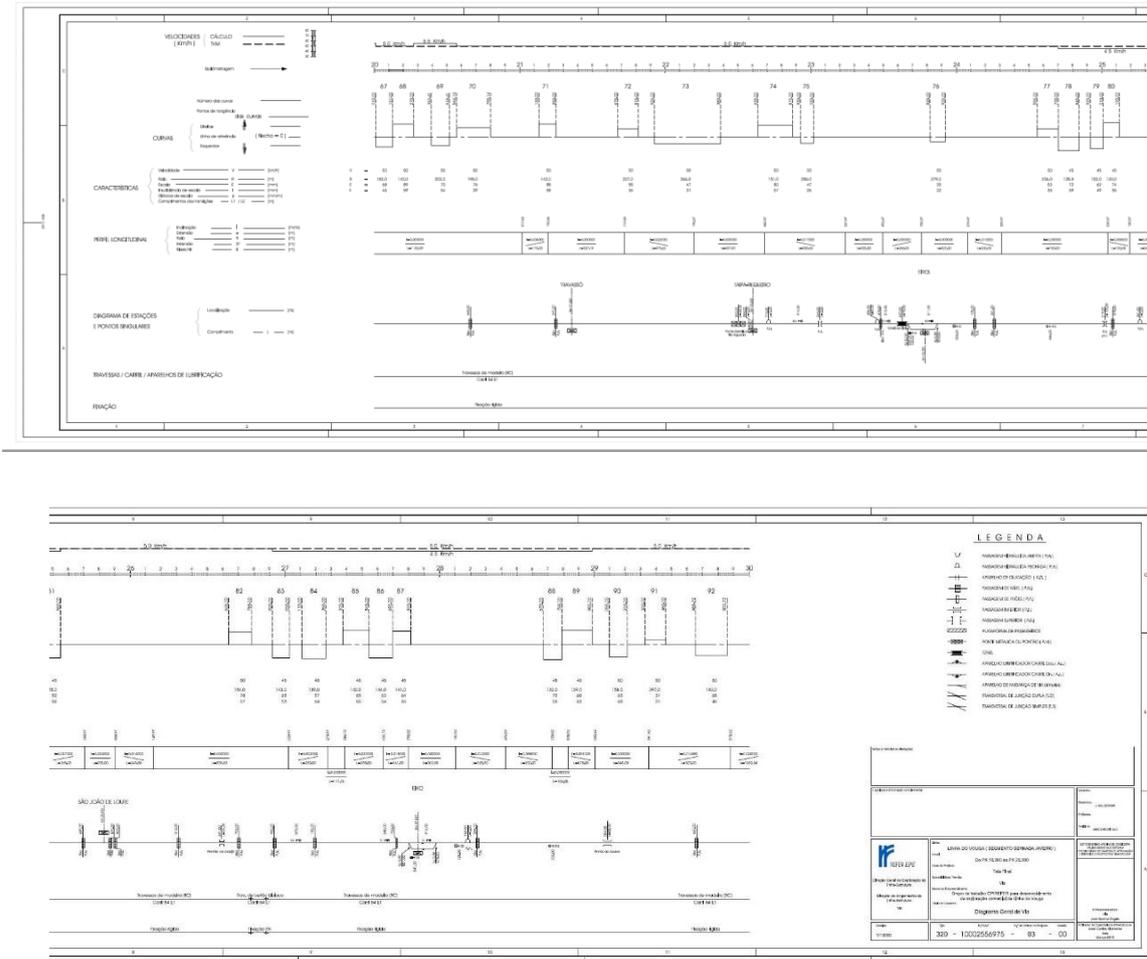
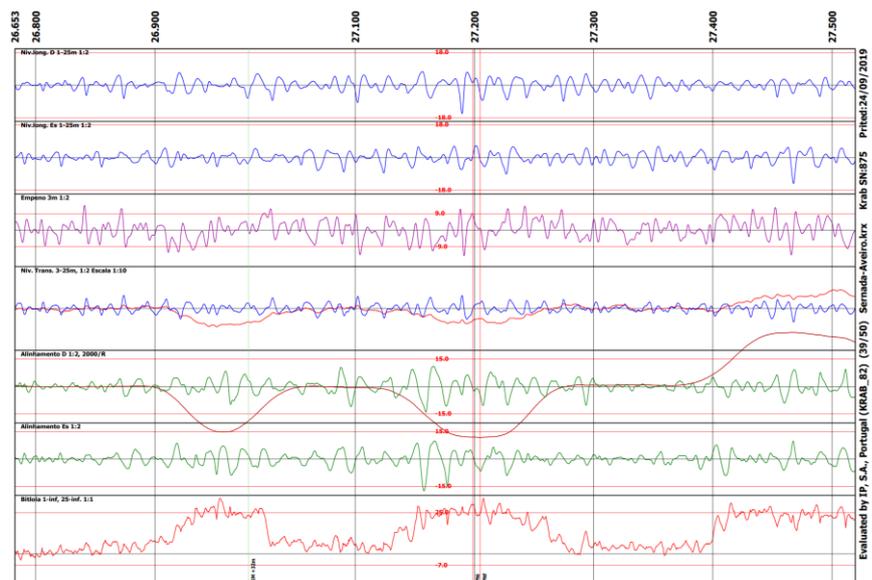


Figura A3.4 – Diagrama geral de via Eiol – Eixo (REFER, 2013).



Quadro A3.1 – Descrição do processo inicial de transformação das TBB (BB2) (adaptado de Ribeiro *et al.*, 2017).

Adaptação Travessa (BB2) Bitola 1668 mm ----> 1000 mm		
Produto Inicial	Travessa 1668 mm regenerada	4,94 €
Processo de transformação	Corte da travessa	0,73 €
	Mão-de-obra (2 operários)	0,70 €
	Material: Disco de corte para aço (nom. 84253090)	0,03 €
	Equipamentos: Rebarbadora	0,001 €
	Soldadura da travessa	1,31 €
	Mão-de-obra (2 operários)	0,70 €
	Material: Eléctrodo básico 7018 Ø3,2/350mm	0,34 €
	Equipamentos	0,27 €
	Máquina de soldar	0,06 €
	Combustível + óleo	0,20 €
	Molde em ferro	0,01 €
	Alienação excedente ferroso	1,10 €
	Produto final	Travessa betão bibloco (BB2) para 1000 mm



Figura A3.6 – Marcação das TBB (BB2) para posterior corte.



Figura A3.7 – Corte da cantoneira presente na TBB (BB2).



Figura A3.8 – Resultado final do processo de adaptação recorrendo-se à soldadura (por eléctrodo revestido básico) topo a topo.



Figura A3.9 – Resultado final do processo de adaptação recorrendo-se à soldadura (por eléctrodo revestido básico) sobreposta.



Figura A3.10 – Corte das amostras de provetes de cantoneira das TBB (BB2).



Figura A3.11 – Numeração dos provetes.



Figura A3.12 – Medição da espessura da cantoneira recorrendo-se a um paquímetro.



Figura A3.13 – Maquinação dos provetes recorrendo-se à fresadora universal.



Figura A3.14 – Provetes maquinados e numerados.



Figura A3.15 – Ensaio na máquina universal.



Figura A3.16 – Ensaio com extensómetro.



Figura A3.17 – Resultado do estado do provete após o ensaio de tração.

Anexo 4 – Linha do Tua (Linha do Douro) – Linha com características idênticas às existentes na Linha do Vouga



Figura A4.1 – Estação do Tua – Centro Interpretativo do Vale do Tua.



Figura A4.2 – Travessas existentes na Linha do Tua – via estreita (bitola 1000 mm).