



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Miguel Ângelo Gomes Barroso

ESTUDO DE SOLUÇÕES DE REUTILIZAÇÃO,
RECICLAGEM OU TRANSFORMAÇÃO DE RESÍDUOS
PROVENIENTES DA MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO
DE INFRAESTRUTURAS FERROVIÁRIAS

Dissertação de Estágio Curricular no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil,
na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,
orientada pelo Professor Doutor Adelino Jorge Lopes Ferreira e apresentada ao
Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Coimbra

Setembro de 2022

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

Miguel Ângelo Gomes Barroso

ESTUDO DE SOLUÇÕES DE REUTILIZAÇÃO, RECICLAGEM OU TRANSFORMAÇÃO DE RESÍDUOS PROVENIENTES DA MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS FERROVIÁRIAS

**Study of reusing, recycling, or transformation solutions of waste materials generated
from the railway infrastructures maintenance and rehabilitation**

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

Este Relatório de Estágio Curricular 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.

setembro de 2022



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

AGRADECIMENTOS

O presente relatório de estágio representa a conquista de mais um objetivo de vida a que me propus. Tenho a agradecer a todos aqueles, que ao longo do meu percurso, demonstraram o seu apoio e contribuíram para o alcançar deste sonho. A vós o meu muito obrigado.

Começo por agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Adelino Jorge Lopes Ferreira, por toda a disponibilidade que demonstrou, pela sua dedicação em esclarecer dúvidas e por todos os conhecimentos transmitidos.

Agradeço à Infraestruturas de Portugal por esta oportunidade, pelo apoio demonstrado, por me dar a conhecer o sector ferroviário, as empresas e as pessoas, e por toda a informação disponibilizada. Em particular, ao Engenheiro João Cabral, gestor da unidade de Via e Geotecnia do Centro, pela sua orientação na empresa, pela acessibilidade e pela disponibilidade para acompanhar este projeto. Às pessoas com quem partilhei o meu dia a dia, ao Engenheiro Rui Raposo, por todos os seus conhecimentos e ajuda, pela disponibilização constante de informação e por me permitir acompanhar todos os trabalhos e deslocações. Ao Engenheiro Rui Lopes, por toda a ajuda, pelos esclarecimentos, pelos documentos providenciados e pela disponibilidade. Ao técnico de exploração Jorge Oliveira, por me permitir acompanhar os trabalhos e deslocações que valorizaram este relatório. Aos restantes funcionários com quem privei, agradeço todas as conversas e conhecimentos transmitidos.

Ainda no seio da IP, quero agradecer às equipas com quem privei. Ao Departamento de Compras e Logística, por me terem recebido e apresentado os procedimentos relativos aos materiais presentes no Complexo Logístico do Entroncamento. Ao Departamento de Ambiente e Sustentabilidade, pela informação relativa ao levantamento de materiais de toda a rede ferroviária nacional. Aos trabalhadores da IP que acompanhei nos vários trabalhos, à Equipa de recargas, à Equipa de Manutenção de via e a todas as outras que se mostraram disponíveis para colaborar.

Por último, o meu obrigado mais importante, a toda minha família, a quem dedico este meu trabalho. À minha mãe e à minha irmã pelos esforços constantes que me permitiram alcançar este feito, pela educação e valores, pelo apoio, pelo suporte e pelo amor. Ao meu pai, que contribuiu para tudo isto, mas não pode partilhar este momento. Aos meus avós, que foram um pilar fundamental na minha educação. Aos meus padrinhos pelo suporte nas adversidades e orientação. E por fim, aos melhores, aos meus sobrinhos, Duarte e Tomás, pela alegria, pelas brincadeiras e pelos risos. Obrigado!

RESUMO

O sector ferroviário é um agente ativo na evolução da sociedade e do território. Foi e continua a ser, um meio de ligar destinos e ligar pessoas. Apesar do desinteresse e do desinvestimento observado no século passado, em detrimento do avião e do automóvel privado, tem-se verificado nos últimos anos a inversão de papeis, com a ferrovia a ser financiada e incentivada.

Para o utilizador, as variáveis de decisão para a escolha do transporte a utilizar são naturalmente o custo associado, o tempo gasto, a qualidade, o conforto e a segurança do transporte, sendo o prestador de serviços responsável por cumprir estes requisitos. Exemplo desta preocupação é o Programa Nacional de Investimentos 2030 (PNI2030), onde a ferrovia é o sector que adquire maior investimento e maior número de projetos, nomeadamente a construção de novas linhas, a modernização e eletrificação de outras e a aquisição de novo material circulante.

Na restante extensão da rede ferroviária, estes objetivos são atingidos graças às operações de manutenção efetuadas. A manutenção desempenha por isso um importante papel neste sector. Graças ao seu carácter preventivo e periódico, permite manter os níveis de qualidade, de segurança e de conforto desejáveis, enquanto a sua programação permite realizar as operações no momento certo, tirando o máximo proveito dos materiais e reduzindo os custos associados.

Sempre que necessário, durante as ações de manutenção ou reabilitação, procede-se ao levantamento de material de via. Estes elementos encontram-se em diferentes estados de conservação, muitas vezes sem possibilidade de serem reaplicados na ferrovia, sendo considerados resíduos, acarretando encargos financeiros e logísticos para os gestores ferroviários. No entanto, existe atualmente a migração para o conceito de Economia Circular, onde se prioriza a valorização dos materiais usados. Desta forma, os materiais conservam valor durante todo o seu ciclo de vida, sendo incentivada a sua utilização em funções distintas da original, e assim, a sua valorização.

O presente estágio foi realizado na empresa Infraestruturas de Portugal (IP), responsável pela gestão da rede ferroviária nacional, e visa o estudo de soluções de valorização para os diferentes materiais levantados da ferrovia, procedendo à sua inclusão na Economia Circular. Tendo em conta as propriedades únicas de cada material, o seu estado de conservação e a sustentabilidade das opções em análise, o presente documento culmina na exposição das soluções consideradas mais vantajosas para o sector e para a sociedade.

Palavras-chave: Infraestrutura Ferroviária, Economia Circular, Manutenção, Reabilitação, Valorização, Materiais da Ferrovia, Resíduos.

ABSTRACT

The railway sector had an active role on the society and land use evolution. It was and continues to be, a mean to connect places and connect people. Regardless of the indifference and lack of investment during the previous century, in behalf of the airplane and the private car, there's been noticed a shift on this matter, whit the railway being financed and stimulated.

To the user, the decision-making factors for selecting a mean of transportation are naturally the associated travel cost, the time spent, the quality, the comfort, and the security, being the service provider responsible for fulfilling this requirement. An example of this concerns, it's the national investments program for 2030 (Programa Nacional de Investimentos 2030, PNI2030), where the railway gets the biggest investment and biggest projects quantity, namely trough the construction of new railway lines, the upgrade and electrification of some others and the acquisition of a new rolling stock.

On the remainder rail network, these targets are accomplished thanks to the maintenance operations carried. For this reason, maintenance plays a key role on this sector. Thanks to its preventive and periodical nature, allows to maintain the desired quality, comfort, and security levels, while its scheduling allows to perform the work at the right moment, taking advantage of the material and reducing the associated costs.

Where required, during the maintenance and rehabilitation operations, the railway components shall be removed from site. These elements are found in different conservation status, frequently without the necessary conditions to be applied in the railway, being rated as waste, representing financial and logistic burdens to the railway managers. However, there currently exists a progression towards the Circular Economy concept, where the material's recovery is prioritized. Therefore, the material keeps its value during its whole life cycle, being boosted its application in roles apart from the original.

The present internship was carried in the company Infraestruturas de Portugal (IP), responsible for managing the national rail network, and its objective is the study of recovery solutions for the different materials retrieved from the rail line, including them in the Circular Economy concept. Considering the unique properties of each material, its conservation status and the sustainability of the analyzed options, this document ends whit the exposure of the solutions considered more favorable to the sector and to society.

Keywords: Railway Infrastructure, Circular Economy, Maintenance, Rehabilitation, Recovery, Railway Materials, Waste.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Estrutura da Dissertação.....	3
2	INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL.....	5
3	ESTRUTURA E PARÂMETROS DA VIA-FÉRREA	9
3.1	Introdução.....	9
3.2	Superestrutura.....	10
3.2.1	Carril	10
3.2.2	Elementos de fixação	13
3.2.3	Travessas	14
3.2.4	Balastro	18
3.3	Subestrutura.....	19
3.4	Parâmetros Geométricos de Via-férrea	20
3.4.1	Bitola.....	20
3.4.2	Nivelamento transversal.....	21
3.4.3	Nivelamento longitudinal.....	21
3.4.4	Alinhamento	22
3.4.5	Empeno	22
3.4.6	Tolerâncias dos Parâmetros Geométricos de Via.....	23
3.5	Operações de Manutenção	26
4	A ECONOMIA CIRCULAR.....	28
4.1	Introdução.....	28
4.2	Legislação e Planeamento	29
4.3	Processos de Encaminhamento dos Materiais Retirados da Via	31
4.3.1	Levantamento dos materiais da via-férrea	31
4.3.2	Encaminhamento dos materiais	33
4.3.3	Condições de reutilização	34
4.3.4	Alienação dos materiais	35
4.4	O Balastro.....	36
5	REVISÃO DE CONHECIMENTOS	38
5.1	Introdução.....	38
5.2	Carril	38

5.3	Travessas de madeira	40
5.4	Travessas de betão	41
5.5	Balastro	42
6	VALORIZAÇÃO DOS MATERIAIS DE VIA CONSIDERADOS RESÍDUOS	44
6.1	Introdução.....	44
6.2	Quantificação dos Materiais Considerados Resíduos na IP.....	46
6.2.1	Carril	47
6.2.2	Travessas de madeira	47
6.2.3	Travessas de betão	47
6.2.4	Balastro	48
6.3	Estudo das Soluções.....	48
6.3.1	Carril	48
6.3.2	Travessas de madeira	53
6.3.3	Travessas de betão	57
6.3.4	Balastro	65
6.4	Proposta de Soluções	71
6.4.1	Carril	72
6.4.2	Travessas de madeira	73
6.4.3	Travessas de betão	74
6.4.4	Balastro	75
7	CONCLUSÕES E POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS	77
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Organograma geral da empresa Infraestruturas de Portugal (IP, 2015)	5
Figura 2.2 - Organograma da Direção de Gestão da Rede Ferroviária (IP, 2015)	6
Figura 2.3 - Indicadores de desempenho (IP@2022)	7
Figura 2.4 - Indicador de desempenho da rede ferroviária em 2021 (IP@2022)	8
Figura 3.1 – Esquema estrutural da via balastrada (adaptado FERNAVE, 2003)	9
Figura 3.2 - Secção transversal de Carril (FERNAVE,2003)	11
Figura 3.3 - Comparação entre Barra Curta e Barra Longa Soldada (FERNAVE, 2003)	12
Figura 3.4 - Sistemas de fixação: RNP; Nabla; Pandrol; Vosschol. (adaptado de Leite, 2017)	13
Figura 3.5 - Travessa Bibloco (FERNAVE, 2003)	16
Figura 3.6 - Travessa Monobloco (FERNAVE, 2003)	16
Figura 3.7 - Travessas de material compósito aplicadas na Linha do Leste	17
Figura 3.8 - Bitola pontual (IP, 2017)	21
Figura 3.9 - Nivelamento transversal (IP, 2017)	21
Figura 3.10 – Nivelamento longitudinal (IP, 2017).	22
Figura 3.11 – Alinhamento (IP, 2017).	22
Figura 3.12 – Empeno (IP, 2017).	23
Figura 4.1 - Conceito de Economia Circular (UIC,2021)	28
Figura 4.2 - Hierarquia de resíduos (UIC, 2021)	30
Figura 4.3 - Montagem de AMV nas instalações da Futrifer	35
Figura 4.4 - Trabalho de desguarnecimento mecânico na Linha da Beira Baixa	37
Figura 5.1 - Ciclo de vida do aço (WSA, 2015)	39
Figura 5.2 - Origem e aplicações do balastro na Europa (UEPG, 2018)	42
Figura 6.1 - Geração de resíduos na Europa (Eurostat@2022)	44
Figura 6.2 - Tratamento de resíduos segundo o tipo de valorização e eliminação na Europa em 2018 (Eurostat, 2020)	45
Figura 6.3 - Processos de produção do aço (WSA, 2015)	49
Figura 6.4 - Potencial de aquecimento global de alguns produtos de aço (WSA, 2020)	51
Figura 6.5 - Contribuição do ciclo de vida do aço nas categorias analisadas (adaptado de WSA, 2020)	52
Figura 6.6 - Fluxo de Gases de Efeito de Estufa consoante a fase de vida (Bolin, 2010)	54
Figura 6.7 - Propostas para a minimização dos problemas com a queima de resíduos de madeira (Humar et al., 2006)	55
Figura 6.8 - Processos termoquímicos da conversão da biomassa (Silva, 2021)	55

Figura 6.9 - Reaplicação de travessas monobloco em muros de suporte (Ignea et al., 2013)	58
Figura 6.10 - Esquema representativo das zonas de interação do betão reciclado (Veriana et al., 2018)	61
Figura 6.11 - Resistência à compressão em cilindros aos 28 dias (adaptado Pedro et al., 2014)	62
Figura 6.12 – Resistência à compressão do betão de agregados reciclados, RC, em comparação ao betão convencional, CC, aos 28 dias (Andreu e Miren, 2014)	62
Figura 6.13 – Contribuição da utilização dos agregados reciclados, RAC, a 50 % ou 100%, no impacte ambiental em diferentes categorias, em comparação com o betão convencional, RC (Kadawo et al., 2022)	64
Figura 6.14 - Chave de classificação do grau de contaminação ambiental de balastros (APA, 2021)	66
Figura 6.15 - Resistência ao corte do balastro sob diferentes forças normais (Jia et al., 2019)	69

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668 mm e 1435 mm – tolerâncias de alerta (adaptado de IP, 2017).	24
Quadro 3.2 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668 mm e 1435 mm – tolerâncias de intervenção (adaptado de IP, 2017).	25
Quadro 3.3 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668 mm e 1435 mm – ação imediata (adaptado de IP, 2017).	25
Quadro 4.1 - Rendimentos com a venda de resíduos em 2021(IP, 2021d)	36
Quadro 6.1 - Mapa de controlo de materiais levantados de via no 1º trimestre de 2022 (IP)	46
Quadro 6.2 - Taxa de Gestão de Resíduos em aplicação (APA@2022)	57
Quadro 6.3 - Matriz de decisão para ensaios ao balastro (APA, 2021)	67

ABREVIATURAS

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
AV	Aparelho de Via
AMV	Aparelho de Mudança de Via
BC	Barra Curta
BLS	Barra Longa Soldada
CCV	Custos por Ciclo de Vida
CLE	Complexo Logístico do Entroncamento
CP	Comboios de Portugal
DEC	Departamento de Engenharia Civil
ECHA	European Chemicals Agency (Agência Europeia das Substâncias Químicas)
EN	Norma Europeia
EP, SA	Estradas de Portugal, SA
EUROFER	European Steel Association (Organização Europeia de Aço)
FCTUC	Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra
GIF	Gestores de Infraestruturas Ferroviárias
IET	Instrução de Exploração Técnica.
ITV	Instrução Técnica de Via
IP	Infraestruturas de Portugal, S.A.
MC	Manutenção Corretiva
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
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
UE	União Europeia
UEPG	European Aggregates Association (Associação Europeia de Produtores de Agregados)
UIC	União Internacional de Caminhos de Ferro
UN	United Nations (Nações Unidas)
WSA	World Steel Association (Associação Mundial de Aço)

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O meio de transporte ferroviário foi criado no século XIX, mas tem vindo a perder competitividade para outros meios de transporte, devido à proliferação do automóvel e da aviação, modos mais rápidos e acessíveis, no caso dos veículos privados. No entanto, o sector ferroviário sobreviveu e actualmente é foco de grande evolução (Dantas, 2014).

Esta evolução deve-se à mudança das políticas dos transportes, com os governos, incluindo Portugal, a priorizar o desenvolvimento do sector ferroviário, ambientalmente mais sustentável, após longos períodos de desinvestimento. Por esta razão, o principal objetivo dos gestores ferroviários é tornar esta oferta competitiva, de forma a aumentar a procura por parte dos utilizadores. Este objetivo apenas pode ser cumprido com a melhoria do serviço prestado, através do aumento da oferta, da diminuição dos custos e dos tempos de viagem das deslocações, acompanhados por melhorias na qualidade, no conforto e principalmente na segurança das viagens.

Estas metas são repartidas entre os gestores e os operadores ferroviários. Os operadores são responsáveis pela qualidade dos veículos utilizados, vistos pela sociedade como a principal componente deste sistema, devendo ser atrativos e modernos, nomeadamente mais cómodos, rápidos e seguros. No entanto, para que os veículos atinjam o seu desempenho máximo, o nível de qualidade da infraestrutura deve ser compatível, ser bem dimensionada e encontrar-se em bom estado de conservação.

A manutenção dessa qualidade é responsabilidade do gestor ferroviário. Actualmente, o sector desempenha o conceito de manutenção preventiva e periódica, cumprindo altos requisitos de segurança ao mesmo tempo que reduz custos e perturbações no serviço (Silva, 2012). Em consequência destas operações de manutenção, são retiradas de via grandes quantidades de material, sobretudo carris, travessas e balastro, em diferentes estados de conservação. Consoante as suas características, o material pode ser reutilizado na ferrovia, ou como material sem possibilidade de aplicação na rede ferroviária, sendo nestes casos classificado como resíduo. Apesar desta classificação e da falta de utilidade aparente na via-férrea, o material pode ainda reter algum valor e ser reaplicado ou transformado, por forma a ser utilizado com uma função diferente da original.

O presente relatório de estágio visa o estudo dessas soluções de valorização. O estágio foi realizado no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil, na área de especialização de Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, sob a orientação do Professor Doutor Adelino Ferreira, docente da instituição de ensino, e do Sr. Engenheiro João Cabral, gestor da unidade de Via e Geotecnia - Centro na Infraestruturas de Portugal, empresa onde se realizou o estágio.

O estágio teve uma duração de 4 meses, correspondendo a um período de 560 horas, tendo sido centralizado nas instalações do Centro Operacional de Manutenção - Centro da IP (COMC), no Entroncamento e teve por base um Protocolo celebrado entre a Infraestruturas de Portugal (IP) e a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC).

1.2 Objetivos

O presente relatório de estágio tem como principal objetivo o estudo de soluções de reutilização, de reciclagem ou de transformação de materiais, sem possibilidade de aplicação na rede ferroviária nacional e, como tal, considerados resíduos.

Com este estudo procura-se dar a conhecer as problemáticas relacionadas com a manutenção da via-férrea, as ações de manutenção realizadas, a necessidade de substituir o material de via e qual o destino possível para esse material. Entre as opções, encontram-se desde logo as diferentes soluções atualmente empregues pelos gestores ferroviários, nacional e internacionais, as alternativas conhecidas pelo sector, bem como soluções que ainda se encontram em fase de estudo ou pouco desenvolvidas.

O documento elucida o leitor sobre os diversos fatores que influenciam a escolha da solução a empregar, nomeadamente, a sua aplicabilidade em Portugal, os benefícios para a sociedade, o impacto ambiental e financeiro para a IP e as limitações características de cada opção. Tendo em consideração estes fatores, é discutida a viabilidade da aplicação das soluções e quais são consideradas mais vantajosas para o sector.

Desta forma, pretende-se criar um documento de apoio à decisão, que agregue todas as opções a considerar, as suas vantagens e estimule a escolha por soluções mais sustentáveis, de forma a maximizar as operações da economia circular existentes na IP e incentivar o modelo nas entidades externas, a fim de rentabilizar as operações e fornecer ao grupo IP uma rede de soluções de transformação de materiais.

A realização deste documento apenas foi possível graças à informação disponibilizada pela IP e pelos seus trabalhadores, aos conhecimentos transmitidos ao longo da componente prática deste estágio e pelas deslocações realizadas às instalações da empresa e ao terreno.

1.3 Estrutura da Dissertação

O presente trabalho está dividido em sete capítulos.

O primeiro capítulo corresponde à introdução, onde se procede ao enquadramento do tema, os objetivos que se pretendem adquirir com este estágio e define-se a estrutura deste relatório.

No segundo capítulo procede-se à apresentação da empresa onde se realizou o estágio curricular, a Infraestruturas de Portugal. Dá-se a conhecer a estrutura da empresa, a sua organização e apresentam-se os seus objetivos e missão. Dentro da empresa, exerce-se um foco progressivo com destino à unidade orgânica onde se efetivou o estágio, e quais as suas responsabilidades. Por fim descrevesse brevemente as características da rede ferroviária nacional e o seu estado de desempenho.

O terceiro capítulo aborda a constituição da estrutura da via-férrea, descrevem-se os elementos que a compõem, os materiais utilizados e as suas características. De seguida são abordados os diferentes parâmetros geométricos de via e expostas as suas tolerâncias, de acordo com os níveis de qualidade, conforto e segurança exigidos. Por último, apresentam-se os conceitos de manutenção praticados e as operações periodicamente realizadas, tendo algumas sido presenciadas durante o estágio.

No quarto capítulo, procede-se à descrição do conceito de Economia Circular e hierarquia de resíduos. Apresentam-se os procedimentos e as diretivas da IP neste domínio, bem como a legislação global sobre o tema, tanto europeia como nacional. Para cada tipologia de material de via, são expostas todas as etapas, tendo em conta o seu estado de conservação, desde o seu levantamento da via, o seu encaminhamento primário, as condições para a sua valorização e alienação.

No quinto capítulo realiza-se a revisão de conhecimentos, onde se dão a conhecer as soluções praticadas pelos gestores ferroviários a nível nacional e internacional, em especial nos países europeus, apresentam-se ainda outras soluções alternativas conhecidas, mas pouco aplicadas, e soluções recentes, ainda em fase de estudo ou implementação no sector ferroviário.

O sexto capítulo corresponde à análise das soluções de valorização segundo cada componente de via. No início do capítulo procede-se à recolha de informação e quantificação dos materiais usados detidos pela IP, onde foi possível agregar as quantidades do material de via levantado de toda a rede ferroviária nacional, no decorrer do primeiro trimestre de 2022. No subcapítulo seguinte, realizou-se o estudo das soluções de valorização de cada material, onde foram expostas as suas características, as vantagens e limitações da sua aplicação, bem como as recomendações fornecidas pela literatura. Esta secção foi fortemente desenvolvida segundo a literatura consultada, sobretudo estudos académicos concentrados num único material ou aplicação e em relatórios e informação disponibilizada por gestores ferroviários europeus e associações do sector dos materiais. Por fim, tendo em conta toda a informação, são propostas as soluções consideradas mais vantajosas e a sua justificação.

Por último, no capítulo final são apresentadas as conclusões do documento, sendo sugeridos alguns desenvolvimentos futuros.

2 INFRAESTRUTURAS DE PORTUGAL

A Infraestruturas de Portugal, S.A. resulta da fusão, por incorporação, na Rede Ferroviária Nacional – REFER, EPE, da EP – Estradas de Portugal, S.A., consagrada a 1 de junho de 2015 e em conformidade com o Decreto-Lei n.º 91/2015 de 29 de maio (IP@ 2022).

A gestão das infraestruturas rodoviária e ferroviária passou assim a ser da responsabilidade de uma única empresa, tendo por objetivo uma melhor organização da rede de transportes, a potenciação de uma maior complementaridade entre os modos de transporte rodoviário e ferroviário, tendo sustentabilidade financeira.

Estes objetivos são da máxima importância, na medida em que a IP consiste numa empresa pública, cujo único acionista é o Estado Português, tutelada atualmente pelo Ministério das Infraestruturas e Habitação e do Ministério das Finanças. A Infraestruturas de Portugal é uma empresa dos portugueses ao serviço dos portugueses, regida pelos valores da ética, da segurança e da sustentabilidade económica, social e ambiental (IP@ 2022).

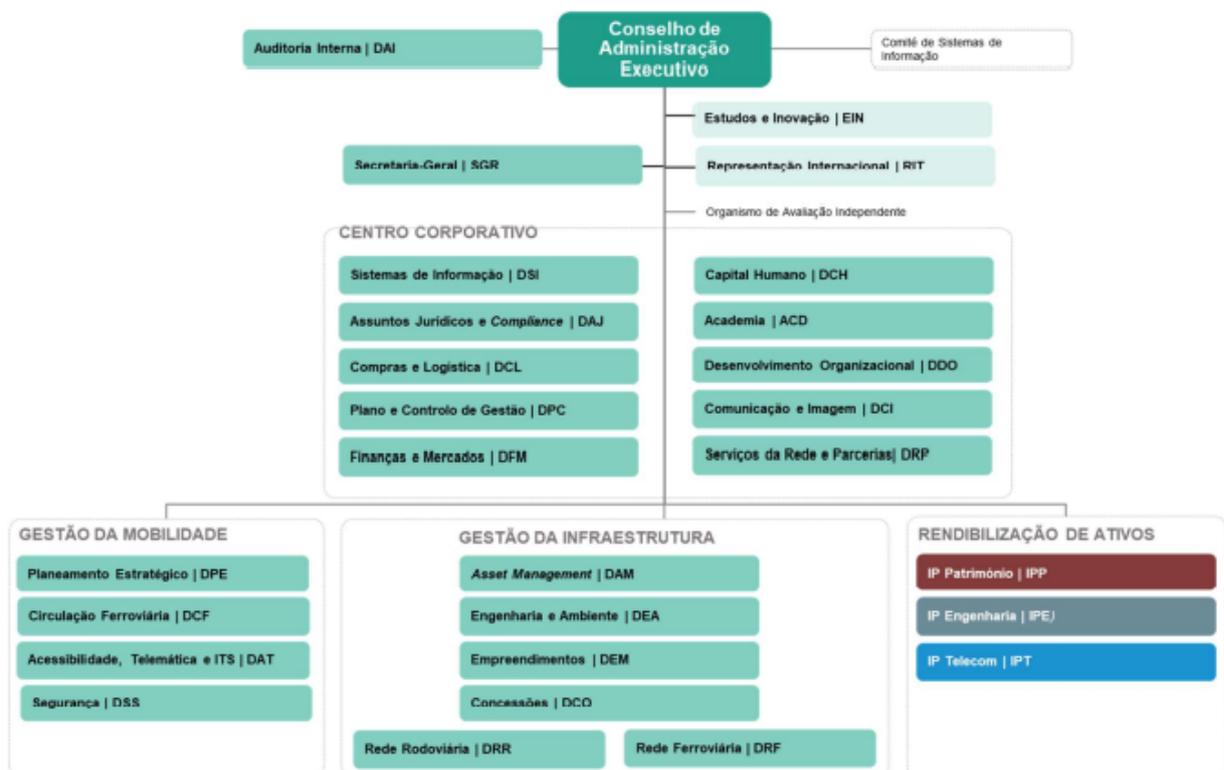


Figura 2.1 – Organograma geral da empresa Infraestruturas de Portugal (IP, 2015)

A IP detém participação no capital social de três empresas, que visam rentabilizar as atividades secundárias do grupo: IP Engenharia, IP Património e IP Telecom. O conjunto destas quatro empresas é denominado por Grupo IP (Figura 2.1).

O Grupo IP é responsável pelo bom desempenho das infraestruturas rodoviária e ferroviária nas vertentes de conceção, projeto, construção, financiamento, conservação, exploração, requalificação, alargamento e modernização das redes rodoviária e ferroviária nacional, incluindo-se, nesta última, o comando e o controlo da circulação (IP@ 2022).

A IP contempla três níveis hierárquicos:

- i) Unidade orgânica de nível 1 (UO 1) – Direção;
- ii) Unidade orgânica de nível 2 (UO 2) – Departamento;
- iii) Unidade orgânica de nível 3 (UO 3) – Unidade.

O presente estágio realizou-se na Unidade de Via e Geotecnia – Centro (VGC), pertencente ao Centro Operacional de Manutenção – Centro (COMC), que depende diretamente da Direção de Rede Ferroviária (DRF) (Figura 2.2).

A DRF é responsável por gerir a RFN de forma integrada e assegurar a sua manutenção e reabilitação, garantindo uma infraestrutura segura e sustentável, cumprindo os níveis de serviço previstos. São diretamente dependentes da DRF os três COM (Norte, Centro e Sul) que dividem a RFN em três regiões, tendo como objetivo a garantia da execução das atividades de manutenção e reabilitação.

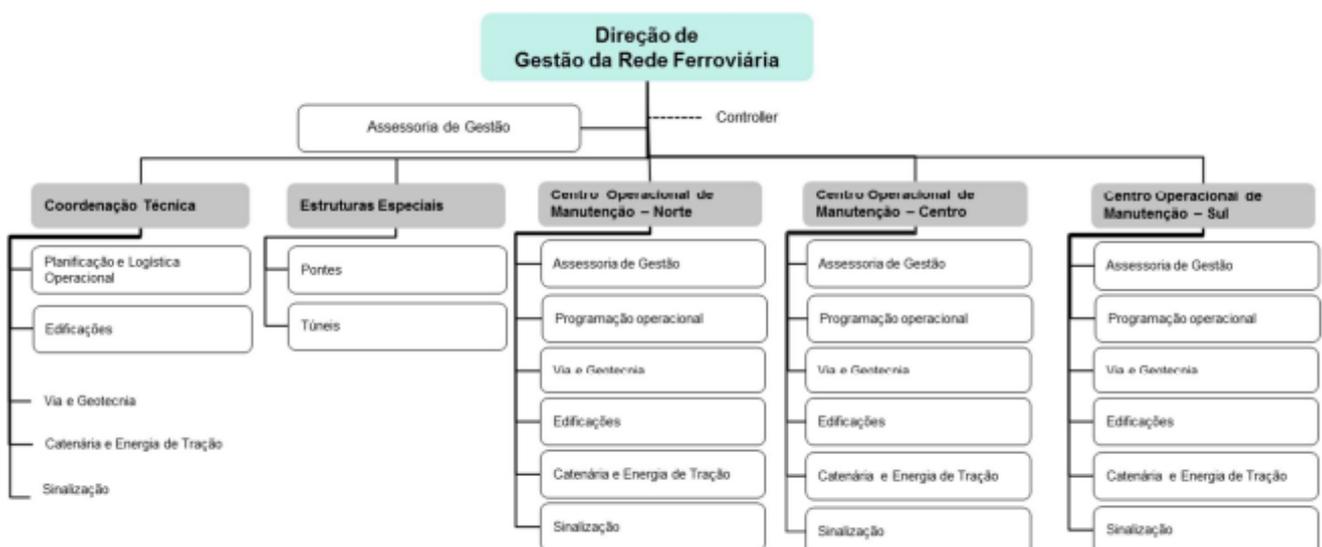


Figura 2.2 - Organograma da Direção de Gestão da Rede Ferroviária (IP, 2015)

Tal como os restantes, o COMC engloba as especialidades técnicas de Edificações (EDC), Catenária e Energia de Tração (CEC), Sinalização (SLC) e a VGC, unidade responsável por todas as funções do COMC na área de Via e Geotecnia, nomeadamente (IP, 2015):

- i) Gerir os contratos de manutenção de via e geotecnia;
- ii) Programar e executar a inspeção de rotina de via e geotecnia;
- iii) Programar e executar/fiscalizar a manutenção de via e geotecnia;
- iv) Programar os materiais necessários à execução das ações de manutenção e reabilitação de via e geotecnia;
- v) Analisar as anomalias e falhas na via, implementando as adequadas medidas preventivas e corretivas.

O presente estágio curricular foi realizado no COMC, no centro de trabalho do Entroncamento da VGC, responsável na área de Via e Geotecnia pela Linha do Norte, entre o PK 70+250 e o PK 147+000, pela Linha da Beira Baixa, entre o PK 106+858 e o PK 134+919 (Segmento Entroncamento-Abrantes), e pelo Ramal de Tomar.

A IP é responsável por gerir 2.526 km de via-férrea, dos quais 1.791 km são eletrificados, 2.000 obras de arte na rede ferroviária e 465 estações com serviços ferroviários, a maior parte encontrando-se em bom ou razoável estado de condição (IP@ 2022).

O grupo IP classifica o estado de condição da infraestrutura ferroviária segundo quatro níveis qualitativos a que corresponde um indicador de desempenho, numa escala continua de 0 a 8 (Figura 2.3). No ano de 2021, houve uma melhoria deste indicador para 5,02, existindo ainda 5,5% da rede em estado insatisfatório, indiciando a necessidade de investimento (Figura 2.4). Os indicadores de desempenho devem melhorar substancialmente com a conclusão dos investimentos previstos na Ferrovia 2020 e mantidos elevados através das operações de manutenção (IP@ 2022).

Estado de Condição	Indicador de Desempenho (ID)	Descrição
Bom	6,00 a 8,00	Adequado para longo prazo
Razoável	4,00 a 5,99	Adequado para médio prazo
Requer Atenção	2,00 a 3,99	Adequado para curto prazo
Insatisfatório	0,00 a 1,99	Necessita Investimento

Figura 2.3 - Indicadores de desempenho (IP@2022)

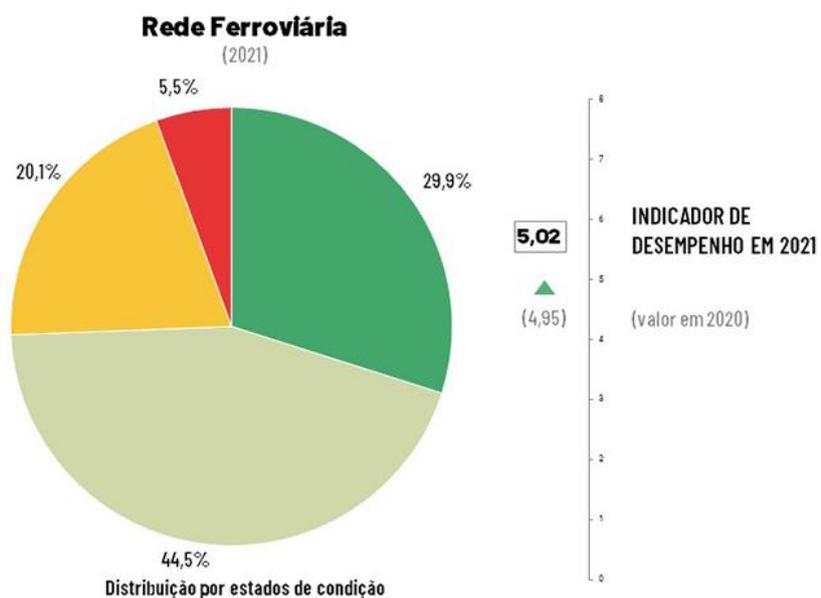


Figura 2.4 - Indicador de desempenho da rede ferroviária em 2021 (IP@2022)

3 ESTRUTURA E PARÂMETROS DA VIA-FÉRREA

3.1 Introdução

A função de uma via de caminho de ferro é proporcionar a circulação ferroviária de uma forma segura, económica e confortável (Fortunato, 2005). A via-férrea é um sistema complexo, sendo definida como o conjunto de elementos responsáveis pelo encaminhamento dos veículos ferroviários, por receber e transmitir as cargas atuantes ao solo (Dantas, 2014).

Existem três categorias de soluções para a conceção de uma via-férrea (Moreira, 2014): i) via balastrada – solução tradicional e a mais utilizada; ii) via não balastrada – utilizada em alguns túneis e pontes da RFN; iii) via de apoio misto. Este documento incide apenas sobre a via balastrada, uma vez que esta é a solução existente em maior extensão na RFN, sob gestão da IP.

A via balastrada possui diversas vantagens, desde logo a sua construção rápida e com custos considerados baixos. Paralelamente, esta solução sofre maiores deslocamentos e assentamentos dos seus elementos, pelo que tem grande necessidade de ações de manutenção. No entanto, estas intervenções são mais rápidas e simples, em especial no que diz respeito à correção das degradações da geometria da via e dos assentamentos. Permite também a redefinição do traçado com maior facilidade e usufrui da vasta experiência e evolução desde o início da sua utilização (Oliveira, 2012).

A via balastrada divide-se em duas partes (Figura 3.1):

- i) superestrutura – que engloba os carris, os elementos de ligação, as travessas e o balastro;
- ii) subestrutura – que compreende o sub-balastro e a fundação.

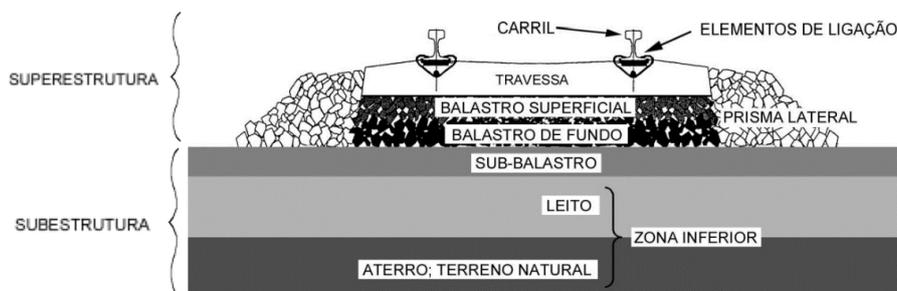


Figura 3.1 – Esquema estrutural da via balastrada (adaptado FERNAVE, 2003)

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 que o conjunto seja estável, resiliente, evite deformações permanentes significativas ao nível dos carris e o desgaste dos componentes (Fortunato, 2005). Desta forma, para o bom funcionamento global do sistema, importa compreender e assegurar a função de cada elemento da via.

3.2 Superestrutura

A função da superestrutura é assegurar a circulação ferroviária, suportar e encaminhar os esforços atuantes para a subestrutura. É formada pelos carris, elementos de ligação e fixação, travessas e balastro, todos eles sujeitos à degradação inerente à normal circulação das composições.

O nível de deterioração da via depende diretamente da frequência de utilização da linha, da carga transportada, da velocidade adotada, das condições climáticas, da estabilidade comportamental da infraestrutura e da qualidade dos materiais. Estes fatores devem constituir os critérios de base para a escolha dos vários constituintes da via-férrea (Carvalho, 2020).

3.2.1 Carril

Os carris são elementos longitudinais em aço e são considerados o principal elemento da via férrea. Têm como função guiar o material circulante, suportar e transmitir as cargas às travessas e são responsáveis pelo retorno da corrente de tração e de sinalização (Fernandes, 2011).

A secção transversal do carril é uma peça única dividida em cabeça, alma e patilha (Figura 3.2). Os carris são caracterizados pelo seu peso por metro de comprimento, sendo os mais utilizados na Europa o carril vignole UIC54 e UIC60, de 54 kg/m e de 60 kg/m respetivamente (Valente, 2014). Em Portugal, em linhas recentemente modernizadas, como a quase totalidade da Linha do Norte, e correntemente em modernização, como a Linha da Beira Alta, é utilizado o carril UIC 60. Em linhas menos recentes, como a Linha da Beira Baixa e a Linha do Leste é ainda usado o carril UIC 54. Carris de menor peso por metro já não são utilizados em plena via, sendo apenas empregues em vias secundárias de algumas estações.

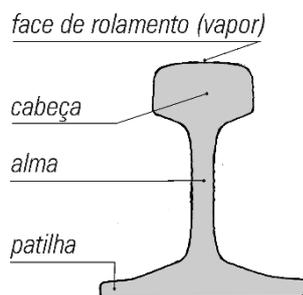


Figura 3.2 - Seção transversal de Carril (FERNAVE,2003)

Estes elementos devem apresentar uma superfície de rolamento lisa, de modo a permitir a circulação segura e confortável. Os carris são os primeiros elementos a receber as cargas aplicadas pelos rodados das composições, pelo que têm de funcionar como vigas para as transmitir às travessas, as quais funcionam como apoios, sem flexão excessiva (Moreira, 2014). Cada zona da secção transversal deve obedecer a critérios a fim de assegurar a segurança e o conforto das composições. A cabeça do carril deve ser maciça para que o desgaste não afete o momento de inércia da secção. A alma deve cumprir uma espessura mínima de modo a garantir uma resistência e rigidez transversal adequada e a patilha não deve ser muito esbelta, para garantir que a alma permaneça perpendicular à travessa durante as solicitações transversais, evitando assim deformações permanentes (Leite, 2017). O aumento da altura dos carris proporciona-lhes uma maior rigidez de flexão, o que lhes permite distribuir a carga por um maior número de travessas, reduzindo assim o assentamento das travessas e a solicitação sobre as camadas de apoio (Fortunato, 2005).

As ligações entre carris podem ser aparafusadas, utilizando barretas, ou através de soldaduras, utilizando barras longas soldadas (Figura 3.3). Em ligações aparafusadas, na zona de ligação dos carris, existe uma pequena descontinuidade que provoca o desgaste progressivo do topo dos carris com a sucessiva passagem dos veículos ferroviários, provocando a diminuição do conforto dos passageiros e da segurança, sendo por vezes necessário limitar a velocidade permitida no troço. É também esta singularidade que origina o tradicional e familiar som atribuído ao modo ferroviário, originando também problemas relacionados com o ruído.

Usando barra longa, a ligação entre os carris é realizada por soldadura, originando barras com pelo menos 300 metros de comprimento. Desta forma são eliminadas as descontinuidades e diminuem as operações de manutenção. Por outro lado, o carril de barra longa exige um maior investimento inicial e está sujeito a esforços internos consideráveis devido às variações de temperatura, tornando mais difícil a substituição dos elementos da superestrutura (Fortunato, 2005).

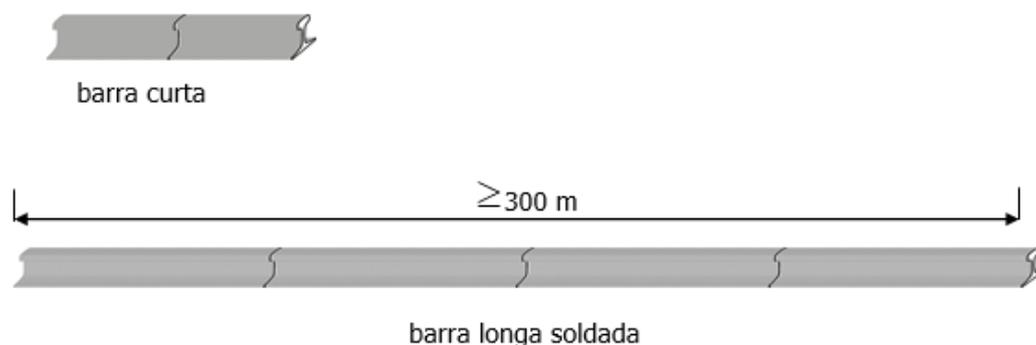


Figura 3.3 - Comparação entre Barra Curta e Barra Longa Soldada (FERNAVE, 2003)

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 climatéricas instáveis (Mourão, 2017).

Durante as operações de fiscalização e manutenção de via são detetados defeitos, nomeadamente nas barras de carril. Nas deslocações ao terreno no âmbito deste estágio foi possível observar e sentir estes defeitos (Mourão, 2017):

- i) Desgaste lateral - provocado pelos rodados com maior prevalência na fila alta do carril;
- ii) Desgaste da superfície de rolamento - devido à sucessiva passagem de veículos;
- iii) Ondulação na mesa de rolamento - com origem nos fenómenos de ressonância e provocados pelas composições;
- iv) Esmagamento da cabeça do carril – devido ao excesso de carga sobre o carril;
- v) Esmagamento da face interna do carril - ocorre em zonas de curva;
- vi) Defeitos de soldadura - devido à má execução ou fraca qualidade dos materiais;
- vii) Fissurações - geradas na fase de execução do carril ou devido às ações climáticas e às cargas dinâmicas.

3.2.2 Elementos de fixação

Os elementos de fixação devem assegurar a ligação adequada dos carris às travessas, transmitindo dessa forma as cargas, enquanto garantem os valores da bitola e da inclinação do carril. Devem ainda atenuar as vibrações provocadas pela circulação de veículos (Leite, 2017).

Existem dois tipos distintos de fixação - rígida ou elástica - distinguindo-se segundo a sua capacidade de absorver constantes deformações (Mourão, 2017).

A fixação rígida era utilizada apenas em travessas de madeira e não tem capacidade de se adaptar a essas deformações. Neste sistema, a pregação é feita utilizando tirafundos, que apertam diretamente sobre a patilha do carril e geralmente são utilizados chapins metálicos como apoio entre a travessa e o carril, de modo a proteger a madeira do desgaste mecânico.

Actualmente, os sistemas de fixação rígida são apenas utilizados em caso de acidente. Desta forma, são utilizados os sistemas elásticos, uma vez que garantem o aperto permanente do carril e a elasticidade vertical adequada à via (Valente). Em travessas de betão apenas é permitida a utilização destes elementos, pois os pequenos impactos ocorridos podem danificar as travessas (Falcão, 2013). Existem vários modelos de fixação flexível, sendo os mais utilizados na RFN os sistemas Vossloh, Nabla e RNP/PRX (Figura 3.4).

Em sistemas elásticos são utilizadas palmilhas, elementos resilientes entre o carril e a travessa, que têm como função amortecer as vibrações provocadas pelas rodas, promover o apoio adequado do carril, reduzir o atrito entre o carril e a travessa, promover o isolamento elétrico dos circuitos da via e proteger as travessas de desgaste e danos por impacto (Silva, 2012).

Os principais problemas das ligações verificados na via são a danificação da fixação ou de um dos seus componentes, o alívio no aperto, devido à degradação e à vibração provocada pela passagem do material circulante, e a deslocação das palmilhas.

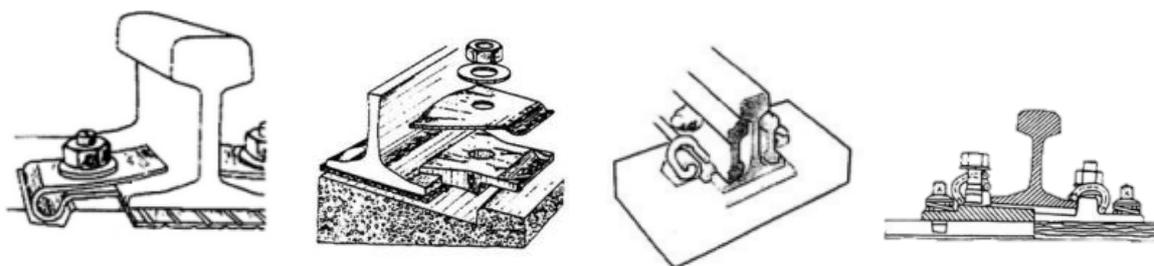


Figura 3.4 - Sistemas de fixação: RNP; Nabla; Pandrol; Vossloh. (adaptado de Leite, 2017)

3.2.3 Travessas

As travessas são o elemento intermédio da superestrutura, entre os carris e a camada de balastro. São responsáveis por receber e transmitir esforços à camada de balastro, manter a bitola da via, assegurar a inclinação dos carris, promovendo o contacto eficiente do sistema roda-carril, e restringir os movimentos vertical, lateral e longitudinal do carril através do encastramento no balastro (Valente, 2014).

Os parâmetros mais importantes de uma travessa são as suas dimensões, em particular a área de contacto responsável por reduzir as tensões transmitidas à camada de balastro, e o seu peso, que assegura uma maior estabilidade longitudinal e transversal da via. De igual forma, também o espaçamento entre travessas consecutivas é importante, sendo geralmente de 60 cm entre os seus eixos (Fernandes, 2011).

Actualmente, existem quatro tipos diferentes de travessas, distinguindo-se pelo material que as constitui, podendo ser de madeira, de betão, metálicas ou de material compósito.

As travessas de madeira foram as primeiras a ser utilizadas, são de fácil fabrico e manuseamento, são mais flexíveis e asseguram um bom nivelamento devido à sua interação com o balastro (Luís, 2013). Por lado contrário, possuem baixa resistência lateral fruto do seu baixo peso, não garantem uma eficaz fixação dos carris e possuem uma vida útil curta (Fortunato, 2005).

As travessas de madeira mais utilizadas em Portugal são as de pinho, em plena via, e as de azobé, uma madeira mais dura, mais resistente e de maior longevidade, utilizadas por isso em aparelhos de via e pontes.

As patologias destas travessas são a sua combustão, sendo um alvo fácil à propagação de incêndios, a degradação por microorganismos, degradação da capacidade da fixação devido à sucessiva passagem dos comboios e destruição total ou parcial da travessa (Mourão, 2017).

No processo de fabrico, as madeiras recebem um tratamento por impregnação com Creosoto, de modo a protegê-las de ataques de insetos e evitar a podridão da madeira, o que permite aumentar a sua vida útil (Falcão, 2013).

O creosoto é uma substância cancerígena a todos os níveis e significativamente prejudicial para o ambiente, encontrando-se a sua utilização pelo público em geral proibida desde 2003. A

Comissão Europeia endureceu as regras através da Directiva 2011/71/EU de 26 de julho, transposta para a ordem jurídica nacional pelo Decreto-Lei n.º 154/2012 de 16 de julho, inclui o creosoto na Lista de substâncias ativas cujos requisitos para inclusão em produtos biocidas foram decididos a nível comunitário. Esta lista procede à identificação das substâncias ativas nela presentes como de baixo risco, estando os produtos biocidas que as contenham sujeitos a um processo de autorização simplificado. O documento estabelece ainda os requisitos e as condições para cada substância, nomeadamente restrições na utilização e na minimização de riscos.

Para serem incluídas nesta lista, as substâncias são submetidas a processos de inclusão e renovação periódica, a fim de incentivar os desenvolvimentos científicos e alternativas menos prejudiciais. A data de término da inclusão do creosoto nesta lista foi o dia 30 de abril de 2018, no entanto, em outubro de 2016 foi entregue uma proposta que visa a renovação da autorização do creosoto como produto de proteção da madeira. Este processo tem sofrido sucessivos atrasos devido à complexidade do problema, pois apesar de ser um produto cancerígeno, e dessa forma não ser elegível para renovação na lista, insere-se em algumas exceções, por não existir nenhum produto como alternativa viável. Esta questão levou à submissão por diversos países e entidades terceiras das suas opiniões e variados estudos, pelo que ainda não foi tomada nenhuma decisão, tendo o prazo limite sido sucessivamente estendido até dia 31 de outubro de 2022.

Desta forma, é previsível que a proibição da utilização do creosoto aconteça num futuro não muito distante, pelo que as travessas de madeira têm sido progressivamente substituídas por travessas de betão, estando o seu uso actualmente limitado a situações em que as travessas de betão não são adequadas ou viáveis, nomeadamente em pontes, aparelhos de via, em alguns troços de vias não renovadas, linhas de serviço ou estacionamento e de pouco tráfego em estações.

As **travessas metálicas**, em aço, surgiram no final do século XIX, mas com pouco sucesso. São de fácil manuseio devido ao seu baixo peso próprio, mas o seu formato dificulta o seu correto posicionamento. Para além disso são ruidosas, requerem um isolamento eléctrico especial, a sua conservação é difícil e são sensíveis ao ataque químico (Fortunato, 2005). Em Portugal não são utilizadas estas travessas, com exceção de casos muito pontuais, em escassos AMV onde é utilizada uma única travessa metálica na zona das varinhas do aparelho, com um formato específico para o local.

O avanço na tecnologia do betão e do pré-esforço impulsionou o uso de **travessas de betão** a partir de meados do século XX (Fortunato, 2005), sendo as mais utilizadas atualmente. Este tipo de travessa divide-se ainda em dois grupos, as travessas bibloco e as travessas monobloco,

em betão pré-esforçado. As travessas de betão apresentam como vantagens uma maior resistência mecânica, resistência a ações laterais e maior durabilidade, até 50 anos. Por outro lado, como desvantagens, apresentam maior dificuldade de manuseamento, fruto do seu peso próprio, maior fragilidade e maiores custos de produção e conservação (Fernandes, 2011).

As **travessas bibloco** (Figura 3.5) são constituídas por dois blocos nas extremidades, por debaixo dos carris, sendo esta zona a única que transmite as cargas do carril para o balastro (Falcão, 2013). Os dois blocos são unidos por um perfil de aço, designado de cantoneira, com função de tirante (Luís, 2013). Em comparação com as travessas monobloco, são mais leves e têm a vantagem de conseguirem mobilizar uma maior resistência lateral do balastro, pela existência de um maior número de superfícies de contacto entre a travessa e o balastro (Fernandes, 2011).

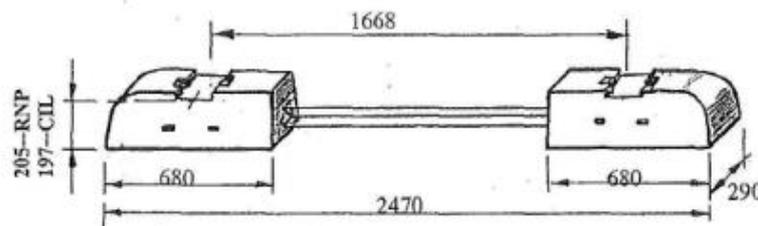


Figura 3.5 - Travessa Bibloco (FERNAVE, 2003)

As **travessas monobloco** são constituídas por um único bloco de betão pré-esforçado (Figura 3.6). Com a aplicação de pré-esforço e a redução da sua secção transversal a meio vão, o betão deverá estar sempre em compressão, ficando menos susceptível à fendilhação (Fernandes, 2011). Em comparação com as travessas bibloco, dispõem de uma vida útil mais extensa e são mais pesadas, conferindo uma maior estabilidade e resistência à via (Mourão, 2017).

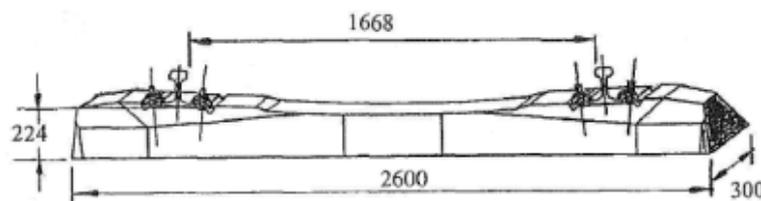


Figura 3.6 - Travessa Monobloco (FERNAVE, 2003)

Uma das patologias verificadas nas travessas de betão é a degradação do elemento, em especial a corrosão da cantoneira das travessa bibloco, sendo o ponto mais frágil a zona de ligação entre os blocos e a cantoneira. Nas travessas monobloco, a degradação não é tão acentuada, mas pode progredir significativamente caso, por qualquer motivo, as armaduras fiquem a descoberto.

Outra patologia passa pela degradação total das travessas, a separação dos blocos no caso das travessas bibloco ou a fácil fissuração das travessas monobloco quando sujeitas a momentos negativos (Fortunato, 2005).

As **travessas de material compósito** são na realidade uma mistura de plástico reciclado (polietileno) com borracha proveniente de pneus usados, aos quais são acrescentados aditivos com o objetivo de conferir-lhes determinadas propriedades, podendo eventualmente serem feitas através de misturas de polietileno e poliestireno (Falcão, 2013).

Por serem constituídas por polímeros apresentam uma grande durabilidade, 40 a 50 anos e reduzidas operações de manutenção. Fruto das suas propriedades, têm vindo a ser estudadas como alternativa às travessas de madeira, nomeadamente a resistência mecânica comparável. Apresenta ainda vantagens por serem totalmente recicláveis, terem boa absorção ao ruído, grande resistência à corrosão, serem eletricamente isoladas e possuírem elevada resistência aos esforços (Leite, 2017). Nos últimos anos têm sido feitos diversos estudos sobre estes elementos, existindo interesse por parte de vários países na sua implementação (Falcão, 2013).

Em Portugal, entre 2016 e 2019, foi realizado um projecto cofinanciado pelo Governo de Portugal e pela União Europeia, designado “ECO Sustainable Rail - Valorização de plásticos mistos no desenvolvimento de travessas de caminhos de ferro eco sustentáveis”. O projecto reúne em parceria a Infraestruturas de Portugal (IP), a empresa EXTRUPLÁS, o Polo de Inovação em Engenharia de Polímeros (PIEP) e o Centro para a Valorização de Resíduos (CVR). Este projeto tem como objetivo o desenvolvimento de uma nova travessa de caminho-de-ferro de qualidade e com um menor impacto ambiental, respondendo ao mesmo tempo à necessidade de encontrar uma alternativa à travessa de madeira, devido à proibição da utilização do creosoto e ao potencial de reaproveitamento dos resíduos plásticos.



Figura 3.7 - Travessas de material compósito aplicadas na Linha do Leste

Em 2020 estas travessas de compósito foram aplicadas em dois locais distintos, na linha de acesso à triagem, no Entroncamento, e na Linha do Leste, junto ao Crato (Figura 3.7). Durante o decorrer deste estágio foi possível visitar este último troço, onde foram instaladas 97 travessas, alvo de monitorização, não apresentando até à data problemas de maior.

3.2.4 Balastro

O balastro é a camada granular entre a grelha de via e a subestrutura e assume um importante papel na estabilidade vertical e horizontal da via.

A camada de balastro deve desempenhar diversas funções (Fortunato, 2005):

- i) servir de apoio às travessas;
- ii) resistir às ações verticais, laterais e longitudinais aplicadas às travessas, com o objetivo de manter a via no alinhamento correcto;
- iii) promover a absorção de vibrações;
- iv) permitir o escoamento de material poluente proveniente do material circulante;
- v) facilitar as operações de conservação relacionadas com o nivelamento e o alinhamento da via, devido à possibilidade de arranjo das partículas de balastro;
- vi) permitir o escoamento das águas da chuva que caem na via;
- vii) evitar o aparecimento de vegetação;
- viii) minimizar os efeitos das ações climáticas (chuva e gelo) sobre as camadas subjacentes;
- ix) reduzir a tensão transmitida pelas travessas às camadas subjacentes e fazer essa transferência da forma mais uniforme possível.

Com o objetivo de bem cumprir as suas funções, o balastro deve respeitar algumas características. A norma europeia NP EN 13450 especifica as propriedades do balastro para utilização na via-férrea.

A IP elaborou uma instrução técnica que fixa as condições particulares da aplicação desta norma na Rede Ferroviária Nacional, que se aplica ao fornecimento de balastro novo destinado à construção, renovação e manutenção de vias-férreas inseridas na Rede Ferroviária Nacional. Encontra-se fora do âmbito desta norma o fornecimento de balastro resultante do processamento de balastro utilizado anteriormente (IP, 2019a).

Desta forma, o fornecimento de material novo está sujeito à aprovação por parte da IP. O balastro novo deve ser composto por partículas britadas, obtido exclusivamente de rochas duras

e são, normalmente graníticas, de elevada resistência à fragmentação e ao desgaste, através de processos mecânicos de britagem e crivagem. Deve respeitar requisitos geométricos, nomeadamente dimensões entre 31,5 e 50 mm, a granulometria, percentagens máximas de partículas finas e finos e a forma das partículas. A utilização do balastro está também sujeita a requisitos físicos, sobre a resistência à fragmentação e ao desgaste, a requisitos químicos, à garantia de durabilidade, relativa à resistência ao gelo, e à ausência de elementos prejudiciais (IP, 2019a).

Durante o normal funcionamento da via, o balastro está sujeito a ações de degradação, fruto da circulação do tráfego ferroviário, das condições climatéricas e poluição por parte das composições. As patologias passam pela contaminação do balastro e pela degradação da granulometria, por fratura e polimento. A alteração granulométrica das partículas de balastro pode estar associada à degradação durante as operações de transporte, compactação e manutenção, a ações do meio ambiente e a ações provocadas pelos veículos. A contaminação do balastro resulta da infiltração dessas partículas finas, resultantes do material caído durante o transporte, da ação do vento e da água, ou ainda da migração de finos a partir das camadas granulares colocadas sob o balastro.

Esta patologia leva à criação de lamas debaixo das travessas, que devido à acumulação de pressão aquando da passagem das circulações, resulta no aparecimento à superfície de lama proveniente de camadas inferiores (Fortunato, 2005). Este fenómeno designa-se por bombagem de finos ou “pumping” e origina deformações permanentes na via.

Para dificultar a ocorrência deste fenómeno deve ser garantida a boa drenagem da camada de balastro. A utilização de balastro de elevada qualidade previne o desgaste das partículas e das travessas e a posterior criação de lama abrasiva. Também a existência da camada de sub-balastro, previne a migração ascendente de finos.

3.3 Subestrutura

A subestrutura tem como principal função a estabilidade da via e o suporte da superestrutura (Silva, 2012). A subestrutura é constituída pela fundação e pela camada de sub-balastro.

Da subestrutura importa realçar a camada de sub-balastro, uma camada de granulometria mais fina que o balastro. Esta é interposta entre a camada de balastro e a fundação, devendo a sua origem à necessidade de proteger a plataforma e reduzir o nível de tensão nos solos, mantendo constante a espessura do balastro (Fortunato, 2005).

A camada de sub-balastro, tem algumas funções desempenhadas também pelo balastro, nomeadamente a redução das tensões impostas pelo material circulante e a proteção da fundação contra as ações do gelo. No entanto, tem outras funções específicas, nomeadamente prevenir a migração de material fino, proteger a fundação do desgaste provocado pelo balastro, funcionar como camada impermeabilizante, evitando que as águas que caem no balastro cheguem à fundação e funcionar como elemento drenante e filtrante, permitindo que se escoem as águas que ascendem da fundação, mas evitando que se verifique a passagem de elementos finos para o balastro (Fortunato, 2005).

3.4 Parâmetros Geométricos de Via-férrea

Para que a via-férrea cumpra a sua função de proporcionar a circulação ferroviária de forma segura, económica e confortável, devem ser cumpridas as tolerâncias aplicáveis aos desvios dos parâmetros geométricos. Apenas com a garantia do cumprimento da qualidade relacionada com os parâmetros de conforto e segurança, da qualidade dos materiais adotados e da adequada execução dos trabalhos, a par de uma boa gestão de transportes, é possível otimizar a exploração de uma linha férrea (Fortunato, 2005).

A IP, através da norma GR.IT.VIA.018 - Parâmetros Geométricos da Via – Tolerâncias e Tratamento de Defeitos, define as tolerâncias aplicáveis aos desvios dos parâmetros geométricos da via, relativamente aos respetivos valores de referência.

São sete os parâmetros geométricos da via analisados (IP, 2017):

- i) Bitola;
- ii) Nivelamento longitudinal (de ambos os carris);
- iii) Nivelamento transversal;
- iv) Alinhamento (de ambos os carris);
- v) Empeno.

3.4.1 Bitola

A bitola (Figura 3.8) corresponde à 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 (IP, 2017).

A maioria dos países, sobretudo na Europa e na América do Norte, utilizam a bitola padrão, de 1.435 mm. Portugal e Espanha são uma das poucas exceções nestas áreas geográficas,

utilizando a bitola ibérica, de 1.668 mm. Na região norte de Portugal, é também utilizada a bitola métrica, de 1.000 mm, encontrando-se a maioria destas linhas sem exploração.

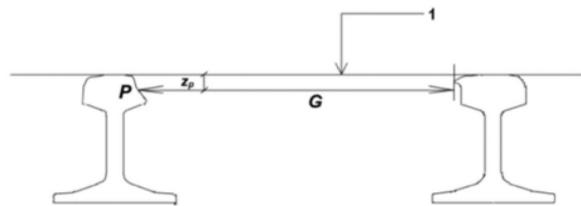


Figura 3.8 - Bitola pontual (IP, 2017)

3.4.2 Nivelamento transversal

O nivelamento transversal é a diferença de cotas da mesa de rolamento de cada carril obtida pelo ângulo entre o plano de rolamento e o plano horizontal de referência (Figura 3.9). Corresponde à dimensão do cateto vertical de um triângulo retângulo que tem como hipotenusa um valor de referência representativo da distância entre os eixos dos carris (IP, 2017).

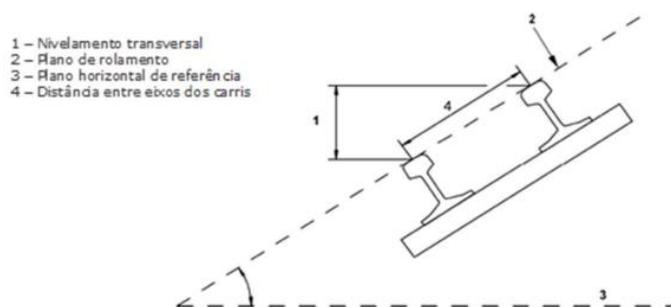


Figura 3.9 - Nivelamento transversal (IP, 2017)

3.4.3 Nivelamento longitudinal

O nivelamento longitudinal (Figura 3.10) é calculado para cada fila de carril e corresponde ao desvio Z_p , na direção Z da posição do eixo da mesa de rolamento, em relação a uma linha de referência paralela ao plano de rolamento (IP, 2017).

A linha de referência é calculada para cada fila e para diferentes bandas de comprimento de onda, a partir de medições sucessivas.

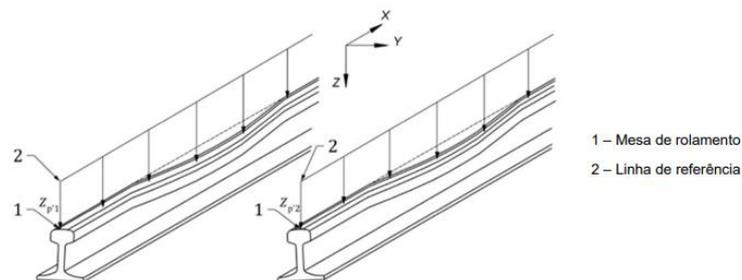


Figura 3.10 – Nivelamento longitudinal (IP, 2017).

3.4.4 Alinhamento

O alinhamento (Figura 3.11) é calculado para cada fila de carril e corresponde ao desvio Y_p na direção Y da posição do ponto P, em relação a uma linha de referência (IP, 2017).

A linha de referência é calculada para cada fila e para diferentes bandas de comprimento de onda, a partir de medições sucessivas.

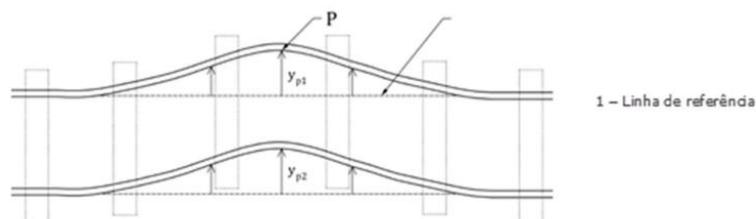


Figura 3.11 – Alinhamento (IP, 2017).

3.4.5 Empeno

Considerando-se quatro pontos sobre a mesa de rolamento dos carris, dois sobre cada carril, formando um retângulo, define-se como empeno, a distância vertical de um dos pontos ao plano formado pelos outros três (Figura 3.12). Na prática, o valor do empeno corresponde à diferença de dois nivelamentos transversais numa determinada base de medição (IP, 2017).

O empeno é calculado numa base de medição de 3 metros, mas para efeitos de decisão sobre ações de manutenção a IP utiliza adicionalmente a base de 10 metros.

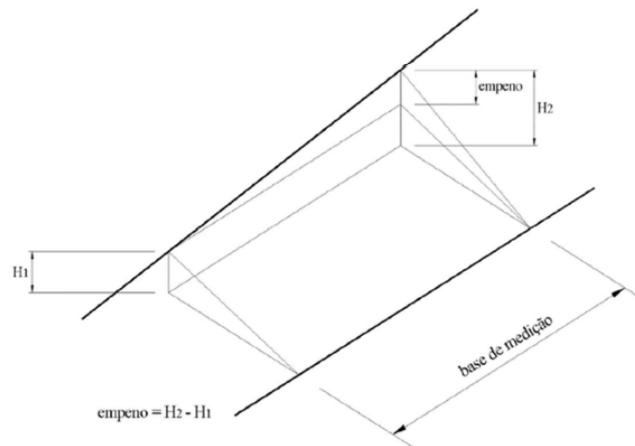


Figura 3.12 – Empeno (IP, 2017).

3.4.6 Tolerâncias dos Parâmetros Geométricos de Via

A ocorrência de perturbações num dos parâmetros geométricos de via perturba a normal circulação na via, o conforto dos passageiros e a segurança, dependendo do nível de severidade da anomalia.

Os defeitos de nivelamento longitudinal afetam o movimento de galope das composições, enquanto os defeitos de nivelamento transversal afetam o movimento de balanceio dos veículos (Carvalho, 2020). As irregularidades de alinhamento originam o movimento de lacete, movimento de instabilidade lateral e de oscilações transversais verificado nas composições, especialmente no veículo da cauda. Já o empeno pode ser perigoso em certas circunstâncias, podendo provocar o descarrilamento dos veículos ferroviários (Miguel, 2015).

A IP define as tolerâncias aplicáveis aos desvios dos parâmetros geométricos da via na instrução GR.IT.VIA.018 - Tolerâncias dos Parâmetros Geométricos da Via. Esta estabelece as tolerâncias para a receção de trabalhos e para decisão sobre ações de manutenção. Esta última categoria é dividida em três tolerâncias progressivamente mais restritas (IP, 2017).

- i) Tolerância de alerta - valor que, quando ultrapassado impõe a análise do troço em questão e a sua eventual inclusão no planeamento dos trabalhos de manutenção;

- ii) Tolerância de intervenção - valor que, quando ultrapassado impõe que o troço em questão seja alvo de ações de manutenção, de modo que a tolerância de ação imediata não seja atingida;
- iii) Tolerância de ação imediata - valor que nunca deverá ser ultrapassado. Caso aconteça obriga a que o defeito em questão seja alvo de correção imediata ou que o respetivo troço seja sujeito a redução de velocidade ou interdição.

O controlo dos parâmetros de via é realizado através de medições, sempre que possível, com recurso a um veículo de inspeção. Em Portugal a IP dispõe de uma automotora EM-120, que permite a medição de todos os parâmetros geométricos necessários à avaliação do estado da via, com elevada precisão, a uma velocidade máxima de 120 km/h (Falcão, 2013).

Nos quadros seguintes são apresentados os valores de tolerância de alerta, intervenção e ação imediata, em linhas de bitola 1.668 e 1.435. As tolerâncias variam consoante a velocidade do troço, sendo progressivamente mais restritas com o aumento da velocidade.

Quadro 3.1 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668 mm e 1435 mm – tolerâncias de alerta (adaptado de IP, 2017).

Classe	VI	V	IV	III	II	I
Velocidade [km/h]	$V \leq 40$	$40 < V \leq 80$	$80 < V \leq 120$	$120 < V \leq 160$	$160 < V \leq 230$	$230 < V \leq 300$
Parâmetro [mm]						
Bitola Pontual ¹	-7/+25	-7/+25	-7/+25	-6/+25	-4/+20	-3/+20
Bitola Média ¹	n.a./+25	-6/+25	-5/+16	-3/+16	-3/+16	-1/+16
Nív. Longitudinal D1 ²	±18	±15	±13	±12	±10	±8
Nív. Longitudinal D2 ²	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±16	±12
Alinhamento D1 ²	±15	±14	±10	±8	±7	±6
Alinhamento D2 ²	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±14	±10
Empeno (b = 3m) ³	±12	±12	±12	±12	±9	±9
Empeno (b = 10m) ³	±30	±30	±30	±30	±30	±30

Quadro 3.2 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668 mm e 1435 mm – tolerâncias de intervenção (adaptado de IP, 2017).

Classe	VI	V	IV	III	II	I
Velocidade [km/h]	$V \leq 40$	$40 < V \leq 80$	$80 < V \leq 120$	$120 < V \leq 160$	$160 < V \leq 230$	$230 < V \leq 300$
Parâmetro [mm]						
Bitola Pontual ¹	-9/+30	-9/+30	-9/+30	-8/+30	-5/+23	-4/+23
Bitola Média ¹	n.a.	-7	-6/+20	-4/+20	-4/+20	-2/+20
Nív. Longitudinal D1 ²	±21	±19	±16	±14	±12	±10
Nív. Longitudinal D2 ²	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±20	±14
Alinhamento D1 ²	±17	±16	±12	±9	±8	±7
Alinhamento D2 ²	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±16	±12
Empeno (b = 3m) ³	±15	±15	±15	±15	±9	±12
Empeno (b = 10m) ³	±35	±35	±35	±35	±35	±35

Quadro 3.3 – Tolerâncias dos parâmetros geométricos para linhas de bitola 1668 mm e 1435 mm – ação imediata (adaptado de IP, 2017).

Classe	VI	V	IV	III	II	I
Velocidade [km/h]	$V \leq 40$	$40 < V \leq 80$	$80 < V \leq 120$	$120 < V \leq 160$	$160 < V \leq 230$	$230 < V \leq 300$
Parâmetro [mm]						
Bitola Pontual ¹	-11/+35	-11/+35	-11/+35	-10/+35	-7/+28	-5/+28
Bitola Média ¹	n.a.	-9	-8	-6	-6	-4
Nív. Longitudinal D1 ²	±31	±28	±26	±23	±20	±16
Nív. Longitudinal D2 ²	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±24	±18
Alinhamento D1 ²	±25	±22	±17	±14	±12	±10
Alinhamento D2 ²	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	±18	±14
Empeno (b = 3m) ³	±21	±21	±21	±21	±15	±15
Empeno (b = 10m) ³	±45	±45	±45	±45	±45	±45

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 ultrapassada.

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 (tolerância de ação imediata) não seja ultrapassada.

n.a. – Não aplicável.

D1 – Banda com $3 \text{ m} \leq \lambda \leq 25 \text{ m}$.

D2 – Banda com $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$.

λ - Comprimento de onda

b – Base de medição do empeno.

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

3.5 Operações de Manutenção

A manutenção é definida como o conjunto de todas as ações técnicas, administrativas e de gestão, durante o ciclo de vida de um bem, destinadas a manter ou a repor um equipamento num estado em que possa desempenhar a função requerida (Leite, 2017). Na via-férrea, a manutenção visa garantir a qualidade geométrica da via e do estado do material, de forma a permitir um nível de segurança e de conforto elevado (Silva, 2012). O conceito de manutenção tem evoluído favoravelmente, desde a realização de ações únicas de reparação e correção até aos dias de hoje, onde a manutenção é planeada e acompanhada em permanência.

A IP agrupa as ações de manutenção na via-férrea em diferentes categorias (IP, 2021a):

- i) Manutenção Preventiva Sistemática (MPS);
- ii) Manutenção Preventiva Condicionada (MPC);
- iii) Manutenção Corretiva (MC).

A Manutenção Preventiva Sistemática (MPS) é uma atividade periódica de inspeção e execução baseada em roteiros de ações pré-definidas, devidamente calendarizadas em plano, anual ou plurianual, e adaptadas à especificidade de cada equipamento, sem conhecimento prévio da sua condição (IP, 2021a). São exemplos desta atividade as inspeções de via e de AMV, a manutenção das juntas de carril e o reaperto das fixações das travessas de madeira.

A Manutenção Preventiva Condicionada (MPC) é uma atividade de execução desencadeada em função do resultado de inspeções aos equipamentos e respetivo diagnóstico, devidamente planeada a curto ou a longo prazo, geralmente com limite de três meses ou um ano, respetivamente, de acordo com as prioridades estabelecidas (IP, 2021a). Englobam-se nesta categoria as ações de substituição de material degradado ou com defeitos e os processos de nivelamento de via, a fim de repor os parâmetros geométricos de via.

A Manutenção Corretiva é uma atividade de execução desencadeada pela necessidade imediata de reparação de avaria. Devido ao seu carácter urgente, esta intervenção não é sujeita a planeamento (IP, 2021a). São disso exemplo a fratura de um carril, o dano na via por queda ou obstrução de árvores ou rochas, ou a identificação de um parâmetro geométrico de via com amplitude superior ao limite de ação imediata.

Os equipamentos estão ainda sujeitos a ações de renovação, definida como o conjunto de intervenções de substituição de equipamentos, sistemas ou materiais, na sequência do fim da

vida útil dos elementos substituídos ou da sua obsolescência, assegurando o cumprimento do nível de serviço estabelecido (IP, 2021a). Nestas operações, o material é geralmente substituído por outro idêntico ou de semelhante capacidade.

Fora do âmbito da manutenção, encontram-se as ações de modernização. Estas operações são de maior escala e encontram-se inscritas nos vários instrumentos de planeamento estratégico do país. Requerem um elevado investimento, com intervenções tanto na superestrutura como na subestrutura e com a substituição do material existente por outro de maior qualidade, mais moderno e com maior capacidade. Atualmente, Portugal encontra-se a investir no sector ferroviário, pelo que se encontram a decorrer, ou a arrancar, diversas ações de modernização que deverão beneficiar o país, como as intervenções na Linha da Beira Alta ou fruto da criação da nova linha Sines-Elvas, inseridas no Programa Nacional de Investimentos 2030 (PNI 2030).

Os processos de manutenção acarretam custos financeiros a diversas entidades, nomeadamente em materiais, recursos humanos, atrasos e interdições na circulação, pelo que é essencial um correto planeamento estratégico. Uma das variáveis nessa gestão é a reutilização de materiais em boas condições em linhas menos recentes, de estacionamento e reduzido tráfego.

A IP, no normal decorrer destas operações, retira e substitui material de via em menor ou maior quantidade, fruto de pequenas ações em pontos singulares da via ou de ações de renovação ou modernização de troços de maior extensão.

No âmbito deste estágio, acompanhou-se a atividade de renovação de carris na Linha do Leste, de 4 km, no troço Chança - Crato. Os trabalhos incluíram a substituição dos carris por material semelhante, de 54 kg/m, utilizando um tipo de ligação diferente, através da migração da solução em barretas, barra curta, para barra longa soldada (BLS), com recurso a soldadura aluminotérmica. Esta mudança foi também acompanhada pela substituição das travessas de madeira, na zona das antigas juntas dos carris, por travessas bibloco, ficando todo o troço em BLS com travessas bibloco.

4 A ECONOMIA CIRCULAR

4.1 Introdução

A economia circular é um modelo de produção e de consumo que envolve a partilha, o aluguer, a reutilização, a reparação, a renovação e a reciclagem de materiais e produtos existentes, enquanto possível (Figura 4.1). Desta forma, o ciclo de vida dos produtos é alargado. (Parlamento Europeu@2022). Consequentemente, os materiais detêm valor durante o maior período possível, enquanto é possível diminuir a exploração de novos recursos e a produção de resíduos desnecessariamente.

Existem três ideias fundamentais neste modelo de economia circular. O conceito inicia-se no design dos produtos, muitos pensados para uma utilização única, não existindo um reaproveitamento destes ou dos seus componentes. Com algum esforço é possível repensar cada produto e o seu ciclo de vida, alterando esta visão. A segunda etapa é essencialmente a permanência em circulação do produto e do seu valor, atrasando a sua classificação como resíduo. Finalmente, quando estas ações não são possíveis procede-se à reciclagem, convertendo o resíduo em material reutilizável, reiniciando o ciclo.

Este modelo contrasta com a ideia antiquada e egoísta da economia linear, na qual os recursos eram usados com uma única finalidade, sendo rapidamente considerados resíduos e descartados após desempenharem a sua função.



Figura 4.1 - Conceito de Economia Circular (UIC,2021)

O conceito de economia circular é aplicável aos produtos e materiais de diferentes setores, incluindo a ferrovia, pelo que importa analisar a legislação nacional e europeia, bem como as normas e procedimentos praticados pela IP. Neste ponto, torna-se essencial referir as diferenças entre a gestão dos componentes da grelha de via e o balastro. Enquanto a generalidade dos materiais da superestrutura segue normativos comuns ou semelhantes, o balastro é gerido de uma forma diferente, devido sobretudo à sua natureza granular, dispondo de uma classificação própria segundo a sua aplicabilidade futura e de operações de manutenção muito especializadas.

4.2 Legislação e Planeamento

Segundo a UN, em 2050 serão necessários quase três planetas para fornecer os recursos naturais necessários para manter os estilos de vida atuais (UN@2022). Tais hábitos são insustentáveis e impossíveis de suportar pelo planeta. Desta forma, a União Europeia (UE) adotou várias medidas ao longo dos últimos anos, tendo apresentado em 2020 o novo “Plano de Ação para a Economia Circular” no âmbito do “Pacto Ecológico Europeu”, programa que estabelece a estratégia conjunta para atingir a neutralidade climática e o crescimento sustentável da Europa.

Em Portugal, a estratégia nacional para a economia circular encontra-se descrita no “Plano de Ação para a Economia Circular em Portugal”, sendo importante realçar a iniciativa “Reciclagem de travessas de madeira e reutilização/reaplicação de materiais de via” como uma das mais relevantes desenvolvidas no âmbito deste plano (APA e DGAE, 2022).

Em relação a este tema, a IP divide os materiais retirados da via em três categorias, consoante a sua utilidade futura: Material usado passível de reutilização; Material usado passível de reaplicação; Resíduo.

É assim essencial proceder à distinção entre a reutilização e a reaplicação destes materiais. De acordo com o Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho, define-se como reutilização qualquer operação mediante a qual materiais que não sejam resíduos são utilizados novamente para o mesmo fim para que foram concebidos. De diferente forma, reaplicação é definida como qualquer operação mediante a qual, materiais que não sejam resíduos, são utilizados para fins distintos do seu uso original (IP, 2021b).

Pela mesma legislação, resíduo é algo de que o seu detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer, nomeadamente, aqueles que são gerados por atividades identificadas na Lista Europeia de Resíduos (LER) publicada através da Decisão 2014/955/UE de 18 de dezembro, sendo os requisitos para a sua gestão definidos no Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de setembro com a alteração concedida pelo Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho (IP, 2021b).

Os resíduos produzidos pela IP, podem ter como origem (IP, 2021b):

- i) um material que não cumpra os requisitos estabelecidos pelo normativo técnico específico (onde se incluem os materiais considerados obsoletos);
- ii) um material danificado ou deteriorado, após a sua retirada ao serviço ou da infraestrutura;
- iii) um excedente de stock de um material, independentemente do seu estado ou possibilidade de reaplicação, que careça de ser gerido e sobre o qual se conclua não haver forma economicamente viável e/ou oportuna de o utilizar, nas atividades da IP ou de terceiros;
- iv) trabalhos de manutenção das vias.

De forma a proceder à gestão de resíduos de uma maneira mais eficiente e com o objetivo de alcançar a transição para a economia circular, a EU adotou uma hierarquia de prioridades para a política e as atividades em matéria de resíduos, transposta em Portugal através do novo Regime Geral da Gestão de Resíduos (nRGGR), estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 102/D/2012 (Figura 4.2):

- i) Prevenção – processo que visa evitar a ascensão dos produtos à categoria de resíduos;
- ii) Preparação para a reutilização – processo no qual os resíduos são limpos e reparados de modo a serem utilizados novamente, perdendo a classificação de resíduos;
- iii) Reciclagem - processo no qual os resíduos são transformados em novos produtos;
- iv) Outros tipos de valorização – processos utilizados quando os resíduos que não podem ser reciclados, são submetidos a outras formas de recuperação de energia;
- v) Eliminação – processo menos sustentável, no qual os resíduos são depositados em aterro ou incinerados sem recuperação de energia.



Figura 4.2 - Hierarquia de resíduos (UIC, 2021)

A IP procede ainda à classificação dos resíduos atendendo ao valor económico que possuem no local onde se encontram concentrados (IP, 2021b):

- i) Resíduo valorizável economicamente - material que não é passível de ser utilizado no mesmo fim original, não pode ser utilizado para reaplicação, mas que conserva um valor económico no local onde se encontra;
- ii) Resíduo não valorizável economicamente - material que não é passível de ser utilizado no mesmo fim original, não pode ser utilizado para reaplicação e cuja gestão acarreta um ónus económico para a IP, no local onde se encontra concentrado, independentemente do seu destino poder ser um processo de valorização (material ou energética) ou de eliminação.

4.3 Processos de Encaminhamento dos Materiais Retirados da Via

As operações de manutenção, renovação ou modernização na ferrovia implicam o levantamento de material da via-férrea, em maior ou menor quantidade. Os materiais são retirados, por troços ou em pontos singulares, em diferentes fases do seu ciclo de vida, com níveis de desgaste e deformações distintos, pelo que o seu próximo destino não pode ser único e indiferente ao seu estado.

Para além disso, acresce o facto de que muitos dos elementos levantados da via apresentarem condições de reutilização em vias de menor tráfego. Estando assegurada a segurança dos passageiros e das circulações, sendo esta a prioridade máxima, a reutilização deste material permite uma elevada poupança financeira e a fácil melhoria das linhas secundárias e de estacionamento, enquanto beneficia o meio ambiente, através da redução da extração e fabrico de recursos desnecessários e da produção de detritos.

4.3.1 Levantamento dos materiais da via-férrea

A instrução técnica GR.PR.VIA.002 foi elaborada com o intuito de classificar os materiais de via segundo a sua suscetibilidade para reutilização, as respetivas condições de manuseamento, transporte e armazenamento e as condições técnicas em que as ações de reutilização e reaplicação podem ser realizadas.

Neste documento, a IP, com elevados controlos de segurança, procede à classificação dos materiais retirados da via em quatro lotes (IP, 2021b):

- i) Lote A - todo o material de via usado que, carecendo ou não de preparação, pode ser reutilizado sem limitações ou de forma quase incondicional para os mesmos fins originais, na RFN;
- ii) Lote B - todo o material de via usado que, carecendo ou não de preparação, pode ser reutilizado na RFN, embora de forma bastante condicionada;
- iii) Lote Y - todo o material de via usado que, não estando em condições para reutilização na RFN, conserva propriedades que permitem a sua reaplicação noutros fins, distintos do original, pela IP ou por terceiros;
- iv) Lote X - todo o material de via usado que, não estando em condições para reutilização na RFN, não permite qualquer outra forma de reaplicação, passando à classificação de resíduo.

Naturalmente, cada material tem diferentes componentes e funções, pelo que as suas especificações e critérios de classificação são igualmente distintos. Os elementos são classificados antes e depois de serem retirados da via com base nos dados das ações de inspeção e manutenção.

Os **carris** que pertencem ao Lote A têm potencial de reutilização em linhas com velocidade máxima até 160 km/h. Apenas se inserem neste lote caso sejam constituídos por aço de qualidade R260 ou superior, apresentem apenas uma face de guiamento usada, não apresentem defeitos, furos ou soldaduras, possuam um comprimento de barra igual ou superior a 16 metros e perfil de 54 kg/m ou 60 kg/m.

A classificação no Lote B é menos restritiva e engloba os carris com potencial de reutilização em linhas com velocidade máxima até 45 km/h, com um comprimento de barra igual ou superior a 12 metros e perfil de 54 kg/m ou 60 kg/m. Apenas podem apresentar uma face de guiamento usada e não podem apresentar defeitos nem furos, mas são admitidas soldaduras aluminotérmicas, com restrições.

Aos Lotes Y e X pertencem todos os carris sem as características de inclusão nos Lotes A e B, bem como todos os carris de perfil inferior a 54 kg/m e os carris retirados de extensões inferiores a 1.000 metros.

As **travessas de madeira** que pertencem ao Lote A possuem potencial de reutilização para os mesmos fins iniciais, sendo assim classificadas desde que não apresentem fraturas, sinais de envelhecimento das fibras, não tenham excesso de furação e cumpram a altura mínima na zona de apoio sob o carril.

Todas as travessas sem estas características são classificadas nos Lotes Y e X, pertencendo automaticamente ao segundo quando não conservem a sua integridade física devido à fragmentação, fendilhação ou putrefação.

As **travessas de betão bibloco** pertencentes ao Lote A têm potencial para serem reutilizadas para os mesmos fins. Pertencem a este lote desde que não apresentem fissuras com extensão igual ou superior a 50 mm, espessura maior que 1 mm ou fissura com propagação em várias direções. Não podem apresentar deformações, corrosão na cantoneira, nem destacamento do betão e têm de permitir o correto aperto dos parafusos. No Lote B, as travessas têm de cumprir as mesmas condições, apenas as fissuras podem ter uma extensão superior, até 150 mm.

Aos Lotes Y e X pertencem as travessas que não cumprem estes requisitos, sendo classificadas como Lote X se apresentarem fissuras extensas, corrosão muito acentuada ou empeno na cantoneira metálica.

As **travessas de betão monobloco** pertencentes ao Lote A têm potencial para serem reutilizadas para os mesmos fins, sendo assim classificadas as travessas produzidas após outubro de 2004 que não apresentem fissuras extensas, sendo que na zona central não podem apresentar nenhuma, não evidenciem destacamento do betão e que permitam o correto aperto dos parafusos.

Se não possuírem estas características, são classificadas como Lotes Y e X, pertencendo automaticamente ao Lote X quando apresentem fissuração extensa ou na zona central da travessa.

4.3.2 Encaminhamento dos materiais

Após a sua classificação, a IP procede ao encaminhamento e concentração do material usado passível de reutilização ou classificado como economicamente valorizável no Complexo Logístico do Entroncamento (CLE), como definido na instrução “GR.IT.022 - Encaminhamento de Materiais Usados para o Complexo Logístico do Entroncamento”. É do interesse deste relatório realçar que os materiais de via de maior importância para aqui encaminhados são os carris, todas as travessas de betão e as travessas de madeira usadas em melhor estado, não sendo aqui entregues as travessas de madeira do Lote X nem o balastro proveniente dos desguarnecimentos.

Estes últimos materiais, considerados como não valorizáveis economicamente, são concentrados junto das frentes de obra, em armazenamento preliminar. Geralmente, os locais

escolhidos para este armazenamento são as estações ferroviárias devidamente capacitadas. A gestão destes materiais acarreta um ónus para a IP, com custos acrescidos para a sua alienação, pelo que a sua recolha direta nestes locais permite uma poupança financeira e de recursos considerável.

4.3.3 Condições de reutilização

Antes de ser reutilizado, o material pertencente aos Lotes A e B, passa por um processo de preparação para reutilização, distinto para cada tipo de componentes, de acordo com a instrução técnica “GR.PR.VIA.02 - Inspeção e Classificação de Materiais de Via Aplicados na Rede, e Condições a Observar com Vista à sua Reutilização”. No decorrer deste estágio foi possível visitar o CLE, onde se procede à preparação do material com vista à sua reutilização.

Nos carris, o processo de preparação visa o controlo das soldaduras existentes, com recurso a auscultação ultrassónica, a sua retificação através de esmerilagem na nova face ativa, e a união de carris em barra longa com novas soldaduras.

As travessas de madeira suscetíveis de reutilização, classificadas como Lote A, não carecem de qualquer preparação, desde que sejam garantidos os cuidados de manuseamento e armazenamento.

Por outro lado, as travessas de betão necessitam de mais atenção. O processo de preparação nas travessas bibloco, classificadas como Lote A e B, passa sobretudo pela limpeza e desobstrução dos alvéolos e das buchas, posteriormente tapadas para evitar a entrada de água ou de corpos estranhos. Deve ainda ser verificado o empeno da cantoneira de forma a garantir o valor da bitola. Este processo é idêntico para as travessas monobloco, devendo nestas, permanecer colocados os tirafundos e os grampos nas buchas com o mesmo objetivo de evitar obstruções.

De salientar que a preparação para a reutilização de travessas não contempla ações de reparação de fissuras nem de regeneração de elementos. Qualquer componente careça de tal operação, não cumpre os requisitos de segurança, pelo que não pode ser reutilizado. De facto, a IP não executa operações de regeneração de material usado, com exceção da regeneração de AV, realizada por entidades externas, como é o caso da empresa Futrifer.

No âmbito deste estágio foi possível visitar as instalações da Futrifer no Tramagal, concelho de Abrantes (Figura 4.3). A Futrifer é responsável pela conceção, fabrico e regeneração de AMV, sendo líder na sua área no mercado português, com grandes contratos nacionais e internacionais atualmente em execução.



Figura 4.3 - Montagem de AMV nas instalações da Futrifer

Durante a visita às instalações foi possível conhecer e compreender os componentes e o funcionamento dos aparelhos de mudança de via e os procedimentos que visam cada elemento deste sistema, nomeadamente a inspeção e a necessidade da sua substituição ou regeneração, tendo sido observadas as diferentes fases deste processo. Desta forma, procedeu-se também ao acompanhamento do estado das encomendas da IP e de empresas ferroviárias internacionais, quer de aparelhos novos quer de aparelhos em regeneração, incluindo tecnologias recentes, inexistentes na RFN.

4.3.4 Alienação dos materiais

Os materiais passíveis de reutilização ou de reaplicação classificados pela IP voltam a integrar o circuito inicial de aplicação na via, estando disponíveis para serem utilizados segundo os critérios do lote em que se inserem. Por outro lado, os materiais considerados resíduos seguem caminhos diferentes consoante a sua classificação como valorizáveis ou não valorizáveis economicamente, consoante o Manual De Gestão De Resíduos (IP, 2021c). Este manual estabelece os procedimentos da gestão de resíduos a respeitar pelos diferentes órgãos da empresa, desde a prevenção até à alienação dos materiais.

Os resíduos não valorizáveis economicamente são encaminhados para operadores de resíduos devidamente licenciados, com recolha a partir do armazenamento preliminar. Esta operação acarreta um ônus financeiro para a empresa, tal como acontece com a gestão de outros resíduos, mediante o pagamento da taxa de gestão de resíduos.

A alienação dos materiais que preservem valor económico é também um procedimento multidisciplinar regido por um normativo próprio, “GR.PR.028 - Alienação de materiais e equipamentos excedentários e resíduos valorizáveis economicamente”, que envolve diferentes

órgãos da IP. Também estes são preferencialmente alienados no local onde se encontram, de forma a minimizar os custos da sua gestão, embora seja muito frequente a sua concentração no CLE.

Sendo a IP uma empresa pública, o procedimento de alienação de materiais é feito com o máximo rigor, respeitando a legislação e os princípios da transparência. Este processo pode realizar-se de diferentes formas, entre elas os concursos públicos, leilões ou consulta prévia. Financeiramente, a IP pouco beneficia destes processos, com os ganhos com a venda de resíduos a representarem uma pequena parcela dos seus rendimentos (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 - Rendimentos com a venda de resíduos em 2021 (IP, 2021d)

OUTROS RENDIMENTOS E GANHOS	1.º S 2020	1.º S 2021	Δ% 21/20
Subsídios para investimento	29 274	30 726	5%
Alienação de Património	1 318	224	-83%
Venda de resíduos	1 186	1 193	1%
Danos ao Património	1 746	858	-51%
Outros rendimentos	6 946	13 605	96%
Total	40 469	46 605	15%

Valores em milhares de euros.

4.4 O Balastro

O balastro é gerido de forma diferente dos restantes materiais da superestrutura de via, sobretudo devido à sua natureza. Ao longo da sua vida, o balastro está sujeito a processos de contaminação e deterioração, transformando-se num pavimento rígido em tempo seco e num lamaçal em tempo húmido (Fernave, 2003). Torna-se assim necessário proceder a ações de manutenção, através do desguarnecimento e depuração do material.

Este processo é realizado manualmente, em desguarnecimentos pontuais, ou mecanicamente com recurso a desguarnecedoras, que possibilitam maior rentabilidade em troços maiores. Estas máquinas recolhem o balastro contaminado da via, que segue posteriormente para depuração mecânica, passando por um conjunto de peneiros que limpam e separam o balastro segundo as dimensões devidas. O balastro com as dimensões corretas é novamente empregue na via, conjuntamente com material novo, enquanto os elementos de granulometria indevida são recolhidos em vagões.

No âmbito deste estágio foi possível acompanhar os trabalhos de desguarnecimento mecânico na Linha da Beira Baixa, no troço Entroncamento – Abrantes, numa extensão total de 2.399 metros lineares de via (Figura 4.4). Esta oportunidade permitiu elucidar os conhecimentos teóricos, as limitações e os resultados da operação, tendo também dado a conhecer os procedimentos práticos e o funcionamento das diferentes máquinas empregues.

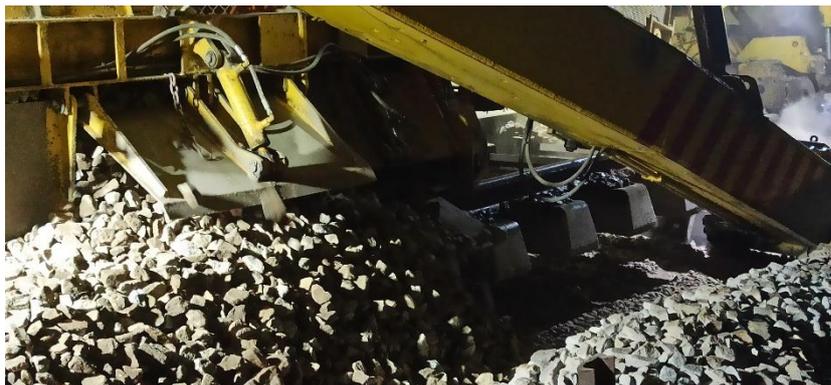


Figura 4.4 - Trabalho de desguarnecimento mecânico na Linha da Beira Baixa

Tal como as travessas do Lote X, o balastro é geralmente concentrado em armazenamento preliminar e alienado no local. O novo Regime Geral de Gestão de Resíduos (nRGGR), publicado pelo Decreto-Lei n.º 102-D/2020, estabelece que as operações de valorização de resíduos podem ser isentas de licenciamento, desde que essas atividades sejam previstas por regras gerais aprovadas pela Autoridade Nacional de Resíduos (ANR). Para o processo de isenção é necessária a descrição de pelo menos os tipos e quantidades de resíduos abrangidos e o método de tratamento a utilizar, de modo a assegurar que os resíduos são devidamente valorizados.

Por conseguinte, a APA elaborou uma regra geral, cujo cumprimento isenta de licenciamento a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) resultantes dos desguarnecimentos manuais e mecânicos (APA, 2021). Desta forma, o balastro usado, livre de contaminação por hidrocarbonetos, pode ser utilizado por entidades não operadoras de resíduos, incluindo a própria IP.

5 REVISÃO DE CONHECIMENTOS

5.1 Introdução

Fruto das novas políticas e da consciencialização ambiental generalizada, multiplicam-se os estudos que visam mitigar os efeitos negativos no planeta e assim melhorar a qualidade de vida e saúde das populações, nomeadamente através de programas sobre a migração para o modelo de Economia Circular.

A ferrovia não é exceção. Existem vários projetos já implementados, sobretudo nos países europeus económica e industrialmente mais avançados, que incidem no âmbito da Economia Circular, através da valorização dos materiais retirados da via e na implementação de novos materiais na superestrutura, como as travessas construídas com componentes menos danosos para o ambiente e de maior valor económico no final da sua vida útil. Desta forma procedeu-se à pesquisa das soluções de valorização implementadas por diversos gestores ferroviários europeus, incluindo a IP, e das soluções pensadas e avaliadas em diversos estudos publicados.

5.2 Carril

O carril é composto por aço, uma liga metálica essencialmente formada por ferro e carbono. O aço é um material 100% reciclável, podendo ser submetido repetidamente a processos siderúrgicos, sem que as suas características se alterem, sendo transformado em peças e componentes com as mais diversas finalidades (Figura 5.1). A produção de aço realiza-se não só a partir de matérias-primas, mas também a partir de aço reciclado. As duas formas de produção mais utilizadas diferem precisamente da quantidade de aço reciclado incorporado. A produção em alto forno utiliza maioritariamente matérias-primas virgens e incorpora cerca de 30% de aço reciclado, produzindo aço com recurso à queima de combustíveis tradicionais. Por outro lado, a produção com recurso à metodologia do forno de arco elétrico utiliza exclusivamente aço reciclado, com recurso à energia elétrica. Este método é mais sustentável, mas representa menos de 30% da produção de aço mundial (WSA, 2015).

A utilização de aço reciclado na produção do aço tem enormes vantagens, uma vez que as características do material não se deterioram e pode ser infinitamente reciclado, o que reduz substancialmente a exploração de novo minério. Este procedimento coincide com a definição de economia circular, com benefícios ambientais e financeiros, incluindo para o detentor prévio do material, pois o aço retém valor económico durante todo o seu ciclo de vida.

Visto isto, a valorização dos carris sem aplicação na rede ferroviária através da sua incorporação na produção de novo aço é uma das soluções a considerar. Este é atualmente o principal destino dos resíduos de aço, pelo que o procedimento já é realizado em grande escala pela indústria. De facto, o aço é o material mais reciclado no mundo, cerca de 650 milhões de toneladas anuais (WSA, 2015).

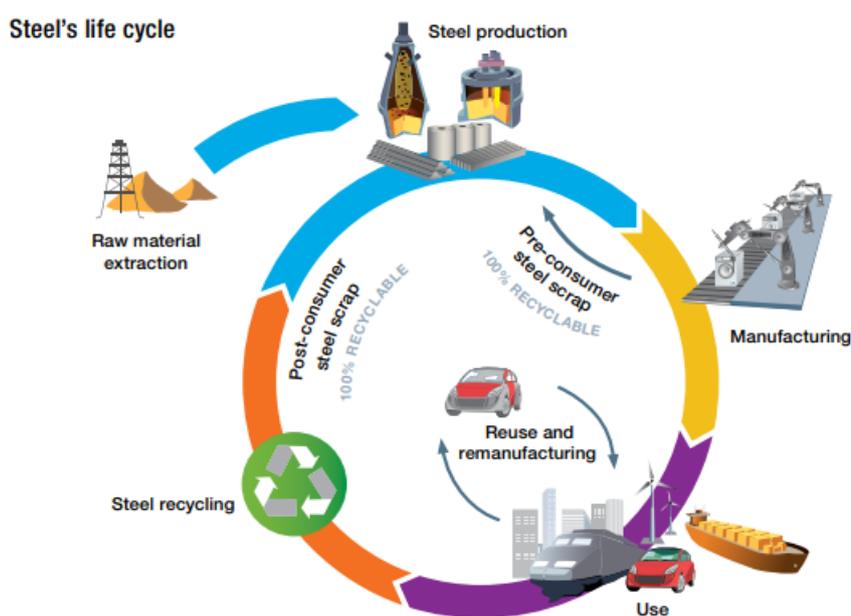


Figura 5.1 - Ciclo de vida do aço (WSA, 2015)

Para além da reciclagem, os carris podem ser reaplicados com uma função diferente da original, nomeadamente em pequenos projetos como vedações, estruturas de contenção e passadiços. No entanto, tendo em conta a reduzida dimensão destes projetos, o valor do material e a necessidade crescente da sua incorporação no processo de fabrico, a reaplicação dos carris é uma solução meramente pontual e pouco viável.

Em 2020, Portugal foi responsável por produzir 2,2 milhões de toneladas de aço bruto, com recurso exclusivo a forno de arco elétrico, ou seja, aço unicamente reciclado. O país ocupa o lugar 43 no ranking de produtores de aço bruto e contribuiu para as 139 milhões de toneladas produzidas na UE de 27 países e para as 1.876 milhões de toneladas produzidas em todo o mundo (WSA, 2021).

5.3 Travessas de madeira

As travessas de madeira mais utilizadas na RFN são as de pinho, em plena via, ou as de azobé, nos AV e pontes, por serem mais resistentes. No entanto, ambos os materiais são suscetíveis a uma rápida degradação das suas propriedades. Desta forma, com o objectivo de prolongar a sua vida útil as travessas são submetidas a um processo de impregnação de creosoto sob pressão durante o seu processo de fabrico. O creosoto proporciona a resistência ao apodrecimento e ao ataque de insetos, no entanto é um produto cancerígeno, e por isso submetido a normas europeias muito restritivas quanto à sua aplicação.

Por esta razão, o destino final da madeira impregnada com creosoto deve ser a sua correta eliminação, sendo os processos tradicionais a deposição em aterro ou a incineração. Atualmente, os aterros já não são uma solução expectável para a eliminação deste, e de outros resíduos perigosos, devido à ocupação de espaço e ao perigo, embora cada vez mais diminuto, de libertação de metano e contaminação dos solos.

A solução tida como a mais utilizada passa pela incineração das travessas, com recuperação de energia. As travessas tratadas com creosoto apresentam um elevado poder calorífico, sendo transformadas em estilha de madeira, incorporada como combustível em centrais incineradoras, de cogeração ou nos fornos de produção de cimento.

A incineração de madeira tratada é considerada uma solução mais sustentável, quando comparada com a queima de combustíveis tradicionais, já que esta possui um poder calorífico mais elevado e procede à valorização de um produto excedentário, evitando a utilização desses combustíveis e diminuindo a emissão de gases de efeito de estufa (Bolin e Smith, 2013). A madeira é considerada uma fonte de energia neutra em carbono, uma vez que as árvores retêm carbono durante o seu crescimento, pelo que apenas a componente do creosoto das travessas contribui para a emissão de carbono para a atmosfera (Bolin e Smith, 2010). Por outro lado, a maior desvantagem deste processo é a possibilidade de libertação de poluentes para a atmosfera, nocivos para o ambiente e para a saúde humana, caso não sejam utilizados os filtros e as altas temperaturas necessárias (Doliński et al., 2018).

Para além da combustão existem outros processos termoquímicos de conversão de energia tidos como alternativa, como a liquefação, a gaseificação e a pirólise. Estes métodos diferenciam-se da incineração por originarem produtos com potencial de valorização. Sobre a aplicação destes procedimentos na valorização de madeira tratada com creosoto, os poucos estudos apresentados referem ainda algumas preocupações sobre o tratamento deste biocida, nomeadamente a

emissão de poluentes ou a concentração dos seus componentes nocivos nos produtos resultantes.

Uma solução em estudo nos anos recentes passa pela remediação da madeira tratada, através da extração do creosoto das travessas, tornando-as numa fonte de combustível não nociva. Diversas técnicas foram já estudadas, nomeadamente com recurso à pirólise, com resultados promissores e elevados valores de extração de creosoto. Esta solução mostra potencial para permitir a posterior valorização energética das travessas de madeira limpa.

5.4 Travessas de betão

As travessas de betão são compostas por dois materiais distintos, o betão, em maior quantidade, e o aço, presente na cantoneira das travessas bibloco e incorporado no interior das travessas monobloco.

Tendo em consideração o estado de degradação das travessas, aquelas que não cumpram os requisitos para serem reutilizadas na ferrovia podem ser reaplicadas com uma função diferente da original ou recicladas. Uma solução simples de reaplicação passa por utilizar as travessas monobloco na construção de pequenas vias ou caminhos. As travessas são colocadas sobre o solo, na posição invertida e alinhadas como blocos de calçada, com as juntas colmatadas por finos, formando assim um pavimento uniforme. Esta é uma solução fácil e rápida, uma vez que as travessas não precisam de qualquer processo de transformação, no entanto é apenas uma solução pontual e pouco recorrente.

O processo mais ambicioso de valorização das travessas de betão passa pela sua fragmentação, pela separação dos seus dois componentes e posterior valorização em separado. O aço pode ser reciclado da mesma forma que os carris, enquanto o betão pode ser triturado e reciclado, usado em substituição dos agregados virgens (UIC, 2021). A reciclagem do betão, que envolve a transformação de resíduos deste material em agregados reciclados, é um dos métodos mais bem-sucedidos da gestão de resíduos de betão, sendo um procedimento com enorme potencial (Badraddin et al., 2021).

Na última década tem existido um crescente interesse pela utilização de agregados reciclados, provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD), onde se incluem os resíduos de betão e o balastro proveniente de desguarnecimentos. A Diretiva Europeia 2008/98/CE de 19 de novembro, estabelece a meta de utilização de 70% dos resíduos de construção e demolição em operações de valorização até 2020. Portugal foi um dos países que mais demorou a atingir este objetivo, mas de acordo com os dados mais recentes disponibilizados pelo EUROSTAT,

de 2018, Portugal tem vindo a valorizar mais de 90% destes resíduos, enquanto a EU de 27 países regista um valor de 88%, acima da meta acordada.

Entre as soluções mais recorrentes encontra-se a utilização dos agregados reciclados como material de aterro, nas camadas não ligadas das vias rodoviárias ou a sua incorporação no fabrico de betão, existindo diversos estudos que comprovam a sua viabilidade como agregado e desempenho idêntico aos agregados naturais. Segundo a Associação Europeia de Agregados (UEPG), em 2019 Portugal produziu 41 milhões de toneladas de agregados, dos quais 0,5% foram agregados reciclados. No conjunto da EU de 27 países essa percentagem foi de 8,1%, num total de 2.554 milhões de toneladas (Figura 5.2). No entanto, a UEPG garante que, mesmo com a reciclagem de todos os resíduos de construção e demolição, os agregados reciclados apenas cobririam 12 a 20% da procura atual por agregados (UEPG@2022).

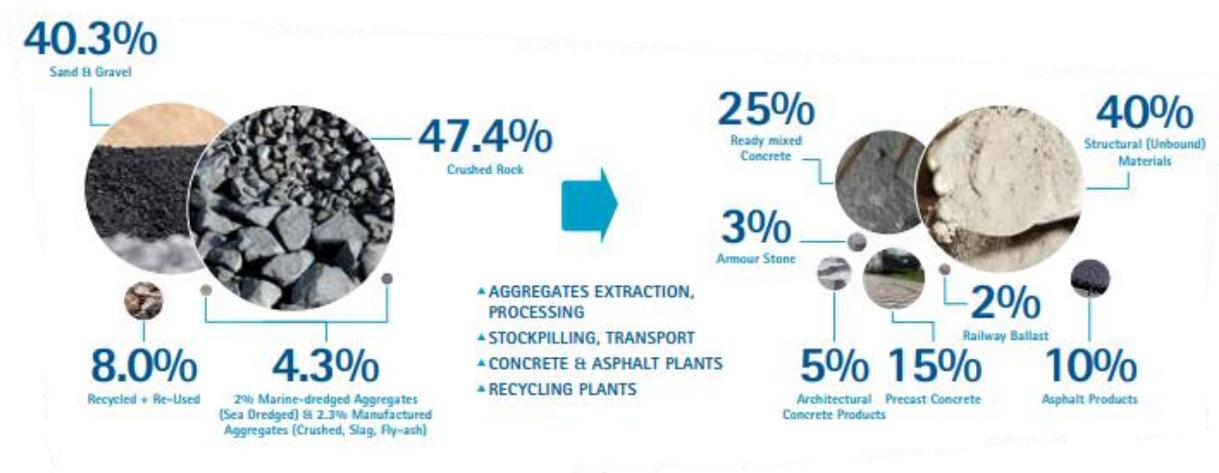


Figura 5.2 - Origem e aplicações do balastro na Europa (UEPG, 2018)

5.5 Balastro

O balastro, tal como as travessas de betão, pode ser valorizado como agregado reciclado. Ao contrário das travessas, o balastro retirado da via não precisa de qualquer procedimento para ser considerado um agregado. No entanto, fruto da deterioração deste material provocada pelo normal funcionamento da ferrovia, ocorre o desgaste e polimento dos elementos, pelo que, tendo em conta a sua nova função, pode ser submetido a um processo de transformação, a fim de alterar as suas características físicas, como a granulometria e a forma das partículas.

Durante o processo de desguarnecimento, o balastro é depurado e peneirado, sendo as partículas com dimensão considerada adequada devolvidas à via, enquanto as restantes são rejeitadas e recolhidas.

Como visto anteriormente, a APA elaborou uma regra geral, cujo cumprimento isenta de licenciamento a utilização do balastro resultante dos desguarnecimentos manuais e mecânicos. O documento estabelece as operações de tratamento e as aplicações possíveis para a valorização do balastro usado, desde que isento de contaminação por hidrocarbonetos.

Entre as operações prévias à utilização previstas encontram-se a triagem e os tratamentos mecânicos, como a redução primária, a britagem, a peneiração do balastro, enquanto nas operações de utilização estão previstas a incorporação em obra, a valorização em operações de enchimento e a valorização de RCD. Estas operações englobam as aplicações de valorização possíveis (APA, 2021):

- i) Incorporação de balastro inerte na via, durante a operação de desguarnecimento mecânico;
- ii) Utilização de resíduos de balastro inerte no sistema de drenagem profunda e no preenchimento de colchões drenantes da subestrutura de via;
- iii) Utilização de resíduos de balastro inerte em enchimento de valas;
- iv) Utilização de resíduos de balastro inerte em beneficiação de caminhos rurais e terrenos municipais e outras vias de comunicação;
- v) Utilização de resíduos de balastro inerte em camadas de sub-balastro da subestrutura de via;
- vi) Utilização de balastro inerte para enrocamentos e gabiões;
- vii) Utilização de balastro inerte para fundações e enchimento;
- viii) Utilização de resíduos de balastro inerte em terrenos do Dono de Obra ou outros, para regularização de acessos e caminhos;
- ix) Incorporação de resíduos de balastro inertes britados em aterros e leitos, bases e sub-bases de pavimento;
- x) Incorporação de resíduos de balastro inertes com RCD selecionados, permitindo um imbricamento do material, para pavimentos;
- xi) Incorporação de resíduos de balastro inertes para o fabrico de betão, argamassas misturas betuminosas.

Todas estas opções de valorização do balastro representam um enorme potencial para a IP, em especial a utilização de resíduos de balastro para incorporação na via durante as operações de desguarnecimento, ou a sua aplicação em camadas de sub-balastro na subestrutura de via. Estas opções têm a vantagem das elevadas quantidades envolvidas, porém outras das soluções partilham o benefício de puderem ser implementadas em obra, em coordenação com as operações de desguarnecimento.

6 VALORIZAÇÃO DOS MATERIAIS DE VIA CONSIDERADOS RESÍDUOS

6.1 Introdução

Nas últimas décadas têm vindo a crescer as preocupações e as políticas ambientais, tal como tem aumentado o interesse dos próprios cidadãos sobre este tema. As consequências provocadas pelas alterações climáticas são cada vez mais perceptíveis e os eventos extremos notoriamente mais frequentes. É sabido que a humanidade não pode manter o estilo de vida despreocupado e utilizar os recursos existentes no planeta de forma consumista, uma vez que coloca em causa a biodiversidade e as futuras gerações.

Em 2020, Portugal gerou cerca de 16,6 milhões de toneladas de todo o tipo de resíduos, o que se traduz em 1.612 kg por habitante (Figura 6.1). Por comparação, a União Europeia, no conjunto dos 27 países, foi responsável pela geração de mais de 2.150 milhões de resíduos, cerca de 4.808 kg por habitante, e que potencialmente representam uma enorme perda de recursos, sob a forma de materiais ou energia (Eurostat@2022).

Waste generation, 2020

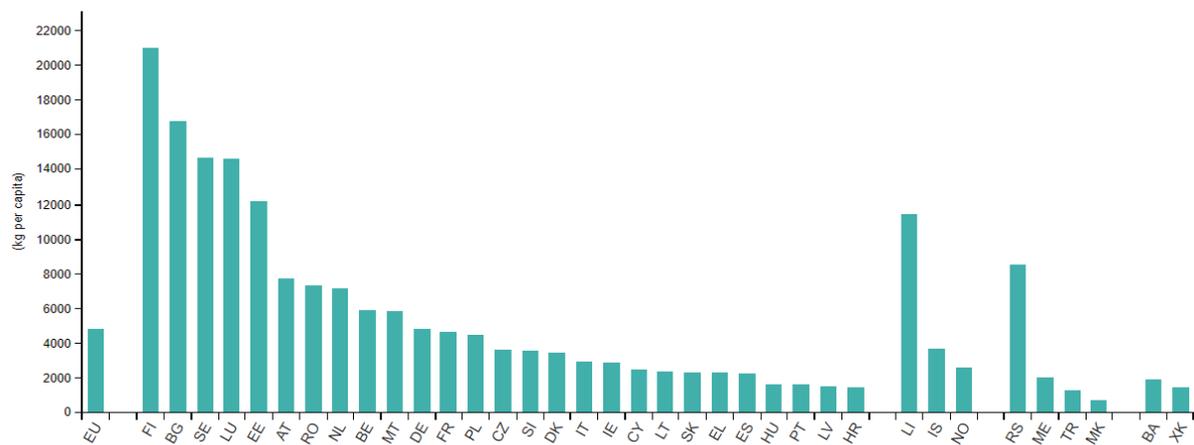


Figura 6.1 - Geração de resíduos na Europa (Eurostat@2022)

Desta forma torna-se necessário encontrar alternativas sustentáveis para os materiais nas mais variadas atividades realizadas pelo Homem, de forma a minimizar o consumo e o impacto no planeta. Este objetivo pode ser atingido utilizando as políticas de economia circular e hierarquia

de resíduos, que permitam maximizar a vida útil dos materiais, prevenir a exploração de nova matéria-prima e minimizar a quantidade de resíduos gerados.

A taxa de utilização de material circular ou taxa de circularidade corresponde à percentagem de recursos materiais utilizados com origem em produtos reciclados e recuperação de materiais. Uma taxa elevada significa que uma maior quantidade de materiais secundários substitui materiais brutos, reduzindo a sua exploração. A taxa de circularidade é consideravelmente inferior à taxa de reciclagem, uma vez que esta última corresponde à percentagem de resíduos reciclados, enquanto a primeira diz respeito a todos os materiais inseridos na economia, e não apenas resíduos. Em 2017, a taxa de circularidade na EU foi de 17,8 %, enquanto em Portugal foi de apenas 1,8%, o segundo valor mais baixo dos 27 países da união (Eurostat@2022).

No ano de 2018, a EU procedeu ao tratamento de 2.149 milhões de toneladas de resíduos segundo duas grandes categorias, 54,2% em operações de recuperação e 45,8% destinados a eliminação (Figura 6.2). Neste campo, Portugal apresenta-se acima da média europeia (Eurostat@2022).

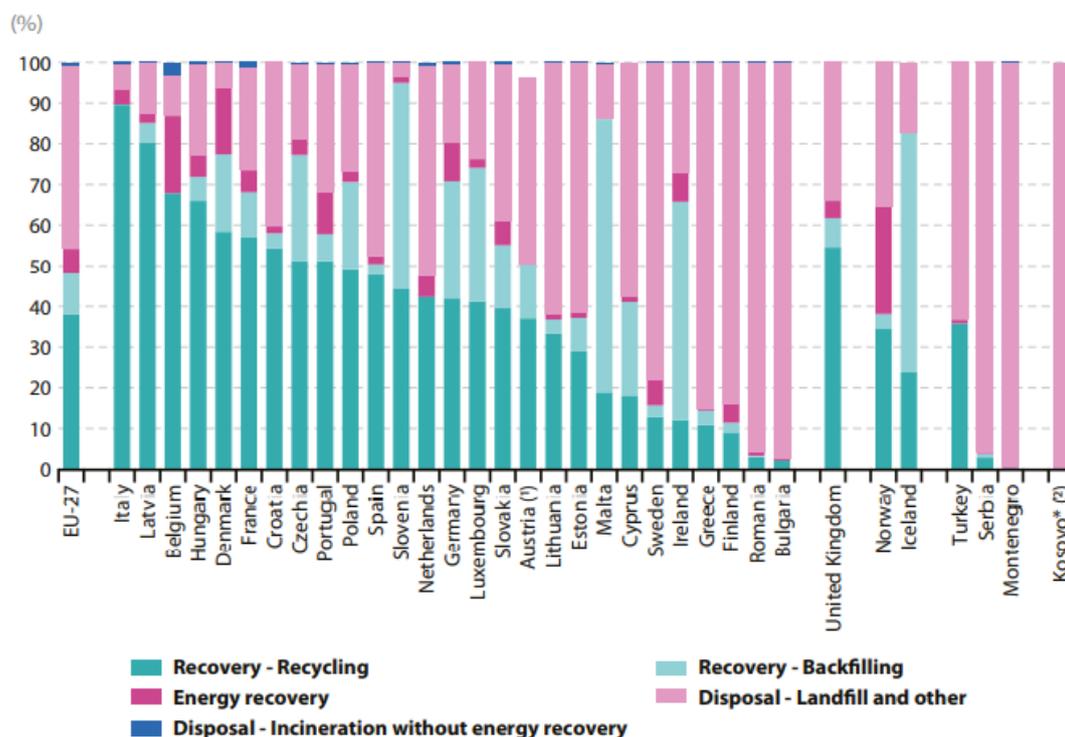


Figura 6.2 - Tratamento de resíduos segundo o tipo de valorização e eliminação na Europa em 2018 (Eurostat, 2020)

6.2 Quantificação dos Materiais Considerados Resíduos na IP

Sendo o objetivo deste estágio o estudo sobre as soluções para a valorização do material retirado de via e sem possibilidade de utilização na RFN, torna-se essencial perceber quais são os materiais com maior propensão para esta classificação e respetivas quantidades. Desta forma o estudo pode ser o mais ajustado possível às necessidades da IP.

Os materiais de via alvo de estudo são os carris, as travessas e o balastro. Os carris e as travessas de betão são considerados materiais valorizáveis economicamente e, desta forma, concentrados no CLE, pelo que a informação recolhida sobre estes componentes foi facultada pela Direção de Compras e Logística (DCL). Já a informação sobre as travessas de madeira e o balastro usado e sem potencial de reutilização, foi disponibilizada pela Direção de Engenharia e Ambiente (DEA), uma vez que estes materiais são considerados não valorizáveis economicamente, e desta forma não se encontram concentrados no CLE (Quadro 6.1).

Fruto das deslocações e da informação recolhida junto da DCL, foi possível compreender que a quantidade e a natureza do material em trânsito no CLE variam amplamente consoante os investimentos na RFN e as operações de manutenção que se encontrem a decorrer. Desta forma não existe a necessidade de um processo de valorização, ou de regeneração, em contínuo, pelo que o fluxo de saída de materiais da IP, recicláveis ou reciclados, não será constante.

Quadro 6.1 - Mapa de controlo de materiais levantados de via no 1º Trimestre de 2022 (IP)

Designação	Unidades	Quantidade Total	Lote A	Lote B	Lote Y	Lote X
Balastro não contaminado	ton	3075	-	-	-	-
Balastro contaminado	ton	109	-	-	-	-
Carril	ton	2184	265	70	445	1404
Fixações de via (usados)	ton	180	-	-	-	180
Fio de Cobre nu e isolado	ton	17	-	-	-	17
Postes de Catenária	ton	16	-	-	-	16
Ferragens de catenária e ferrosos diversos	ton	22	-	-	-	22
Equipamentos de Sinalização e Catenária (obsoletos)	ton	1	-	-	-	1
Ferrosa diversa	ton	34	-	-	-	34
Baterias	ton	37	-	-	-	37
Travessas de Betão Bibloco	un	2681	-	1444	1237	-
Travessas de Madeira	un	8795	-	-	-	8795

Da mesma maneira ficou evidenciado que, apesar de existirem procedimentos para tal, na prática o CLE ainda não recebe travessas de betão monobloco nem carril de 60 kg/m, uma vez que estes são materiais recentemente aplicados na RFN, não existindo ainda necessidade de serem amplamente intervencionados ou substituídos.

Importa referir que, face à calendarização utilizada pela IP, a informação recolhida diz respeito ao último trimestre com dados completamente conhecidos, que coincide com o primeiro trimestre de 2022.

6.2.1 Carril

Todo o carril retirado da via durante as operações de manutenção e renovação é concentrado no CLE, por via ferroviária ou rodoviária.

Segundo a DCL, durante o primeiro trimestre de 2022, deram entrada no CLE um total de 2.183,74 toneladas de carris, grande parte das quais, 1.404,10 toneladas, classificadas pela IP como Lote X, sem potencial de reutilização ou reaplicação, sendo estes carris considerados resíduos economicamente valorizáveis.

6.2.2 Travessas de madeira

De acordo com a informação disponibilizada pelo DEA, a maioria das travessas de madeira retiradas da via são classificadas como Lote X. De facto, durante o primeiro trimestre de 2022, a totalidade das travessas de madeira retiradas durante as operações de manutenção foram incluídas neste lote, num total de 8.795 travessas em toda a RFN.

Estas travessas comportam custos acrescidos para a IP, pelo que são entregues diretamente na frente de obra, para destino final autorizado.

6.2.3 Travessas de betão

Tal como os carris, todas as travessas de betão retiradas da via durante as ações de manutenção e renovação são concentradas no CLE.

De acordo com a DCL, no decorrer do primeiro trimestre de 2022, entraram no CLE apenas 2.671 unidades de travessas de betão bibloco, 1.444 classificadas como Lote B, destinadas a serem reutilizadas em linhas com velocidade máxima até 45 km/h, e as restantes 1.237 pertencentes ao Lote Y, destinadas a serem vendidas segundo tabela de preços.

Neste período não deram entrada travessas de betão pertencentes ao Lote X, no entanto, em 2018, a IP adjudicou um contrato de aquisição de serviços com o objetivo da transformação de 100.000 travessas de betão bibloco sem reutilização na RFN, pertencentes ao Lote X. Em consequência, as travessas foram britadas, tendo-se obtido cerca de 1.600 toneladas de aço e 16.400 toneladas de betão britado. O aço resultante foi incluído nos lotes de carris e material ferroso alienado, enquanto os agregados de betão permanecem no CLE.

6.2.4 Balastro

A gestão do balastro proveniente de desguarnecimentos pode acarretar um custo financeiro e de recursos considerável, pelo que a sua alienação direta na frente de obra beneficia a IP.

De acordo com a APA, o balastro retirado da via pode ser incluído numa de quatro categorias de contaminação ambiental, dependendo do nível de sujidade ou evidencia de hidrocarbonetos, encontrado geralmente nas zonas das estações ou estacionamento. Consoante a categoria, o balastro pode ser utilizado sem restrições ou sujeito a ensaios. Na presença de hidrocarbonetos, o balastro não pode ser valorizado, estando sujeito a destino final autorizado.

Durante o primeiro trimestre de 2022, foram geradas 3.075 toneladas de balastro não contaminado e 109 toneladas de balastro contaminado por substâncias perigosas.

6.3 Estudo das Soluções

Conhecidas as soluções de valorização de materiais de via atualmente existentes, tanto aquelas que são empregues pelos diferentes gestores ferroviários, como as que ainda são apenas alvo de estudo ou pouco implementadas, importa compreender a viabilidade tendo em conta a realidade atual. Desta forma, foram analisados diversos estudos sobre as soluções a dar a cada material, expondo as suas características. Nesta fase, procede-se à discussão sobre as vantagens e as limitações que cada opção representa, sendo avaliada a sua compatibilidade com a IP e a possível implementação no seio da empresa.

6.3.1 Carril

Tendo em conta a informação recolhida, a principal solução a analisar para a valorização dos carris usados, sem aplicação na rede ferroviária, é a incorporação deste material no processo de fabrico do aço bruto. Esta solução para além de permitir a valorização dos carris usados e

providenciar um retorno financeiro para a IP, destaca-se por proporcionar uma procura continua e de grandes quantidades de material, o que garante à IP a existência de um mercado fiável.

O aço é uma liga de ferro e carbono, contém menos de 2% de carbono e pequenas quantidades de outros elementos. A produção deste material é feita essencialmente por dois métodos, em alto forno ou em forno de arco elétrico (Figura 6.3). O primeiro é frequentemente associado à produção de aço virgem, ou caminho primário, uma vez que recorre sobretudo ao ferro-gusa produzido pelo minério de ferro enquanto o aço reciclável representa cerca de 30% do material de origem (WSA, 2022). O segundo visa sobretudo a reciclagem, com o aço reciclável a representar mais de 90% do material de origem. Em Portugal, de acordo com a Associação Europeia do Aço (EUROFER@2022), existem apenas dois fornos de arco elétrico, pelo que todo o aço bruto é produzido com recurso a este método, considerado mais sustentável.

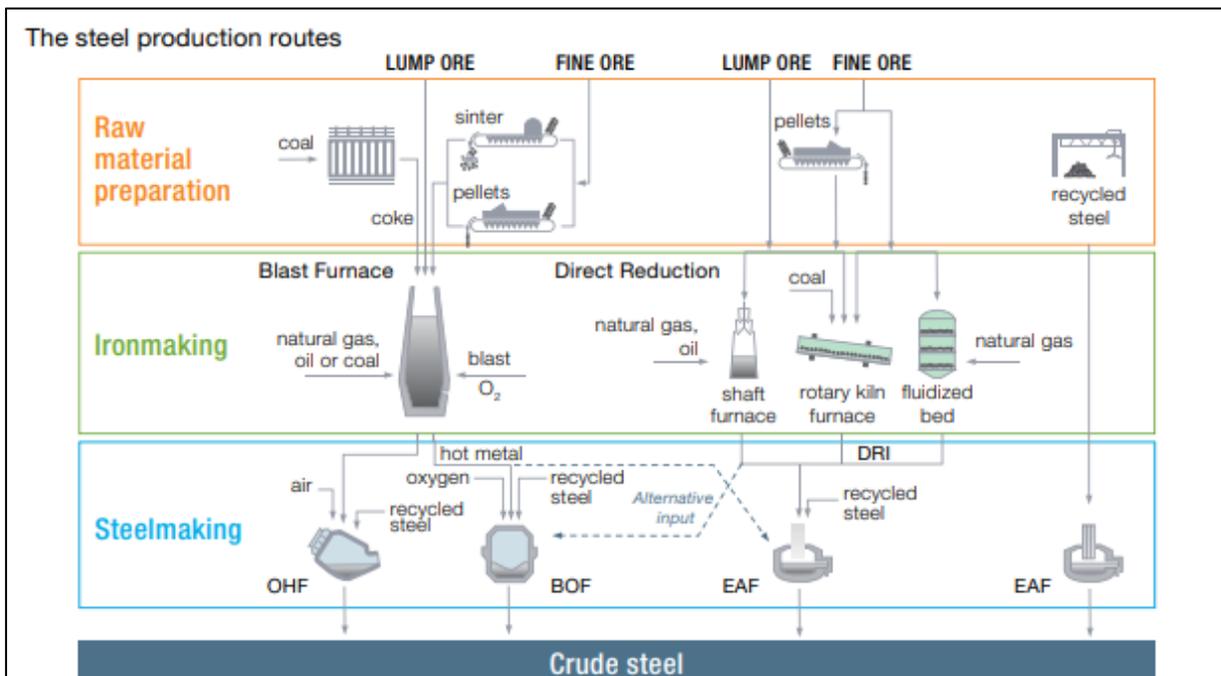


Figura 6.3 - Processos de produção do aço (WSA, 2015)

A sucata não pode ser diretamente direcionada para o processo de fabrico do aço. Existe um estágio intermédio entre o detentor original e o fabricante, um operador de resíduos qualificado, que procede à separação e triagem da sucata, e ao processo de trituração e preparação, para ser posteriormente direcionada para o processo de fabrico.

Durante a produção em forno de arco elétrico, a sucata preparada é colocada na fornaça, a qual dispõe de eléctrodos de grafite, alimentados a energia eléctrica. Quando estes eléctrodos entram

em contacto com o metal, formasse um arco elétrico que pode atingir 3.500°C, derretendo o material, podendo ainda ser adicionado carbono ou oxigénio, a fim de regular a nível de carbono desejado (EUROFER@2022). Apesar do aço ser considerado infinitamente reciclável e sem perda de qualidade, na prática, este é um feito difícil de alcançar. Este problema deve-se à contaminação progressiva do aço em cada ciclo de reciclagem, devido à mistura de outros metais, criação de ligas e existência de revestimentos. Desta forma, durante o fabrico, embora que de forma ainda não totalmente eficiente, podem ser adicionados ferro ou gases específicos, para reduzir a percentagem de contaminantes (Bowyer et al., 2015).

No final do processo, o metal líquido é vertido e encaminhado para criar diversos produtos intermédios, como barras ou placas, e processos laminados a quente, no caso dos carris. A par disto, ambos os métodos originam ainda como co-produto escória, em média 0,28 kg por cada quilograma de metal líquido produzido, que pode ser utilizada de formas conhecidas. No caso da produção em forno de arco elétrico, 87% da escória criada é recuperada, sendo destinada a agregados na construção de vias rodoviárias (WSA, 2020).

A reciclagem do aço por incorporação no processo de fabrico é um dos métodos mais estudados e o mais implementado. Os estudos e as análises ao ciclo de vida do aço referem os benefícios da sua valorização, mas levantam também questões que podem ser corrigidas, a fim de tornar o seu ciclo de vida o mais sustentável possível, a nível económico e ambiental. A análise do ciclo de vida do aço tem em conta a extração do minério de ferro, a produção de ferro-gusa, do aço bruto e do produto final, bem como os benefícios da reciclagem, os co-produtos e a origem da energia consumida.

A associação mundial do aço atualiza periodicamente o estudo mais exato que existe sobre este tema, onde prova que a utilização de aço reciclado contribui para a economia circular, diminui drasticamente o consumo de energia e a emissão de gases de efeito de estufa, através da redução da extração e da transformação do minério de ferro. Dependendo do produto final, a atual utilização de aço reciclado na produção unitária de aço bruto diminui o potencial de aquecimento global em perto de metade (Figura 6.4), contabilizado desde a extração do minério até à saída da fábrica (Cradle to Gate). Nesta indústria, a emissão de dióxido de carbono e metano são os maiores contribuintes para o potencial de aquecimento global, representando mais de 99% de todos os gases de efeito de estufa emitidos (WSA, 2020).

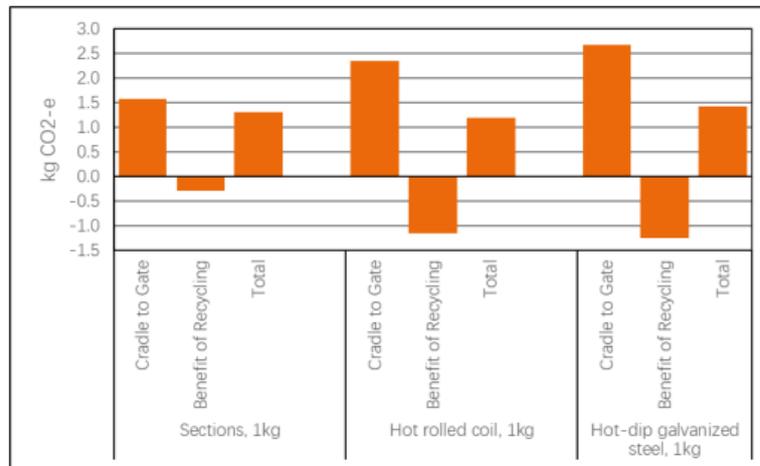


Figura 6.4 - Potencial de aquecimento global de alguns produtos de aço (WSA, 2020)

O estudo analisa o impacto benéfico da reciclagem noutras categorias (Figura 6.5), com destaque para a redução pela procura de energia primária, onde apesar de tudo, as energias não renováveis ainda contribuem mais de 90%, sobretudo o carvão. A reciclagem beneficia ainda todas as outras categorias analisadas, o potencial de acidificação pela emissão de SO_2 e NO_x , o potencial de eutrofização e o potencial de formação fotoquímica de ozono. Este estudo conclui que os processos atuais da reciclagem do aço e da utilização dos seus co-produtos reduzem o impacto da produção dos produtos analisados em todas as categorias analisadas, com exceção do agravamento do potencial de efeito de estufa devido à alocação de co-produtos e sua gestão na produção de aço em alto forno, método inexistente em Portugal (WSA, 2020).

Estes valores podem ainda ser melhorados no futuro, nomeadamente através do aumento do uso de aço reciclável e pela migração da energia utilizada ao longo do ciclo de vida para fontes renováveis. O primeiro ponto ainda não foi alcançado porque a procura por resíduos de aço é maior do que a oferta disponível, pelo que o mercado é obrigado a recorrer ao minério de ferro (WSA, 2015). O segundo é um processo em desenvolvimento, que acompanha o desenvolvimento tecnológico, existindo projetos que visam alcançar a neutralidade carbónica no processo de fabrico do aço em 2050, com o fim da utilização dos combustíveis fósseis como fonte de energia (STEELZERO@2022).

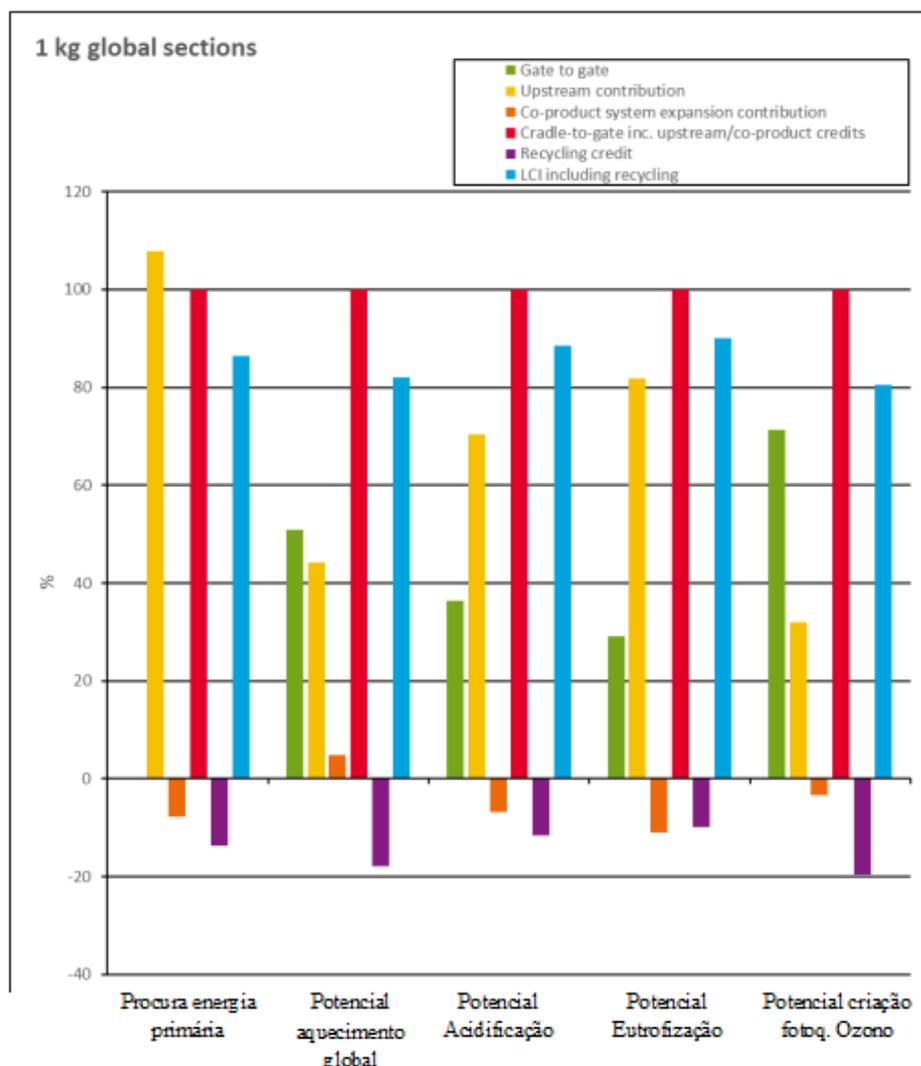


Figura 6.5 - Contribuição do ciclo de vida do aço nas categorias analisadas (adaptado de WSA, 2020)

Uma outra questão levantada por alguns autores diz respeito à relação entre as partes envolvidas no ciclo de vida do aço, afirmando que apenas será possível alcançar completamente a economia circular aprofundando as ligações e o diálogo, a fim de aumentar a qualidade dos produtos e da rede de fornecimento, nomeadamente quando este se dá num fluxo fechado (Berlin et al., 2022). A IP deve contribuir para este objetivo e aprofundar as relações com a siderurgia e os operadores de resíduos, sobretudo como fornecedora, uma vez que as duas empresas produtoras de aço bruto nacionais, pertencentes ao mesmo grupo empresarial, são especializadas na produção de varões de aço e fio-máquina, não fornecendo material de via.

6.3.2 Travessas de madeira

Como visto anteriormente, apesar das vantagens, as travessas de madeira apresentam um grande inconveniente, a impregnação com creosoto com vista a aumentar a resistência e a durabilidade deste elemento de via. O creosoto tem origem na destilação de produtos petrolíferos e na pirólise de produtos de origem vegetal a altas temperaturas, sendo utilizado como conservante ou antisséptico (Kalambura et al., 2015).

O creosoto é constituído até 85% por Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons), responsáveis pela toxicidade e propriedades cancerígenas do creosoto. Ao longo da vida útil das travessas, parte destes componentes evaporam-se na atmosfera, infiltram-se e acumulam-se nos solos e nos seres vivos, apresentando graves riscos para a saúde humana e para o ambiente (Zicari et al., 2013). Por este motivo, as opções para a valorização da madeira tratada são muito limitadas, sendo favorecida a sua eliminação como destino final. Dentro desta, existem duas grandes opções distintas, a deposição em aterro ou a incineração com recuperação de energia.

Como as travessas de madeira são consideradas um resíduo perigoso pela LER, ambas as soluções apresentam desvantagens e custos financeiros associados à sua correta gestão. No entanto, os estudos e análises ao ciclo de vida defendem a redução da utilização de aterros como destino final para este material. A própria EU, de acordo com a Diretiva 1999/31/CE de 26 de abril, alterada pela última vez pela Diretiva 2018/850 de 14 de junho, estabelece que os Estados-Membros devem envidar esforços para assegurar que, a partir de 2030, todos os resíduos adequados para reciclagem ou outro tipo de valorização não sejam aceites em aterros. Neste processo, a madeira é degradada de forma anaeróbica, libertando para a atmosfera dióxido de carbono e metano. O dióxido de carbono é capturado durante a fase de crescimento das árvores, pelo que é considerado neutro em carbono. Pelo contrário, o metano não seria deteriorado em condições normais, sendo este contabilizado prejudicialmente como um gás de efeito de estufa (Bolin e Smith, 2010).

As Avaliações de Ciclo de Vida (LCA – Life Cycle Assessment) mostram que a incineração com recuperação de energia é menos prejudicial do que a deposição em aterro em todos os parâmetros analisados, beneficiando da utilização de travessas em deterioramento dos combustíveis fósseis (Figura 6.6). Cada travessa de madeira utilizada como combustível representa o equivalente à energia produzida por cerca de 57 quilogramas de carvão, com uma compensação líquida de 113 quilogramas de dióxido de carbono emitido (Bolin e Smith, 2010).

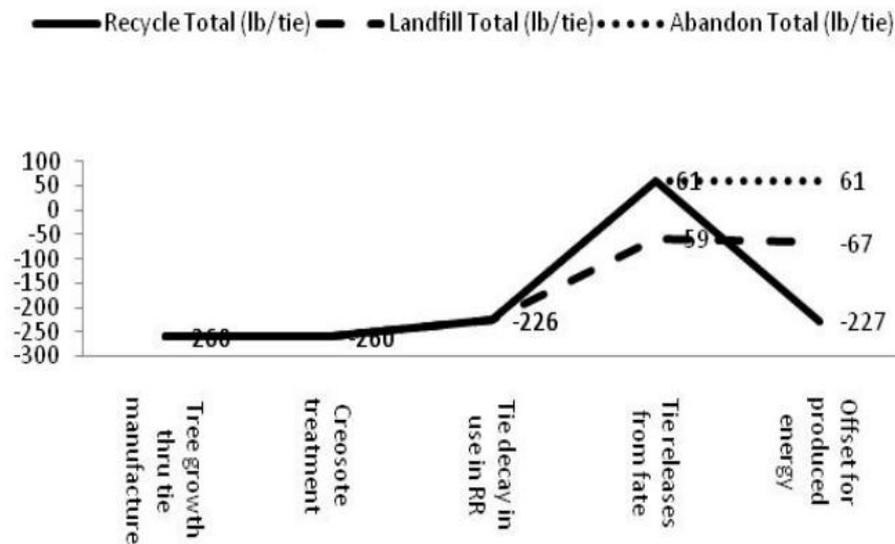


Figura 6.6 - Fluxo de Gases de Efeito de Estufa consoante a fase de vida (Bolin, 2010)

O processo de combustão consiste na transformação da energia química dos combustíveis em calor, mediante as reações com o oxigénio fornecido. O calor pode ser utilizado para fins energéticos em fornos ou na geração de vapor a alta pressão. Geralmente este vapor é utilizado para mover turbinas, na produção de energia elétrica, sendo a taxa de conversão de energia de 20% a 25% (Silva, 2021). Na cogeração, também o vapor a baixa pressão é incorporado no processo, sendo utilizado como fonte de calor, aumentando assim a eficiência térmica da conversão de energia (Bolin e Smith, 2010).

Um benefício da incineração das travessas provém desta versatilidade do processo de combustão. A incineradora pode ser de uso exclusivo para a valorização de travessas, destinada à combustão com carvão ou outro processo de combustão sólida, como os fornos de produção de cimento (Bolin e Smith, 2010). Esta versatilidade permite que o processo de valorização não seja dependente da existência ou das quantidades de travessas disponíveis, alinhando-se assim com as necessidades da IP.

Em contraponto, a incineração de madeira tratada apresenta riscos para a saúde, pelo que muitos autores evidenciam a elevada concentração de PAH junto das incineradoras, de metais pesados na cinza remanescente ou a sua emissão para a atmosfera em conjunto com outros componentes perigosos e cancerígenos. Como forma de mitigar este problema (Figura 6.7), os estudos realizados defendem que a incineração se processe a elevadas temperaturas, acima de 1200°C, que se proceda à utilização de diversos filtros e à aplicação de aditivos (Humar et al., 2006; Damasceno et al., 2017).

Proposals for Minimizing the Combustion Problems with Waste Wood		
General Measure	Specific Measure	Effect
Improving the fuel quality	a) Improved source sorting b) Sieving of the fuel	a) Reducing the amount of metals and chlorine b) Separation of the fine fractions and thereby reducing the amount of metals
Combustion modifications	Avoid reducing conditions at the heat exchanger surfaces	Minimizing slagging, fouling and corrosion
Additives or cocombustion	a) Adding sulfur to the fuel b) Injection of sulfur-containing substances in the furnace c) Addition of additives or fuels containing silica	a) Sulfating of troublesome metal chlorides b) Sulfating of troublesome metal chlorides c) Adsorption of troublesome substances

Figura 6.7 - Propostas para a minimização dos problemas com a queima de resíduos de madeira (Humar et al., 2006)

Com o avançar da tecnologia, surgiram outros processos termoquímicos de conversão de biomassa, onde a decomposição térmica das matérias orgânicas ocorre a temperaturas muito elevadas, produzindo bio óleos e gases. Entre as opções mais promissoras encontram-se a pirólise, a gaseificação e a liquefação (Figura 6.8). As principais diferenças entre os vários processos termoquímicos são a quantidade de oxigénio presente durante a conversão e o principal produto final (Silva, 2021).

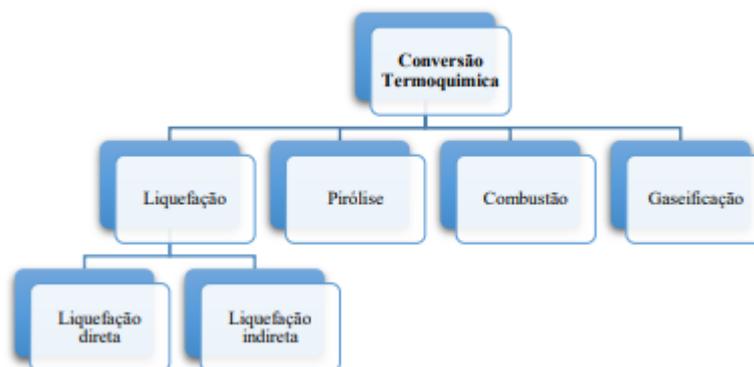


Figura 6.8 - Processos termoquímicos da conversão da biomassa (Silva, 2021)

A liquefação é um processo realizado a temperatura e pressão elevadas, que consiste na transformação de fontes de carbono, como a madeira, sobretudo em produtos líquidos, designados bio óleos (Silva, 2021).

A gaseificação permite alterar a estrutura da fonte de carbono a altas temperaturas, na presença controlada de oxigénio e de um agente de gaseificação, dando origem a produtos gasosos e a pequenas quantidades de carvão, alcatrão e cinzas (Silva, 2021).

A pirólise é um processo endotérmico de degradação química de compostos orgânicos num ambiente controlado, a elevada temperatura e privado de oxigénio. Em função da temperatura e da fonte de carbono utilizada, permite obter quantidades variáveis de carvão, cinzas, bio óleos e gases (Nkosi et al., 2021).

Estes processos apresentam mais vantagens do que a combustão. Desde logo os produtos resultantes detêm um enorme potencial energético, maior do que o valor energético do vapor utilizado nas centrais incineradoras. As parcelas sólidas e líquidas, bem como os gases podem servir de combustível, ser decompostas em produtos com características particulares ou ser reincorporadas no processo, de forma a aumentar a sua eficiência. Desta forma é esperado que o produto resultante atinja maior utilidade e valor (FoE, 2009).

No entanto, a eventual queima posterior destes produtos pode continuar a produzir gases poluentes e a requerer a gestão das cinzas produzidas, desvantagens partilhadas pelo processo de combustão. Atualmente existem ainda muitas incertezas acerca destas tecnologias, nomeadamente como se procede à posterior separação das diferentes parcelas ou se os benefícios dos produtos finais são superiores à grande quantidade de energia consumida na sua produção (FoE, 2009). No que diz respeito às travessas de madeira, a literatura demonstra também preocupações sobre a aplicabilidade destes processos a diferentes tipos de resíduos, informações que se esperam obter com a modernização tecnológica nos próximos anos, com o investimento nos biocombustíveis e nas energias alternativas.

Um procedimento complementar aos métodos de eliminação descritos é a biorremediação da madeira tratada com creosoto. O creosoto não se degrada facilmente, sendo verificadas quantidades elevadas desta substância e de PAH durante longos anos, mesmo após o ciclo de vida útil das travessas (Marcotte et al., 2014). Diferentes estudos analisaram métodos de degradação ou remediação das travessas impregnadas com creosoto utilizando fungos, formando um produto final menos nocivo, que conduziram a resultados encorajadores. Esta pode ser uma solução importante para implementar em conjunto com a deposição em aterro, resolvendo as problemáticas da falta de espaço e da poluição por infiltração nos solos. No entanto, os estudos são ainda insuficientes e apenas foram realizados em laboratório, num ambiente bastante controlado, não representado a realidade prática atual (Jurys et al., 2015).

Objetivamente, as únicas soluções atualmente realistas e passíveis de implementar são a combustão controlada ou a deposição em aterro. Em termos financeiros, segundo a APA, a incineração como valorização energética é o método mais vantajoso, beneficiando de uma taxa de gestão de resíduos (TGR), incumbida aos operadores de resíduos e aos produtores, neste caso a IP, de valor inferior à deposição em aterro (Quadro 6.2) (APA@2022).

Quadro 6.2 - Taxa de Gestão de Resíduos em aplicação (APA@2022)

Operação	Percentagem da TGR a pagar		
	2020	2021	A partir de 2022 (inclusive)
D1 – Deposição em aterro (eliminação)	100%	100%	100%
D10 - Incineração (eliminação)	70%	85%	85%
R1 - Valorização energética (valorização)	25%	25%	20%

6.3.3 Travessas de betão

Como descrito anteriormente, existem diversas opções para a valorização de travessas de betão usadas, divididas em soluções de reaplicação ou de reciclagem. As opções de reaplicação são mais vantajosas segundo a hierarquia de resíduos, mas a literatura analisada e os gestores ferroviários consideram a reciclagem como a solução principal e com maiores benefícios.

A reaplicação de travessas destina-se sobretudo às travessas monobloco que preservem a sua integridade física, nomeadamente na construção de muros de suporte de terras ou como pavimento de pequenas vias e caminhos rurais. Algumas empresas gestoras ferroviárias internacionais, em especial no Reino Unido, viabilizam a utilização desta última solução em caminhos rurais privados ou nas suas próprias instalações ferroviárias. As travessas podem ser dispostas sobre o terreno ou sobre uma base granular, sem necessidade de recorrer a outros materiais ou ligantes, representando uma alternativa simples e rápida para a melhoria das condições de circulação das vias rurais. Contudo, apesar das vantagens e melhorias iniciais não existem estudos sobre esta utilização, nomeadamente sobre a resistência ao tráfego pesado, pelo que se colocam dúvidas sobre a viabilidade desta solução.

A reaplicação de travessas de betão em muros de suporte foi estudada em caminhos florestais, de reduzido tráfego (Figura 6.9). O estudo comparou a solução tradicional, construída com betão in situ, com três opções construtivas com recurso a travessas de betão monobloco usadas e concluiu que qualquer uma destas soluções apresenta um menor custo financeiro e uma menor emissão de gases de efeito de estufa. No entanto, o estudo admite serem necessários mais estudos sobre as soluções e sobre o seu comportamento estrutural durante o seu ciclo de vida (Igneia et al., 2013).



Figura 6.9 - Reaplicação de travessas monobloco em muros de suporte (Igneia et al., 2013)

Em Portugal, Carvalho (2020) estudou em parceria com a IP a viabilidade da adaptação das travessas de betão bibloco retiradas da via larga (bitola 1668 mm) para reaplicação na via estreita (bitola 1000 mm). A solução implica o corte da cantoneira metálica e a sua posterior soldadura, sendo que estas não podem apresentar corrosão acentuada nem empeno. Esta solução foi aplicada num troço experimental na Linha do Vouga, não existindo até ao momento problemas de maior, com todas as tolerâncias exigidas a serem cumpridas. Segundo o autor, a solução encontra-se validada, permitindo a renovação das linhas de via estreita, tendencialmente de menor tráfego e onde ainda persistem as travessas de madeira, com travessas bibloco, enquanto proporciona vantagens ambientais e económicas para a empresa (Carvalho, 2020).

De relembrar que nas soluções anteriores apenas podem ser utilizadas travessas pertencentes ao Lote Y ou superior, com capacidade para reaplicação ou reutilização. Desta forma, as travessas de betão pertencentes ao Lote X devem ser sujeitas a processos de reciclagem.

A reciclagem de travessas é uma opção amplamente utilizada e estudada. As travessas de betão são constituídas por betão e aço, materiais diferentes com características distintas, que são necessariamente reciclados em separado. Sendo assim, o primeiro passo desta solução visa a

separação dos dois componentes, através da destruição mecânica das travessas, a fragmentação genérica do betão e a extração do aço.

O aço é um material valorizável e reciclável, amplamente utilizado na indústria da construção e também no sector ferroviário. Nas travessas, é o material constituinte das cantoneiras das travessas bibloco e dos varões presentes no interior das travessas monobloco. Durante a fase de separação dos materiais, estes componentes são sujeitos a potenciais deformações, que acrescem ao desgaste e deterioração sofridos ao longo do seu ciclo de vida, considerável no caso das travessas bibloco. Desta forma, as opções de valorização destes elementos são mais restritas, devendo o foco ser a reciclagem, à semelhança do que acontece com os carris, através da sua utilização como matéria-prima no processo de fabrico do aço.

A outra componente, o betão, é outro dos materiais de construção de maior consumo e apresenta igualmente um elevado potencial de valorização através da reciclagem. O material remanescente da destruição das travessas é britado, dando origem a agregados de betão reciclado, de dimensões calibráveis, sendo um substituto conhecido dos agregados naturais.

O betão é essencialmente constituído por uma mistura de cimento, água e agregados naturais, finos e grossos, que representam até 70% a 80% do volume total da mistura. Os agregados naturais têm origem em pedreiras e na extração de inertes, com recurso a equipamentos pesados, um elevado consumo de energia e danos consideráveis na paisagem. Apesar de serem um recurso abundante, são considerados finitos, pelo que é importante reduzir a sua extração, com medidas restritivas e opções alternativas à sua utilização (Veriana et al., 2018).

Uma alternativa é a utilização de agregados reciclados com origem em resíduos de construção e demolição (RCD). Segundo o Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho, os RCD são resíduos provenientes de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação e demolição e da derrocada de edificações. A composição deste tipo de resíduo depende fortemente da sua origem e manuseamento, mas é maioritariamente composto por materiais inertes tais como betão, argamassas, cerâmicas e vidros, bem como parcelas menores de madeira, cartão, plástico e solos. Estes resíduos devem ser triados, de preferência em obra e durante a sua produção, e posteriormente submetidos a processos de valorização apropriados, tal como estabelecido pela Diretiva Europeia 2008/98/CE de 19 de novembro. A principal componente, que engloba o betão e a alvearia, é a componente responsável por gerar os agregados reciclados, utilizados em substituição dos agregados naturais, em operações de enchimento, na produção de betão reciclado ou nas camadas não ligadas de vias de comunicação (Teodoro, 2011).

A utilização de agregados reciclados estende o ciclo de vida destes materiais, adiando o seu fim de vida. Esta utilização devolve o valor aos materiais contribuindo para a redução da sua deposição em aterro ou em locais sem preparação. Desta forma é possível fechar o circuito da Economia Circular, reduzindo a extração de novos inertes e agregados naturais.

Os benefícios podem ser ainda maiores quando os agregados têm origem unicamente no betão, como no caso das travessas dos caminhos-de-ferro, uma vez que o material produzido é mais homogéneo e com melhores características, sem vestígios de tijoleira, madeira ou outros resíduos. De facto, atualmente, este é o problema predominante na gestão de RCD. A heterogeneidade destes resíduos deve-se à diversidade de atividades e matérias-primas envolvidas na construção civil e implica a existência de uma multiplicidade de operadores envolvidos no processo, especializados em materiais diferentes). Até recentemente, outra preocupação era a inexistência de registos sobre RCD, fruto da negligência para com estes materiais. Por esta razão não existiam dados concretos sobre as quantidades produzidas ou os locais de descarga, realizadas muitas vezes por empresas não licenciadas e em locais impróprios. Esta realidade tem vindo a desaparecer desde o início do século, com a introdução e renovação de sucessivos decretos-lei e diretivas europeias (Teodoro, 2011).

No que diz respeito às travessas de betão em concreto, os problemas provocados pela contaminação por outros materiais de construção e demolição também não se verificam, o que permite desde logo obter agregados de maior qualidade. Esta particularidade é importante sobretudo quando os agregados são empregues na produção de betão reciclado, uma utilização tecnicamente mais exigente. Devido à origem dos agregados, esta tipologia de betão é ainda vista como um produto de baixa qualidade, inferior ao betão produzido com agregados naturais, de menor resistência e não adequado para os elementos estruturais.

Recentemente, os agregados reciclados têm sido alvo de inúmeros estudos sobre a sua qualidade e utilidade na indústria da construção, por forma a melhorar o conhecimento sobre o material e a sua utilização. No caso particular da origem dos agregados ser exclusivamente o betão, são excluídos os problemas de contaminação por outros RCD, sendo a maior problemática a argamassa aderente aos agregados naturais originais (Figura 6.10). Esta argamassa foi parte constituinte da mistura de betão original, tendo permanecido ligada aos agregados naturais aquando da desfragmentação desse betão. Devido à conservação desta aderência, a argamassa altera as características originais dos agregados, verificando-se uma maior angulosidade, rugosidade e porosidade do material. Estas alterações são responsáveis por uma maior absorção de água, cerca de três vezes mais elevada em comparação com os agregados naturais, e por uma diminuição da massa volúmica das partículas.

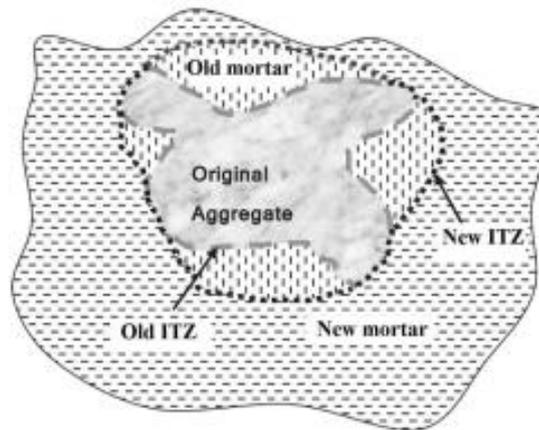


Figura 6.10 - Esquema representativo das zonas de interação do betão reciclado (Veriana et al., 2018)

Naturalmente, a alteração destas características dos agregados progride na cadeia de produção do novo betão reciclado, modificando os seus parâmetros fundamentais. A taxa de absorção elevada é responsável pela diminuição de trabalhabilidade da mistura, até 15 a 20% quando a totalidade dos agregados provêm de betão reciclado, e pela redução da resistência do betão. Verificam-se também maiores variações volumétricas devido à rápida evaporação da água, uma consequência permitida pela maior porosidade verificada no material. (Veriana et al., 2018).

Em termos de resistência, os estudos comparativos analisados apresentam resultados idênticos. Pedro et al. (2014) realizou testes de resistência à compressão em betões produzidos com agregados naturais ou com agregados de betão reciclado, para idênticas classes de resistência (20, 45 e 65 MPa). De acordo com os resultados obtidos (Figura 6.11), o betão de agregados de betão reciclado tem uma resistência inferior em todas as classes de resistência analisadas, no entanto as perdas são maiores nas classes de resistência mais baixas, entre 9 e 18%, enquanto nas classes de resistência mais altas as diferenças verificam-se entre 3 e 8%. Estes valores foram verificados por outros autores e são justificados por terem sido utilizados agregados de betão reciclado de baixa qualidade no fabrico dos betões de baixa resistência, enquanto nos betões de classe mais elevadas foram utilizados agregados de maior qualidade. Quando são utilizados agregados de betão reciclado de baixa qualidade, a fratura dá-se na zona de transição Intercácia entre os agregados naturais originais e a argamassa aderente, enquanto no betão de agregados de betão reciclado de boa qualidade, a zona onde ocorre a fratura é entre os agregados reciclados e a nova argamassa (Pedro et al., 2014).

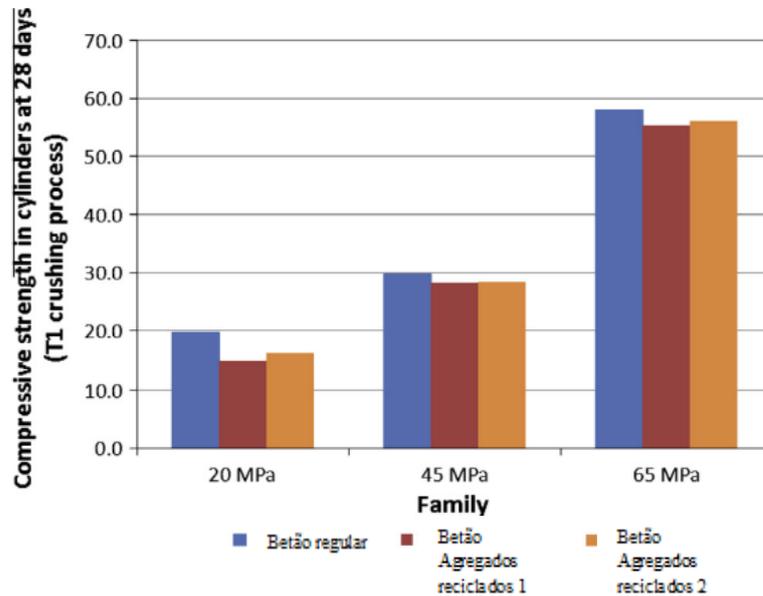


Figura 6.11 - Resistência à compressão em cilindros aos 28 dias (adaptado Pedro et al., 2014)

Outro estudo visou a produção de betão de classe 100 MPa, com agregados de alta qualidade provenientes de betão reciclado de diferentes classes de resistência (40, 60 e 100 MPa), e com diferentes volumes de agregados naturais substituídos (20, 50 e 100%). Os resultados mostram que todas as conjugações atingem valores idênticos ao betão de agregados naturais (Figura 6.12), embora sejam melhores para agregados de resistência mais elevada e menores volumes substituídos (Andreu e Miren, 2014).

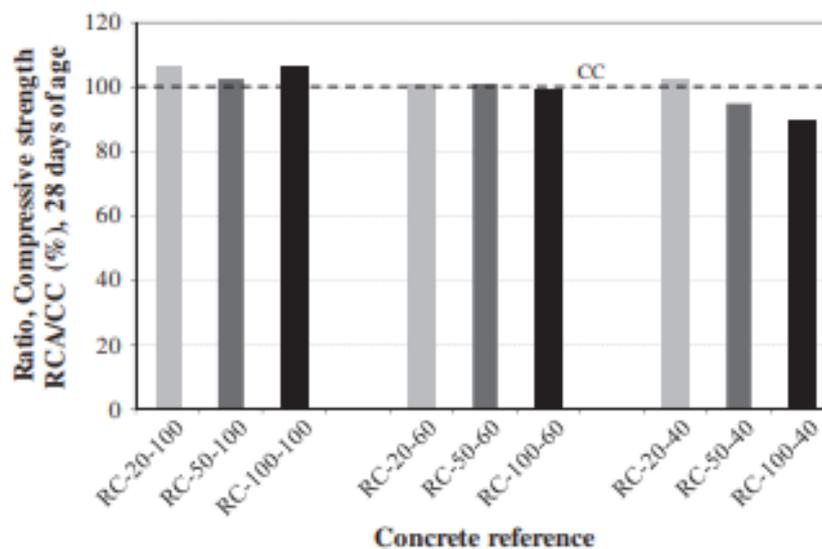


Figura 6.12 – Resistência à compressão do betão de agregados reciclados, RC, em comparação ao betão convencional, CC, aos 28 dias (Andreu e Miren, 2014)

Com o objetivo de aumentar a qualidade do betão produzido com agregados reciclados, a literatura descreve várias medidas estudadas e os seus efeitos. Desde logo, é evidente a necessidade prática de adicionar uma maior quantidade de água à mistura, por forma a melhorar a trabalhabilidade, aumentando a fração água/cimento da mistura. Uma solução alternativa visa a incorporação de suplementos na mistura, nomeadamente cinzas volantes com origem nas centrais termoelétricas a carvão, com o objetivo de compensar a elevada porosidade dos agregados reciclados, ou escórias provenientes dos processos siderúrgicos, como a produção do aço, embora com resultados variáveis sobre os efeitos na qualidade estrutural do betão. Outros métodos, mais simples, visam combater os efeitos da alta porosidade no consumo de água, com técnicas para a mistura dos componentes do betão distintas da tradicional, nomeadamente a imersão prévia e prolongada dos agregados em água ou a adição faseada do cimento e da água em várias fases da mistura. É ainda possível diminuir a quantidade de argamassa aderente pela amplificação do processo de britagem, ou simplesmente diminuir a quantidade de agregados reciclados, utilizando uma mistura com agregados naturais (Veriana et al., 2018).

Lidmila et al. (2014) pormenorizaram o estudo deste tema no processo de reciclagem das travessas de betão. O processo de transformação das travessas em agregados reciclados é realizado com recurso a uma britadeira, sendo o material produzido sucessivamente processado e dividido em diferentes frações utilizando peneiros e processos mecânicos. Neste estudo, os autores reconhecem as potencialidades do betão reciclado, mas defende a sua transformação preferencial em agregados finos, de modo que o processo se possa realizar em plena via e os agregados possam ser utilizados *in situ*, para estabilização do sub-balastro e dos taludes, rentabilizando a operação e diminuindo os custos de transporte dos materiais. Deste modo, foram realizados ensaios comparativos entre os aglomerados finos reciclados (0/0,125mm) e o cimento Portland. Os resultados mostram uma resistência dos agregados reciclados muito inferior ao cimento convencional, mas os autores assumem o seu potencial de utilização em substituição do cimento em betões, em conjunto com agregados naturais ou reciclados, criando misturas de maior resistência (Lidmila et al., 2014).

Gonzalez-Corominas et al. (2017) estudaram um processo igualmente vantajoso para a ferrovia. O estudo propôs a construção de travessas de betão monobloco com recurso a agregados de betão reciclado provenientes de travessas de betão usadas. Desta forma, foi possível comparar as travessas regulares de betão de alta qualidade com as travessas produzidas com agregados de betão reciclado de alta qualidade, utilizando 50% ou 100% de agregados reciclados. Para isso, foram realizados cinco testes estruturais de acordo com as normas europeias EN 13230-2:2009, três testes estáticos, de carga positiva e negativa, teste dinâmico e teste à fadiga. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios. Todas as travessas atingiram os requisitos

mínimos dos regulamentos europeus em todos os testes realizados, inclusive algumas travessas de agregados reciclados mostraram melhores comportamentos nos testes estáticos na secção central. No geral, as travessas de agregados reciclados apresentam resultados com maior desvio padrão e um comportamento estrutural um pouco pior que as travessas regulares. No entanto, os ensaios confirmam que todos os requisitos europeus foram cumpridos e que o comportamento das travessas é idêntico. Os autores complementam outros estudos e justificam os bons resultados com o facto de os agregados terem origem em betão de alta qualidade, com propriedades físicas e mecânicas mais próximas dos agregados naturais, o que não acontece com a generalidade dos agregados reciclados (Gonzalez-Corominas et al., 2017).

Desta forma, torna-se evidente que os agregados de betão reciclado podem ser valorizados em substituição aos agregados naturais, nas suas diversas finalidades. As vantagens de qualquer desses processos de valorização dos agregados reciclados são sobretudo ambientais e económicas. Por um lado, a utilização de agregados reciclados diminui a extração de recursos naturais, e inerentemente, o consumo de energia e de combustíveis, e pelo outro procede à valorização de um material anteriormente considerado como resíduo. Desta forma deixa também de existir a necessidade de se proceder à eliminação tradicional destes resíduos, a deposição em aterro, uma solução mais dispendiosa e prejudicial para o ambiente (Veriana et al., 2018).

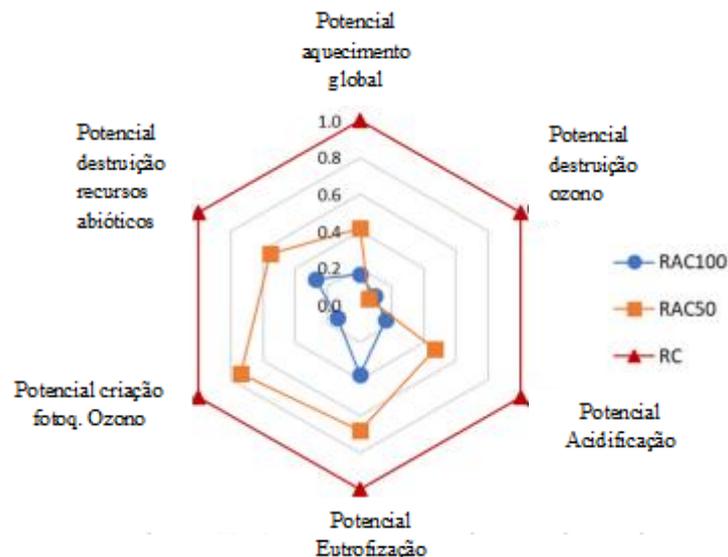


Figura 6.13 – Contribuição da utilização dos agregados reciclados, RAC, a 50 % ou 100%, no impacto ambiental em diferentes categorias, em comparação com o betão convencional, RC (Kadawo et al., 2022)

As LCA publicadas comparam os efeitos do betão tradicional e do betão reciclado e tendem a favorecer o betão reciclado, mas apresentam um elevado equilíbrio entre os dois, consoante as variáveis analisadas e o caso em estudo (Figura 6.13). A valorização de outros constituintes dos

resíduos de construção e demolição favorece o betão reciclado, mas o custo de transporte desses resíduos para distâncias eventualmente maiores favorece o betão tradicional. Independente disso, o processo de fabrico do cimento é o maior contribuidor para as categorias analisadas em ambos os casos, seguido pelos impactos do transporte. A contribuição de outras variáveis, como a dimensão dos agregados, o processo de britagem ou as distâncias percorridas equilibram os impactos entre os dois casos, mas a redução da extração de novos agregados favorece o betão reciclado (Knoeri et al., 2012; Kadawo et al., 2022).

6.3.4 Balastro

O balastro das linhas férreas usado é um resíduo de construção e de demolição muito particular, com uma classificação distinta de outros resíduos genericamente semelhantes, como solos e rochas. Esta especificidade na classificação deve-se à exclusividade da sua aplicação na ferrovia e à alta qualidade do material, com requisitos sobre as propriedades físicas e químicas dos agregados de acordo com a norma NP EN 13450.

Devido à alta qualidade dos agregados utilizados, é natural o interesse na reutilização deste material por parte dos gestores ferroviários. Em Portugal, a valorização do balastro está sujeita ao cumprimento da regra geral da APA, elaborada segundo o nRGGR, que estabelece as operações possíveis de acordo com o estado do material. Todo o balastro que apresente dimensão adequada e que não apresente contaminação por hidrocarbonetos é reutilizado durante as operações de manutenção de via. O restante balastro pode ser reaplicado ou reciclado, consoante as suas características e grau de contaminação.

A regra geral da APA (Figura 6.14) divide o grau de contaminação ambiental do balastro em quatro categorias (APA, 2021):

- i) Balastro inerte limpo, que pode ser valorizado sem restrições, sendo mais adequado para ser valorizado diretamente na obra, por meio de reutilização na via e nos sistemas de drenagem, ou no fabrico de betão;
- ii) Balastro inerte que revele sujidade com terra ou óxidos, podendo também ser valorizado sem restrições nas restantes operações, nomeadamente em aterros ou na beneficiação de caminhos rurais;
- iii) Balastro não perigoso, que revele sujidade, mas não apresente vestígios de hidrocarbonetos, podendo ser sujeito a um processo de valorização após ser submetido a ensaios de libertação de substâncias perigosas;

- iv) Balastro perigoso, que apresente vestígios de hidrocarbonetos, não podendo ser valorizando de nenhuma maneira, devendo ser encaminhado para aterros autorizados de resíduos perigosos.

		CAT
	<p>Balastro Inerte O aspeto dos fragmentos é limpo e revela a cor da pedra natural</p> <p>Pode ser utilizado/ valorizado sem reserva e, sempre que possível, utilizado em funções principais.</p> <p>Não requer condições especiais de armazenagem</p> <p>(LER 17 05 08)</p>	1
	<p>Balastro Inerte O aspeto dos fragmentos revela sujidade com terra ou óxidos.</p> <p>Pode ser utilizado/ valorizado sem reserva, para funções secundárias (ex. para aterro, constituição de acessos, beneficiações de caminhos municipais e rurais, etc.).</p> <p>Não requer condições especiais de armazenagem</p> <p>(LER 17 05 08)</p>	2
	<p>Balastro Não Perigoso O aspeto dos fragmentos revela uma capa de sujidade, mas não apresenta sinais de massas lubrificantes e hidrocarbonetos no estado pastoso ou líquido.</p> <p>Pode ser utilizado/valorizado, mas sujeito a ensaios</p> <p>Não requer condições especiais de depósito.</p> <p>Pode ser depositado em aterro autorizado para resíduos não perigosos.</p> <p>(LER 17 05 08)</p>	3
	<p>Balastro Perigoso O aspeto dos fragmentos revela sujidade e evidencia disseminação de massas lubrificantes e hidrocarbonetos no estado pastoso ou líquido.</p> <p>Não pode ser utilizado/valorizado Requer acondicionamento e/ou condições especiais de depósito (geomembrana ou outro isolante).</p> <p>Pode ser depositado em aterro autorizado para resíduos perigosos.</p> <p>(LER 17 05 07*)</p>	4

Figura 6.14 - Chave de classificação do grau de contaminação ambiental de balastros (APA, 2021)

Estas categorias estão relacionadas diretamente com o local onde se encontra o balastro. Nas vias eletrificadas por catenária, em plena via o balastro é tipicamente inerte. Em vias não eletrificadas ou nas zonas das estações e aparelhos de via das vias eletrificadas, o balastro apenas pode ser classificado como não perigoso ou perigoso (APA, 2021).

Tendo em conta esta classificação, em Portugal, o balastro usado retirado da via é sobretudo classificado como inerte, devido à progressiva eletrificação da rede, apesar de ainda serem utilizados frequentemente veículos ferroviários a diesel. Com esta classificação, o balastro é considerado viável como agregado em diversos processos construtivos descritos pela APA e listados anteriormente, sejam eles na via férrea, rodoviária ou fora destas (Quadro 6.3). No caso específico da IP, este material é acondicionado no armazém preliminar da obra e recolhido geralmente por autarquias locais, sem qualquer retorno financeiro para a empresa, por se tratar de um resíduo economicamente não valorizável.

De realçar que esta regra geral visa apenas viabilizar o balastro como um agregado nestas aplicações. Como qualquer outro material, consoante a sua finalidade, deve cumprir os requisitos técnicos específicos e ser sujeito aos ensaios necessários. Um dos melhores exemplos disto é também a solução mais utilizada e mais vantajosa para os gestores ferroviárias, a reincorporação do balastro na via.

Quadro 6.3 - Matriz de decisão para ensaios ao balastro (APA, 2021)

RESÍDUO BALASTRO	CATEGORIA ANEXO I	CONDIÇÃO	FUNÇÃO/APLICAÇÃO (alíneas)	ENSAIOS
Balastro inerte	1	Via eletrificada por catenária Exceção: Estações e Apeadeiros (definir uma margem mínima de 20m para cada lado), locais de paragem e estacionamento de material circulante (linhas de resguardo, adjacentes, estacionamento, concessionadas etc.), lubrificadores de via/carril, zona de agulha e túneis, zonas de manutenção, abastecimento carga e descarga. Considera-se ainda que o facto de a via estar eletrificada por catenária não deveria ser condição para a isenção de ensaio. Estas vias também são utilizadas por veículos ferroviários a diesel.	Todas	ISENTO
Balastro inerte	2	Via eletrificada por catenária. Exceção: Estações e Apeadeiros, Locais de paragem de material circulante (linhas de resguardo), Lubrificadores de via e Túneis.	b), c), e), f), h), i) j) e K) Exclusão para as seguintes funções: a), d) e g)	ISENTO
Balastro não perigoso	3	- Via eletrificada por catenária, sem obra de renovação/beneficiação de via, superior a 20 anos. - Via não eletrificada por catenária	Dependente dos resultados Exclusão para as seguintes funções: a), d) e g)	Libertação de substâncias perigosas – Aplicação das Normas previstas no Diploma Aterros

De acordo com a APA, apenas o balastro inerte e limpo, pertencente à primeira categoria de contaminação, pode ser reutilizado na via. Isto acontece porque o material está sujeito a processos de deterioração e desgaste ao longo da sua vida, alterando as características físicas do balastro, incluindo a quebra, o arredondamento e o polimento das partículas, levando ao aumento da percentagem de finos, redução da permeabilidade e sucessivos problemas de drenagem e lamas. Com as operações de desguarnecimentos estes problemas são totalmente resolvidos, mas as propriedades originais do material são irre recuperáveis. Desta forma, torna-se essencial garantir que os requisitos técnicos são cumpridos e que a solução é viável.

Por esta razão, o tema foi estudado por vários autores, incluindo em Portugal. Cescon et al. (2021) elaboraram um estudo comparativo entre duas amostras reais de balastro, uma amostra nova e uma amostra retirada de plena via, com aproximadamente 15 anos, sendo ambas provenientes do mesmo local de extração. Para isso foram realizados testes à forma das partículas, à composição mineralógica e o ensaio de Los Angeles para avaliar a resistência à fragmentação, de acordo com as normas Brasileira e Norte Americanas. O balastro novo apresentou resultados ligeiramente melhores de angulosidade e esfericidade, mas resultados ligeiramente piores de textura e consideravelmente piores na resistência à fragmentação, com um Coeficiente de Los Angeles de 36%, superior ao balastro usado, com 31,4%. Os autores justificam a maior resistência à fragmentação do material usado por este já ter sido submetido a sucessivas cargas no terreno. Desta forma, o documento conclui que as propriedades do material se mantêm razoavelmente e de acordo com os requisitos técnicos, pelo que viabiliza a incorporação do balastro usado na via, desde que o material seja submetido a processos de depuração e limpeza, por forma a eliminar as partículas finas prejudiciais (Cescon et al., 2021). Não sendo do âmbito do estudo mencionado, ambas as amostras seriam rejeitadas como balastro novo pelas normas brasileiras mais recentes e europeias, mais restritivas quando ao coeficiente de LA.

Jia et al. (2019) elaboraram um estudo semelhante, onde compararam o comportamento de diversas amostras de balastro, com percentagens diferentes de balastro novo e deteriorado. O material teve a mesma origem, com uma curva granulométrica idêntica, tendo o balastro deteriorado sido obtido a partir do balastro novo, por fragmentação na máquina de Los Angeles. O estudo visa compreender a interação entre as partículas novas e deterioradas nas diferentes misturas, tendo sido realizados ensaios de corte direto, a fim de obter as propriedades do material, com o apoio de modelos tridimensionais. Os resultados são os esperados, o balastro novo revela uma maior resistência ao corte (Figura 6.15), maior estabilidade e maior ângulo de atrito, enquanto o aumento da percentagem de betão deteriorado resulta na sucessiva deterioração dos parâmetros. No entanto o documento conclui que para percentagens de material deteriorado inferiores a 30%, o impacto nos parâmetros é negligenciável, sendo significativo para percentagens acima dos 50% (Jia et al., 2019).

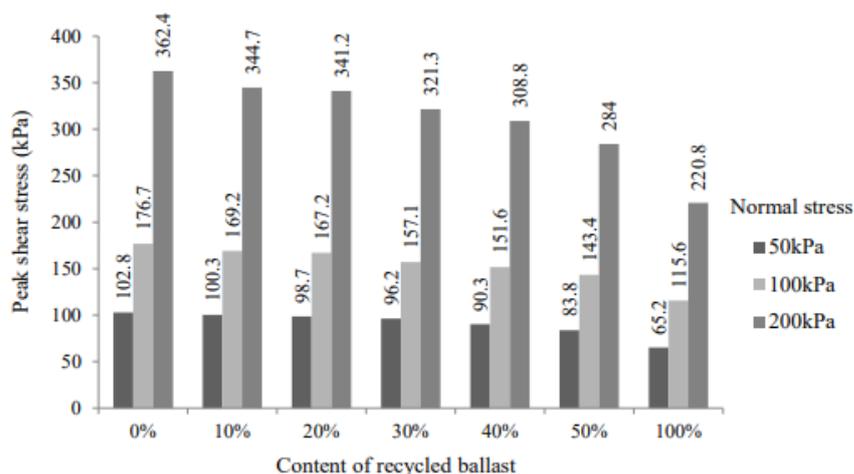


Figura 6.15 - Resistência ao corte do balastro sob diferentes forças normais (Jia et al., 2019)

Estes ensaios corroboram que o balastro usado, sujeito a operações de manutenção, limpo e sem vestígios de hidrocarbonetos pode ser reutilizado na via. No outro extremo encontra-se o balastro perigoso, contaminado, que não pode ser valorizado, devendo ser depositado em aterro autorizado para resíduos perigosos (APA, 2021). Existem, no entanto, alternativas estudadas à deposição em aterro, por via da descontaminação.

Uma equipa portuguesa estudou ao pormenor todo o processo de contaminação, os agentes envolvidos e os dois principais métodos de descontaminação, a lavagem e a biorremediação. O estudo recolheu e caracterizou várias amostras de material da RFN, pertencente às várias categorias de contaminação ambiental. Uma das amostras contaminadas foi sujeita a descontaminação dinâmica por lavagem, utilizando dois tipos de solventes, um desengordurante ecológico e biodegradável, e um solvente especial para fortes oleosidades, tóxico e nocivo. O processo realiza-se com recurso a uma betoneira, um dos solventes e água,

sendo as variáveis a concentração, o tipo de solvente e o tempo de lavagem. O outro conjunto de amostras foi submetido ao processo de biorremediação, com recurso a bactérias liofilizadas, que promovem a degradação dos hidrocarbonetos, e a uma mistura entre as bactérias e o solvente ecológico utilizado também na lavagem dinâmica (Afonso et al., 2012)

Os resultados foram encorajadores, mas não suficientemente eficazes. Como esperado, a lavagem dinâmica com recurso ao solvente nocivo apresenta maior eficácia do que o solvente ecológico, mas ambos os métodos apenas poderão apresentar resultados favoráveis para graus de contaminação menos extremos. No entanto, em ambos os casos, as partículas sujeitas ao procedimento de lavagem são sujeitas a uma degradação mecânica considerável no interior da betoneira, alterando as características físicas da amostra. Os ensaios de caracterização física realizados à posteriori confirmam esta afirmação, levando à rejeição do material para reutilização (Afonso, 2011).

Quanto à biorremediação, é um processo muito demorado, mas mais barato e biodegradável, pode ser realizado diretamente na via, por pulverização, e não altera as características físicas do material. Os resultados a longo prazo evidenciam a deterioração dos hidrocarbonetos, com melhorias significativas, permitindo alterar a categoria de contaminação ambiental de algumas das partículas. No entanto, no contexto geral das amostras, a classificação não deve sofrer alterações (Afonso, 2011).

Foram ainda produzidas amostras laboratoriais, que representam o cenário onde o balastro é retirado da via, sendo o material submerso nas mesmas soluções de bactérias, solvente e água. Neste caso, os resultados visuais foram bastante melhores, levando à classificação da amostra como inerte, apesar de não terem sido realizados testes de perigosidade. Concluído o estudo deste método, o documento afirma que a utilização conjunta das bactérias e do solvente é mais eficaz do que a ação única das bactérias e que a exposição aos elementos acelera o ritmo da descontaminação. No entanto, a imersão prolongada do material foi mais eficaz (Afonso, 2011).

O autor considera este estudo pioneiro, uma vez que a temática se encontra pouco desenvolvida a nível nacional e internacional, mas incentiva o desenvolvimento do tema. Segundo Tangerås (2019) na região da Escandinávia o balastro é processado de forma idêntica a Portugal, com depuração e reutilização das partículas, sendo o material classificado em categorias de contaminação ambiental muito semelhantes, e desta forma, era valorizado ou enviado para aterro. No entanto, a partir de 2016, todo o balastro pertencente às quatro piores categorias, das cinco existentes, é enviado para tratamento e lavagem, sendo posteriormente vendido como agregado reciclado (Tangerås, 2019).

Independentemente do processo de valorização, a literatura é unânime em afirmar os benefícios ambientais e económicos da utilização do balastro inerte. Apenas o processo de incorporação do balastro antigo durante as operações de manutenção já é suficientemente vantajoso para os gestores ferroviários. Esta reutilização previne a extração de um maior volume de matéria prima, o que reduz consideravelmente o custo de manutenção da via-férrea e os custos ambientais. A isto junta-se ainda a diminuição de material depositado em aterro desnecessariamente, agora valorizado (Jia et al., 2019). Mas estes benefícios não são exclusivos da ferrovia, sendo partilhados por todos os outros órgãos que recorrem a este material reciclado, onde muitas vezes, como no caso de Portugal, esta ação beneficia o órgão produtor, que não tem gastos com a gestão do material, e o novo detentor, que não tem custos de aquisição de agregados virgens.

Outro ponto recai sobre as semelhanças entre agregados de balastro reciclados ou novos. Uma vez que serão escolhidos materiais com características idênticas, os impactes ambientais diretos serão semelhantes. Desta forma as vantagens beneficiam o material usado inerte (Cescon et al., 2021). Quanto ao balastro perigoso, não existem dados sobre o tema que comparem a descontaminação com a eliminação em aterro. No entanto, é certo que a utilização de solventes nocivos implica o tratamento das águas residuais, enquanto o uso exclusivo de bactérias biodegradáveis não apresenta riscos ambientais e diminui o custo da descontaminação (Afonso, 2011).

6.4 Proposta de Soluções

Este relatório de estágio tem como objetivo o estudo de soluções de reutilização, de reciclagem ou de transformação de materiais, sem possibilidade de aplicação na rede ferroviária nacional e, por isso, considerados resíduos. Após realizar as principais tarefas previstas no plano de estágio, resta apenas apresentar as soluções propostas para cada tipo de resíduo estudado.

A escolha de apenas uma solução para cada material é difícil e até contraproducente, uma vez que existem inúmeros fatores e variáveis, pelo que não existe uma solução ótima única para todos os casos. Em primeiro lugar é necessário lembrar que o principal objetivo da empresa Infraestruturas de Portugal é a gestão das redes rodoviária e ferroviária nacionais e, embora a sustentabilidade económica, social e ambiental seja um dos valores do grupo, a segurança dos utilizadores é o atributo que mais marca o seu serviço (IP@2022). Desta forma, a decisão de reutilizar, reaplicar, transformar ou alienar o material da empresa recai sobre apertados requisitos de segurança, que nem sempre coincidem a decisão mais sustentável para o material.

Para além disso, existem inúmeras variáveis de decisão, nomeadamente se o material é economicamente valorizável ou não, se a IP tem capacidade ou autoridade para proceder à sua valorização, se existe procura pelo material ou oferta de soluções em Portugal, qual o estado e o local onde se encontra o material e claro, quais os custos económicos e ambientais de cada solução. Sendo assim, são aqui propostas as soluções consideradas mais vantajosas para cada tipo de material, bem como aquelas com maior potencial de utilização futura, tendo em conta a evolução tecnológica e o investimento científico demonstrado.

6.4.1 Carril

Após a conclusão deste estudo, sem sombra de dúvidas que a melhor solução para a valorização dos carris é a reciclagem e utilização na produção de aço. O aço é considerado um material infinitamente reciclável e este é um processo amplamente estudado e utilizado, com enorme tendência para crescer.

A literatura não prevê revoluções estruturais no futuro de produção do aço, mas antecipa algumas melhorias, muito devido à evolução tecnológica e da mentalidade sustentável. A Associação Mundial do Aço já iniciou testes reais em algumas siderúrgicas, com o objetivo de atingir a neutralidade carbónica em 2050. Os métodos incluem o aumento de resíduos de aço utilizados, a sua escolha seletiva e a migração para fontes de energia renováveis (WSA@2022). Outros relatórios também preveem o aumento da utilização de resíduos e da qualidade do aço produzido, através da escolha seletiva e da digitalização da indústria (ABB@2022). Desta forma, não é de esperar que surja uma solução mais vantajosa do que a reciclagem.

O facto é que esta solução apresenta vantagens ambientais e económicas, não apenas para a indústria siderúrgica, mas também para o gestor ferroviário. O aço possui um valor financeiro ao longo de todo o seu ciclo de vida, pelo que os resíduos ferrosos são considerados economicamente valorizáveis. Sendo assim, a alienação dos carris e de vários outros materiais de via, como os elementos de fixação, de ligação, os contra-carris ou o aço presente nas travessas, providencia à IP um retorno financeiro extra, contribuindo para os ganhos da empresa.

Desta forma, a solução proposta para a valorização dos carris removidos da via e sem possibilidade de aplicação na rede ferroviária é a sua incorporação como matéria-prima no processo de produção de aço. Em Portugal, esta ação pode ser materializada numa das siderurgias existentes, com capacidade para incorporar resíduos de aço, ou por intermédio de um operador de resíduos licenciado, que procederá à triagem e transformação prévia do material.

Não tendo sido um fator predominante neste estudo, atualmente esta é presumivelmente a solução utilizada indiretamente pela empresa Infraestruturas de Portugal. O material ferroso é alienado de acordo com o documento “GR.PR.028 - Alienação de Materiais e Equipamentos Excedentários e de Resíduos Valorizáveis Economicamente” junto de um operador de resíduos, que deverá proceder à valorização desse material.

6.4.2 Travessas de madeira

De todos os materiais estudados neste documento, as travessas de madeira são aquelas que apresenta mais restrições. A impregnação com creosoto implica cuidados acrescidos e restringe as opções de valorização disponíveis. Por se tratar de um produto cancerígeno, as travessas são consideradas um resíduo perigoso (LER), pelo que devem ser encaminhadas para destino final autorizado e eliminadas. Por esta razão, o material é considerado economicamente não valorizável, pelo que independentemente da solução escolhida, a IP terá sempre custos financeiros com a sua eliminação.

De entre as soluções estudadas, as mais vantajosas são através de processos caloríficos, como a incineração, a liquefação, a gaseificação ou a pirólise. Estes processos representam o fim de vida das travessas, mas permitem algum retorno, com a transformação do material em energia ou fontes de energia. Desta forma, a utilização das travessas de madeira é apenas uma pequena etapa no ciclo de vida do carbono.

Atualmente, o processo calorífico mais competitivo é a incineração com recuperação de energia, por ser a opção mais simples, versátil e barata. O processo pode ser realizado num local destinado exclusivamente para as travessas ou em conjunto com outros materiais, podendo o objetivo final ser a produção de energia eléctrica ou a produção de calor em fornos industriais, como no caso das cimenteiras. Esta é também a solução menos prejudicial para o ambiente, tendo em conta a substituição dos combustíveis fósseis na produção de energia.

As restantes opções apresentam maior complexidade, mas também mais vantagens, permitindo para além da produção de energia eléctrica, a produção de frações líquidas, no âmbito dos biocombustíveis, e sólidas, semelhantes ao carvão, detentoras de elevado poder calorífico. Apesar disto, tanto os processos como os produtos finais ainda se encontram em constante estudo e evolução. Também a solução tradicional, a deposição em aterro, perdeu competitividade nos últimos anos, apresentando inúmeras desvantagens. As preocupações ambientais focam-se na libertação de gases prejudiciais para a atmosfera, sobretudo o metano, e na lixiviação do creosoto. Paralelamente, existiu uma grande evolução na segurança destas

instalações, acompanhada por questões sobre a falta de espaço e uma legítima dignificação das soluções mais sustentáveis, tornando a utilização de aterros uma solução mais cara e menos apetecível para os produtores de resíduos.

Sendo assim, propõem-se como solução de valorização das travessas de madeira usadas a sua utilização como matéria-prima nos processos de incineração com recuperação de energia, quer seja energia elétrica ou calorífica.

6.4.3 Travessas de betão

Como afirmado anteriormente neste documento, as travessas de betão apresentam um grande potencial de valorização, quer seja na sua reutilização, reaplicação ou transformação. As travessas sem aplicação na ferrovia são consideradas um resíduo economicamente valorizável, mas apenas por serem parcialmente constituídas por aço, um material já referido anteriormente e comprovadamente detentor de valor. Já o material remanescente, o betão, nem sempre é visto como valorizável, apesar de possuir um enorme potencial de utilização, em particular na área da construção.

As opções de reaplicação são as mais simples de efetuar, no entanto destinam-se apenas às travessas monobloco, uma gama de travessas que começou a ser aplicada há relativamente pouco tempo em Portugal, e apenas nas principais linhas da RFN. Sendo assim, é muito pouco comum que as travessas monobloco sejam retiradas de via e ainda menos comum se forem consideradas sem utilidade para a IP. De qualquer modo, é de prever que no futuro esta tipologia de travessas represente grande parte do material removido, pelo que a sua reaplicação é hipótese a avaliar no futuro.

Atualmente, o método de reaplicação mais utilizado é a utilização das travessas em estradas e caminhos rurais, incluindo nas instalações dos gestores ferroviários. É um processo simples e económico, que permite beneficiar rapidamente a mobilidade local. A outra opção analisada passa pela reaplicação das travessas em muros de suporte junto a vias rurais, utilizando processos construtivos mais ou menos complexos. Esta não deverá ser uma solução competitiva, pelo menos para a IP, uma vez que existem soluções construtivas no mercado exclusivamente para este objetivo, de mais simples aplicação e sobretudo mais seguras.

Apesar de a reaplicação ser uma solução simples, a transformação das travessas é a solução mais versátil possibilitando inúmeras operações. Neste processo todas as tipologias de travessas são britadas, separando o aço do betão. O aço pode ser valorizado juntamente com os carris, enquanto o betão é processado e transformado em agregados de betão reciclado. Este novo

produto pode então ser utilizado em substituição total ou parcial dos agregados naturais e do cimento. Desta forma, é uma solução ambientalmente e financeiramente mais vantajosa, permitindo reduzir a aquisição de novos agregados e a eliminação dos resíduos.

De facto, a EU estabeleceu que 70% dos resíduos de construção e demolição deviam ser valorizados até 2020. Portugal já atingiu essa meta, mas deverá continuar a aumentar este valor.

Na IP, os agregados reciclados podem ser aplicados de inúmeras formas, como material de enchimento, na produção de betão de baixa ou de alta qualidade, na produção de argamassas ou até mesmo na produção de travessas. Recentemente, a empresa materializou esta solução e procedeu à transformação de cem mil travessas bibloco armazenadas no CLE. Infelizmente, chegou-se à conclusão de que o custo da destruição das travessas igualava os benefícios com a venda do aço, não existindo vantagens económicas no processo. Porém, as 16.400 toneladas de agregados de betão reciclado resultantes não foram utilizadas, permanecendo armazenadas no CLE.

Visto isto, este documento propõe a transformação das travessas de betão como a solução principal para a valorização das travessas sem aplicação na RFN. A reaplicação de travessas monobloco é também uma possibilidade em aberto, apesar da sua reduzida expressão.

Em última análise, a IP deve proceder à utilização dos agregados reciclados que detêm e continuar a avaliar a viabilidade deste procedimento. Em caso de dúvidas, devem ser realizados ensaios e estudos específicos aos agregados em causa, a fim de avaliar a sua qualidade e aplicabilidade.

6.4.4 Balastro

De todos os materiais analisados, o balastro é o mais estudado e o único cuja valorização segue diretrizes regulamentadas, que enumeram as possíveis soluções a aplicar, a classificação a dar ao material, as restrições aplicadas a cada categoria e a ordem preferencial das opções. Toda esta informação encontra-se descrita na Regra Geral sobre o resíduo de balastro, um documento nitidamente baseado numa norma da antiga REFER, atualizando-a e enquadrando-a na legislação nacional e europeia atual. A elaboração destes documentos revela a natural necessidade e evolução da valorização deste material, provavelmente por se tratar do material de via mais frequentemente submetido a processos de manutenção e substituição.

O balastro apresenta muitas semelhanças com os resíduos de betão proveniente da demolição das travessas. Ambos os materiais podem ser transformados e valorizados em substituição aos agregados naturais virgens. No entanto, compreendem características e preocupações

diferentes. Ao contrário dos agregados de betão, o balastro é um material natural, com propriedades idênticas aos restantes agregados naturais e integrado em obra com menos resistência por parte do sector da construção civil. Por outro lado, a utilização deste material levanta questões sobre a contaminação por hidrocarbonetos

A regra geral divide o balastro em quatro categorias segundo a sua contaminação e estabelece as operações de valorização a aplicar de acordo com essa classificação. A principal solução listada é a reincorporação do balastro inerte diretamente na via durante as ações de manutenção da via, uma operação realizada frequentemente pela IP. As outras soluções listadas podem ser aplicadas pela empresa, nas redes rodoviária e ferroviária, ou por terceiros. Naturalmente, a IP deve priorizar o consumo próprio e dar preferência a operações localizadas junto ao local dos desguarnecimentos, realizando trabalhos complementares. Esta preferência é justificada com a classificação do balastro usado como um resíduo economicamente não valorizável, não conferindo à IP qualquer retorno financeiro aquando da sua alienação.

As soluções existentes expõem o enorme potencial da valorização deste material, com aplicações na rede viária, nas camadas não ligadas e na beneficiação de caminhos e estradas rurais, na rede ferroviária, enquanto camada de sub-balastro, em fundações e enchimentos, em sistemas de drenagem, enrocamentos e gabiões e no fabrico de betão.

Já o material contaminado e classificado como perigoso apenas pode ser encaminhado para destino final próprio, para um aterro autorizado para resíduos perigosos. As alternativas de descontaminação analisadas apresentam algumas potencialidades, mas não estão incluídas na regra Geral. Independentemente disso, apesar dos resultados encorajadores, ainda não atingiram um nível de eficiência considerado viável.

Visto isto, este documento propõe como solução para a valorização do balastro usado, o cumprimento da regra geral da APA sobre este resíduo. Futuramente, consoante a evolução dos processos de descontaminação, estes podem vir a ser considerados como uma solução. No entanto, é de esperar que com a modernização da RFN, se atinja a eletrificação total da rede, e progressivamente a eliminação total dos veículos ferroviários a diesel, reduzindo drasticamente a contaminação do balastro por hidrocarbonetos.

7 CONCLUSÕES E POSSÍVEIS DESENVOLVIMENTOS

O presente estudo analisou soluções para a valorização dos materiais levantados da via ferroviária, sem possibilidade de serem aplicados na rede ferroviária nacional, sendo considerado resíduos e um encargo extra para a IP.

Ao longo do seu ciclo de vida, as componentes da estrutura ferroviária são submetidas a elevados esforços por parte da circulação dos veículos e condições atmosféricas, resultando na degradação e desgaste dos materiais e reduzindo a qualidade do serviço prestado, com o aumento do desconforto e diminuição das velocidades e segurança. A fim de conservar a qualidade da infraestrutura, a IP promove periodicamente a avaliação do estado de conservação da rede e o cumprimento dos requisitos normativos estipulados. Quando certos parâmetros de controlo são atingidos, ou existe a previsão de serem atingidos, a empresa procede a operações de manutenção, de forma preventiva e cuidadosamente programada. Esta programação permite proceder aos trabalhos considerados prioritários e realmente necessários, o que resulta numa via com melhor qualidade e segurança, enquanto os custos são reduzidos, uma vez que o material é substituído precisamente na altura mais vantajosa, em que a sua substituição é mais económica.

Se por um lado os problemas de qualidade da via são mitigados, o excedente de material levantado de via, que não tem possibilidade de ser utilizado na rede ferroviária, constitui um encargo financeiro e logístico para a IP. Atualmente, as soluções tradicionais de eliminação não são favorecidas, muito devido ao aumento dos custos, as implicações negativas no ambiente e a mudança da orientação da opinião política e da sociedade. Para além disso, com a introdução do conceito de economia circular, existe a valorização pela utilização de materiais inadequadamente considerados resíduos, sendo agora considerados como elegíveis para reutilização, reaplicação ou transformação. Este conceito atribui um valor ao material em todas as fases do seu ciclo de vida, favorecendo a sua utilização no sector da construção e dos transportes.

Ao longo deste estágio foi notório o empenho da IP no desenvolvimento da economia circular, em especial na fase de prevenção, devido ao seu papel enquanto produtora de resíduos e não operadora. Exemplos desse interesse são a utilização de uma aplicação informática para registo e gestão de materiais usados e resíduos (eMUR), que permite gerir todos os materiais com maior facilidade e proporciona a interação entre os diferentes órgãos da empresa, a diferenciação dos materiais em lotes e o apoio prestado a novas ideias e projetos. A empresa elabora ainda, de

acordo com o Decreto-Lei n.º 102-D/2020, um Plano de Prevenção e Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (PPGRCD) para acompanhar cada empreitada, de forma a planear e gerir os resíduos em obra e assegurar o cumprimento das normas em vigor.

Do estudo realizado, algumas das soluções propostas, consideradas mais vantajosas, já são implementadas pela IP. É o caso do aço proveniente da infraestrutura e das travessas de madeira, obrigatoriamente eliminadas. Em relação aos outros materiais, o balastro inerte que cumpra os requisitos técnicos já é fortemente reutilizado e incorporado na via. No entanto, deve ser incentivada a replicação e transformação das restantes frações de balastro inerte e agregados de betão reciclado no seio da empresa, em substituição dos agregados naturais na rede ferroviária, na rede rodoviária ou na construção civil. De realçar que grandes quantidades de balastro inerte já são entregues e reaplicadas por autarquias locais, beneficiando a sociedade em geral, no entanto a reaplicação por parte da IP deve ser priorizada.

Desta forma é possível concluir que a IP já utiliza um modelo de economia circular ao fazer a separação do material levantado da via em diferentes lotes, privilegiando a sua reutilização e reaplicação. Quando estas soluções não são viáveis, resta apenas classificar os materiais como resíduos. No entanto a IP não é operadora de resíduos, pelo que procede à sua alienação, sendo da responsabilidade destas entidades o cumprimento da política da hierarquia dos resíduos. Normalmente esta é uma operação pouco lucrativa ou mesmo dispendiosa para a IP, pelo que é do seu interesse o estudo de soluções nesta área.

Para propostas de trabalhos futuros, este tema deve ser desenvolvido através de trabalhos mais focados em cada tipologia de componente de via, ajustados à realidade da IP. Por forma a validar a componente técnica, devem ser realizados ensaios consoante a solução, nomeadamente de resistência no caso dos agregados e do betão reciclado, ou o impacto da incineração das travessas de madeira tratada. Naturalmente devem também ser realizados estudos sobre a viabilidade financeira da solução em causa, tendo em conta o panorama nacional e a possibilidade da sua aplicação em Portugal. Por último, devem ser realizadas análises de ciclo de vida das soluções implementadas, por forma a conhecer o seu impacto real no ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APA (2021). “Resíduo de Balastro da Via Férrea, 170508 – Isenção de Licenciamento”, APA – Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa, 1-18.

APA@2022. <https://apambiente.pt/>. Agência Portuguesa do Ambiente (página internet oficial).

APA e DGAE (2022). “Balanço das Atividades do PAEC e dos resultados alcançados entre 2018 e 2020”. Agência Portuguesa do Ambiente e Direção-Geral das Atividades Económicas, 1-79.

ABB@2022. <https://new.abb.com/metals/future>. ABB (página internet oficial).

Afonso, M., Jorge, C. (2010). “Balastro contaminado das ferrovias – Suas repercussões, soluções de reabilitação e destino final”. 12º Congresso Nacional de Geotecnia, 1577-1586.

Afonso, M. (2011). “Balastro Contaminado das Ferrovias Suas Repercussões, Soluções de Reabilitação e Destino Final”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico de Lisboa, 1-146.

Afonso, M., Jorge, C e Cardoso, R (2012). “Métodos de Descontaminação de Balastro das Ferrovias Contaminado por Óleos – Processos Mecânicos versus Biológicos”. Lisboa, 1-20.

Andreu, G e Miren, E. (2014). “Experimental Analysis of Properties of High Performance Recycled Aggregate Concrete”. Construction and Building Materials, Vol. 52, 227-235.

Badraddin, A., Rahman, R., Almutairi, S. e Esa, M. (2021). “Main Challenges to Concrete Recycling in Practice”. Sustainability, 13, 11077, 1-15.

Berlin, D., Feldmann, A. e Nuur, C. (2022) “Supply Network Collaborations in a Circular Economy: A Case Study of Swedish Steel Recycling”. Resources, Conservation & Recycling, 1-11.

Bolin, C. e Smith, S. (2010), “Creosote-Treated Ties, End-of-Life Evaluation”. AquaAeTer, 1-10.

Bolin, C. e Smith, S. (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*, 3, 149-161.

Bowyer, J., Bratkovich, S., Fernholz, K., Frank, M., Groot, H., Howe, J. e Pepke, E. (2015). “Understanding Steel Recovery and Recycling Rates and Limitations and Recycling”. *Dovetail Partners*. 1-12

Carvalho, A. (2020). “Manutenção da Qualidade das Infraestruturas Ferroviárias com Reutilização de Travessas”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, 1-83.

Cescon, J., Silva, B., Marques, M. e Santos, R. (2021). “Avaliação da Viabilidade de Reciclagem de Lastro Ferroviário para Reutilização em Ferrovia”. *Research, Society and Development*, Vol. 10, Issue 13, 1-14

CREOSOTE COUNCIL@ (2022). <https://creosotecouncil.org/>. Creosote Council (página internet oficial).

Damasceno, F., Matlaba, V., Santos, J. e Mota, J. (2017). “Reaproveitamento de Dormentes de Madeira da Estrada de Ferro Carajás para a Cogeração de Energia Elétrica”. *RBCIAMB*, nº47, 1-18.

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, Assembleia da República, “Novo Regime Geral da Gestão de Resíduos”, Decreto-Lei n.º 102/D/2012 de 10 de agosto, 1-102.

Diário da República, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, “Regime Geral da Gestão de Resíduos”, Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de junho, 1-50.

Diário da República, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, “Regime Geral da Gestão de Resíduos”, Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de setembro, 1-20.

Diário da República, Ministério da Economia, “Criação da Infraestruturas de Portugal, S. A”, Decreto-Lei n.º 91/2015 de 29 de maio, 1-12.

Diário da República, Ministério da Saúde, “Colocação no mercado de produtos biocidas”, Decreto-Lei n.º 154/2012 de 16 de julho, 1-38.

Doliński, A. Wojciechowski, A., Radziszewska, J. e Wołosiak, M. (2018), “Environmentally Friendly Recycling of Wooden Railway Sleepers”. Problemy Kolejnictwa - Railway Reports, 1-8.

ECHA@ (2022). <https://echa.europa.eu/pt/home>. European Chemicals Agency (página internet oficial).

EUROFER@2022. <https://www.eurofer.eu/>. European Steel Association (página internet oficial).

Eurostat@2022. https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Waste_statistics#Total_waste_generation. Eurostat (página internet oficial).

Eurostat (2020). “Energy, Transport and Environment statistics – 2020 edition”. Eurostat, 1-192.

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., Rodrigues, F. (2012), “Influencia del Trazado en la Calidad Geométrica de Vías Férreas, Via Libre Técnica”, Investigación Ferroviaria, 1-10.

FoE (2009). “Pyrolysis, Gasification and Plasma”. Friends of Earth, 1-7.

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, 1-628.

Gonzalez-Corominas, A., Etxeberria, M. e Fernandez, I (2017). “Structural Behaviour of Prestressed Concrete Sleepers Produced with High Performance Recycled Aggregate Concrete”. *Materials and Structures*, 1-36.

Humar, M., Peek, R. e Jermer, J. (2006). “Egulations in the European Union with Emphasis on Germany, Sweden and Slovenia”. *Environmental Impacts of Treated Wood*, 37-57.

Ignea, G., Borz, S., Iordache, E., Derczeni, R., Mihaila, M. e Scriba, C. (2013). “Employing Used Railway Ties for Retaining Walls Construction on Forest Roads - A Three Level Approach: Ecology, Economy and Technical Prescriptions”. *Transilvania University of Brasov, Roménia*, 1- 6.

IP (2018). “Alienação de Materiais e Equipamentos Excedentários e de Resíduos Valorizáveis Economicamente. GR.PR.028. Procedimento n.º 28”, IP - Infraestruturas de Portugal, Lisboa, 1-45.

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@2022. <https://www.infraestruturasdeportugal.pt/pt-pt/infraestruturas/rede-ferroviaria>
Infraestruturas de Portugal (página internet oficial).

IP (2021b). “Inspeção e Classificação de Materiais de Via Aplicados na Rede, e Condições a Observar com Vista à sua Reutilização”. GR.PR.VIA.02. *Instrução Técnica de Via n.º 2*, IP - Infraestruturas de Portugal, Lisboa, 1-53.

IP (2015). “Manual da Organização. GR.MN.001. Manual n.º 1”, IP - Infraestruturas de Portugal, 1-216.

IP (2021c). “Manual de Gestão de Resíduos. GR.MN.004. Manual n.º 4”, IP - Infraestruturas de Portugal, 1-60.

IP (2021a). “Manual de Manutenção Preventiva Sistemática, Direção de Asset Management, Departamento de Planificação e Revisão”, IP – Infraestruturas de Portugal, Lisboa, 1-158.

IP (2021d). “Relatório e Contas Consolidado – 2021 1º Semestre”, IP - Infraestruturas de Portugal, 1-178.

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.

Jia, W., Markine, V., Guo, Y. e Jing, G (2019). “Experimental and Numerical Investigations on the Shear Behaviour of Recycled Railway Ballast”. *Construction and Building Materials*, 1-25.

Jornal Oficial da União Europeia, Comissão Europeia, “Lista Europeia de Resíduos”, Decisão 2014/955/UE de 18 de dezembro, 1-43.

Jornal Oficial da União Europeia, Comissão Europeia, “Colocação no mercado de produtos biocidas”, Directiva 2011/71/EU de 26 de julho, 1-6.

Jornal Oficial da União Europeia, Conselho Europeu, “Deposição de Resíduos em Aterro”, Diretiva 1999/31/CE de 26 de abril, 1-28.

Jornal Oficial da União Europeia, Parlamento Europeu, “Colocação no mercado de produtos biocidas”, Diretiva Europeia 2008/98/CE de 19 de novembro, 1-40.

Jornal Oficial da União Europeia, Parlamento Europeu, “Deposição de Resíduos em Aterro”, Diretiva 2018/850 de 14 de junho, 1-9.

Jurys, A., Gailiūtė, I., Aikaitė-Stanaitienė, J., Grigiškis, S., Maruška, A., Stankevičius, M. e Levišauskas, D. (2015). “Review of Creosote Pollution Toxicity and Possibilities of Bioremediation”. *Environment Technology Resources Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 1-7.

Kadawo, A., Sadagopan, M., Doring, O., Bolton, K. e Nagy, A (2022). “Combination of LCA and Circularity Index for Assessment of Environmental Impact of Recycled Aggregate Concrete”. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 1-12.

Kalambura, S., Jovičić, N., Grozdek, M., Kreč, M. E Černi, S. (2015). “Energy Recovery of Hazardous Wooden Railway Sleepers - Experimental Investigation in Croatia”. *Zabreg*, 1-11.

Knoeri, C., Sanyé-Mengual, E. e Althaus, H. (2012). “Comparative LCA of Recycled and Conventional Concrete for Structural Applications”. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, 909-918.

Lidmila, M., Tesárek, P., Plachý, T., Ráková, Z., Padevět, P., Nežerka, V. e Zobal, O. (2014). “Utilization of Recycled Fine-Ground Concrete from Railway Sleepers for Production of Cement-Based Binder”. *Applied Mechanics and Materials*, 486, 323-326.

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.

Marcotte, S., Poisson, T., Portet-Koltalo, F., Aubrays, M., Basle, J., Bort, M., Giraud, M., Hoang, T., Octau, C., Pasquereau, J. e Blondeel, C. (2014). “Evaluation of the PAH and Water-Extractable Phenols Content in Usedcross Ties from the French Rail Network”. *Chemosphere*, Vol. 111, 1-6

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.

Nkosi, N., Muzenda, E., Gorimbo, J. e Belaida, M. (2021). “Developments in Waste Tyre Thermochemical Conversion Processes: Gasification, Pyrolysis and Liquefaction”. *Royal Society of Chemistry Advances*, Issue 20, 1-28.

NP EN 13450 (2002) – “Agregados para balastro de via férrea”, Instituto Português da Qualidade, 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.

Parlamento europeu@ (2022). <https://www.europarl.europa.eu/portal/pt>. Parlamento Europeu (página internet oficial).

Pedro, D., Brito, J. e Evangelista, L. (2014). “Influence of the Use of Recycled Concrete Aggregates from Different Sources on Structural Concrete”. *Construction and Building Materials*, Vol. 71, 141-151.

PIEP@ (2022). <https://www.piep.pt/>. Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros (página internet oficial).

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

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.

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.

Silva, V. (2021). “Processos Termoquímicos de Conversão de Biomassa”. Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, 1-109.

Tangerås, M. (2019). “Reusing and Recycling of Railway Ballast”. Dissertação de Mestrado, Department of Civil and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology, 1-52.

Teodoro, N. (2011). “Contribuição para a Sustentabilidade na Construção Civil: Reciclagem e Reutilização de Materiais”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Lisboa, 1-91.

UEPG (2018). “Annual Review 2017-2018”. European Aggregates Association, Bruxelas, 1-17.

UEPG@2022. <https://uepg.eu/>. European Aggregates Association (página internet oficial).

UIC@2022. <https://uic.org>. International Union of Railways (página internet oficial).

UIC (2021). “UIC Sustainability - Circular Practices in the Railway and Ways Forward - REUSE Project Final Report”. International Union of Railways, Paris, 1-40.

UN@ (2022) <https://www.un.org/en/our-work/support-sustainable-development-and-climate-action>, Nações Unidas (página internet oficial).

STEELZERO@ (2022). <https://www.theclimategroup.org/steelzero>. The Climate Group (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.

Veriana, K., Ashraf, W. e Cao, Y. (2018) “Properties of Recycled Concrete Aggregate and their Influence in New Concrete Production”. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 133, 30-49.

WSA@2022. <https://worldsteel.org/>. World Steel Association (página internet oficial).

WSA (2020), Life Cycle Inventory (LCI) Study – 2020 Data Release, World Steel Association, Bruxelas, 1-74.

WSA (2015), “Steel in the Circular Economy - A Life Cycle Perspective”, World Steel Association, Bruxelas, 1-32.

WSA (2021), “World Steel in Figures – 2021”, World Steel Association, Bruxelas, 1-32.

Zicari, G., Allegro, G., Russo, D., Rivetti, D., Soardo, V. e Cerrato, E. (2013). “Creosote Released from Railway-Ties Recycled and the Sanitary Risks”. Igiene e Sanita Pubblica, 1-24.