

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Regularização de Barras e Soldaduras Aluminotérmicas

**JOSÉ ACÁCIO LEAL GONÇALVES
(LICENCIADO)**

Relatório de Estágio para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil

Orientadores:

Licenciado, António Sequeira da Cruz

Licenciado, Nuno Silva Gonçalves

Júri:

Presidente: Licenciada, Luísa Maria Cardoso Teles Fortes

Vogais:

Licenciada, Luísa Maria Cardoso Teles Fortes

Licenciado, Francisco José Poço Marques Asseiceiro

Licenciado, António Sequeira da Cruz

Licenciado, Nuno Silva Gonçalves

Março de 2014



Regularização de Barras e Soldaduras Aluminotérmicas

**JOSÉ ACÁCIO LEAL GONÇALVES
(LICENCIADO)**

**Relatório de Estágio para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil**

Orientadores:

Licenciado, António Sequeira da Cruz
Licenciado, Nuno Silva Gonçalves

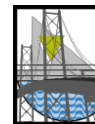
Júri:

Presidente: Licenciada, Luísa Maria Cardoso Teles Fortes

Vogais:

Licenciada, Luísa Maria Cardoso Teles Fortes
Licenciado, Francisco José Poço Marques Asseiceiro
Licenciado, António Sequeira da Cruz
Licenciado, Nuno Silva Gonçalves

Março de 2014



RESUMO

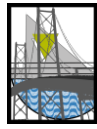
O presente relatório diz respeito ao estágio realizado na empresa NEOPUL, S.A., fazendo a descrição dos trabalhos realizados e acompanhados na “Empreitada de Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora”, mais concretamente ao nível da Regularização de Barras e Soldaduras Aluminotérmicas, temas deste documento.

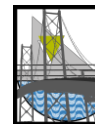
Este relatório foi dividido em quatro capítulos fundamentais, cada um deles descrevendo não só os temas anteriormente mencionados, como também uma introdução à Via Férrea.

O primeiro capítulo inicia-se com um enquadramento histórico, de como era constituída a superestrutura de via, ainda no tempo das barras curtas e quando a união dos carris era assegurada por barretas.

Nos restantes três capítulos entra-se propriamente nos temas do presente relatório, onde se descreve concretamente a Via Moderna com a aplicação das Barras Longas Soldadas, e conseqüente a regularização das suas tensões internas; igualmente se procede à descrição pormenorizada da união dos carris pelo processo de Soldaduras Aluminotérmicas.

Palavras-chave: Via-férrea, Superestrutura de via, Barras Longas Soldadas, Barras Curtas, Barretas.





ABSTRACT

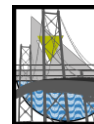
This report covers the internship developed in the company NEOPUL, SA and aims to describe as the main subjects, stress release of rails and thermit welding works undertaken and supervised throughout the project “*Empreitada de Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora*”.

This report has been divided into four main chapters, each referring, not only the beforementioned issues, but also presents an overview of the railway track domain.

The first chapter begins with a historical background of the railway superstructures composition within the period when short rails and fishplates applied.

The three remaining chapters highlight the main subject of this report, specifically describing the modern track process with the use of long welded rails, and following stress release of tensions as well as a detailed description of the rail joint process of aluminothermic welds.

Keywords: Railway Track Domain, Railway Superstructures Composition, Short Rails, Fishphates, Modern Track Process, Long welded rails.





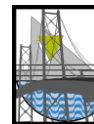
AGRADECIMENTOS

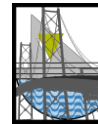
Gostaria de agradecer ao meu Orientador do ISEL, Eng.º António Sequeira da Cruz, pelo seu apoio ao longo da realização deste trabalho, especialmente na fase final dado me encontrar deslocado em trabalho no estrangeiro.

Ao meu Orientador da empresa NEOPUL onde estagiei e onde trabalho, Eng.º Nuno Gonçalves, por ter disponibilizado o seu tempo que tinha disponível entre Lisboa e São Paulo (BR). A todos os meus colegas da NEOPUL que me ajudaram e aconselharam durante todo este relatório, entre eles os Engs. Jorge Figueiredo, Paulo Corte Real, José Gabriel Sousa, José Grilo, e Paulo Figueiredo.

Queria agradecer aos meus colegas de curso, que me acompanharam ao longo deste mestrado e com os quais passamos dias e noites em trabalhos e em estudo, mas sempre com garra e entusiasmo.

À minha família, os quais foram incansáveis em motivar-me e dar-me toda a força necessária neste percurso que começou no início deste mestrado e termina agora com este trabalho final.





ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO DO TEMA	1
1.2 OBJECTIVOS	1
1.3 METODOLOGIA	2
1.4 ESTRUTURA	2
2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO – VIA CLÁSSICA	3
3. VIA MODERNA	5
4. REGULARIZAÇÃO DAS TENSÕES INTERNAS EM BARRAS LONGAS SOLDADAS	11
4.1 CONSEQUÊNCIA DA NÃO REGULARIZAÇÃO DE TENSÕES NUMA BLS	11
4.1.1 Falta de Equilíbrio relativo às Forças Verticais	12
4.1.2 Falta de Equilíbrio relativo às Forças Laterais	12
4.1.3 Falta de Equilíbrio relativo às Forças Longitudinais.....	13
4.2 REGULARIZAÇÃO DE TENSÕES NUMA BLS	13
4.2.1 Regularização de BLS por Aquecimento Natural.....	14
4.2.2 Regularização de BLS por Aquecimento Artificial.....	15
4.2.3 Regularização de BLS com Tensores.....	17
4.3 PROCEDIMENTOS DA QUALIDADE PARA A VERIFICAÇÃO DA REGULARIZAÇÃO DE BARRAS	19
4.4 APARELHOS DE DILATAÇÃO.....	20
4.4.1 Conceito e funções.....	20
4.4.2 Tipo de Aparelhos de Dilatação	20
5. SOLDADURAS	23
5.1 COMPARAÇÃO ENTRE SOLDADURAS ELÉCTRICAS E ALUMINOTÉRMICAS.....	26
5.2 PROCESSO DE SOLDADURA POR ALUMINOTERMIA	26
5.2.1 Explicação do Processo	26
5.2.2 Cargas Aluminotérmicas	28
5.2.3 Pré-aquecimento dos Topos dos Carris.....	30
5.3 EQUIPA, EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS DE SOLDADURA.....	31
5.3.1 Equipa de Soldadores	31
5.3.2 Equipamento, Materiais e Acessórios usados nas Soldaduras	31
5.3.3 Preparação dos Carris a Soldar	32
5.3.3.1 Medição da Folga (abertura) entre Carris	33



5.3.3.2	Corte e Limpeza de Carris.....	33
5.3.3.3	Verificação da Folga entre os Topos dos Carris.....	34
5.3.4	Moldes usados nas Soldaduras	36
5.3.5	Descrição do Procedimento de Soldadura	37
5.3.5.1	Pré-aquecimento	37
5.3.5.2	Preparação do Pote	38
5.3.5.3	Realização da Soldadura	40
5.3.5.4	Acabamento da Soldadura	43
5.3.5.5	Reposição dos Elementos da Via.....	44
5.3.6	Marcação das Soldaduras.....	44
5.4	CONDIÇÕES RELATIVAS ÀS SOLDADURAS	45
5.4.1	Soldadores Credenciados	45
5.4.2	Condições Atmosféricas.....	45
5.4.3	Substituição das Soldaduras	45
5.5	QUALIDADE DAS SOLDADURAS	46
5.5.1	Ensaio Não Destrutivo – Ultrassons	46
6.	CONCLUSÃO.....	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
	ANEXO A - EQUIPAMENTO, MATERIAIS E ACESSÓRIOS USADOS NAS	
	SOLDADURAS.....	A

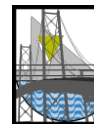


ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1- Via Clássica - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora]	3
Figura 3.1 - Via Moderna [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora].....	6
Figura 3.2 - Diagrama Teórico dos Esforços numa BLS a uma temperatura diferente da inicial - [Manual de Via da Fernave]	8
Figura 4.1 – Consequência da não regularização de tensões - [Web]	12
Figura 4.2 – Tensores hidráulicos - [Unidade Operacional Sul].....	18
Figura 4.3 - Soldadura de fecho – Aplicação de tensores hidráulicos - [Unidade Operacional Sul]	19
Figura 4.4 - Aparelho de Dilatação Unidireccional - [Unidade Operacional Sul]	20
Figura 4.5 - Aparelho de Dilatação Bidireccional - [Unidade Operacional Sul]	21
Figura 5.1 - Soldaduras - [Estação da Raquete - Sines]	23
Figura 5.2 – Equipamento usado nas soldaduras eléctricas - [Web – retirado em 02.02.2014].....	24
Figura 5.3 – Exemplo duma soldadura austenítica - [Metro de Dublin - Irlanda].....	25
Figura 5.4 - Topos dos carris a soldar - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora]	27
Figura 5.5 - Reação química - [Linha do Norte – Sub-Troço 2.1 Entroncamento – Albergaria dos Doze]	28
Figura 5.6 - Cargas aluminotérmicas - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora]	29
Figura 5.7 - Corte de carril - [Linha do Norte - Sub-Troço 2.1 Entroncamento – Albergaria dos Doze]	34



Figura 5.8 - Verificação da folga nos topos dos carris - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora].....	35
Figura 5.9 - Moldes usados nas soldaduras - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora]	37
Figura 5.10 - Pré-aquecimento - [Unidade Operacional Sul]	38
Figura 5.11 - Preparação do pote - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora].	39
Figura 5.12 - Execução da soldadura - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora].....	40
Figura 5.13 - Descarga do material fundido - [Linha do Norte - Sub-Troço 2.1 Entroncamento – Albergaria dos Doze]	41
Figura 5.14 - Destruição do molde - [Unidade Operacional Sul].....	42
Figura 5.15 - Corte dos pipos laterais - [Metro de Sevilha].....	42
Figura 5.16 - Acabamento da Soldadura - [Unidade Operacional Sul]	43
Figura 5.17 - Marcação das soldaduras - [Unidade Operacional Sul].....	44



LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AD – Aparelhos de Dilatação

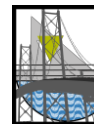
AMV – Aparelho de Mudança de Via

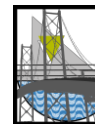
BLS – Barra Longa Soldada

CA – Folga Larga

PC – Pré-aquecimento Curto

PN – Pré-aquecimento Normal





1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

O Trabalho Final de Mestrado em Engenharia civil contempla um dos seguintes cenários:

- Dissertação de natureza científica,
- Trabalho de projeto,
- Estágio profissional com elaboração de relatório

Analisados os 3 cenários possíveis, e tendo em conta o enquadramento anterior do proponente, que tem um vínculo laboral com uma empresa do sector ferroviário, (NEOPUL) considerou-se o último como sendo o mais adequado.

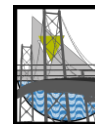
Com efeito, a realização do referido estágio permitiu uma maior consolidação dos conhecimentos adquiridos, quer no ISEL quer na NEOPUL.

A escolha do presente tema (Regularização de Barras e Soldaduras Aluminotérmicas) prende-se, no essencial, com o facto de se tratar de uma das actividades mais importantes na execução de uma obra ferroviária, dadas as suas implicações diretas nas vertentes da Segurança e Manutenção da Infraestrutura.

1.2 Objectivos

No seguimento do estágio na Obra “Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora” e com a execução do presente Trabalho Final de Mestrado – Relatório de Estágio, pretende-se a obtenção e consolidação do máximo conhecimento possível em obras ferroviárias, em particular no âmbito da Regularização de Barras e Soldaduras Aluminotérmicas.

Para além do referido é igualmente um objectivo a reunião e sistematização das metodologias, incluindo técnicas e procedimentos usuais neste tipo de actividade, para que o documento produzido possa constituir uma mais valia para terceiros.



1.3 Metodologia

O Estágio foi realizado no âmbito da “Empreitada de Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora”, onde o proponente participou e acompanhou os diversos trabalhos de via, nomeadamente desmontagem de via existente, montagem de via nova, regularização de barras e soldaduras aluminotérmicas, descarga e regularização de balastro, ataques pesados de via, estabilização dinâmica de via e esmerilagem preventiva, bem como as actividades de natureza logística como sejam aprovisionamentos de materiais e gestão de recursos humanos e materiais.

Relativamente ao tema proposto serão identificadas, descritas e caracterizadas, não só as actividades de regularização de barras e de execução de soldaduras aluminotérmicas na via soldada, mas também a ligação de barras através de barretas.

É igualmente abordado o tema dos materiais de via usados na superestrutura da via (balastro, travessas, fixações e carril).

São ainda objecto de estudo/análise os diferentes tipos de soldaduras existentes (eléctricas, aluminotérmicas e austeníticas) e todo o processo de regularização das tensões internas nas barras, de um modo exaustivo.

1.4 Estrutura

Tendo por referência a estrutura definida no regulamento da Comissão Coordenadora de Mestrado da Área Departamental de Civil, a presente dissertação contempla 4 capítulos, cujo conteúdo se sintetiza em seguida:

- O capítulo 2 contextualiza o Enquadramento Histórico do Caminho-de-Ferro, da sua evolução até à atualidade
- O capítulo 3 mostra como a via atual - Via Moderna - é constituída e como se torna necessário a aplicação das BLS neste tipo de via
- O capítulo 4 tem como propósito a definição da Regularização das tensões internas nas BLS, a sua aplicação, bem como as respectivas causas e consequências, e quais os métodos utilizados para esta regularização
- O capítulo 5 tem como objecto de estudo os diferentes tipos de soldaduras existentes, eléctricas, aluminotérmicas e austeníticas, relacionando as aplicadas no decurso do presente estágio e que têm sido até à data mais usadas no nosso país (soldaduras aluminotérmicas) e como estas se relacionam com o capítulo descrito no ponto anterior.

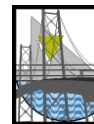
2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO – VIA CLÁSSICA

Nos princípios da construção do caminho-de-ferro, e mantendo-se em serviço até aos dias de hoje em algumas linhas secundárias, quer a nível nacional quer a nível internacional, sem ter sofrido quaisquer alterações, o caminho-de-ferro é constituído de acordo com o método tradicional, isto é, pela Via Clássica. Este tipo de via caracteriza-se pela aplicação de balastro, travessas de madeira, carris unidos por barretas e parafusos e fixação rígida obtida através de tirafundos com ou sem chapins, como se pode ver pela figura seguinte.

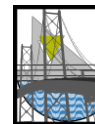


Figura 2.1- Via Clássica - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora]

Neste tipo de via, e de modo a permitir a dilatação dos carris, é deixada uma folga entre dois carris consecutivos, evitando assim o aparecimento de tensões internas exageradas que poderiam conduzir a deformações.



Nesta folga entre os carris, com o impacto dos rodados, irá desenvolver-se o esmagamento dos topos dos carris, que se transmitirá à travessa através dum “martelamento”, e desta ao balastro, dando-se um afundamento da superestrutura da via. Com o afundamento das travessas de madeira e com o conseqüente envelhecimento e a perda de elasticidade da madeira, originam-se igualmente folgas entre o carril e a fixação rígida. O impacto dos rodados nas juntas provoca igualmente uma agressão aos próprios rodados, destruição do balastro, perda de qualidade do nivelamento longitudinal e transversal e, não menos importante, a deformabilidade dos carris. Resultado final: obtém-se problemas ao nível da segurança e comodidade.



3. VIA MODERNA

Aquando da execução da linha pelo método tradicional, via clássica, pensava-se que os carris quando aplicados se comportavam como um corpo livre e, por conseguinte, eram necessárias juntas entre os mesmos para permitir a sua dilatação; no entanto, e após inúmeras experiências levadas a cabo por diferentes especialistas em diversos países, concluiu-se que as dilatações térmicas eram menos evidentes em carris soldados do que em carris não soldados. A justificação para esta situação prende-se com o facto de o carril estar fixado às travessas com um determinado aperto opondo-se ao seu deslocamento. O peso da travessa e o encastramento desta no balastro também se opõem ao deslocamento longitudinal do carril. Igualmente uma justificação para esta situação é o facto dos materiais aplicados na construção das vias férreas serem de novos tipos e mesmo de naturezas diferentes, nomeadamente:

- As travessas passaram a ser travessas de betão armado monobloco com um peso muito superior às travessas de madeira
- A fixação deixou de ser do tipo direta, através da fixação rígida, passando a ser indireta, feita através de fixações elásticas
- Carris mais pesados que permitem uma inércia e resistência à tração adequadas aos pesos por eixo e às velocidades agora praticadas na atual infraestrutura
- Balastro com composição granulométrica, atrito, dureza e resistência ao desgaste superiores

Com este processo de execução da Via Férrea deu-se origem à Via Moderna (figura 3.1), composta pelas BLS.



Figura 3.1 - Via Moderna [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora]

Vejamos então como é possível assentar a via com barras constituídas por carris soldados entre si, portanto sem folgas, que designamos por BLS.

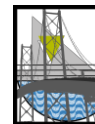
Se uma barra estivesse na situação ideal de “dilatação livre”, a uma dada temperatura, sofreria alongamentos ou encurtamentos, ΔL , que seriam proporcionais ao seu comprimento, L , medido a essa temperatura, ao coeficiente de dilatação linear do aço do carril, α , e à variação da temperatura em relação ao seu valor inicial, ΔT , de acordo com a expressão que traduz a lei da dilatação linear:

$$\Delta L = L \alpha \Delta T$$

Uma força, P , exterior, que se oponha a essas variações de comprimento ΔL , anulando-as por completo, será:

$$P = E S \Delta L / L = E S \alpha \Delta T$$

em que E representa o módulo de elasticidade do aço e S a secção do carril.



À aplicação dessa força externa P corresponderá o aparecimento no interior do carril de uma tensão, P/S , de compressão ou de tração consoante o valor da temperatura esteja a aumentar ou a diminuir:

$$P / S = E \alpha \Delta T$$

Tanto a força P como a tensão P/S são, como se vê, independentes do comprimento da barra, variando apenas com as características do carril e com os diferenciais térmicos.

Numa via férrea a aplicação da força externa P concretiza-se, como já vimos, através do atrito entre o carril e as travessas e do encastramento das travessas no balastro. Temos assim em cada travessa uma força resistente, f , cujo valor se vai adicionando ao das precedentes, ao longo da barra, a partir da sua extremidade. Deste modo, a força P toma em cada apoio da barra o valor acumulado das forças f , sendo nula nas extremidades e atingindo, a certa distância destas, um valor tal que verifica a seguinte condição.

$$P = E S \Delta L / L = E S \alpha \Delta T$$

Os dois pontos onde o somatório das resistências externas iguala o esforço interno delimitam uma zona central das barras onde o sistema de forças está equilibrado e os movimentos estão impedidos – zona neutra – cuja extensão pode ser, teoricamente, e desde que não ocorram perturbações que rompam o equilíbrio atingido, infinita. Nesta zona atingem as tensões internas o seu valor máximo.

As duas zonas extremas, onde os movimentos longitudinais dos carris são apenas parcialmente contrariados, designam-se por zonas de respiração e a sua extensão depende da secção do carril, da eficácia do conjunto balastro/travessas/fixações e da variação da temperatura (figura 3.2). Nas extremidades das barras verificam-se então movimentos cuja amplitude não ultrapassa normalmente os 200 mm, e que são absorvidos por intermédio de dispositivos concebidos para o fazer sem que os rodados dos veículos sofram choques importantes os AD.

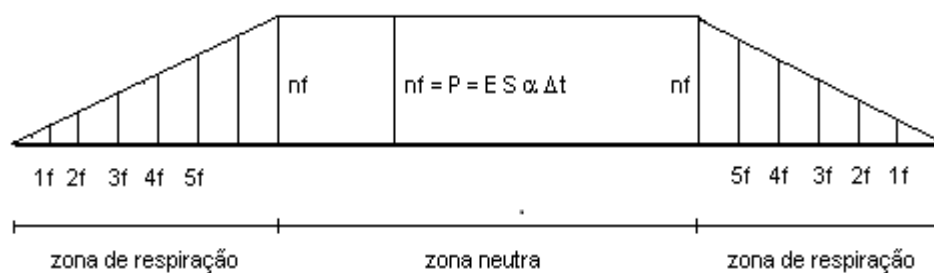
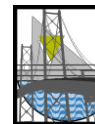


Figura 3.2 - Diagrama Teórico dos Esforços numa BLS a uma temperatura diferente da inicial - [Manual de Via da Fernave]

Temos, pois, a possibilidade física de ter na via barras contínuas de carris soldados entre si, com vários quilómetros de extensão, sem folgas intermédias, havendo apenas a necessidade de compensar um pequeno deslocamento em cada extremo.

No entanto, em certos casos, o uso das BLS é limitado pela infra-estrutura em que a superestrutura ferroviária está aplicada, sendo as BLS interrompidas e protegidas por AD nomeadamente em:

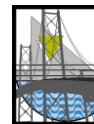
- Pontes não balastradas variando esta situação com o seu comprimento; no caso de pontes balastradas e superiores a 100 m será necessário AD;
- Se as BLS estiverem aplicadas em túneis e estes inferiores a 20 ou 30m não chegando a existir variações de temperatura não será necessário a colocação de AD; se os túneis forem superior a 30m será necessário montar AD a 18m da boca, de cada lado do túnel;
- Em plataformas instáveis deve-se tratar primeiro a plataforma de forma a torna-la estável e depois montar as BLS; quando não é possível o seu tratamento por razões de ordem financeira ou outra, uma solução provisória passaria pela instalação de AD.
- Os aparelhos de mudança de via (AMV) não podem ficar na zona de respiração das BLS (zonas a partir do centro do aparelho de dilatação com comprimento da ordem de 150 m); ficando na “zona neutra” das BLS os AMV deverão ser todos soldados.
- Nas passagens de nível, e quando estas estão colocadas numa barra longa, devem estar fora das zonas de respiração e o AD mais próximo deverá estar a



uma distância de superior a 120 m das passagens de nível; quando uma passagem de nível se encontra na zona de barras curtas ou perto dum AD deve reservar-se uma distância mínima de 18 m entre a PN e o AD para facilitar a conservação da passagem de nível independentemente do AD.

Vantagens da Via Moderna Face à Via Clássica:

- Maior segurança da via em exploração dado à maior parte das roturas dos carris acontecerem nos seus topos
- Economia entre 30 a 40% no custo da manutenção da via
- Menor degradação e conseqüentemente maior conservação do material circulante
- Maior comodidade para o passageiro
- Facilidade de recuperação de carris usados





4. REGULARIZAÇÃO DAS TENSÕES INTERNAS EM BARRAS LONGAS SOLDADAS

Na construção de uma via moderna, os carris são assentes nas travessas com comprimentos variáveis, constituindo barras parciais, que mais tarde serão soldadas entre si, formando assim as BLS. Nas zonas de ligação destas barras parciais existem diferenciais de tensões superiores aos das restantes zonas da barra, formando picos de tensão, pelo que se torna necessário a sua regularização a uma determinada temperatura constante e após a execução de soldaduras.

A regularização de tensões nas BLS é também necessária, dado verificarem-se importantes diferenças entre os valores das temperaturas no assentamento e fixação das barras e após o assentamento, originado o aumento das tensões, de compressão quando a temperatura sobe (risco de deformação) e de tração quando desce (risco de fractura).

Esta regularização dá-se quando as barras são libertadas (colocadas sobre roletes após desaperto das fixações) e reapertadas a uma temperatura média para a região respectiva.

Considera-se que o aumento de tensões numa barra é admissível, desde que a variação de temperatura que o provoca não ultrapasse 45°C. Admitindo-se que as temperaturas extremas ocorridas em Portugal são de -5°C e +60°C, as barras podem ser assentes entre 15°C e 40°C.

Igualmente existe um intervalo para a variação da temperatura de modo a poder-se realizar os trabalhos de regularização das BLS, e em Portugal este valor é de $\pm 5^\circ\text{C}$ em relação à temperatura média, sendo o valor considerado para uma determinada região salvo alguma disposição em contrário, de 30°C. Deste modo, o intervalo admissível para a regularização das BLS deverá ser dos 25°C aos 35°C.

4.1 Consequência da Não Regularização de Tensões numa BLS

O equilíbrio de uma BLS é triaxial. Devem existir forças elásticas de equilíbrio que garantam que as barras não podem mover-se vertical, lateral e longitudinalmente. Este equilíbrio pode desaparecer devido a problemas relacionados com os componentes da via, tais como o defeituoso comportamento das fixações, o mau estado das travessas

ou a escassez de balastro, ou pura e simplesmente, por falta da regularização das tensões, conforme a figura 4.1.



Figura 4.1 – Consequência da não regularização de tensões - [Web]

4.1.1 Falta de Equilíbrio relativo às Forças Verticais

O efeito mais comum do desequilíbrio das tensões é o garrote, que é originado pelo excesso de tensões de compressão numa determinada zona da via onde já exista uma deformação, o que leva ao movimento vertical da via, de que resulta uma diminuição do encastramento das travessas no balastro, possibilitando em seguida o deslocamento lateral da via, sob a ação das forças internas devidas ao aumento da temperatura. Este fenómeno ocorre sempre quando a via não tem qualquer comboio a carregá-la; no entanto, é quase sempre originado depois da passagem do último veículo de um comboio, provocado pela descompressão do balastro em simultâneo com o movimento de lacete do último rodado.

4.1.2 Falta de Equilíbrio relativo às Forças Laterais

Independentemente dos diferentes tipos de carris, de travessas ou de balastro, a banqueta da via tem influência, até certo ponto, na resistência lateral da via. Quando



se verifica uma grande pressão lateral da via, dá-se a rotura do balastro a uma distância do topo da travessa que varia entre os 35 e os 45 cm; esta distância é função do atrito interno do balastro e da altura da travessa. Como prevenção desta situação, é preferível sobrelevar-se o balastro no topo da travessa, aumentando-se o peso da cunha de resistência do balastro, a aumentar-se a banqueteta para além de 45 cm a partir do topo da travessa.

4.1.3 Falta de Equilíbrio relativo às Forças Longitudinais

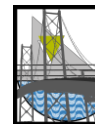
A falta de equilíbrio originada pelas forças longitudinais surge, quer com a via em carga, quer com a via em vazio, isto é, com ou sem circulações ferroviárias, sendo estas forças longitudinais de dois tipos: devido às circulações, tração e frenagem, e devido às variações de temperatura. A falta deste equilíbrio é constante, ao longo do dia, nas zonas de respiração da BLS, principalmente junto aos AD; no entanto, esta rotura de equilíbrio não deverá acontecer pelo encastramento das travessas no balastro, o que poria em causa, gradualmente, a segurança da via. A rotura deverá dar-se sempre pelas fixações, as quais deverão respeitar o aperto consoante o tipo das travessas utilizadas, de modo que a resistência oposta aos impulsos longitudinais da via pelo encastramento da travessa no balastro seja sempre superior à resistência oposta pelas fixações.

4.2 Regularização de Tensões numa BLS

Esta regularização de tensões nas BLS pode ser feita por 3 processos:

- Aquecimento natural (ação do sol)
- Aquecimento artificial (com queimadores)
- Tensão nas BLS (com tensores)

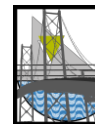
Previamente e independentemente do método como se regularizam as tensões, há que desapertar as fixações e colocar roletes sob as BLS (libertar as barras) de modo a que estas possam correr livremente.



4.2.1 Regularização de BLS por Aquecimento Natural

Este método de regularização das BLS só poderá ser executado enquanto a temperatura dos carris estiver entre 25°C e 35°C e deverá respeitar os seguintes passos:

- i. Marca-se na patilha do carril, de 50 em 50m, um traço fino; a extensão total da regularização não deverá ultrapassar os 800m
- ii. Desapertam-se as fixações a partir das extremidades da extensão a regularizar. A operação deve realizar-se nas duas filas de carril
- iii. Com o auxílio de alavancas ou macacos de via levantam-se os carris e colocam-se roletes, com o diâmetro mínimo de 12mm, entre o carril e as travessas, de 10 em 10, no máximo, em recta e de 4 em 4 em curva. As BLS deverão ficar completamente suspensas e desapertadas
- iv. Através do uso de marretas de bronze ou de *nylon*, para não danificar o carril, as barras são percutidas em toda a extensão libertada, de modo a que estas com a vibração possam correr melhor e, se existirem impedimentos, estes possam ser eliminados
- v. Após a percussão das barras, e com ajuda de termómetros de carril, colocados na patilha no lado da sombra, é lida a temperatura do mesmo
- vi. Se a temperatura lida estiver compreendida no intervalo de 25°C a 35°C é marcado um traço em frente das marcas que se fizeram no carril de 50 em 50m. Estas referências terão de ser executadas em pontos fixos exteriores ao carril, travessas ou estacas
- vii. Inicia-se de imediato ao aperto da fixação, do meio das BLS para os extremos. Este aperto deve ser muito rápido, podendo-se apertar travessa sim, travessa não, de modo a avançar-se mais depressa. Se durante o aperto verificarmos que as marcas do carril estão a deslocar-se muito em relação às marcas de referência nos pontos fixos, é porque a temperatura do carril se está a alterar. Deve-se anotar na alma do carril e na zona das marcas a temperatura do aperto. Se a operação de aperto estiver a ser feita de manhã, com a temperatura a aumentar, o aperto deverá iniciar-se quando a temperatura do



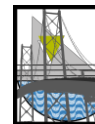
carril estiver a 25°C, apontando-se na alma do carril esta temperatura. Se durante o aperto verificarmos que as marcas começam a deslocar-se lemos a temperatura e se esta, por exemplo, se encontrar nos 28°C, registamos este valor na marca onde nesse momento estiver o aperto. Em cada alteração será necessário o seu registo. Caso a temperatura atinja os 35°C e se constatar que este valor tem tendência para subir, apontamos essa temperatura na marca mais próxima, mantendo-se o aperto a uma temperatura superior a 35°C. No dia seguinte, a regularização tem de começar no ponto em que a temperatura atingiu 35°C no dia anterior; estas temperaturas que vamos registando são as chamadas “temperaturas de fixação”. Se a temperatura for descendente, para a situação em que as regularizações são executadas no fim da tarde, o limite inferior será de 25°C e todo o troço apertado a temperaturas inferiores terá de ser reapertado no dia seguinte.

De acordo com os pontos anteriores as temperaturas a que se encontram o carril aquando do aperto oscilam no intervalo de 25°C a 35°C. Se no dia anterior, aquando da regularização, a temperatura obtida era de 35°C num dado ponto, e no dia seguinte, nesse mesmo ponto, a temperatura é de 25°C, iremos deixar a BLS com diferentes temperaturas de aperto nesse ponto, o que irá provocar um desequilíbrio de 10°C que, conseqüentemente, poderá originar uma situação perigosa. Com o objectivo de evitar qualquer situação mais complicada resultante desse desequilíbrio, depois de efectuada toda a regularização e com o carril já soldado, torna-se a desapertar o carril numa extensão de 50m para cada lado da marca, volta-se a bater a barra para redistribuir as tensões ao longo dos 100m e volta-se a efetuar o aperto.

4.2.2 Regularização de BLS por Aquecimento Artificial

Este método de regularização feito com queimadores a gás possibilita uma regularização mais homogénea. Do mesmo modo que a regularização mecânica (com tensores), este tipo de regularização só é possível quando as barras estiverem a uma temperatura inferior a 30°C e deverá respeitar os seguintes passos:

- i. Marca-se na patilha do carril de 50 em 50m, um traço fino, tal como na regularização por aquecimento natural
- ii. Desapertam-se as fixações das BLS



- iii. Com o auxílio de alavancas ou macacos de via levantam-se os carris e colocam-se roletes, com o diâmetro mínimo de 12mm, entre o carril e as travessas, de 10 em 10, no máximo, em recta e de 4 em 4m em curva. As BLS deverão ficar completamente suspensas e desapertadas
- iv. Através do uso de marretas de bronze ou de *nylon*, para não danificar o carril, as barras são percutidas em toda a extensão libertada, de modo a que estas com a vibração possam correr melhor e, se existirem impedimentos, estes possam ser eliminados
- v. Após a percussão das barras, e com ajuda de termómetros de carril, colocados na patilha no lado da sombra, é lida a temperatura do mesmo.

Neste método as BLS são aquecidas com os queimadores a gás montados sobre *charriots*, que deslizam ao longo destas a uma velocidade constante, variando esta velocidade em função do n.º de queimadores e da temperatura das barras. O valor da dilatação de cada troço de 50 m da barra é obtido pela multiplicação desta distância pelo valor do coeficiente de dilatação linear do aço do carril (α) e pela diferença, em graus, entre a temperatura a que a barra está (T) e a temperatura média (T_m). Esta situação é traduzida pela expressão da dilatação linear:

$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta T$, em que:

ΔL – valor de alongamento ou encurtamento

L – comprimento da barra à temperatura inicial (50 m = 50000 mm)

α – coeficiente de dilatação linear do aço do carril igual a $10,5 \times 10^{-6}$

ΔT – variação de temperatura em relação ao valor inicial ($T_m - T$)

$$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta T = 50000 \times 10,5 \times 10^{-6} \times (T_m - T) = 0,52 (T_m - T) \text{ mm}$$

- vi. É marcado um traço em frente das marcas que se fizeram no carril de 50 em 50m. Estas referências terão de ser executadas em pontos fixos exteriores ao carril, travessas ou estacas
- vii. Marca-se na patilha do carril, no final do primeiro troço de 50 metros, o alongamento ΔL correspondente.



Por exemplo, se o termómetro indicar que a temperatura do carril é de 10°C, significa que está a uma temperatura mais baixa 20°C que a temperatura média de 30°C.

$$\Delta T = (T_m - T) = 30^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$$

A dilatação de cada fracção de 50 metros deve ser de:

$$\Delta L = 0,52 \times 20 = 10,4 \text{ mm}$$

Isto é, cada fracção de 50 metros da barra deve ser aquecida de modo a que se dilate 10,4 mm.

Marca-se então ao fim dos primeiros 50 m, na referência 1, um traço paralelo ao feito inicialmente, afastado de 10,4 mm para o lado do início do trabalho, de modo a que, quando esta fracção dilatar o valor calculado, este segundo traço avance, ficando em frente da referência exterior.

Na referência 2, como esta deve avançar a dilatação da primeira fracção de 50 m, mais a dilatação da segunda, far-se-á um traço paralelo ao feito inicialmente, afastado agora de $2 \times 10,4 = 20,8$ mm também para o lado do início do trabalho.

Na referência 3 o traço será feito à distância de $3 \times 10,4 = 31,2$ mm, e assim sucessivamente, até ao fim do troço a regularizar.

- viii. Marcados os avanços nas referências, começa-se a deslocar os aquecedores acesos, lentamente, a partir do início, dentro dos primeiros 50 metros e verifica-se se a primeira referência avançou os 10,4 mm. Quando tal acontecer, deverá iniciar-se, a partir do início, a operação de retirar os roletes e apertar as fixações da barra, passando o aparelho de aquecimento para os segundos 50 metros. Esta sequência repete-se até ao fim do troço a regularizar.

4.2.3 Regularização de BLS com Tensores

A regularização das BLS neste método é feita à custa de um esforço de tração obtido através de tensores hidráulicos (figura 4.2), diferindo dos métodos anteriores que utilizam o calor para a dilatação das barras, seja ele natural ou artificial.



Figura 4.2 – Tensores hidráulicos - [Unidade Operacional Sul]

Este método de regularização só é possível em recta e em curvas de raio superior a 2.000 m, dado que para raios de menor valor, a componente radial das forças de tração aplicadas pelo tensor às barras assume um valor elevado, que tende a deformar a via e provoca um esforço de atrito contra os parafusos ou tirafundos das fixações que prejudica a regularização. O tensor atua na zona central do troço a regularizar, aproveitando-se para isso o local de uma soldadura ainda não realizada, e tracciona ambas as extremidades da barra que serão soldadas no final do processo. Dadas as condicionantes acima referidas, para curvas com raio entre 2.000 e 5.000 m, o tensor fica colocado a 144 m dos extremos, para curvas com raio entre 5.000 e 10.000 m, esse valor sobe para 288 m.

No que diz respeito à sequência dos trabalhos deste método de regularização, quer para a libertação das barras, quer o cálculo da dilatação a obter, são iguais ao método anterior. O mesmo não acontece em relação ao avanço das operações, que é feito a partir dos extremos das barras a regularizar para a zona central, onde se executará a soldadura de fecho (figura 4.3), de acordo com a figura seguinte, logo que se verifique a completa dilatação em todas as referências espaçadas de 50 m e após o total reaperto das fixações. O tensor só é retirado depois de a soldadura ter arrefecido.

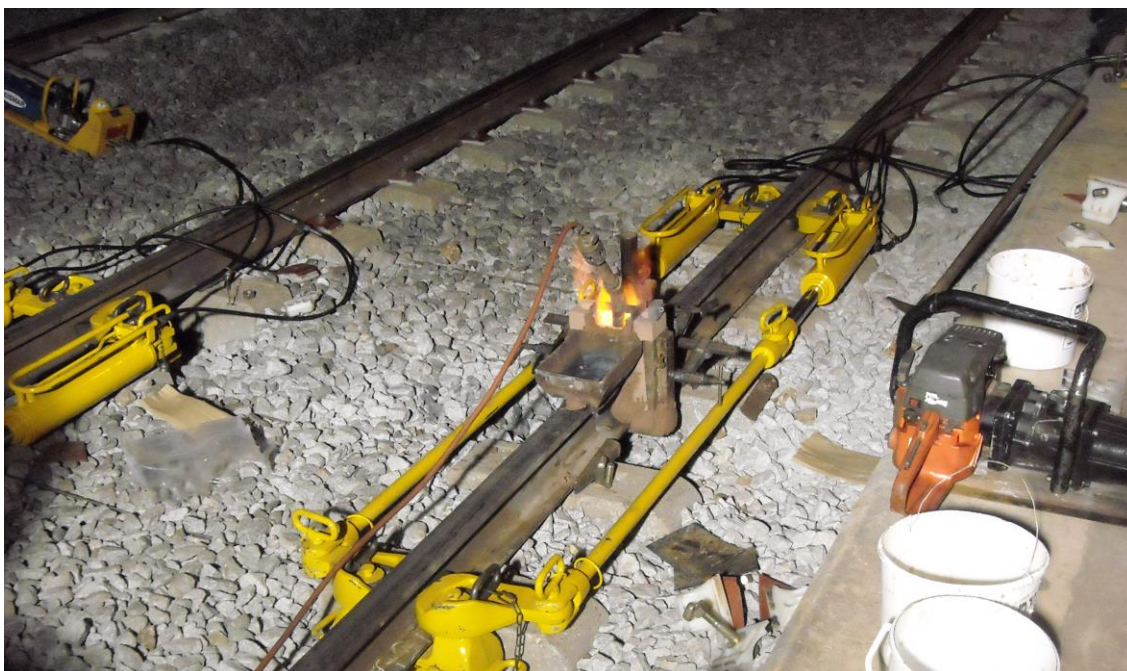
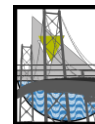
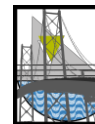


Figura 4.3 - Soldadura de fecho – Aplicação de tensores hidráulicos - [Unidade Operacional Sul]

Na execução do corte a fazer para soldar os dois lados da barra é fundamental saber qual o alongamento a dar aos lados da barra, implicando o conhecimento da temperatura a que se pretende regularizar a barra, da temperatura indicada nos termómetros, do alongamento de cada troço de 50 m e de quantos são os troços de 50 m.

4.3 Procedimentos da Qualidade para a Verificação da Regularização de Barras

Na verificação da execução do processo da Regularização das BLS, existem procedimentos ao nível do Sistema de Qualidade das Empresas Certificadas, que é o caso da empresa onde o proponente estagiou, que deverão ser cumpridos.



4.4 Aparelhos de Dilatação

4.4.1 Conceito e funções

Os AD são dispositivos que permitem a livre dilatação das extremidades das zonas de respiração das BLS. Por razões de qualidade da geometria da via, os AD não poderão ser assentes em curvas com raio inferior a 800 m, em curvas de concordância e entre duas curvas de concordância quando muito próximas.

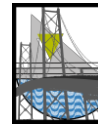
4.4.2 Tipo de Aparelhos de Dilatação

Existem dois tipos de AD: unidirecionais e bidirecionais.

Os AD unidirecionais (figura 4.4) aplicam-se quando apenas é necessário absorver movimentos da BLS de um dos lados. Do outro lado os movimentos do carril são nulos ou desprezáveis. Por exemplo junto ao apoio fixo de uma ponte não balastrada, em que o carril do lado da ponte está imóvel.



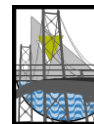
Figura 4.4 - Aparelho de Dilatação Unidireccional - [Unidade Operacional Sul]



Os AD bidirecionais (figura 4.5) usam-se quando é necessário absorver movimentos de BLS de ambos os lados. Por exemplo junto ao apoio móvel de uma ponte não balastrada, em que o carril do lado da ponte acompanha os movimentos de dilatação e retracção da estrutura.



Figura 4.5 - Aparelho de Dilatação Bidireccional - [Unidade Operacional Sul]





5. SOLDADURAS

Na sequência do capítulo anterior em que se descrevia as BLS, importa dizer que as mesmas só podem existir graças a um processo de união dos topos das barras de carril, que se designam de soldaduras (figura 5.1), conforme se pode verificar na figura seguinte um exemplo de soldaduras. Esta situação veio resolver alguns problemas ao nível do fabrico de carris de grandes tamanhos, não só porque as fábricas de laminagem não conseguem fabricar carris com grandes comprimentos, como o transporte de barras de carril de grandes dimensões não é possível.

Para além dos aspectos descritos no parágrafo anterior existem outras razões para o uso de carris soldados, particularmente materiais aplicados, elementos do traçado e qualidade da plataforma e drenagens, entre outras.



Figura 5.1 - Soldaduras - [Estação da Raquete - Sines]

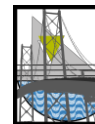
Habitualmente utilizam-se três métodos de soldaduras de carris para a execução de via sem juntas:

- Soldaduras eléctricas – usadas normalmente para fazer uma barra longa para posterior montagem na via e normalmente feita em estaleiro, dado a máquina (figura 5.2) usada ser de grandes dimensões e de difícil transporte. Os carris neste tipo de soldaduras são submetidos a uma corrente eléctrica de elevada intensidade, aproximadamente 43.000 Amperes, e baixa voltagem, que por contacto, provoca o aquecimento e fusão dos topos dos carris, que posteriormente sendo comprimidos um contra o outro provocam um encaixe de cerca de 33 mm e conseqüente soldadura.



Figura 5.2 – Equipamento usado nas soldaduras eléctricas - [Web – retirado em 02.02.2014]

- Soldaduras aluminotérmicas – usadas normalmente para unir as barras longas previamente montadas em plena via; estas soldaduras podem ser igualmente usadas em estaleiro para soldaduras de carris que necessitem condições especiais. Os carris são posicionados com afastamento entre topos de 19 a 48 mm (dependendo do pré-aquecimento usado), que depois de alinhados, imobilizados e envolvidos os seus topos por um molde de fundição são previamente aquecidos. É então lançado no molde o aço em fusão,

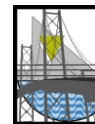


proveniente da reação química exotérmica provocada por um fulminante numa carga aluminotérmica que eleva a temperatura do metal a cerca de 3.000 graus. O arrefecimento do aço líquido origina a soldadura dos topos dos carris. Este método será analisado com maior detalhe dado ser um dos temas do presente documento.

- Soldaduras austeníticas – usadas em AMV para as soldaduras de carris de aço normal (aço carbono) a cróssimas de aço manganês, onde os processos anteriores não resultam. São executadas através de duas soldaduras elétricas onde se solda um troço de carril normal a um troço de carril em cromo-níquel, cortando-se posteriormente o carril em cromo-níquel a 2 cm do carril normal, e finalmente solda-se o topo de carril cromo-níquel à antena da cróssima em aço ao manganês (figura 5.3).



Figura 5.3 – Exemplo duma soldadura austenítica - [Metro de Dublin - Irlanda]



5.1 Comparação entre Soldaduras Eléctricas e Aluminotérmicas

- As soldaduras eléctricas são mais indicadas para estaleiro dado às dimensões da máquina usada neste processo serem de maiores dimensões, embora haja a possibilidade de usar em obra mas envolvendo uma logística superior às soldaduras pelo processo aluminotérmico
- As soldaduras aluminotérmicas são mais indicadas para as interdições (suspensões temporárias da circulação ferroviária)
- As soldaduras eléctricas tendem a ser submetidas a um controlo de qualidade mais rigoroso
- As soldaduras eléctricas tem um custo superior face às soldaduras aluminotérmicas
- As soldaduras eléctricas tendem a quebrar por serem demasiado rijas

5.2 Processo de Soldadura por Aluminotermia

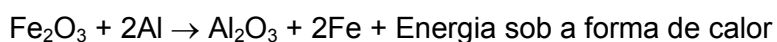
5.2.1 Explicação do Processo

A soldadura aluminotérmica de carris baseia-se na união dos topos dos carris, conforme figura 5.4, como ilustra a figura seguinte, através da ação de um metal de enchimento no estado líquido a altas temperaturas originando uma massa homogénea. Os topos dos carris encontram-se envolvidos num molde refractário destinado a dar forma ao metal de enchimento até à sua solidificação. Este fenómeno dá-se através duma reação exotérmica, que consiste na redução de óxido de ferro pelo alumínio; a mistura destes elementos, sob a forma de pó, reage por ignição originando ferro e óxido de alumínio ambos em estado líquido devido ao calor libertado durante o fenómeno.



Figura 5.4 - Topos dos carris a soldar - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora]

A quantidade de calor gerado depende do óxido de ferro utilizado e que reage com o alumínio, segundo a seguinte fórmula:



Ao óxido de ferro e ao alumínio, são adicionados elementos químicos, tais como carbono, manganês, silício ou cromo, constituindo, no seu conjunto, a chamada carga aluminotérmica que reage e origina um aço de qualidade e de características semelhantes ao dos carris a soldar.

A carga aluminotérmica reage (figura 5.5) através da ignição dentro de um pote (crisol). Aí guarda-se o aço fundido, originado a uma temperatura de 2.000°C a 3.000°C, e verifica-se a separação do óxido de alumínio do aço fundido subindo até ao topo, dado a sua massa específica ser inferior ao referido aço (3,97 e 7,80 respetivamente).



Figura 5.5 - Reação química - [Linha do Norte – Sub-Troço 2.1 Entroncamento – Albergaria dos Doze]

A descarga do aço fundido é feita através de um orifício na parte inferior do pote, que se despeja no molde refractário e que envolve os topos dos carris e provoca a fusão destes, e que depois de solidificada e arrefecida assegura a união dos carris.

5.2.2 Cargas Aluminotérmicas

As cargas aluminotérmicas são compostas por um conjunto de pequenos grãos com um diâmetro inferior a uma décima de milímetro misturados de modo homogéneo, dos quais o alumínio constitui entre 20 a 30% do seu peso total.

Estas cargas vendem-se em sacos de plástico (figura 5.6) impermeáveis e herméticos, contendo a quantidade exata para realizar uma soldadura independente do tipo de aço e do perfil dos carris a soldar.

São utilizados carris constituídos por aços de diferentes qualidades e, de acordo estas, emprega diferentes cargas para as respectivas soldaduras.

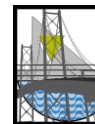
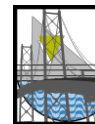


Figura 5.6 - Cargas aluminotérmicas - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora]

As marcas em relevo, que distinguem a qualidade do aço, são gravadas na alma do carril, bem como outras marcas relativas à sua fundição: identificação do fabricante, identificação do grau do aço, ano e mês de fabrico, tipo de perfil, método de fabrico do aço e uma seta a indicar o sentido do movimento do lingote na laminagem.

Para além das marcações mencionadas anteriormente, os carris trazem ainda de fábrica marcações adicionais ao nível da rastreabilidade, permitindo ao fabricante a identificação precisa relativa à data, molde, equipa de produção e outros elementos importantes dos procedimentos de qualidade, cumprindo sempre as normas específicas na laminagem de carris.

Em Portugal usa-se a carga da classe 900, dado os carris aplicados serem também da qualidade 900, constituídos por ligas que originam um aço de qualidade dura, resistente ao desgaste e com resistência à tração de valores situados entre os 900 e os 1000 N/mm². Utiliza-se na soldadura de carris com aço 900 A e 900 B. Emprego das Soldaduras Aluminotérmicas



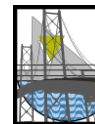
As soldaduras aluminotérmicas utilizam-se normalmente, para unir carris do mesmo perfil e com a mesma qualidade de aço. No entanto, podem-se usar para soldar carris de perfis diferentes.

Por razões de preservação da qualidade da geometria da via, a distância de segurança entre duas soldaduras aluminotérmicas, entre uma aluminotérmica e uma eléctrica, ou entre uma aluminotérmica e o extremo do carril, será de 6 m em plena via e de 4 m em AMV.

5.2.3 Pré-aquecimento dos Topos dos Carris

Antes de se executar propriamente a soldadura, é necessário realizar um pré-aquecimento dos topos dos carris a soldar, que obedece a diferentes aspectos. Para além destes, há que considerar igualmente a abertura (folga) entre os topos dos carris. Deste modo utilizam-se os seguintes pré-aquecimentos:

- Soldadura com pré-aquecimento normal, PN18 (abertura de 16 a 20 mm) – o aquecimento dos carris executa-se até que os topos atinjam a temperatura de 900°C atingindo-se este valor no intervalo de tempo de 120 segundos.
- Soldadura com pré-aquecimento curto, PC23 (abertura de 21 a 25 mm) – este pré-aquecimento exige que a carga proporcione maior calor do que no pré-aquecimento normal. Este pré-aquecimento atinge-se num tempo estipulado pelo fabricante da carga de soldadura, e sem ser necessário controlar a temperatura atingida pelos carris.
- Soldadura com pré-aquecimento curto de folga larga entre carris, CA48 (abertura de 45 a 51mm) – este pré-aquecimento usa-se quando a folga seja superior às distâncias dos pré-aquecimentos anteriores, por exemplo quando substituir uma soldadura falhada. Igualmente como o PC23, este pré-aquecimento atinge num tempo estipulado pelo fabricante da carga de soldadura e sem ser necessário controlar a temperatura atingida pelos carris.



5.3 Equipa, Equipamentos e Procedimentos de Soldadura

5.3.1 Equipa de Soldadores

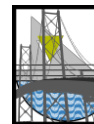
A equipa de execução das soldaduras é constituída normalmente por três operários podendo ir até cinco para trabalhos na via; no caso de as soldaduras serem feitas em estaleiro este número varia consoante o grau de mecanização do próprio estaleiro.

Quer o soldador, quer o/s ajudante/s devem ser oficiais qualificados para este tipo de trabalho, e a restante equipa pode ser constituída por operários menos especializados. O soldador será o único que necessita de ter autorização (n.º de soldador - punção) para efectuar soldaduras. A responsabilidade da qualidade das soldaduras cabe ao soldador, sendo este normalmente o chefe da equipa. Uma das funções do/s ajudante/s para além de auxiliar o soldador é igualmente garantir o correto funcionamento do equipamento de soldadura.

5.3.2 Equipamento, Materiais e Acessórios usados nas Soldaduras

Na execução das soldaduras aluminotérmicas, para o PC23 ou CA48, sendo o primeiro o mais usado nas soldaduras em Portugal, existem diversos equipamentos, materiais e acessórios sem os quais o procedimento de soldaduras não seria possível, nomeadamente (anexo A):

- Tampa do pote, Ref.^a TCR-20
- Alça do pote, Ref.^a ACR-20
- Pote, Ref.^a CR-TSU
- Aro porta-pote, Ref.^a PCR-21
- 4 Parafusos M10X90, Ref.^a JT-CR
- Suporte do pote, Ref.^a SCR-21
- Prensa universal, Ref.^a PUI-600
- Queimador – Equipamento de pré-aquecimento Ar-gás propano (maçarico), Ref.^a EQ-PC 2.5



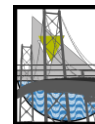
- Suporte queimador, Ref.^a SQ-OXP
- Jogo de placas porta-moldes laterais, Ref.^a PMU-101
- Suporte placa inferior para abertura normal, Ref.^a SPI/1-PC
- Suporte placa inferior para abertura larga, Ref.^a SPI/1-CA
- Cubeta de escória, Ref.^a CE-PC
- Varinha destape automático, Ref.^a VDA-MCE
- Pasta refratária, Ref.^a PR-10
- Bengalas de incêndio da carga, Ref.^a B-100
- Cavaletes de alinhamento, Ref.^a CAL-600
- Equipamento de pré-aquecimento completo (maçarico de ar-gás propano), Ref.^a COMP-AGA/1

5.3.3 Preparação dos Carris a Soldar

A preparação da folga entre os topos dos carris exige uma inspeção prévia e minuciosa dos carris com o objectivo de detectar defeitos que possam prejudicar ou anular o bom comportamento das soldaduras. Estes defeitos podem ser originados pelo processo de fabrico ou manuseamento, encontrando-se estes defeitos no meio dos carris ou nos seus extremos; defeitos estes que podem evoluir e originar roturas no carril, sendo necessário rectificar mediante corte e soldadura.

Não deverão ser soldadas as barras empenadas, as que tenham marcas na superfície de rolamento e que não possam reparáveis, nem aquelas que contenham defeitos que tenham de ser eliminados.

As superfícies dos topos dos carris a soldar devem ser paralelas entre si e perpendiculares ao eixo do carril. A distância mais adequada entre estes topos com a tolerância correspondente e de acordo com cada tipo de pré-aquecimento (PN, PC e



CA), designa-se como abertura nominal e vem descrita nos sacos e caixas que contem os Kits de soldadura. Os diferentes procedimentos de soldaduras aluminotérmicas trabalham com folgas entre os topos dos carris bem definidas e distintas.

Não se pode efetuar soldaduras com folgas entre carris fora dos procedimentos estabelecidos nas normas.

5.3.3.1 Medição da Folga (abertura) entre Carris

As folgas obtidas têm em atenção o paralelismo dos cortes dos topos dos carris que devem estar dentro dos limites de tolerância da abertura nominal para o permitido para cada processo de soldadura.

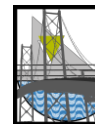
A abertura entre os topos dos carris pode-se rectificar por corte ou movendo um deles até à medida pretendida. No caso de soldaduras isoladas em vias com BLS, para este movimento de um dos carris será empregado preferencialmente um tensor ou um equipamento de aquecimento.

A folga entre os topos dos carris verifica-se antes e depois do pré-aquecimento dispondo de uma marca perto de cada topo e medindo as distâncias a elementos fixos, de modo a verificar que os carris não se tocaram. Se os carris se tocaram é necessário parar a soldadura e rectificar a folga entre eles.

5.3.3.2 Corte e Limpeza de Carris

Os cortes dos carris (figura 5.7) são executados com um moto-disco munido de um disco abrasivo. Este moto-disco está fixo ao carril através de um sistema de apoio no carril garantindo a o corte no plano perpendicular ao eixo longitudinal dos carris bem como com o paralelismo de ambas as secções dos carris.

Os cortes serão limpos antes de medir a distância entre os topos dos carris, para remover as rebarbas, ferrugem ou gordura, que possa prejudicar a qualidade da soldadura.



Deverão ser usados cavaletes, para posicionamento dos topos dos carris na realização das soldaduras.



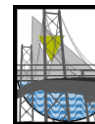
Figura 5.7 - Corte de carril - [Linha do Norte - Sub-Troço 2.1 Entroncamento – Albergaria dos Doze]

5.3.3.3 Verificação da Folga entre os Topos dos Carris

A verificação da folga entre topos dos carris tem como finalidade colocar o carril na posição correta quer longitudinalmente quer transversalmente, após retirar a pregação junto à futura soldadura. Esta verificação / correção é feita com o auxílio de cunhas de madeira ou de ferro.

Antes de se fazer a verificação da folga é necessário afastar todos os veículos que se encontrem a menos de 10 m da junta e proibir o apoio de materiais e pessoas nesta distância.

Independentemente das operações anteriores é necessário ter em conta os seguintes aspetos:

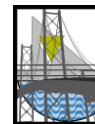


- Os movimentos das travessas (só em caso estritamente necessário) e dos carris que são necessários fazer para colocar os carris na posição correta para a soldadura devem ser mínimos
- Nos alinhamentos feitos em curvas de pequeno raio, far-se-á o desguarnecimento do balastro, nos dois lados da junta (folga), para ser possível a colocação dos tirantes transversais de alinhamento
- Deverão ser retiradas as palmilhas nas travessas imediatamente junto à soldadura, de modo a evitar a sua deterioração por aquecimento excessivo ou o salpicar do material fundido.

Através do uso de uma régua metálica de um metro (figura 5.8) faz-se o alinhamento longitudinal dos carris pela mesa de rolamento e pela face ativa, bem como pela alma dos respetivos carris a soldar, admitindo um defeito máximo de 0,5 mm na superfície de rolamento e 0,3 mm na face de guiamento.



Figura 5.8 - Verificação da folga nos topos dos carris - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora]



5.3.4 Moldes usados nas Soldaduras

A execução de uma soldadura pressupõe a existência de um molde refractário, como indicado na figura 5.9, que cubra os dois extremos dos carris e tem como funções:

- Criar uma câmara de combustão para o pré-aquecimento dos carris
- Receber a carga aluminotérmica proveniente do pote (crisol)
- Deitar a carga aluminotérmica na folga
- Dar forma à carga aluminotérmica na folga

Este molde é feito em fábrica com uma areia especial, em que lhe é adicionado silicato de sódio para dar maior consistência. É constituído por 2 metades, sendo por noma, complementados por uma placa metálica inferior que serve de suporte às 2 metades.

Os moldes podem ser de Folga Normal (JN) ou de Folga Seca (JS). No 1º caso, as 2 metades unem-se sem a ajuda de qualquer peça que facilite a sua união. No 2º caso, às 2 metades junta-se uma massa refractária que cobre todo o molde.

A montagem do molde é feita de forma a que o plano transversal de simetria da câmara de pré-aquecimento coincida com o plano médio da folga, uma vez que já foi feito o alinhamento longitudinal e transversal dos topos dos carris. Esta operação deve ser verificada novamente após o pré-aquecimento e antes de se poder dar início à ignição da carga aluminotérmica. Depois desta operação, as 2 metades do molde devem unir-se completamente mediante a compressão duma contra a outra.

A fixação do molde é feita com o auxílio de um acessório que se prende à cabeça do carril e por meio de dois parafusos, um de cada lado da cabeça do carril, prende o molde ao carril evitando qualquer movimento, mas sem apertar demasiado para não danificar ou mesmo partir o molde.

Depois, há que cobrir todo o molde com uma pasta refractária de modo a garantir a sua estanquidade.

Como operação final e de modo a não se contaminar o balastro, coloca-se num cadinho de recolha da escória (cubeta).

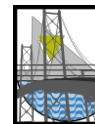


Figura 5.9 - Moldes usados nas soldaduras - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora]

5.3.5 Descrição do Procedimento de Soldadura

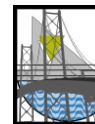
5.3.5.1 Pré-aquecimento

Esta operação é feita através de uma mistura de ar e de gás propano no interior da câmara constituída pelos topos dos carris e pelos moldes, mediante um queimador que se situa na parte superior do molde e apoiado ao mesmo.

O pré-aquecimento (figura 5.10) tem vários objectivos fundamentais:

- Secar o molde, as juntas e os próprios carris
- Verificar a eficácia do molde e a estanquidade do mesmo. Se por acaso a chama do queimador passa pelo molde e/ou por qualquer uma das juntas, há que substituir esse mesmo molde ou apenas reforçar as juntas com a pasta refractária

O pré-aquecimento do molde deve ser realizado de modo a que se evite a deterioração do mesmo. O queimador deverá produzir uma chama azul, evitando



assim a formação no carril de óxido de ferro, prejudicial ao processo de soldadura. O pré-aquecimento deve ter a duração necessária de modo a que não haja o arrefecimento entre o fim do pré-aquecimento e o início da soldadura propriamente dita, evitando-se assim uma temperatura errada para a fundição dos carris.

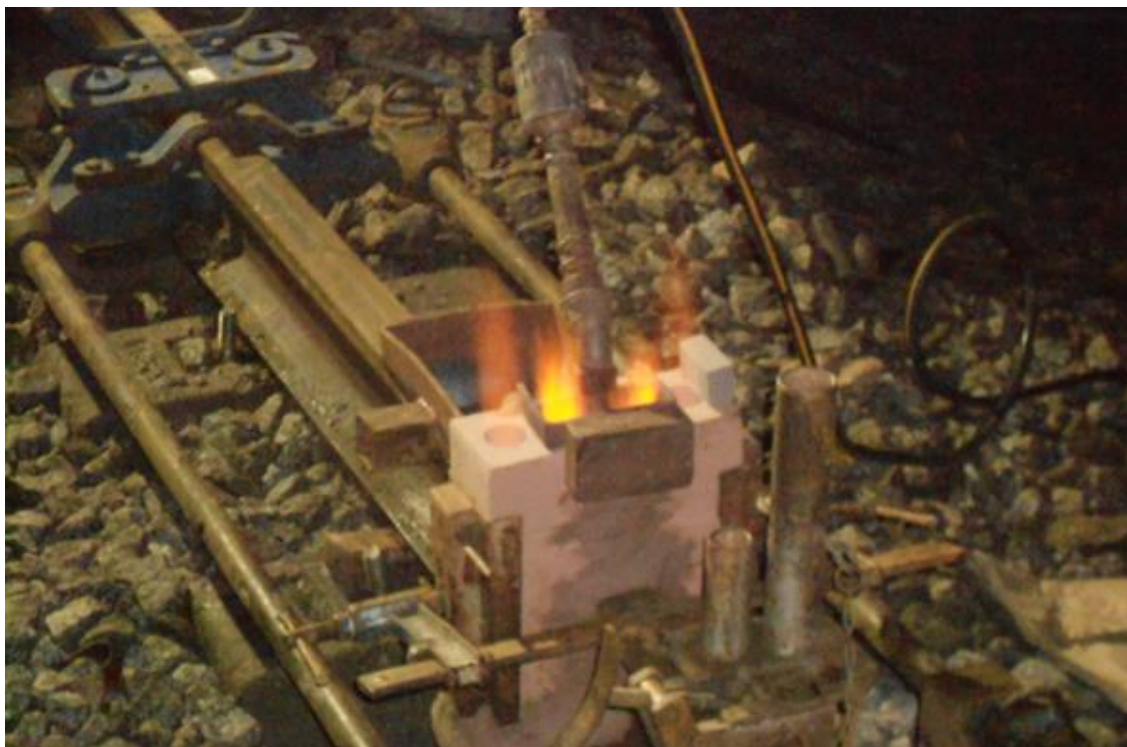
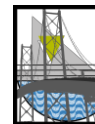


Figura 5.10 - Pré-aquecimento - [Unidade Operacional Sul]

5.3.5.2 Preparação do Pote

A reação da carga aluminotérmica é provocada pela ignição dentro de um recipiente de forma cónica que tem o nome de pote (crisol) e que pode ser recuperável ou não. No 1º caso, e é aquele que vamos estudar, dado ser o usado na generalidade das obras em Portugal, é constituído por uma chapa de aço revestida de material refractário, tendo na parte inferior um orifício por onde escorre a carga da soldadura. Depois de se originar a reação da carga e produzindo o metal de fundição, este desce pelo pote até atingir o molde.

O pote deve encontrar-se perfeitamente seco antes de ser utilizado; qualquer humidade pode provocar a projeção do aço proveniente da carga aluminotérmica. Dado o pote poder ter alguns defeitos de fabrico, a colada branca irá limpar e eliminar esses mesmos defeitos, preparando o pote para a soldadura.



O pote coloca-se sobre um suporte metálico, que gira em torno dum eixo vertical, e que por sua vez encontra-se unido à prensa que segura o molde. A colocação do pote deve fazer-se suavemente, sem o deixar cair, o que iria provocar o desalinhamento dos carris. A sua posição deve coincidir exatamente com o eixo do molde, para que a carga de soldadura, caia exatamente dentro da câmara do molde e da menor altura possível, no máximo 30 mm da parte superior do molde (figura 5.11).

Depois de alcançada a posição correta, o pote é rodado para a direcção oposta.

O 1º passo desta preparação da carga aluminotérmica, será a leitura da legenda do saco que contém a carga da soldadura, para ver se corresponde à modalidade de soldadura a executar, classe dos carris, perfil do carril.

O pote recuperável é mais falível do que o pote descartável ou pote de um só uso.

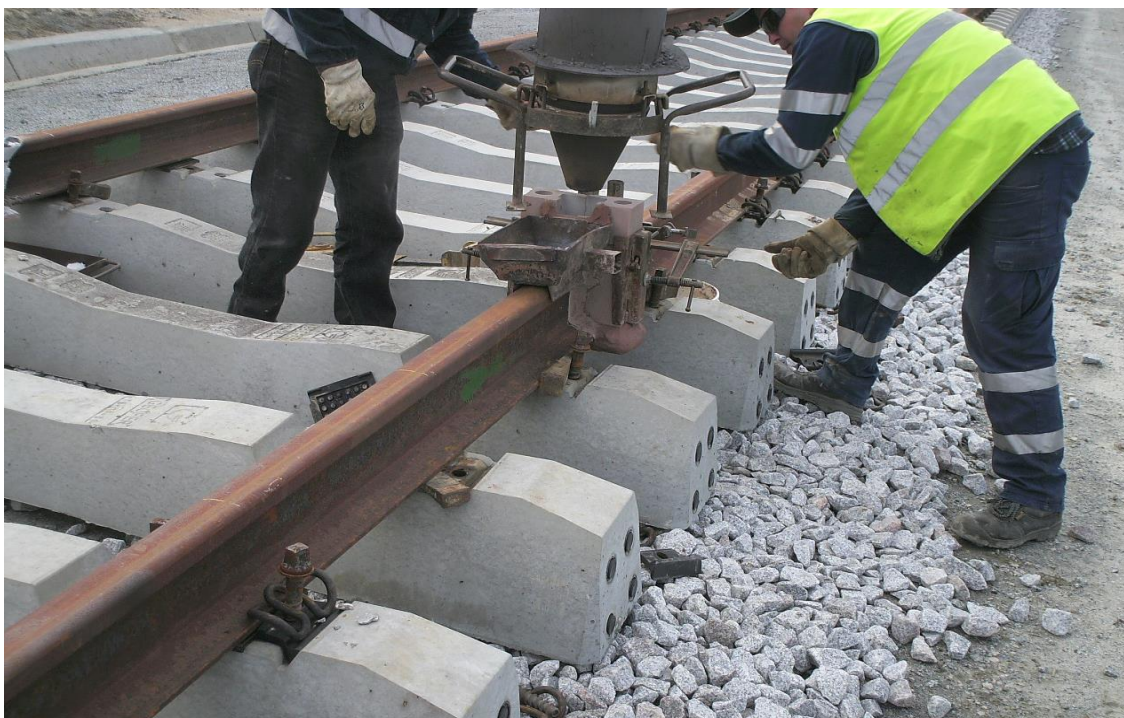


Figura 5.11 - Preparação do pote - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora]

5.3.5.3 Realização da Soldadura

Concluído o pré-aquecimento, é retirado o queimador e confirma-se a correta posição do molde com a folga nos respectivos carris.

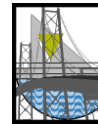
Depois, coloca-se a câmara de obturação (alça do pote) encaixando-se ligeiramente no sentido de evitar que esta “salte” aquando do momento da soldadura.

De seguida, há que girar todo o conjunto sobre o eixo vertical do suporte do pote, provocando-se a reação da carga mediante a ignição da bengala de incêndio e, finalmente tapa-se o pote com a respectiva tampa (figura 5.12). Dá-se por terminada a reação quando diminuem os fumos libertados e acalmam as vibrações do pote.



Figura 5.12 - Execução da soldadura - [Modernização do Troço Bombel e Vidigal a Évora]

Após o período necessário da fusão, inicia-se a descarga do metal fundido pelo orifício inferior do molde, como se pode ver pela figura 5.13, assegurando-se que este metal caia exatamente no molde. O metal de fundição fica acima 15 a 20 mm da superfície de rolamento, todo o metal de fundição sobranete é recolhido para o cadinho (cubeta) da escória.



O tempo desde a reação da carga até à descarga do material fundido deve estar indicado pelo fabricante nos *kits* de soldadura, sendo para o pré-aquecimento curto de 18 a 27 segundos.



Figura 5.13 - Descarga do material fundido - [Linha do Norte - Sub-Troço 2.1 Entroncamento – Albergaria dos Doze]

Todas as operações posteriores à soldadura devem ser executadas de modo a evitar-se a contaminação do balastro; deste modo aquando da retirada do molde e de toda a escória deverá haver um recipiente para recolha deste material. A recolha do aço de fundição só deverá ser feita quando este tiver arrefecido completamente.

Depois de concluída a soldadura, retira-se o pote incluindo o seu suporte e a prensa; de seguida, inicia-se a fase de desmolde retirando as placas laterais que suportam as 2 metades do molde, e com a ajuda duma guilhotina de carril hidráulica corta-se/destrói-se o molde, de acordo com a figura 5.14; esta operação com a guilhotina é feita mediante o tempo estipulado pelo fabricante dos diferentes tipos de pré-aquecimento de soldadura, para o pré-aquecimento PC deverá ser entre 5 a 6 min e para o pré-aquecimento CA deverá ser entre 6 a 7 min. Apesar do corte do molde pela guilhotina deverá deixar-se uma sobre-espessura para desbaste e esmerilagem final.

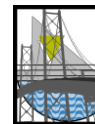


Figura 5.14 - Destruição do molde - [Unidade Operacional Sul]

Depois de eliminado o molde procede-se ao desbaste da soldadura. Antes do arrefecimento da soldadura procede-se ao corte dos pipos laterais (cornos) por meio de uma rebarbadora ou moto-disco (figura 15), figura seguinte, em seguida procede-se à esmerilagem da soldadura pela superfície de rolamento, face de guiamento e face exterior do carril.

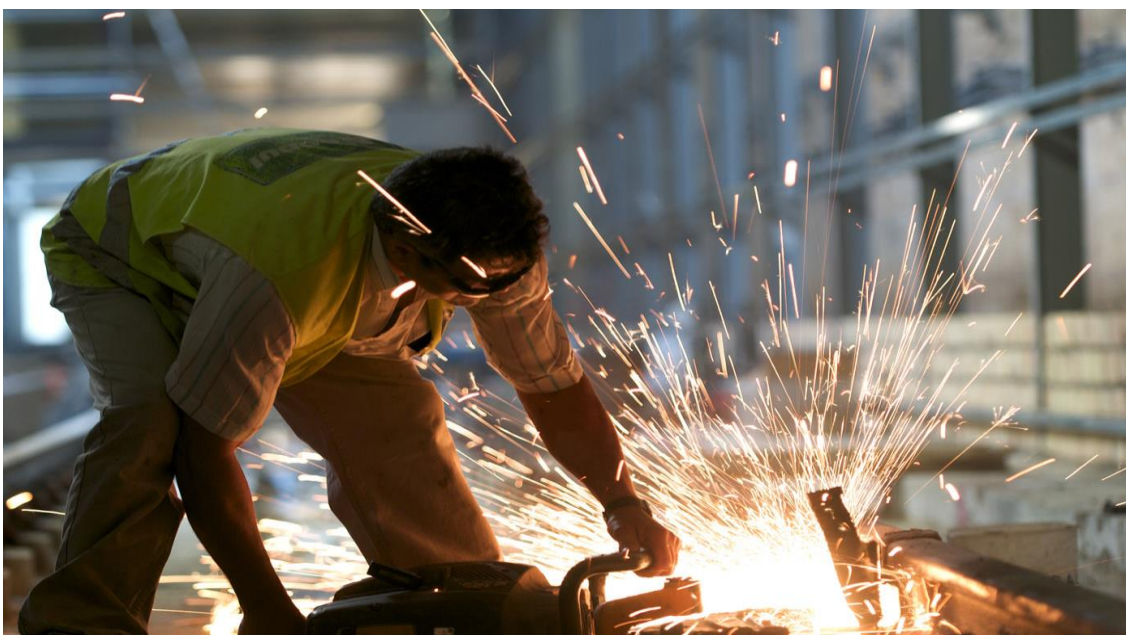
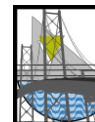


Figura 5.15 - Corte dos pipos laterais - [Metro de Sevilha]



Dado ser a primeira passagem com a esmeriladora, e a soldadura ainda estar quente, deve ser deixado algum material (sobre espessura) para não correr o risco de quando a soldadura arrefecer ficar abaixo dos limites estabelecidos.

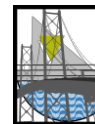
5.3.5.4 Acabamento da Soldadura

Depois da esmerilagem inicial há que restabelecer o perfil do carril com a maior perfeição, especialmente na superfície de rolamento e na face de guiamento. Deverá ser feito com uma esmeriladora à temperatura ambiente, e quando a esmerilagem inicial já tiver sido feito pelo menos no dia anterior.

Esta esmerilagem (figura 5.16) deverá ser feita numa distância de 10 cm para cada lado da soldadura; esta operação serve para eliminar qualquer rebarba que possa existir.



Figura 5.16 - Acabamento da Soldadura - [Unidade Operacional Sul]



5.3.5.5 Reposição dos Elementos da Via

Depois de concluída a soldadura colocam-se os carris na sua posição inicial, voltam-se a colocar as fixações retiradas, a apertá-las, a repor o balastro que porventura tenha sido retirado de baixo das travessas e a reperfilar a banqueta do balastro caso necessário, de modo a deixar a via com as condições de serviço antes de se efetuar as soldaduras.

5.3.6 Marcação das Soldaduras

Todas as soldaduras terão obrigatoriamente de ser identificadas (figura 5.17) com a marca do soldador que as executou, sejam elas feitas em estaleiro ou em plena via. Esta marca com caracteres de 8 a 10 mm de altura terá duas partes distintas:

- Legenda punçoadada no lado exterior da cabeça do carril a 50 mm do bordo da soldadura para o lado direito, tendo o número do mês de execução, de 01 a 12, os dois últimos dígitos do ano de execução e a designação do soldador, que será constituída por letras da empresa a que pertence e por dois algarismos indicativos do próprio soldador
- Legenda com pintura de tinta branca com caracteres de 25 mm de altura na face superior da patilha, no exterior da via, indicando a temperatura média do carril quando se executou a soldadura.

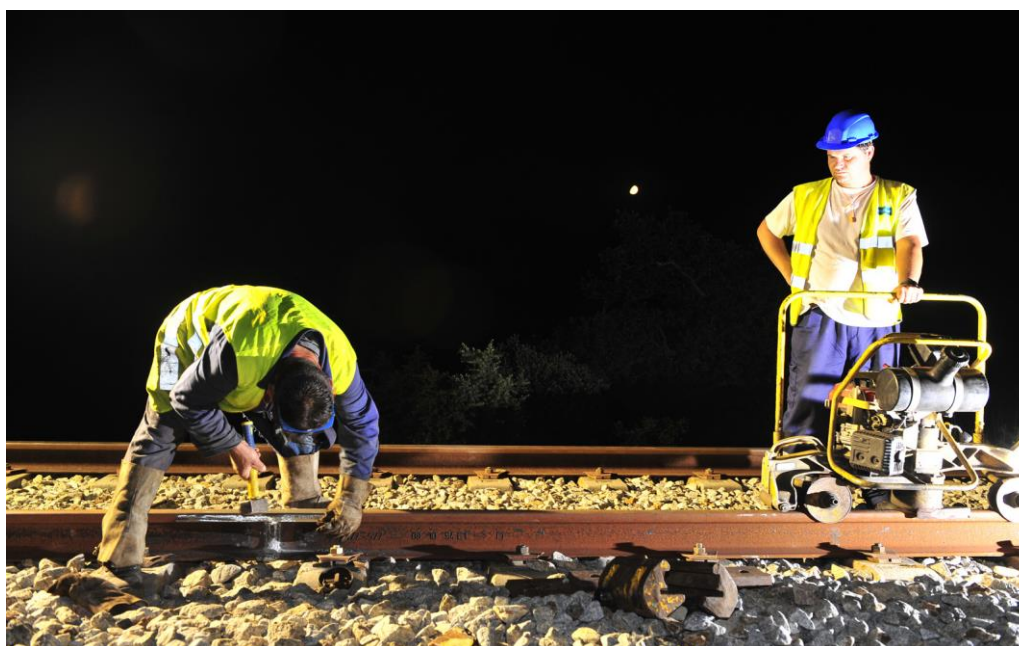
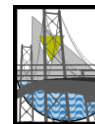


Figura 5.17 - Marcação das soldaduras - [Unidade Operacional Sul]



5.4 Condições Relativas às Soldaduras

5.4.1 Soldadores Credenciados

As operações de execução de soldaduras só poderão ser executadas por soldadores devidamente credenciados para o efeito e antes do início dos trabalhos de soldaduras deverão ser evidenciados os respectivos certificados.

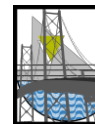
5.4.2 Condições Atmosféricas

As soldaduras não devem executar-se com chuva, neve, nevoeiro intenso, vento forte, nem quando o frio possa gelar os moldes. Nestas circunstâncias a soldadura pode apresentar perigo para os operários e ocasionar defeitos nas soldaduras; com chuva apenas se poderá soldar em caso de extrema necessidade e dispondo das respetivas proteções. Se for imprescindível executar as soldaduras nestas condições, deverão ser protegidas da ação da água e da neve com um abrigo adequado e certificar-se-á que não existe água no terreno, de baixo da junta da soldadura, que pode entrar em contacto com o material fundido. Também o soldador estará obrigado a respeitar incondicionalmente as seguintes condições:

- Antes da colada – secar e proteger da humidade o molde, o pote e a bandeja de recolha da escória
- Durante a reação da carga e depois da colada – impedir o contacto dos produtos fundidos, aço e escória com a água, neve e qualquer outro tipo de humidade que possa provocar a sua projeção. O cadinho de recolha da escória só poderá ser retirado depois da completa solidificação desta.

5.4.3 Substituição das Soldaduras

As soldaduras defeituosas serão substituídas, por um troço de carril de 6 m de comprimento em plena via e de 4 m em AMV. Também, e preferivelmente, se pode substituir uma soldadura defeituosa por uma CA48, evitando-se deste modo a proliferação de soldaduras. Os cortes realizar-se-ão sempre com serra mecânica (moto-disco), de modo a que esta fique fixa ao carril, de modo a garantir a perpendicularidade do corte com o eixo longitudinal dos carris a cortar.



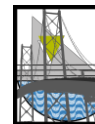
5.5 Qualidade das Soldaduras

A qualidade das soldaduras é comprovada pela aplicação de ensaios não destrutivos – ultrassons – ou através de provas destrutivas.

5.5.1 Ensaios Não Destrutivos – Ultrassons

Estes ensaios utilizam-se para averiguar a existência de fissuras horizontais na cabeça, alma ou patilha ou de fissuras transversais na cabeça, usando o método de reflexão com frequência compreendida entre 1 e 5 Mhz. O dispositivo de auscultação deve detectar pelo menos defeitos horizontais situados a 18 mm de profundidade, a partir da mesa de rolamento. Deverá ter um elemento acústico de aviso de defeitos e de outro para marcar a área defeituosa.

Como consequência desta inspeção eliminam-se os carris que apresentem fissuras horizontais ou transversais de comprimento ou diâmetro superior a 3 mm, excepto se for possível eliminar por corte a zona fissurada, de modo a obterem-se fracções de comprimento aceitável.



6. CONCLUSÃO

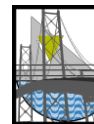
Ao longo do presente documento pretendeu-se evidenciar os procedimentos de execução da regularização de barras e de igual forma, pela sua interligação, a execução das soldaduras aluminotérmicas, tendo sido feita uma descrição pormenorizada das várias fases de ambos os processos.

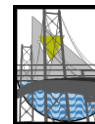
Estes processos estão integrados na presente realidade - via moderna, concluindo-se que foram fundamentais para a mudança de paradigma ocorrida, a qual permitiu a passagem da via clássica para a via moderna, com todas as vantagens que esta mudança acarretou, conforme anteriormente enunciei.

Salienta-se, que no desenrolar da obra teve-se em consideração os impactos da execução das actividades de regularização de barras e soldaduras aluminotérmicas, as implicações que têm não só com as outras actividades de via mas, sobretudo, na inter-relação com as outras especialidades ferroviárias, nomeadamente a catenária e sinalização, que pela essência das suas actividades, normalmente são incompatíveis com as duas actividades de via abordadas. Nesta obra, o planeamento de trabalhos elaborado foi criterioso e fundamental para evitar todos os conflitos possíveis de ocorrer.

No que se refere ao controlo da qualidade, durante a fase da execução verificou-se que o acompanhamento contínuo das frentes de trabalho por parte dos técnicos presentes em obra, com o conhecimento que possuem em relação aos processos das diferentes especialidades, contribuiu de forma significativa para a qualidade do produto final. Este acompanhamento pode evitar a existência de um maior número de não conformidades, as quais acarretam custos e demoras no prazo da obra.

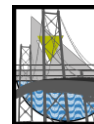
Como consideração final refere-se que a actual conjuntura económica certamente vai obrigar uma nova mudança de paradigma, não só nos processos construtivos da via mas também na sua posterior manutenção, com uma consequente redução de custos em ambos os casos. Os dois processos em estudo, a regularização de barras e as soldaduras aluminotérmicas, vão ser parte integrante desta mudança, evoluindo certamente para soluções menos onerosas que as actualmente praticadas.

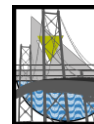




REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CFM, 1975, Regulamento do Serviço de Via e Obras
- C.P. S.D., Manual Básico de Via
- CP, 1979, ITV n.º4 Instrução técnica de Via n.º4 – Conservação Metódica de Via – Regularização das Folgas e Quadramento das Juntas
- CP, 1979, ITV n.º14 – Conservação Metódica de Via – Conservação das Barras Longas Soldadas
- CP, 1980, Manual para Formação de Assentadores de Via
- Cruz, António Sequeira da, 2010, Documentos de apoio à cadeira de Caminhos de Ferro
- FERNAVE, 2003, Manual de Via
- *KLK, 2006, Procedimiento de Soldaduras de Carriles Crisol Un Uso*
- *KLK, 2010, Procedimiento “PC” de Soldadura carril - carril*
- *Railsafe, S.D., Short Description of the Aluminothermic Rail Welding Process (Railsafe Website)*
- REFER, 1969, Fiscalização de Soldadura de Carris por Processo Aluminotérmico
- REFER, 1980, Norma Técnica – Anexo V – NT4/b – Empreitada de Renovação Integral de Via
- REFER, 1995, IMV – 005 – Execução e Controlo de Soldadura Eléctrica de Topo de Carril
- REFER, 1995, NTV – 005 – Marcação de Soldadura Aluminotérmica e Recargas em Carris
- *RENFE, 1981, N.R.V. 3-0-1.0. – Barras Largas*
- *RENFE, 1982, N.R.V. 4-4-2.0. – Equipo de Calentamiento de Carriles*
- *RENFE, 1982, N.R.V. 4-4-2.1. – Equipo de Tensado de Carriles*
- *RENFE, 1993, N.R.V. 7.1.4.1 – Montaje de la Vía – Liberación de Tensiones*
- *RENFE, 1992, N.R.V. 3-3-2.1. – Juntas de Carriles – Soldaduras Aluminotérmicas*

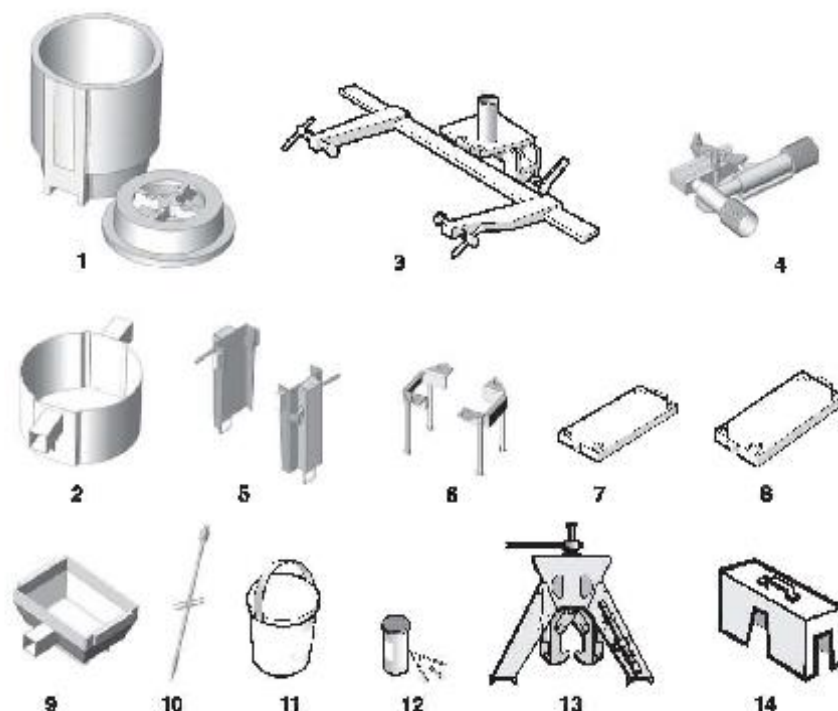




ANEXO A - EQUIPAMENTO, MATERIAIS E ACESSÓRIOS USADOS NAS SOLDADURAS

1. Referencias de los equipos KLK-Soldal

1.1. Equipo, materiales y accesorios comunes a todos los tipos de precalentamiento.



Designación

1. Crisol desechable con tapón
2. Aro metálico de la crisol
3. Prensa para crisol desechable
4. Soporte quemador
5. Juego de placas porta-moldes laterales
6. Suplemento placas porta-moldes laterales
7. Soporte placa inferior ancho normal
8. Soporte placa inferior ancho ancho
9. Cubeta de escoria
10. Varilla destape automática y cubeta escoria
11. Pasta refractaria
12. Bengalas encendido carga
13. Cabeza de alineación
14. Capota protectora carril

Referencia

- CR2-K1W
 SC-K1W
 PK1W-600
 SQ-OXP
 PMU-102
 PMU-S-K1W
 SPI/1-PC
 SPI/1-CA
 CE-PC
 VDA-MCE
 PR-10
 B-100
 CAL-600
 CP-REX

1.2. Equipo KLK-Soldad para precalentamiento con Aire Inducido/Propano



1

Designación

1. Equipo de precalentamiento
2. Botella de Propano

Referencia

EQ-PC/2.5

1.3. Equipo KLK-Soldal para precalentamiento con Oxígeno/Propano



1

Designación

1. Equipo de precalentamiento
2. Botello de Propano
3. Botello de Oxígeno

Referencia

EQ-OXP

1.4. Equipo KLK-Soldad para precalentamiento con Oxígeno/Acetileno



1

Designación

1. Equipo de precalentamiento
2. Botello de Acetileno
3. Botello de Oxígeno

Referencia

EQ-OXA

1.5. Equipo KLK-Soldal para precalentamiento con Aire/Gasolina



Designación

Equipo de precalentamiento completo con motor de explosión

Referencia

COMP-AGA

1.6. Equipo KLK-Soldal para precalentamiento con Aire/Propano



Designación

Equipo de precalentamiento completo
Con motor eléctrico monofásico a 220V

Referencia

COMP-APR/E

1.7. Equipo KLK-Soldal para encendido de los equipos de precalentamiento



Designación

Quemador de gas para encendido
De los equipos de precalentamiento

Referencia

SBU-18