



**M** 2019



# ***Half Temper Bead Welding* para a Reparação de Juntas Soldadas em Aço**

**SIMÃO PEDRO CAMPOS FERREIRA DA SILVA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA  
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

**MANUEL FERNANDO GONÇALVES VIEIRA**

**ORIENTADOR FEUP**

PROFESSOR DOUTOR NO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
METALÚRGICA E DE MATERIAIS

Porto, 8 de julho de 2019

|            |                                                                                    |             |           |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|
| CANDIDATO  | SIMÃO PEDRO CAMPOS FERREIRA DA SILVA                                               | CÓDIGO      | 201405240 |
| TÍTULO     | HALF TEMPER BEAD WELDING PARA A REPARAÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS DE COMPONENTES EM AÇO |             |           |
| DATA       | 25 DE JULHO DE 2019 - 10H30                                                        |             |           |
| LOCAL      | F106 - DEMM - FEUP                                                                 |             |           |
| JÚRI       |                                                                                    |             |           |
| PRESIDENTE | LAURA MARIA MELO RIBEIRO                                                           | DEMM - FEUP |           |
| ARGUENTE   | ALTINO DE JESUS ROQUE LOUREIRO                                                     | DEM - UC    |           |
| ORIENTADOR | MANUEL FERNANDO GONÇALVES VIEIRA                                                   | DEMM - FEUP |           |

# ***Temper Bead Welding* para a Reparação de Juntas Soldadas em Aço**

**SIMÃO PEDRO CAMPOS FERREIRA DA SILVA**

DISSERTAÇÃO REALIZADA NO ÂMBITO  
DO MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA  
METALÚRGICA E DE MATERIAIS

**MANUEL FERNANDO GONÇALVES VIEIRA**

**ORIENTADOR FEUP**

PROFESSOR DOUTOR NO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
METALÚRGICA E DE MATERIAIS

**ANDRÉ ALVES FERREIRA**

**COORIENTADOR FEUP**

DOUTURANDO NO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
METALÚRGICA E DE MATERIAIS

**ANTÓNIO PEDRO PINHO**

**ORIENTADOR ARSOPI**

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA  
ARSOPI, S.A.

Porto, 8 de julho de 2019



## Resumo

O setor petroquímico, do petróleo e gás, tem como objetivo, tal como qualquer outro ramo industrial, diminuir os períodos de inatividade dos seus equipamentos, uma vez que estes resultam em perdas de produtividade.

A realização de uma soldadura de reparação em componentes do setor petroquímico requer, frequentemente, a realização de um tratamento térmico de alívio de tensões, semelhante ao realizado após a produção da junta soldada, com vista ao alívio de tensões residuais acumuladas e à minimização de fases frágeis formadas que poderão induzir fissuração a frio do material.

Contudo, a realização do tratamento térmico de alívio de tensões poderá requerer estágios térmicos de elevada duração, provocar a distorção de componentes sujeitos a cargas durante a reparação ou exigir o aquecimento da área envolvente por dificuldade de acesso à área a reparar.

Assim, a técnica *Half Temper Bead Welding*, que consiste na deposição controlada de passes de soldadura, em localizações específicas de forma à introdução das alterações metalúrgicas pretendidas dos passes previamente depositados, sem recorrer à realização de tratamentos térmicos, foi estudada para aplicação no aço ao carbono ASME SA516 Grau 60.

Foram realizadas reparações convencionais com e sem tratamento térmico de alívio de tensões e por *Half Temper Bead Welding*. Todas as condições foram devidamente inspecionadas por líquidos penetrantes, ultrassons e raios-X. Foi também realizada uma análise micro e macroestrutural e ensaios mecânicos (dureza Vickers, Charpy-V, tração e dobragem).

A reparação por *Half Temper Bead Welding* apresentou um valor máximo de dureza no cordão de soldadura de 188 HV 10, significativamente mais baixo do da reparação convencional sem tratamento térmico de alívio de tensões, 220 HV 10, e que cumpriu o limite estabelecido pelos requisitos de cliente (200 HV).

Desta forma, poder-se-á certificar e implementar este procedimento de acordo com a norma *ASME Boiler and Pressure Vessel Code 2017*, uma vez que os requisitos do cliente foram cumpridos.

## Palavras-chave

Indústria Petroquímica; *Half Temper Bead Welding*; Soldadura de Reparação; Soldadura por Eléctrodo Revestido; Tratamento Térmico Após Soldadura

## **Abstract**

The petrochemical, oil and gas sector aims, like any other industrial field, to reduce the periods of inactivity of its equipment that result in a loss of productivity.

The execution of a weld repair in components of the petrochemical sector often requires the execution of stress relief heat treatment, similar to that done after weld joint production, which promotes the relief of accumulated residual stresses and the modification of fragile phases that could induce the cold cracking of the material.

However, the execution of the stress relief heat treatment may require long stages, introduce distortions of components subjected to loads during the procedure or require the heating of the surrounding area due to difficulty of accessing the zone to be repaired.

In this work the *Half Temper Bead Welding* technique was studied. This technique consists in the controlled deposition of welding layers in specific locations to allow the desired metallurgical transformations of the previously deposited layer, without resorting to the execution of heat treatments. The procedure was applied to ASME SA516 Grade 60 carbon steel.

Repairs were performed by conventional processes, with and without stress relief heat treatment, and also by *Half Temper Bead Welding*. All conditions were properly inspected by liquid penetrant, ultrasonic and X-ray testing. A micro and macrostructural analysis was also performed, along with Vickers hardness, Charpy-V, tensile and bending tests.

The repair by *Half Temper Bead Welding* showed a maximum hardness value of 188 HV 10 in the weld deposit, significantly lower than that of the conventional repair without a stress relief heat treatment, maximum hardness value of 220 HV 10, and which has met the limit established by the requirements of client (200 HV).

Thus, this procedure may be certified and implemented, according to the ASME Boiler and Pressure Vessel Code 2017 standard, as the client requirements were fulfilled.

## **Keywords**

Petrochemical Industry; Half Temper Bead Welding; Shielded Metal Arc Welding; Welding Repair; Post Welding Stress Relief Heat Treatment

## **Agradecimentos**

À minha família, sobretudo aos meus pais, avós e madrinha, e amigos, por todo o apoio e por serem a base da pessoa que sou hoje.

Ao Prof. Doutor Manuel Vieira e ao Eng.º André Ferreira pela orientação e apoio disponibilizado, não apenas durante o período de Dissertação, mas também nos últimos cinco anos.

Ao Eng.º Fernando Bastos, ao Eng.º António Pedro, à Eng.ª Ana Paula Tavares e ao Élio Ferreira, pela proposta de trabalho apresentada e acompanhamento do trabalho na empresa.

Ao Eng.º Armando Pinho e ao Eng.º Jorge Pinho, pela abertura demonstrada e a disponibilização de todos os recursos necessários na ARSOPI, S.A.

Ao Prof. Doutor Carlos Silva Ribeiro, por ter estabelecido o contacto que possibilitou a realização desta Dissertação na ARSOPI, S.A.

A todos os colaboradores da ARSOPI, S.A. que direta ou indiretamente contribuíram para esta Dissertação.

Ao senhor Avelino Lopes, à Eng.ª Joana Leal e ao Eng.º Pedro Castro pelos conhecimentos transmitidos ao longo da realização de ensaios no CATIM e pela cortesia na disponibilização de algumas das imagens presentes nesta Dissertação.

Ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (DEMM) e à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), por me terem dado as bases necessárias para chegar até aqui.

A todos os que contribuíram para a minha formação académica e como ser humano.

A minha mais sincera palavra de agradecimento.

## **Índice**

|                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Resumo.....</b>                                           | <b>i</b>   |
| <b>Palavras-chave.....</b>                                   | <b>i</b>   |
| <b>Abstract .....</b>                                        | <b>ii</b>  |
| <b>Keywords .....</b>                                        | <b>ii</b>  |
| <b>Lista de Figuras.....</b>                                 | <b>vii</b> |
| <b>Lista de Tabelas .....</b>                                | <b>x</b>   |
| <b>Lista de Abreviaturas e Símbolos .....</b>                | <b>xi</b>  |
| <b>1. Introdução.....</b>                                    | <b>1</b>   |
| 1.1.    Enquadramento .....                                  | 1          |
| 1.2.    Objetivos.....                                       | 1          |
| 1.3.    ARSOPI.....                                          | 2          |
| <b>2. Revisão da Literatura .....</b>                        | <b>3</b>   |
| 2.1.    Indústria Petroquímica, do Petróleo e Gás .....      | 3          |
| 2.1.1.    Componentes em contacto com H <sub>2</sub> S ..... | 3          |
| 2.1.1.1.    NACE MR0103 e NACE SP0472 .....                  | 4          |
| 2.2.    Indústria Nuclear .....                              | 4          |
| 2.3.    ASME SA516 .....                                     | 5          |
| 2.3.1.    Aço ASME SA516 Grau 60.....                        | 5          |
| 2.4.    Soldadura por Arco Submerso.....                     | 6          |
| 2.4.1.    Técnica de Soldadura .....                         | 6          |
| 2.4.2.    Consumíveis .....                                  | 6          |
| 2.5.    Soldadura por Eléctrodo Revestido.....               | 7          |
| 2.5.1.    Técnica de Soldadura .....                         | 7          |
| 2.5.2.    Eléctrodos Revestidos .....                        | 8          |
| 2.5.3.    Regiões das Juntas Soldadas .....                  | 9          |
| 2.5.3.1.    Metal de Base.....                               | 10         |
| 2.5.3.2.    Zona Termicamente Afetada.....                   | 10         |
| 2.5.3.3.    Zona de Fusão .....                              | 11         |
| 2.6.    Soldabilidade .....                                  | 12         |
| 2.7.    Defeitos de soldadura.....                           | 12         |

|           |                                                     |           |
|-----------|-----------------------------------------------------|-----------|
| 2.7.1.    | Fissuração Induzida por Hidrogénio .....            | 13        |
| 2.7.1.1.  | Microestrutura Suscetível à Fissuração .....        | 13        |
| 2.7.1.2.  | Tensões Residuais.....                              | 14        |
| 2.7.1.3.  | Presença de Hidrogénio.....                         | 14        |
| 2.8.      | Fissuração sob Tensão por Sulfuretos.....           | 15        |
| 2.9.      | Pré-aquecimento da Junta Soldada .....              | 16        |
| 2.10.     | Temperatura de Interpasse .....                     | 16        |
| 2.11.     | Tratamentos Térmicos nas Juntas Soldadas .....      | 16        |
| 2.11.1.   | <i>Post Weld Heat Treatment</i> (PWHT).....         | 17        |
| 2.11.1.1. | Alívio de Tensões (PWSR) .....                      | 17        |
| 2.11.1.2. | Revenido.....                                       | 17        |
| 2.11.1.3. | <i>Postweld Hydrogen Bakeout</i> .....              | 17        |
| 2.12.     | <i>Temper Bead Welding</i> .....                    | 18        |
| 2.12.1.   | <i>Half Temper Bead Welding</i> .....               | 18        |
| 2.12.1.1. | Entrega térmica .....                               | 20        |
| 2.13.     | Ensaio de Materiais.....                            | 21        |
| 2.13.1.   | Análise Microestrutural e Macroestrutural .....     | 21        |
| 2.13.2.   | Ensaio Destrutivos .....                            | 21        |
| 2.13.2.1. | Microdurezas e Macrodurezas .....                   | 21        |
| 2.13.2.2. | Ensaio de Tração .....                              | 22        |
| 2.13.2.3. | Ensaio de Dobragem .....                            | 22        |
| 2.13.2.4. | Ensaio de Choque.....                               | 23        |
| 2.13.3.   | Ensaio Não-Destrutivos.....                         | 23        |
| 2.13.3.1. | Inspeção por Líquidos Penetrantes .....             | 23        |
| 2.13.3.2. | Inspeção por Raios-X.....                           | 24        |
| 2.13.3.3. | Inspeções por Ultrassons .....                      | 24        |
| 3.        | <b>Procedimento Experimental .....</b>              | <b>26</b> |
| 3.1.      | Produção das Juntas Soldadas .....                  | 26        |
| 3.2.      | Soldadura de Reparação .....                        | 32        |
| 3.3.      | Preparação de Provetes e Ensaio de Materiais .....  | 37        |
| 4.        | <b>Apresentação e Discussão dos Resultados.....</b> | <b>41</b> |

|                                                                                                                |                                       |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------|
| 4.1.                                                                                                           | Ensaio Não Destrutivos.....           | 41         |
| 4.2.                                                                                                           | Análise Micro e Macroestrutural ..... | 41         |
| 4.3.                                                                                                           | Análise Química .....                 | 43         |
| 4.4.                                                                                                           | Ensaio de Tração.....                 | 44         |
| 4.4.1.                                                                                                         | Provetes Transversais .....           | 45         |
| 4.4.2.                                                                                                         | Provetes Longitudinais .....          | 46         |
| 4.5.                                                                                                           | Ensaio de Dureza .....                | 49         |
| 4.6.                                                                                                           | Ensaio de Dobragem.....               | 52         |
| 4.7.                                                                                                           | Ensaio de Charpy .....                | 52         |
| <b>Conclusões.....</b>                                                                                         |                                       | <b>54</b>  |
| <b>Considerações Finais .....</b>                                                                              |                                       | <b>55</b>  |
| <b>Trabalhos Futuros.....</b>                                                                                  |                                       | <b>55</b>  |
| <b>Referências Bibliográficas .....</b>                                                                        |                                       | <b>56</b>  |
| <b>Anexo A - Requisitos do Cliente .....</b>                                                                   |                                       | <b>62</b>  |
| <b>Anexo B - Fichas de Produto dos Materiais Utilizados .....</b>                                              |                                       | <b>64</b>  |
| <b>Anexo C - <i>National Board Inspectors Code</i> (Método 2).....</b>                                         |                                       | <b>74</b>  |
| <b>Anexo D - Produção das Juntas Soldadas .....</b>                                                            |                                       | <b>76</b>  |
| <b>Anexo E - Reparação Convencional com PWHT (ASP 10C/2019) .....</b>                                          |                                       | <b>96</b>  |
| <b>Anexo F - Reparação Convencional sem PWHT (ASP 10D/2019) .....</b>                                          |                                       | <b>105</b> |
| <b>Anexo G - Reparação por <i>Half Temper Bead</i> (ASP 10A/2019).....</b>                                     |                                       | <b>111</b> |
| <b>Anexo H - Provetes .....</b>                                                                                |                                       | <b>120</b> |
| <b>Anexo I - Resultados dos Ensaio.....</b>                                                                    |                                       | <b>121</b> |
| <b>Anexo J - Trabalho Futuro: Proposta de Procedimento para a <i>Controlled Deposition Technique</i> .....</b> |                                       | <b>131</b> |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Instalações (acima) e logótipo da ARSOPI, S.A. (abaixo) [5].                                                                                                                                                                                                                                                                | 2  |
| Figura 2: Representação esquemática da soldadura SAW [25].                                                                                                                                                                                                                                                                            | 6  |
| Figura 3: Representação esquemática do equipamento utilizado na soldadura SMAW. Adaptado de [34].                                                                                                                                                                                                                                     | 8  |
| Figura 4: Representação esquemática da soldadura SMAW. Adaptado de [34].                                                                                                                                                                                                                                                              | 8  |
| Figura 5: Representação esquemática das regiões típicas de uma junta soldada. Adaptado de [39].                                                                                                                                                                                                                                       | 9  |
| Figura 6: Microestrutura típica de um aço ASME SA516, com ferrite (claro) e perlite (escuro) [44].                                                                                                                                                                                                                                    | 10 |
| Figura 7: Representação das sub-regiões da zona termicamente afetada no diagrama Fe-C [46].                                                                                                                                                                                                                                           | 11 |
| Figura 8: Microestrutura da zona de fusão de um aço ASME 516, soldado utilizando um elétrodo E7018 [51].                                                                                                                                                                                                                              | 11 |
| Figura 9: Fatores para a fissuração a frio. Adaptado de [17].                                                                                                                                                                                                                                                                         | 13 |
| Figura 10: Tensões residuais típicas de uma junta soldada. Adaptado de [17].                                                                                                                                                                                                                                                          | 14 |
| Figura 11: Mecanismo de fissuração sob tensão por sulfuretos [54].                                                                                                                                                                                                                                                                    | 15 |
| Figura 12: Procedimento <i>Half Temper Bead Welding</i> apenas com desbaste da primeira camada. (a) - Desbaste da zona a reparar; (b) - Deposição da primeira camada; (c) - Desbaste de metade da primeira camada; (d) - Deposição da segunda camada; (e) - Deposição das restantes camadas; (f) - Desbaste da camada em excesso [2]. | 19 |
| Figura 13: Detecção de uma descontinuidade por ultrassons [84].                                                                                                                                                                                                                                                                       | 25 |
| Figura 14: Processo de oxicorte das chapas.                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 27 |
| Figura 15: Chanfragem das chapas.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 27 |
| Figura 16: Pré-aquecimento da região a soldar com recurso à tocha oxigás.                                                                                                                                                                                                                                                             | 27 |
| Figura 17: Lápis térmicos <i>Tempilstik</i> .                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 27 |
| Figura 18: Estufa para armazenamento de consumíveis a 150 °C.                                                                                                                                                                                                                                                                         | 28 |
| Figura 19: Disposição dos elétrodos e fluxo na estufa.                                                                                                                                                                                                                                                                                | 28 |
| Figura 20: Equipamento <i>KEMPI Pro 4000</i> da <i>Electro-Portugal</i> , utilizado na soldadura SMAW.                                                                                                                                                                                                                                | 28 |
| Figura 21: Procedimento de soldadura por elétrodo revestido.                                                                                                                                                                                                                                                                          | 28 |
| Figura 22: Equipamento SAF, utilizado para a soldadura SAW.                                                                                                                                                                                                                                                                           | 28 |
| Figura 23: Procedimento SAW, utilizando o equipamento da SAF.                                                                                                                                                                                                                                                                         | 28 |

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 24: Escória produzida durante o procedimento SAW. ....                                                                              | 29 |
| Figura 25: Resultado após o passe final, utilizando o procedimento SAW. ....                                                               | 29 |
| Figura 26: Produtos <i>MarkeR</i> utilizados na inspeção por líquidos penetrantes. ....                                                    | 29 |
| Figura 27: Limpeza da superfície a analisar.....                                                                                           | 29 |
| Figura 28: Aplicação do penetrante .....                                                                                                   | 29 |
| Figura 29: Aplicação do revelador. ....                                                                                                    | 30 |
| Figura 30: Inspeção do cordão de soldadura. ....                                                                                           | 30 |
| Figura 31: Disposição do material no forno para tratamento de alívio de tensões..                                                          | 30 |
| Figura 32: Equipamento YXLON utilizado para a inspeção raio X. ....                                                                        | 30 |
| Figura 33: Divisão das chapas em secções para identificação das películas na inspeção por raios-X e exemplo do filme 1-2 da chapa 1.....   | 31 |
| Figura 34: Corte por serrote automático. ....                                                                                              | 31 |
| Figura 35: Desbaste da cavidade a reparar com recurso a rebarbadora. ....                                                                  | 32 |
| Figura 36: Medição das dimensões da cavidade, com recurso ao paquímetro <i>Mitutoyo</i> . ....                                             | 32 |
| Figura 37: Aparato utilizado para o aquecimento e controlo da temperatura durante o procedimento de <i>Half Temper Bead Welding</i> . .... | 34 |
| Figura 38: Mostrador digital de temperatura da placa de aquecimento. ....                                                                  | 34 |
| Figura 39: Registo da temperatura da chapa, com recurso a registador <i>Shimaden</i> . ....                                                | 34 |
| Figura 40: Inspeção por ultrassons. ....                                                                                                   | 37 |
| Figura 41: Maquinagem dos provetes (fresagem).....                                                                                         | 37 |
| Figura 42: Micrómetro para a medição da largura e espessura do provete. ....                                                               | 39 |
| Figura 43: Aparelho Mitutoyo para a medição do raio de curvatura do fundo do entalhe. ....                                                 | 39 |
| Figura 44: Projetor de perfis Mitutoyo.....                                                                                                | 39 |
| Figura 45: Máquina de tração para provetes transversais prismáticos. ....                                                                  | 40 |
| Figura 46: Máquina de tração para provetes longitudinais cilíndricos. ....                                                                 | 40 |
| Figura 47: Extensómetro acoplado aos provetes de tração longitudinal.....                                                                  | 40 |
| Figura 48: Equipamento utilizado para o ensaio de dobragem lateral (CATIM). ....                                                           | 40 |
| Figura 49: Microestrutura do material de base (ASME SA516Gr60): ferrite (fase clara) e perlite (fase escura).....                          | 42 |
| Figura 50: Microestrutura do material de base sem ataque químico.....                                                                      | 42 |
| Figura 51: Microestrutura da zona termicamente afetada e cordão de soldadura. .                                                            | 42 |

|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 52: Macrografia da amostra ASP 10. ....                                                                                             | 43  |
| Figura 53: Macrografia da junta soldada (ASP 10A). ....                                                                                    | 43  |
| Figura 54: Macrografia da junta soldada (ASP 10C). ....                                                                                    | 43  |
| Figura 55: Provetes prismáticos transversais após a realização do ensaio de tração. ....                                                   | 46  |
| Figura 56: Localização da fissura paralela à direção de tração. ....                                                                       | 46  |
| Figura 57: Curvas de tração dos provetes ASP 09 (tracejado) e ASP 10 (linha contínua). ....                                                | 47  |
| Figura 58: Ampliação da região do patamar de cedência nas curvas de tração dos provetes ASP 09 (tracejado) e ASP 10 (linha contínua). .... | 47  |
| Figura 59: Curvas de tração dos provetes ASP 10A. ....                                                                                     | 48  |
| Figura 60: Ampliação da região do patamar de cedência nas curvas de tração dos provetes ASP 10A. ....                                      | 48  |
| Figura 61: Filiações de dureza realizadas nas amostras ASP 09 e ASP 10. ....                                                               | 49  |
| Figura 62: Perfis de dureza realizados na ASP 09. ....                                                                                     | 50  |
| Figura 63: Perfis de dureza realizados na ASP 10. ....                                                                                     | 50  |
| Figura 64: Filiações de dureza realizadas na amostra ASP 10A. ....                                                                         | 50  |
| Figura 65: Filiações de dureza realizadas na amostra ASP 10C. ....                                                                         | 50  |
| Figura 66: Perfis de durezas realizados na ASP 10C. ....                                                                                   | 51  |
| Figura 67: Perfis de dureza realizados na ASP 10D. ....                                                                                    | 51  |
| Figura 68: Perfis de dureza realizados na ASP 10A. ....                                                                                    | 51  |
| Figura 69: Medição da largura da cavidade, utilizando o paquímetro <i>Mitotoyo</i> . ...                                                   | 117 |
| Figura 70: Deposição do 7º passe, 1ª camada. ....                                                                                          | 117 |
| Figura 71: Desbaste da 1ª camada ( $\approx 2$ mm). ....                                                                                   | 117 |
| Figura 72: Deposição do 10º passe, 2ª camada. ....                                                                                         | 117 |
| Figura 73: Desbaste da 2ª camada ( $\approx 2$ mm). ....                                                                                   | 117 |
| Figura 74: Deposição do 13º passe, 3ª camada. ....                                                                                         | 117 |
| Figura 75: Desbaste da 3ª camada ( $\approx 1$ mm). ....                                                                                   | 117 |
| Figura 76: Deposição do 16º passe, 4ª camada. ....                                                                                         | 117 |
| Figura 77: Desbaste da 4ª camada. ....                                                                                                     | 117 |
| Figura 78: Reparação finalizada por HTBW. ....                                                                                             | 117 |

## **Lista de Tabelas**

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Composição química do aço ASME SA516Gr60 [19].                                                                            | 5  |
| Tabela 2: Propriedades mecânicas do aço ASME SA516Gr60 [19].                                                                        | 5  |
| Tabela 3: Composição química do eletrodo EM12K para a soldadura de aços ao carbono por SAW, de acordo com [27].                     | 7  |
| Tabela 4: Propriedades mecânicas de um fluxo do tipo F7XX - EXXX, de acordo com [27, 28].                                           | 7  |
| Tabela 5: Composição química (%) de eletrodos E7018 [36].                                                                           | 9  |
| Tabela 6: Propriedades mecânicas do eletrodo E7018-1 [27].                                                                          | 9  |
| Tabela 7: Parâmetros recomendados para a soldadura com eletrodos E7018 e E7018-1 [36].                                              | 9  |
| Tabela 8: Composição Química do aço ASME SA516Gr60, de acordo com a ficha de produto, Anexo B.                                      | 26 |
| Tabela 9: Lista de procedimentos realizados em cada chapa.                                                                          | 32 |
| Tabela 10: Parâmetros calculados para <i>Half Temper Bead Welding</i> recorrendo ao rácio de entregas térmicas recomendado em [48]. | 36 |
| Tabela 11: Resumo dos parâmetros registados durante o procedimento de <i>Half Temper Bead Welding</i> .                             | 36 |
| Tabela 12: Resultados da análise química ao material de base (%).                                                                   | 44 |
| Tabela 13: Resultados da análise química no cordão de soldadura (%).                                                                | 44 |
| Tabela 14: Quadro resumo dos resultados obtidos nos ensaios de tração para provetes transversais (ASP 09 a ASP10).                  | 45 |
| Tabela 15: Quadro resumo dos resultados obtidos nos ensaios de tração para provetes transversais (ASP 10A, ASP 10C e ASP 10D).      | 45 |
| Tabela 16: Resultados obtidos nos ensaios de tração para provetes longitudinais (ASP 09 e ASP 10).                                  | 47 |
| Tabela 17: Resultados obtidos nos ensaios de tração para provetes longitudinais das chapas reparadas.                               | 48 |
| Tabela 18: Valores médios de dureza Vickers (HV 10).                                                                                | 49 |
| Tabela 19: Resultados do ensaio de Charpy-V às juntas soldadas produzidas.                                                          | 52 |
| Tabela 20: Resultados do ensaio de Charpy-V às reparações realizadas.                                                               | 53 |

## **Lista de Abreviaturas e Símbolos**

|                         |                                                          |
|-------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>PWHT</b>             | Tratamento Térmico Pós Soldadura                         |
| <b>WPS</b>              | Especificação do Procedimento de Soldadura               |
| <b>PQR</b>              | Registo do Procedimento de Qualificação                  |
| <b>ASME</b>             | American Society of Mechanical Engineering               |
| <b>SA516Gr60</b>        | Aço ASME SA516 Grau 60                                   |
| <b>SAW</b>              | Soldadura por Arco Submerso                              |
| <b>DCEP</b>             | Corrente Contínua de Polaridade Inversa                  |
| <b>SMAW</b>             | Soldadura por Eléctrodo Revestido                        |
| <b>R<sub>m</sub></b>    | Tensão de Rotura à Tração (Resistência à Tração)         |
| <b>R<sub>p0,2</sub></b> | Tensão Limite Convencional de Proporcionalidade a 0,2 %  |
| <b>R<sub>Eh</sub></b>   | Tensão Máxima no Patamar de Cedência                     |
| <b>A</b>                | Alongamento                                              |
| <b>E</b>                | Módulo de Elasticidade                                   |
| <b>E</b>                | Deformação                                               |
| <b>Charpy-V</b>         | Ensaio Charpy com Provete Entalhado em V                 |
| <b>ZTA</b>              | Zona Termicamente Afetada                                |
| <b>CGHAZ</b>            | Zona de Crescimento de Grão da Zona Termicamente Afetada |
| <b>FGHAZ</b>            | Zona de Afinação de Grão da Zona Termicamente Afetada    |
| <b>ICHAZ</b>            | Zona Intercrítica da Zona Termicamente Afetada           |
| <b>SCHAZ</b>            | Zona Subcrítica da Zona Termicamente Afetada             |
| <b>HIC</b>              | Fissuração Induzida por Hidrogénio                       |
| <b>TAC</b>              | Diagrama de Transformação em Arrefecimento Contínuo      |
| <b>TTT</b>              | Diagrama Tempo-Temperatura-Transformação                 |
| <b>SSC</b>              | Fissuração sob Tensão por Sulfuretos                     |
| <b>C<sub>Eq</sub></b>   | Carbono equivalente                                      |
| <b>PWSR</b>             | Tratamento Térmico de Alívio de Tensões                  |
| <b>TBW</b>              | <i>Temper Bead Welding</i>                               |
| <b>HTBW</b>             | <i>Half Temper Bead Welding</i>                          |
| <b>NDT</b>              | Ensaio Não Destrutivos                                   |

## 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento

Esta Dissertação, desenvolvida no âmbito da obtenção do grau de mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), foi realizada em ambiente industrial, permitindo a familiarização com os procedimentos utilizados pela ARSOPI, S.A., com os processos de soldadura por elétrodo revestido e soldadura por arco submerso, assim como todas as etapas necessárias para o desenvolvimento e certificação de uma especificação de procedimento de soldadura.

A reparação de equipamentos na indústria pode ser realizada utilizando técnicas de soldadura e, ao realizar-se essa reparação, pretende-se que o procedimento seja o mais rápido e barato possível uma vez que períodos longos de inatividade representam perdas de produtividade. Após a realização de soldaduras em aços é, frequentemente, realizado um tratamento de pós-aquecimento com vista à diminuição da dureza e da fragilidade, revenindo a martensite caso esta seja formada e aliviando tensões internas. Contudo, a duração dos tratamentos térmicos após a soldadura poderá ser demasiado longa, especialmente para componentes de parede espessa. Além disso, a complexidade geométrica dos equipamentos pode dificultar o acesso à zona de reparação e por isso obrigar ao aquecimento de uma região maior, que poderá levar à deterioração das propriedades dos materiais envolventes e à distorção do material, sobretudo se este estiver sujeito a cargas durante o procedimento [1-4].

É pelas razões acima descritas que a indústria procura alternativas à realização do tratamento térmico após a soldadura, sendo uma delas a utilização de técnicas como o *Temper Bead Welding*, que visa evitar a necessidade da realização deste tratamento.

### 1.2. Objetivos

Nesta Dissertação, pretende-se estudar a técnica de *Half Temper Bead Welding* (HTBW) para evitar a realização de tratamentos térmicos de alívio de tensões.

Ao longo deste estudo, procurou-se avaliar a possibilidade da aplicação do processo de *Half Temper Bead Welding* ao aço ASME SA516Gr60. Para isso, compararam-se os resultados obtidos utilizando esta técnica com os de uma reparação convencional com e sem tratamento térmico de alívio de tensões. Além disso, foram produzidas juntas soldadas com e sem tratamento térmico, que não foram sujeitas à simulação de uma reparação, para avaliar a influência do tratamento térmico na soldadura do aço ASME SA516Gr60.

O desafio colocado pela empresa consiste no desenvolvimento de uma Especificação do Procedimento de Soldadura (WPS - *Welding Procedure Specification*) certificada para a utilização de *Half Temper Bead Welding* de acordo com as Secções II, VIII e IX da norma ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* 2017, recorrendo à Secção III da mesma norma para

a consulta de procedimentos utilizados para reparações por *Temper Bead Welding* na indústria nuclear, que se pode justificar pelos requisitos mais exigentes deste ramo industrial.

Para isso, foi necessário elaborar o procedimento de soldadura e o registo de qualificação do procedimento (PQR - *Procedure Qualification Record*), recorrendo a um laboratório certificado para a realização dos ensaios. Porém, como será abordado ao longo da Dissertação, o material de base poderá não cumprir os requisitos para aplicação na indústria nuclear, principalmente no seu valor de tenacidade, tornando-se o principal objetivo certificar o procedimento para a indústria petroquímica, cumprindo o requisito de cliente que estabelece um valor máximo de dureza de 200 HV no metal de solda, e a possibilidade de, em trabalhos futuros, o conhecimento adquirido sobre este procedimento permita certifica-lo para a indústria nuclear. Por esta razão, é também abordado este ramo industrial.

### 1.3. ARSOPI

O Grupo ARSOPI é constituído pela ARSOPI S.A., a Tecnocon, a ARSOPI Thermal, a ARSOPI España e a ARSOPI Brasil [5, 6].

A ARSOPI - Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A., empresa onde este trabalho foi desenvolvido, foi a primeira empresa do Grupo a ser fundada em 1942, em Vale de Cambra. É uma empresa que, para além da produção de equipamentos para a indústria alimentar (laticínios e bebidas) e de peças por fundição em aços inoxidáveis, materiais refratários e ligas de níquel, dedica grande parte da sua atividade ao fabrico de equipamentos de alta qualidade e complexidade, sendo uma empresa de referência na produção de componentes para alguns dos maiores grupos mundiais de áreas como a indústria petroquímica e a indústria do petróleo e gás [5, 6].

Atualmente, conta com cerca de 375 colaboradores, 300 000 m<sup>2</sup> de área coberta e 141 500 m<sup>2</sup> de área de descoberta. Na Figura 1, podem ser observadas as instalações assim como o logótipo da empresa [6].



Figura 1: Instalações (acima) e logótipo da ARSOPI, S.A. (abaixo) [5].

## 2. Revisão da Literatura

### 2.1. Indústria Petroquímica, do Petróleo e Gás

A indústria petroquímica é, por definição, a indústria transformadora que utiliza hidrocarbonetos, como o petróleo e o gás natural, para o desenvolvimento de novos produtos, tais como o metano, o etano ou combustíveis [7].

Apesar da constante preocupação mundial com a redução do consumo de combustíveis fósseis, a indústria petroquímica continua em crescimento acelerado. As estimativas apontam para um crescimento médio anual de 3% nos próximos 20 anos, sendo o mercado asiático e do médio oriente o principal motor desta evolução [8].

São, anualmente, direcionados milhões de euros na manutenção da integridade dos equipamentos utilizados, não só por razões económicas, uma vez que tal permite otimizar a eficiência e tempo útil dos equipamentos, como também com vista a proteger todos os colaboradores [9].

Tal como qualquer ramo industrial, o setor petroquímico procura reduzir os períodos de inatividade dos equipamentos, uma vez que estes resultam em diminuição da produtividade. Quando são necessárias reparações em componentes em serviço, procura evitar-se a realização de tratamentos térmicos após a soldadura, não só pelos custos e duração deste procedimento, mas também pela sua inviabilidade. Se por um lado as dimensões dos equipamentos podem ser maiores do que as dos fornos disponíveis, por outro, reparações em zonas de difícil acesso representariam o aquecimento de uma zona alargada para garantir o tratamento da zona reparada, que poderia prejudicar o desempenho de outros materiais na periferia. Além disso, os equipamentos em serviço estão muitas vezes sujeitos a cargas adicionais e o seu aquecimento resulta em distorções do material [1-3, 10].

#### 2.1.1. Componentes em contacto com H<sub>2</sub>S

O sulfureto de hidrogénio (H<sub>2</sub>S) está frequentemente relacionado com a indústria do petróleo e gás, sendo um dos produtos da transformação do crude e do gás natural. Este constituinte é incolor, inflamável e tóxico e caso a sua concentração exceda 5,7 mg/cm<sup>3</sup> no gás natural, considera-se uma solução ácida (*sour refinery environment*) [11].

Os equipamentos utilizados neste ramo industrial podem estar em contacto com soluções que contêm H<sub>2</sub>S suficiente para causar fissuração sob tensão em ambiente corrosivo, principalmente os equipamentos cuja função é refinar o crude e purificar e transportar o gás natural [11, 12]. Para estabelecer os requisitos necessários para a utilização de materiais nestas condições foi criada, em abril de 2003, a primeira versão da NACE MR0103 - *Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking in Corrosive Petroleum Refining Environments* [13].

### **2.1.1.1. NACE MR0103 e NACE SP0472**

A norma NACE MR0103 estabelece os requisitos para a resistência à fissuração sob tensão em ambientes corrosivos, ou seja, quando componentes de um equipamento se encontram em contacto com soluções que contêm sulfuretos de hidrogénio (H<sub>2</sub>S) [14].

Nos pontos 1.1.2 e 1.3.4.2 da NACE MR0103 é recomendada a consulta da NACE SP0472, quando se pretende controlar a suscetibilidade à fissuração sob tensão em contacto com H<sub>2</sub>S, recorrendo à análise do valor de dureza [14].

Na NACE SP0472 - *Methods and Controls to Prevent In-Service Environmental Cracking of Carbon Steel Weldments in Corrosive Petroleum Refining Environments*, direcionada para aços ao carbono de P-No. 1<sup>1</sup>, Grupos 1 e 2, é referido no ponto 2.2.3, que a soldadura por elétrodo revestido, utilizando eléktodos do tipo E60XX e E70XX e outras combinações, são exceções à necessidade de controlo de dureza, exceto se tal for requerido pelo cliente [15].

Como pode ser verificado no Anexo A, os requisitos do cliente exigem ensaios de dureza que não poderão atingir valores superiores a 22 HRC (ou 237 HB) no metal de base e 200 HB no material depositado (200 HV segundo a ASTM E140 ou 210 HV segundo a tabela presente na ISO 18265, ambas recomendadas pela NACE MR0103, no ponto 1.5.7) [14, 15].

Através da análise da tabela 1 da NACE SP0472, pode estabelecer-se como limite máximo do valor de dureza para a zona termicamente afetada, o valor de 248 HV [15].

## **2.2. Indústria Nuclear**

A indústria nuclear utiliza a energia libertada pela fissão nuclear para a produção e armazenamento de energia. Esta indústria surgiu na década de 40, durante a segunda guerra mundial, com vista à produção de armamento. Contudo, só na década de 50 começou a ser introduzido o conceito de energia nuclear pacífica, o que permitiu desenvolver centrais nucleares para a geração de energia. Apesar da constante preocupação com acidentes em centrais nucleares e dos resíduos radioativos por estas produzidos, existem atualmente 451 reatores nucleares em funcionamento, valor máximo da história deste setor [16]. A indústria nuclear dá especial importância à tenacidade à fratura dos materiais utilizados, sendo por isso normal que os requisitos do cliente exijam elevada tenacidade nas juntas soldadas e nas reparações, caso sejam realizadas [17].

A Secção III da norma ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* 2017, direcionada para componentes da indústria nuclear, considera a possibilidade de omissão de tratamentos térmicos após a soldadura, com recurso à técnica *Temper Bead Welding* [18].

---

<sup>1</sup> O P-No. é uma designação alfanumérica que é atribuída a um conjunto de materiais-base para reduzir o número de qualificações de procedimento de soldadura.

## 2.3. ASME SA516

A ASME SA516 é a especificação para aços ao carbono utilizados em reservatórios sob pressão e cujas temperaturas de serviço são baixas ou moderadas. Esta especificação contempla quatro graus, que por variações de composição química apresentam propriedades diferentes. Estes graus podem ser: 55, 60, 65 e 70 [19].

Por indicação da empresa e por se tratar de um aço amplamente utilizado na indústria, estudou-se o aço ASME SA516 Grau 60.

### 2.3.1. Aço ASME SA516 Grau 60

O aço ASME SA516 Grau 60 (SA516Gr60) é um aço ao carbono utilizado no fabrico de caldeiras e reservatórios de pressão, para aplicações com temperaturas de serviço baixas ou moderadas. A excelente tenacidade e soldabilidade deste aço permitiram a sua utilização, inicialmente, na indústria petroquímica, de petróleo e gás, tendo vindo a ser utilizado também na indústria nuclear [20-22].

Comercializado principalmente sobre a forma de chapa, este aço é classificado segundo a sua composição nominal como C-Mn-Si, pela Secção IX da ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* 2017. Além disso, a mesma secção da norma, atribui a este aço o *P-No. 1* e o Grupo 1 [23]. A Secção II da norma ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* 2017 estabelece valores de composição química e propriedades mecânicas que podem ser analisados nas Tabelas 1 e 2, respetivamente. Os valores limite para cada um dos elementos químicos está dependente da espessura do material [19].

Tabela 1: Composição química do aço ASME SA516Gr60 [19].

| Elemento | Espessura (mm)   | Composição (%) | Elemento | Composição (%) |
|----------|------------------|----------------|----------|----------------|
| Carbono  | ≤ 12,5           | ≤ 0,21         | Fósforo  | ≤ 0,025        |
|          | 12,5 a 50 (incl) | ≤ 0,23         | Enxofre  | ≤ 0,025        |
|          | 50 a 100 (incl)  | ≤ 0,25         |          |                |
|          | 100 a 200 (incl) | ≤ 0,27         | Silício  | 0,13 - 0,45    |
|          | > 200            | ≤ 0,27         |          |                |
| Manganês | ≤ 12,5           | 0,55 - 0,98    |          |                |
|          | mais de 12,5     | 0,79 - 1,30    |          |                |

Tabela 2: Propriedades mecânicas do aço ASME SA516Gr60 [19].

| Tensão de Rotura | Tensão Limite de Elasticidade | Alongamento<br>200 mm | Alongamento<br>50 mm |
|------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------------|
| 415 - 550 MPa    | ≥ 220 MPa                     | ≥ 21 %                | ≥ 25 %               |

## 2.4. Soldadura por Arco Submerso

### 2.4.1. Técnica de Soldadura

A soldadura por arco submerso (SAW) é um processo de ligação no qual a fusão e união dos materiais se dá devido ao calor libertado pelo arco elétrico estabelecido entre o eletrodo consumível e os materiais que se pretende unir. Estando o arco elétrico submerso numa camada de fluxo granular sólido não é possível observá-lo durante o processo de soldadura. Esta camada atua como protetor da poça de fusão não sendo necessária a utilização de proteções gasosas e permitindo a adição de elementos de liga à junta [24, 25].

O fluxo granular é depositado à frente do eletrodo, acompanhando o seu movimento, como pode ser esquematicamente observado na Figura 2 [24, 25].

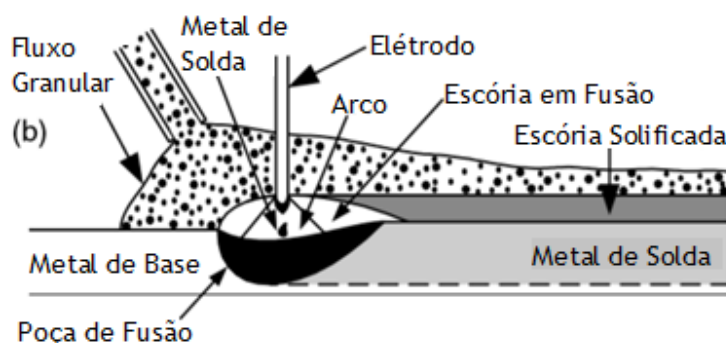


Figura 2: Representação esquemática da soldadura SAW [25].

A escória produzida previne ainda a contaminação da poça de fusão e a oxidação do cordão de soldadura durante a solidificação e o arrefecimento, devendo ser removida no final de cada passe de soldadura [24, 25].

A técnica SAW permite a utilização de elevadas intensidades de corrente, sendo por isso um dos processos de soldadura mecanizada mais frequentemente utilizados, pois permite elevadas taxas de deposição e apresenta uma elevada capacidade de penetração, tornando-se assim um processo de elevada produtividade. Apesar disso, e uma vez que se utiliza um fluxo granular sólido e se produz uma poça de fusão fluída, esta técnica está limitada à soldadura horizontal e ao baixo, realizada utilizando corrente contínua de polaridade inversa (DCEP) [24, 25].

### 2.4.2. Consumíveis

A realização da soldadura por arco submerso requer não só um eletrodo como também um fluxo granular sólido [26].

A Secção II da norma ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* recomenda, na Parte C: *Specification for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals*, subsecção SFA-5.17/SFA-5.17M, os consumíveis para a soldadura de aços ao carbono por SAW. Assim, e tendo em

conta que deve ser escolhido um material com composição e propriedades mecânicas semelhantes, pode ser escolhido o eletrodo EM12K, cuja composição química pode ser analisada na Tabela 3, e o fluxo F7P6, cujas principais propriedades mecânicas podem ser consultadas na Tabela 4 [27].

Tabela 3: Composição química do eletrodo EM12K para a soldadura de aço ao carbono por SAW, de acordo com [27].

| C           | Mn          | Si          | S     | P     | Cu   | Ti |
|-------------|-------------|-------------|-------|-------|------|----|
| 0,05 - 0,15 | 0,80 - 1,25 | 0,10 - 0,35 | 0,030 | 0,030 | 0,35 | -  |

Tabela 4: Propriedades mecânicas de um fluxo do tipo F7XX - EXXX, de acordo com [27, 28]<sup>2</sup>.

| Tensão de Ruptura | Tensão Limite de Elasticidade | Alongamento (%) |
|-------------------|-------------------------------|-----------------|
| 483 a 655 MPa     | ≥ 400 MPa                     | 22              |

## 2.5. Soldadura por Eletrodo Revestido

### 2.5.1. Técnica de Soldadura

Na soldadura por eletrodo revestido (SMAW - *Shielded Metal Arc Welding*, também denominada MMAW - *Manual Metal Arc Welding*) utiliza-se o calor gerado pelo arco elétrico, que é estabelecido entre o eletrodo revestido e a peça de trabalho, para a fusão e união dos materiais de base e do material de adição. O escorvamento do arco elétrico ocorre uma vez que o eletrodo se encontra ligado a um dos terminais da fonte de energia e a peça ao outro terminal da mesma fonte. Esta ligação é possível através de dois cabos elétricos de cobre; um que se encontra ligado à fonte de energia e ao eletrodo por intermédio de um alicate e outro que se encontra ligado à fonte de energia e à peça de trabalho por intermédio de um grampo [24, 29-34].

A soldadura por eletrodo revestido é interessante pela sua versatilidade e baixo custo, pois permite a soldadura de uma gama muito alargada de materiais em qualquer posição e para espessuras que podem variar entre os dois milímetros e vários centímetros, apresentando um investimento inicial reduzido. Em contrapartida, a taxa de deposição e a proteção gasosa limitadas são fatores técnicos a ter em conta [24, 29-34].

A configuração do equipamento utilizado na soldadura por eletrodo revestido, utilizando corrente contínua de polaridade inversa, pode ser observada na Figura 3 e, na

---

<sup>2</sup> Os valores apresentados em MPa são convertidos uma vez que a norma apenas indica valores na unidade psi. A resistência mecânica deverá estar no intervalo 70 000 - 95 000 psi e o valor de tensão limite de elasticidade deverá ser, no mínimo, 58 000 psi.

Figura 4, pode analisar-se uma representação gráfica do processo de soldadura por eletrodo revestido [34].

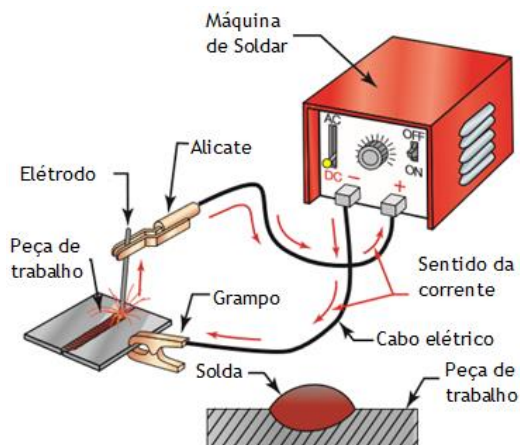


Figura 3: Representação esquemática do equipamento utilizado na soldadura SMAW. Adaptado de [34].

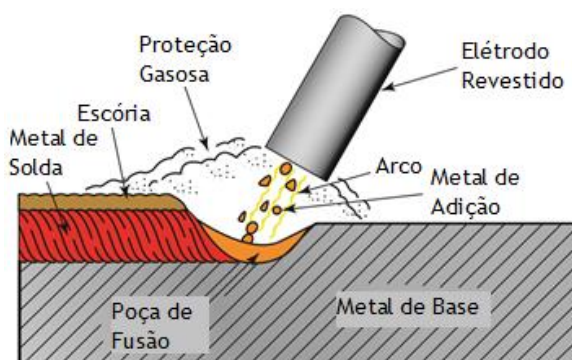


Figura 4: Representação esquemática da soldadura SMAW. Adaptado de [34].

## 2.5.2. Eletrodos Revestidos

Em SMAW utilizam-se eletrodos consumíveis com um revestimento que desempenha diversas funções, tais como: a formação da proteção gasosa, não sendo necessário o uso de fontes externas de gás; a formação de escória, que flutua protegendo o metal líquido da oxidação e que deve ser removida no final de cada passe de soldadura; a adição de elementos de liga e afinadores de grão, para que as propriedades mecânicas e químicas da junta soldada sejam as desejadas; e a influência no escorvamento e manutenção do arco elétrico, uma vez que atuam como iniciadores e estabilizadores do mesmo [34].

Os revestimentos dos eletrodos dividem-se em diversas categorias, das quais se destacam os revestimentos celulósicos, os revestimentos rútilicos e os revestimentos básicos, por serem os mais utilizados na indústria. Os revestimentos celulósicos, cujo principal constituinte é a celulose, são aplicados em aços de baixo carbono e aços não ligados; os revestimentos rútilicos, cujo principal constituinte é o dióxido de titânio, são utilizados na soldadura de aços de médio carbono e aços de baixa liga; e os revestimentos básicos, com a adição de pó de ferro, que possuem muito baixo teor em hidrogénio ( $H_2$ ) [35].

O eletrodo E7018-1, cuja composição química e propriedades mecânicas podem ser analisadas nas Tabelas 5 e 6, respetivamente, é um eletrodo básico e, por isso, de baixo teor em  $H_2$ , que permite uma boa soldadura em todas as posições (exceto vertical descendente) dada a adição de pó de ferro que suaviza e estabiliza o arco elétrico, diminuindo os salpicos e produzindo uma escória de fácil remoção [36, 37].

Tabela 5: Composição química (%) de elétrodo E7018 [36].

| Mn     | Si     | Ni     | Cr     | Mo     | V      | Mn+Ni+Cr+Mo+V |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| ≤ 1,60 | ≤ 0,75 | ≤ 0,30 | ≤ 0,20 | ≤ 0,30 | ≤ 0,08 | ≤ 1,75        |

Tabela 6: Propriedades mecânicas do elétrodo E7018-1 [27].

| Tensão de Ruptura ( $R_m$ ) | Tensão Limite de Elasticidade ( $R_{p0,2}$ ) | Alongamento (A) | Impacto (Charpy-V a -45 °C) |
|-----------------------------|----------------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| ≥ 490 MPa                   | ≥ 400 MPa                                    | ≥ 22 %          | ≥ 27 J (média)              |

A soldadura com este tipo de elétrodo é realizada utilizando corrente contínua de polaridade inversa e a gama de parâmetros de soldadura recomendados para a sua utilização pode ser consultada na Tabela 7 [36, 37].

Tabela 7: Parâmetros recomendados para a soldadura com elétrodo E7018 e E7018-1 [36].

| Diâmetro do elétrodo (mm) | Gama de intensidade de corrente (A) | Valor ótimo de intensidade de corrente (A) | Taxa de deposição (kg/h) |
|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|
| 2,5                       | 65 - 105                            | 90                                         | 0,8                      |
| 3,2                       | 100 - 150                           | 120 - 140                                  | 1,2                      |
| 4,0                       | 130 - 200                           | 140 - 170                                  | 1,4 - 1,7                |

### 2.5.3. Regiões das Juntas Soldadas

A soldadura por arco elétrico origina diferentes regiões no material, dada a diferença de histórico térmico a que cada uma dessas regiões foi sujeita. Assim, as juntas soldadas apresentam frequentemente três regiões: metal de base, zona termicamente afetada e zona de fusão [38-40]. Uma representação esquemática dessas regiões pode ser observada na Figura 5.

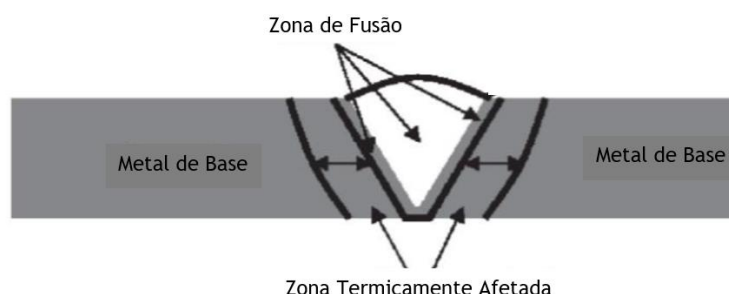


Figura 5: Representação esquemática das regiões típicas de uma junta soldada. Adaptado de [39].

### 2.5.3.1. Metal de Base

Ao material que se pretende unir dá-se o nome de material de base. Este material deve ser escolhido considerando a sua soldabilidade e as propriedades necessárias para uma dada aplicação, tendo em conta que, quando se realiza uma reparação, não existe essa possibilidade [40, 41].

No aço ASME SA516Gr60, no estado normalizado, espera-se encontrar uma microestrutura de perlite numa matriz ferrítica [22, 38, 42-45]. Na Figura 6 pode ser observada uma microestrutura típica deste aço, encontrando-se ferrite (fase clara) e perlite (fase escura).

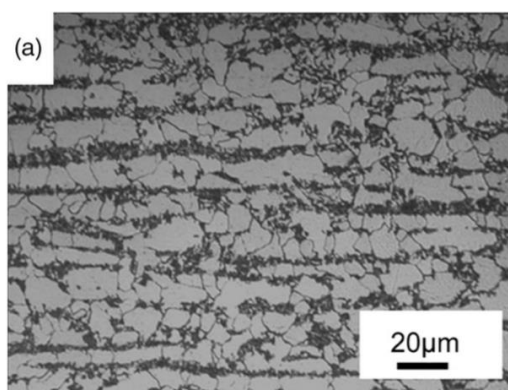


Figura 6: Microestrutura típica de um aço ASME SA516, com ferrite (claro) e perlite (escuro) [44].

### 2.5.3.2. Zona Termicamente Afetada

A zona termicamente afetada (ZTA), também denominada por zona afetada pelo calor (ZAC), é a região intermédia entre o metal de base e a zona de fusão que, sem atingir a temperatura de fusão, sofre alterações microestruturais significativas durante o processo de soldadura devido ao calor introduzido no material [24, 40, 41, 46-48].

As principais alterações que poderão ocorrer nesta região são a alteração do tamanho do grão, a recristalização, transformação de fases ou dissolução de precipitados. Esta região tem ainda maior tendência para a formação de fissuração a frio, provocando uma fratura frágil do material [40, 46, 49].

A espessura da zona termicamente afetada depende da técnica utilizada e pode ser subdividida em diferentes zonas. A Figura 7 representa estas subzonas para aços de baixa liga e enquadra-as no diagrama de equilíbrio Fe-C [46, 47, 50].

Nas zonas em que são atingidas temperaturas acima de 1100 °C, ocorre crescimento do tamanho de grão (CGHAZ - *Coarse Grain Heat Affected Zone*). A interface desta zona com a zona de fusão poderá dar origem a uma estrutura martensítica, uma vez que lhe é induzido um arrefecimento rápido após o aumento de temperatura dentro do domínio austenítico, semelhante a um ciclo térmico de uma têmpera [46].

Na região que atinge temperaturas entre os 900 e os 1100 °C, denominada de zona de grão fino (FGHAZ - *Fine Grain Heat Affected Zone*), ocorre normalização do tamanho de grão [46].

Na zona intercrítica (ICHAZ - *Intercritical Heat Affected Zone*) há uma redução da dureza, uma vez que as temperaturas atingidas (entre os 700 e os 900 °C) eliminam o encruamento do material [46].

Por fim, a região subcrítica (SCHAZ - *Subcritical Heat Affected Zone*) é a zona do metal de base menos afetada, em que se atingem temperaturas entre os 600 e os 700 °C e onde não ocorrem alterações estruturais [46].

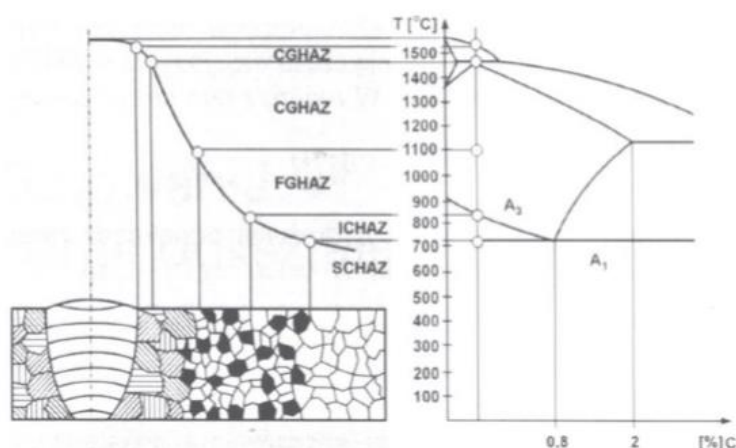


Figura 7: Representação das sub-regiões da zona termicamente afetada no diagrama Fe-C [46].

### 2.5.3.3. Zona de Fusão

A zona de fusão, também denominada metal de solda, surge, como o nome indica, devido à fusão que ocorre nos materiais dado o calor introduzido para a sua união. Devido ao rápido arrefecimento característico desta região, é de esperar a formação de fases de maior dureza do que as do material de base. A microestrutura da Figura 8 para um aço ASME SA516Gr70, mostra a presença de ferrite acicular e perlite nas fronteiras de grão [51].



Figura 8: Microestrutura da zona de fusão de um aço ASME 516, soldado utilizando um eletrodo E7018 [51].

## 2.6. Soldabilidade

A soldabilidade de um material representa a facilidade com que se podem obter juntas soldadas satisfatórias do mesmo, quer a nível de processo quer das propriedades obtidas. Assim sendo, a soldabilidade de um material depende de fatores como: a composição química, a disponibilidade dos equipamentos e a aplicação do material [49].

A composição química do material altera propriedades como a temperabilidade ou a sensibilização, a presença de inclusões e de segregações, e propriedades físicas (como a condutividade e a expansão térmica), características que alteram a soldabilidade do material [49].

Deve também garantir-se a disponibilidade de todos os equipamentos necessários antes da soldadura, sejam estas máquinas ou aparelhos de soldar, fluxos, gases, tratamentos térmicos de pré e pós-soldadura [49].

Outro fator a ter em conta é a acessibilidade da região a soldar e, além disso, deve ser tida em conta a aplicação em que o equipamento será utilizado, uma vez que a junta deverá cumprir os requisitos das condições de serviço [49].

O efeito da composição na soldabilidade de um aço pode ser determinado tendo em conta o valor de carbono equivalente ( $C_{Eq}$ ) que este possui, calculado a partir da Equação 1 [35, 49, 52]:

$$C_{Eq} = \%C + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \quad (\text{Equação 1})$$

Por definição, aços com carbono equivalente igual ou superior a 0,5 necessitam de pré-aquecimento e tratamento térmico após a soldadura [35, 49, 52].

## 2.7. Defeitos de soldadura

A Secção IX da norma ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* define defeito como a descontinuidade ou conjunto de descontinuidades cujo efeito torna o componente ou equipamento incapaz de cumprir os requisitos de aceitação para uma determinada aplicação [23].

Vários são os defeitos que podem surgir numa soldadura por arco elétrico, destacando-se: a porosidade, resultante do aprisionamento de gases durante o processo; a penetração incompleta, devido à utilização de intensidades de corrente baixas, à folga exagerada entre os materiais a soldar e a velocidades de avanço demasiado elevadas; a presença de inclusões, devido à má limpeza da superfície, remoção insuficiente da escória produzida no passe anterior e ao aprisionamento de escória do passe a decorrer, uma vez que esta poderá não ter tempo suficiente para atingir a tona da poça de fusão antes da sua solidificação; a falta de fusão, devido à utilização de intensidades de corrente baixas e velocidades de avanço elevadas; e a fissuração a quente, que pode ocorrer devido às tensões causadas pela contração do metal de solda durante a solidificação [34].

Contudo, a fissuração a frio é o defeito que mais cuidados exige na soldadura de aços ASME 516, sendo a realização do tratamento térmico após soldadura uma solução para colmatar este problema [43]. É, por isso de extrema importância perceber quais os fatores que levam à fissuração a frio, pois pretende-se, neste trabalho, a utilização de *Temper Bead Welding*, omitindo a realização de tratamento térmico.

### 2.7.1. Fissuração Induzida por Hidrogénio

A fissuração induzida por hidrogénio (HIC - *Hydrogen Induced Cracking*), também denominada fissuração a frio, é um tipo de defeito que pode surgir horas ou até dias após a procedimento de soldadura ter terminado e o material ter arrefecido. É, por isso, de extrema importância que se realizem ensaios não destrutivos (NDT) em materiais suscetíveis à fissuração a frio, pelo menos 48 horas após a soldadura estar completa. A HIC depende de três fatores que terão de estar presentes em simultâneo (Figura 9): uma microestrutura do material suscetível ao defeito, a presença de tensões residuais e a existência de hidrogénio no material [17, 35, 53].

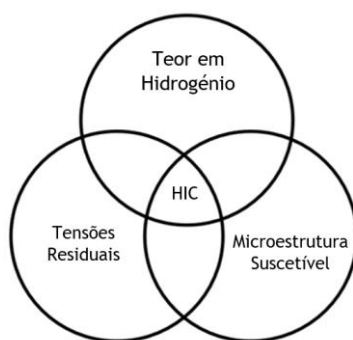


Figura 9: Fatores para a fissuração a frio. Adaptado de [17].

#### 2.7.1.1. Microestrutura Suscetível à Fissuração

Durante a soldadura é introduzido calor no material e, por isso, a zona de fusão e parte da zona termicamente afetada atingem temperaturas superiores à temperatura de austenitização (temperatura mínima a partir da qual se forma austenite que consoante o arrefecimento se transformará em diferentes fases). Dependendo da velocidade de arrefecimento a que o material é sujeito, podem formar-se fases de não-equilíbrio como a martensite e a bainite. Estas fases são duras, frágeis, de baixa tenacidade e permitem a propagação de fissuras. Por estas razões, é importante conhecer a composição química do material a soldar, uma vez que diferentes composições químicas resultam em diferentes diagramas de transformação em arrefecimento contínuo (TAC) e tempo-temperatura-transformação (TTT) [17]. A análise destes diagramas permite prever as fases que serão formadas em função da taxa de arrefecimento utilizada [17].

### 2.7.1.2. Tensões Residuais

Os ciclos térmicos a que os materiais são sujeitos durante o procedimento de soldadura levam à instalação de tensões internas, uma vez que aquando da solidificação da poça de fusão há uma contração do material. Além disso, durante a transformação de austenite em ferrite que ocorre nos aços ferríticos, há uma expansão do material já solidificado e o posterior arrefecimento do mesmo que resulta em nova contração [17].

Estas variações dimensionais localizadas levam à formação de tensões internas no material. Se à baixa tenacidade de um material for adicionada a presença de tensões residuais internas poderá dar-se o início e propagação de fissuras. O perfil típico das tensões residuais de tração e compressão numa junta soldada pode ser analisado no esquema da Figura 10 [17]. Ao dar-se a contração do metal de solda durante a solidificação este ficará sujeito a forças de tração exercidas pelo material envolvente que o impede de contrair livremente. Em contrapartida, o par ação-reação desta força resulta na compressão do material periférico à poça de fusão [17].

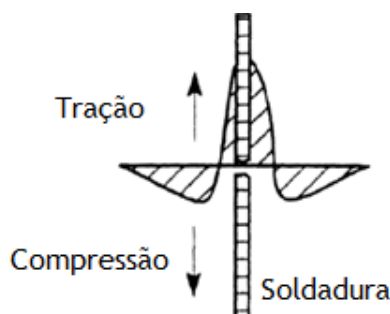


Figura 10: Tensões residuais típicas de uma junta soldada. Adaptado de [17].

### 2.7.1.3. Presença de Hidrogénio

O hidrogénio (H) apresenta uma solubilidade muito superior no metal líquido do que na rede cristalina do metal solidificado. Por isso, o hidrogénio atómico, que se dissociou da molécula de água, ou de outros compostos, devido à energia fornecida pelo arco elétrico, tem tendência à formação de hidrogénio molecular ( $H_2$ ) nos interstícios da rede cristalina e, com isto, à introdução de tensões internas no material [17, 35].

O hidrogénio pode ser proveniente da má limpeza da superfície a soldar (óleos, gorduras, ou outros), da humidade atmosférica ou da humidade presente no metal de base, no equipamento ou nos elétrodos utilizados. Deve ter-se em conta que, para aplicações na indústria nuclear, não é de esperar a contaminação da poça de fusão por hidrogénio devido à má limpeza ou humidade atmosférica, dadas as restrições do ambiente em que estes equipamentos operam [17, 35].

Assim, os principais fatores a ter em conta são a presença de tensões residuais, as fases presentes no material e o elétrodo a utilizar na soldadura, que deverá apresentar um muito baixo teor em hidrogénio e resistência à humidade. A Secção III da norma ASME

*Boiler and Pressure Vessel Code 2017* para componentes da indústria nuclear, exige a utilização de elétrodos resistentes à humidade (designação R) e com muito baixa difusividade do hidrogénio (designação H4). Além disso, estabelece regras restritas para o armazenamento e utilização dos elétrodos que, no caso de elétrodos do tipo E70XX, deverão ser armazenados em contentores herméticos e, após abertura, em estufa entre os 105 e os 175 °C, não podendo ser expostos à atmosfera por períodos superiores a 9 horas e, caso esse limite seja ultrapassado, deverão ser descartados ou sujeitos a uma cozedura por um tempo e a uma temperatura que estejam de acordo com o recomendado pelo fabricante ou especificado na norma [17, 18].

## 2.8. Fissuração sob Tensão por Sulfuretos

Tendo em conta que os requisitos do cliente (Anexo A) mencionam o contacto com sulfuretos de hidrogénio, é também importante conhecer o mecanismo de fissuração sob tensão por sulfuretos (SSC - *Sulfide Stress Cracking*), que consiste na ação combinada de tensões e corrosão na presença de água e H<sub>2</sub>S [14]. Esta é uma forma de fissuração induzida por hidrogénio, que resulta da absorção do hidrogénio atómico produzido pela reação que ocorre na superfície do metal em que o ferro (Fe), ao reagir com o H<sub>2</sub>S, forma sulfureto de ferro (FeS), libertando hidrogénio atómico, segundo a Equação 2 [54, 55].



A fragilização de tubagens, reservatórios e outros equipamentos da indústria de petróleo e gás pode ocorrer devido ao seu contacto com elevados teores de H<sub>2</sub>S, resultantes da extração e refinação do petróleo. O H<sub>2</sub>S em contacto com água (humidade) torna-se num agente severamente corrosivo.

O hidrogénio atómico libertado difunde-se para o interior da matriz, dado que a presença de sulfureto retarda a formação de hidrogénio molecular. Uma vez difundido na matriz, o hidrogénio pode acumular-se nos interstícios ou em descontinuidades, aumentando as tensões internas, podendo iniciar fissuras se a tensão criada for superior à tensão crítica [55]. Uma representação esquemática deste mecanismo pode ser analisada na Figura 11. O FeS forma uma camada na superfície do material, quando o valor de pH se situa entre 3 e 5, que poderá atuar como barreira à progressão da corrosão, contudo para valores de pH iguais ou inferiores a 2, o sulfureto de ferro apresenta elevada solubilidade e, não precipitando na superfície, não atua como protetor da mesma [54, 56].

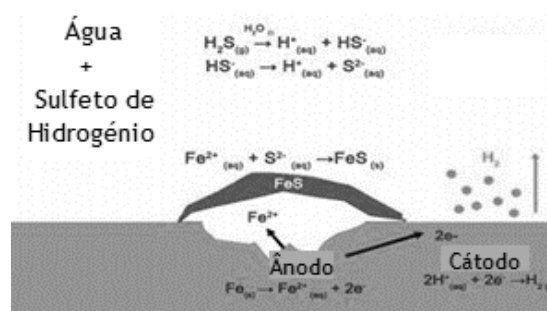


Figura 11: Mecanismo de fissuração sob tensão por sulfuretos [54].

## **2.9. Pré-aquecimento da Junta Soldada**

O pré-aquecimento de uma junta soldada é realizado imediatamente antes da etapa de soldadura ter início e consiste no aquecimento do material de base [23, 57-62].

Este procedimento revela-se extremamente importante, pois diminui a velocidade de arrefecimento da zona fundida e da zona termicamente afetada, evitando a formação de fases frágeis e facilitando a libertação de hidrogénio. O pré-aquecimento da junta soldada permite ainda reduzir tensões formadas pela contração do material a solidificar, uma vez que reduz o gradiente térmico provocado pela soldadura [57-59, 63].

Em suma, o pré-aquecimento possibilita a diminuição da zona termicamente afetada, a diminuição das tensões introduzidas durante a soldadura e a redução do risco de fissuração durante e após o procedimento podendo, adicionalmente, contribuir para a garantia de requisitos de propriedades mecânicas, tais como a tenacidade à fratura [57-59].

A temperatura de pré-aquecimento deve ser tanto maior quanto maior o teor em carbono e elementos de liga, de forma a diminuir a velocidade de arrefecimento, dado que estes aços têm maior tendência à formação de fases frágeis (maior temperabilidade) [64].

## **2.10. Temperatura de Interpasse**

A temperatura de interpasse pode ser definida como a temperatura a que a zona a soldar se encontra imediatamente antes do segundo e subsequentes passes de soldadura [59]. Assim, deve ser estabelecido um máximo e um mínimo para a temperatura de interpasse. A temperatura de interpasse mínima é, geralmente, a temperatura mínima de pré-aquecimento e a máxima deve ser estabelecida tendo em conta que esta influenciará as propriedades mecânicas finais da junta. A utilização de temperaturas de interpasse elevadas leva, tendencialmente, a uma estrutura de grão fino que resulta num aumento da tenacidade à fratura, contudo, caso seja utilizada uma temperatura demasiado elevada há uma diminuição do desempenho da junta, uma vez que a resistência mecânica diminui, além do maior consumo energético [57, 59, 65].

## **2.11. Tratamentos Térmicos nas Juntas Soldadas**

Os processos de soldadura dão origem a tensões residuais, distorções, fissuração, formação de fases frágeis ou outros fatores, devido a aquecimentos e arrefecimentos não uniformes no material, o que pode levar a que os requisitos mecânicos para uma determinada aplicação não sejam cumpridos. Por esta razão, é importante o controlo térmico do material antes, durante e após a soldadura [58]. Já tendo sido referidas as duas primeiras situações, far-se-á agora uma breve abordagem aos tratamentos após a soldadura.

### **2.11.1. Post Weld Heat Treatment (PWHT)**

Pode considerar-se que o PWHT é qualquer tratamento térmico realizado após a soldadura e, por isso, podem ser considerados tratamentos de normalização, de alívio de tensões, de recozimento, de revenido ou outros [38, 48]. Dado que o aço é fornecido no estado normalizado (Anexo B), os requisitos do cliente (Anexo A) exigem, apenas, um tratamento de alívio de tensões e um valor dureza máximo estabelecido, e a norma ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* 2017 referencia um tratamento para libertação de hidrogénio, apenas serão tidos em conta os tratamentos de alívio de tensões internas, de revenido e o *Postweld Hydrogen Bakeout*.

#### **2.11.1.1. Alívio de Tensões (PWSR)**

O tratamento térmico de alívio de tensões após a soldadura (PWSR - *Post Weld Stress Relief*) é o reaquecimento do material até uma temperatura inferior à temperatura mínima de transformação ( $A_1$ ), sendo realizado normalmente abaixo dos 650 °C no caso dos aços C-Mn e seguido de um arrefecimento uniforme [48, 66]. Com este tratamento pretende-se o alívio de tensões instaladas no material, um dos fatores essenciais para a fissuração a frio [38, 66-69].

Os requisitos do cliente (Anexo A) referem a obrigatoriedade da realização de um tratamento térmico de alívio de tensões na junta soldada, para que as tensões internas sejam aliviadas e se obtenha um valor de dureza menor ou igual a 200 HV.

#### **2.11.1.2. Revenido**

O revenido é um tratamento térmico que permite, tendencialmente, reaver a ZTA de uma junta soldada, transformando fases duras e frágeis em fases que possuam maior tenacidade, sem atingir a temperatura de austenitização. A sub-região da ZTA com maior probabilidade para a formação de martensite é a zona de crescimento de grão (CGHAZ) mais próxima da zona de fusão, que atingiu a temperatura de austenitização e, devido a um arrefecimento suficientemente rápido, deu origem a fases de baixa tenacidade. Os aços C-Mn podem ser revenidos a temperaturas inferiores a  $A_1$  [66, 69, 70].

O revenido poderá ocorrer durante o tratamento térmico de alívio de tensões caso a martensite seja um dos seus constituintes, uma vez que a gama de temperaturas de ambos os tratamentos é semelhante [48].

#### **2.11.1.3. Postweld Hydrogen Bakeout**

O *Postweld Hydrogen Bakeout* é um estágio térmico realizado antes que o material atinja a temperatura ambiente, para que ocorra difusão e libertação do hidrogénio que possa estar aprisionado na rede cristalina. A Secção III da ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* 2017 refere a obrigatoriedade da realização deste estágio térmico que, no caso dos

materiais com *P-No.* 1, como é o caso do aço ASME SA516Gr60, deverá ser realizado a uma temperatura entre os 230 e os 290 °C por um período mínimo de 2 horas após o término da soldadura [18].

## **2.12. Temper Bead Welding**

A Secção IX da ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* define *Temper Bead Welding* (TBW) como a técnica que recorre à deposição de passes de soldadura numa localização específica com o propósito de alterar as propriedades metalúrgicas da zona termicamente afetada da camada previamente depositada [23].

O *Temper Bead Welding* surge com o intuito de evitar, ou pelo menos atenuar, a necessidade de realização de tratamento térmico após soldadura aquando da reparação de um componente ou equipamento [1, 48, 71, 72]. O PWHT pode ser de difícil execução, seja pela limitação dimensional dos fornos disponíveis, pela presença de cargas aplicadas no componente que levariam a distorções significativas quando o mesmo é aquecido ou pela necessidade de aquecimento de uma zona de maiores dimensões por dificuldade de acesso à zona a reparar. Além disso, procura-se diminuir o custo inerente à realização do PWHT, assim como reduzir os períodos de inatividade dos componentes a reparar, uma vez que representam uma diminuição da produtividade [3, 73].

Desta forma, ao realizar-se TBW espera-se controlar a entrega térmica e o pré-aquecimento, para que na zona termicamente afetada pela primeira camada não ocorra um crescimento significativo do grão na CGHAZ e se aumente progressivamente a entrega térmica entre camadas, permitindo que o calor introduzido pela segunda permita a afinação do grão da CGHAZ da primeira camada [3, 4].

Existem diversas variantes da técnica de *Temper Bead Welding*, tais como a *Half Temper Bead Technique*, a *Consistent Layer Technique*, a *Alternate Temper Bead Technique*, a *Controlled Deposition Technique* e a *Weld Toe Tempering Technique* [48, 74]. Por decisão da empresa foi estudada a técnica *Half Temper Bead Welding*.

### **2.12.1. Half Temper Bead Welding**

A técnica *Half Temper Bead Welding* (HTBW) foi desenvolvida para o processo SMAW e direcionada, inicialmente, para a indústria nuclear, tendo vindo a ser utilizada também em reparações de componentes e equipamentos da indústria petroquímica e de petróleo e gás [48]. Uma representação esquemática do procedimento de *Half Temper Bead* com desbaste apenas da primeira camada pode ser analisada na Figura 12.

Para a aplicação desta técnica deve-se, inicialmente, proceder à remoção do material na zona a reparar por desbaste, garantindo a limpeza dessa superfície, tornando-a livre de óxidos, humidade, óleos e gorduras [2, 18, 75].

Com uma temperatura de pré-aquecimento de cerca de 175 °C deposita-se a primeira camada de amanteigamento, que consiste na deposição de camadas lado a lado (Figura 12b), com um eléctrodo de diâmetro de, no máximo, 3 mm, com vista à formação de uma zona termicamente afetada reduzida e de menor dureza, resultante da baixa entrega térmica do eléctrodo de menores dimensões. A primeira camada é composta por passes depositados lado a lado, com uma sobreposição de aproximadamente 50%, relativamente ao passe anterior, procurando revenir a estrutura previamente formada [2, 48, 74].

De seguida, cerca de metade da espessura da primeira camada depositada é removida, sendo esta a etapa que dá nome ao processo. Além disso, deve ser garantida uma temperatura máxima de interpasse de cerca de 230 °C [2, 74].

A segunda camada é depositada com um eléctrodo de maiores dimensões sem oscilação, com no máximo 4 mm de diâmetro que, com maior entrega térmica, tem como objetivo afinar o tamanho de grão da CGHAZ da primeira camada e revenir a sua microestrutura [2, 48, 74].

A etapa seguinte não é consensual na bibliografia disponível. De facto, se por um lado o *Welding Technology Institute of Australia* [48] recomenda o desbaste parcial de todas as camadas, por outro, *Aloraier et al.* [2] e *Lant et al.* [74] recomendam apenas o desbaste da primeira camada, sendo as restantes depositadas até a cavidade ser preenchida. Adicionalmente, *Gandy et al.* [76] avaliaram a soldadura de diversos materiais por *Temper Bead Welding*, sem o desbaste de qualquer camada.

As camadas seguintes são depositadas utilizando um eléctrodo semelhante ao utilizado na segunda camada, repetindo as alterações microestruturais ocorridas na deposição anterior [2, 48, 74].

Este procedimento repete-se até que, finalmente, deverá ser depositada uma camada em excesso, removida após o *Postweld Hydrogen Bakeout* com o qual se pretende facilitar a difusão e libertação de hidrogénio [2, 74].

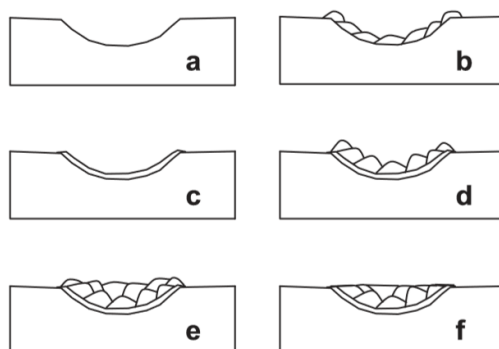


Figura 12: Procedimento *Half Temper Bead Welding* apenas com desbaste da primeira camada.  
(a) - Desbaste da zona a reparar; (b) - Deposição da primeira camada; (c) - Desbaste de metade da primeira camada; (d) - Deposição da segunda camada; (e) - Deposição das restantes camadas; (f) - Desbaste da camada em excesso [2].

A Secção III da norma *ASME Boiler and Pressure Vessel Code* 2017 refere, na Subsecção NB-4622.9, que em aplicações para a indústria nuclear, não podem ser realizadas reparações com profundidade superior a um terço da espessura do material e que a área de reparação não poderá exceder 3230 cm<sup>2</sup> de área. É ainda mencionado que, após a remoção do material, a superfície da cavidade a reparar deve ser analisada por partículas magnéticas ou líquidos penetrantes. A mesma subsecção da norma impõe cuidados relativamente à escolha do eléctrodo. Estes deverão possuir a designação H4-R, que garante muito baixa difusividade de hidrogénio e resistência à humidade, respetivamente. Além disso, após abertura do contentor hermético, os eléctrodos devem ser armazenados em estufa entre os 105 e os 175 °C. Quando retirados da estufa, os eléctrodos do tipo E70XX podem ser expostos à atmosfera e temperatura ambiente por um período máximo de 9 horas. Se esse tempo for excedido, os eléctrodos deverão ser excluídos ou sujeitos a um aquecimento, a uma temperatura e tempo definidos pelo fabricante, e deverão ser devolvidos à estufa antes que a sua temperatura atinja valores inferiores a 105 °C [18].

A norma menciona ainda a realização da inspeção por partículas magnéticas ou líquidos penetrantes após a deposição da segunda camada, e que deverá ser depositada uma camada em excesso no final da reparação, a ser removida após o *Postweld Hydrogen Bakeout* de 2 horas entre os 230 e os 290 °C, para materiais com *P-No.* 1. Quanto à inspeção final por ensaios não destrutivos, a norma refere que esta deverá ser realizada após um mínimo de 48 horas do término da reparação, numa região de pelo menos 100 mm à volta da mesma e que, adicionalmente, devem ser realizados ensaios por ultrassons em todas as reparações que utilizem esta técnica [18].

Além desta norma, foi ainda seguido o Método 2, Secção 2 (NB-23), do *National Board Inspection Code* 2015 (NBIC), para consulta no Anexo C. Segundo este método deve ser utilizada uma temperatura mínima de pré-aquecimento de 177 °C e de interpasse máxima de 232 °C. Neste método é referido que caso sejam utilizados eléctrodos com a designação H4 não será necessária a realização do *Postweld Hydrogen Bakeout*, contudo a Secção III da *ASME Boiler and Pressure Vessel Code* 2017 refere este tratamento como obrigatório em reparações utilizando soldadura por eléctrodo revestido ou soldadura por fios fluxados [18, 75].

É importante referir ainda que, no ponto 4.5.7, a norma *ASME Repair of Pressure Equipment and Piping* não recomenda a reparação por *Temper Bead Welding* quando existem requisitos como os de H<sub>2</sub>S (Anexo A), contudo, não impede a sua utilização [52].

#### **2.12.1.1. Entrega térmica**

O aumento das dimensões do eléctrodo tem como objetivo o aumento da entrega térmica, que por si só deverá ser capaz de introduzir as transformações necessárias no material. Porém, com vista a um maior controlo dos parâmetros de soldadura, pode ser utilizado um rácio de entregas térmicas entre camadas que poderá variar entre 1,3 e 1,8 [48].

A entrega térmica (*Heat Input* - J/mm) pode ser calculada tendo em conta três parâmetros: a tensão utilizada (V), a intensidade de corrente (A) e a velocidade de avanço de soldadura (mm/seg). Ao contrário da norma EN ISO 1011-1, a norma ASME não contempla a eficiência térmica do processo, que seria de 0,8 para o processo SMAW [23, 53, 65].

A Equação 3 relaciona os parâmetros de soldadura segundo a norma ASME e permite calcular o valor de entrega térmica em função dos mesmos [23, 53].

$$\text{Entrega Térmica} = \frac{\text{Tensão} \times \text{Intensidade}}{\text{Velocidade de Avanço}} \times 60 \quad (\text{Equação 3})$$

## **2.13. Ensaios de Materiais**

Para a certificação de um processo de fabrico como a soldadura são realizados ensaios aos materiais. As secções III e IX estabelecem os ensaios necessários para a certificação da técnica de *Temper Bead Welding* [18, 23].

Estes ensaios permitem avaliar a eficácia e certificar o procedimento utilizado.

### **2.13.1. Análise Microestrutural e Macroestrutural**

A análise macro e microestrutural tem como objetivo, respetivamente, a identificação de regiões da junta soldada, defeitos e fases presentes. São inicialmente obtidas amostras (geralmente por corte), que são preparadas para revelar a sua estrutura. Essa preparação consiste num conjunto de etapas: desbaste com uma sequência de lixas de granulometria progressivamente inferior, acabamento em panos com suspensão de diamante e, finalmente, ataque químico com a finalidade de revelar a microestrutura do material [77].

### **2.13.2. Ensaios Destrutivos**

Os ensaios nos quais se extraem provetes a partir de um componente ou equipamento, tornando impossível a sua utilização na aplicação para a qual foi desenvolvido, denominam-se ensaios destrutivos. Entre os ensaios destrutivos destacam-se, para o caso em estudo, o ensaio de tração, o ensaio de dobragem, o ensaio de choque e os ensaios de dureza (micro e macrodureza). A realização destes ensaios tem como objetivo a determinação das propriedades mecânicas do material.

#### **2.13.2.1. Microdurezas e Macrodurezas**

Os ensaios de dureza consistem numa indentação na superfície da amostra por intermédio de um indentador. No ensaio de durezas Vickers utiliza-se um indentador de diamante com a forma de pirâmide. O valor de dureza é determinado através da medição

das diagonais da indentação impressa no material. Para aprovação do procedimento *Temper Bead Welding*, deve ser utilizada uma carga de 10 kgf, realizando as indentações abaixo descritas, de acordo com a Subsecção QW-290.5, da Secção IX da norma em utilização [23].

Ao longo de um plano situado no meio do cordão da soldadura de reparação, devem ser realizadas, pelo menos duas indentações no metal de base, três indentações na ZTA, pelo menos uma indentação na primeira camada de amanteigamento, ou seja, a camada resultante da deposição de passes de soldadura lado a lado, na primeira e na segunda camada de revenido e um mínimo de duas indentações no centro do cordão de soldadura.

Ao longo de um plano situado 1 mm abaixo da superfície original do metal de base deve ser realizada uma indentação abaixo da extremidade da camada de amanteigamento e pelo menos uma medição de cada lado dessa indentação. Adicionalmente, deve ser realizada uma indentação na camada de amanteigamento, na primeira e na segunda camada de revenido e pelo menos duas indentações no centro do cordão da soldadura de reparação.

O critério de aceitação para os ensaios de dureza encontra-se especificado nos requisitos do cliente (Anexo A), ou seja, todos os valores obtidos deverão ser inferiores a 200 HV, utilizando a tabela de conversões de valores de dureza presente na ASTM E140, mais exigente que a ISO 18265 (210 HV).

#### **2.13.2.2. Ensaio de Tração**

O ensaio de tração permite determinar algumas propriedades mecânicas do material, tais como a tensão de rotura ( $R_m$ ), a tensão limite de proporcionalidade a 0,2% ( $R_{p0,2}$ ) ou tensão a cedência superior e inferior ( $R_{eH}$  e  $R_{eL}$ ), o módulo de elasticidade ( $E$ ), o alongamento ( $A$ ) e a deformação ( $\epsilon$ ) [78].

Na norma *ASME Boiler and Pressure Vessel Code* é mencionada a realização do ensaio de tração em provetes transversais e longitudinais, isto é, extraídos paralela e perpendicularmente relativamente ao cordão de soldadura [23].

Segundo a mesma norma, a resistência mecânica do provete onde foi realizada a soldadura não deve ser inferior à resistência mecânica especificada para o material de base ou, caso o provete fracture no metal de base, fora do metal de solda e da ZTA, o ensaio é aprovado, se a resistência medida não for mais do que 5% inferior à especificada para o material de base [23].

#### **2.13.2.3. Ensaio de Dobragem**

O ensaio de dobragem permite avaliar de forma qualitativa a ductilidade de um material. As principais variáveis deste ensaio são o ângulo e o diâmetro a que os provetes são dobrados, assim como a secção transversal do provete (espessura, forma geométrica),

que dependem da localização e orientação em que o provete é extraído e das propriedades mecânicas e químicas do material a ensaiar [19].

Os ensaios requeridos são de dobragem lateral, ou seja, a carga é aplicada na superfície criada por um corte transversal ao cordão de soldadura [18, 23].

Os critérios de aceitação especificados pela norma referem que o metal de solda e zona termicamente afetada devem estar na porção dobrada do provete após o ensaio. Adicionalmente, devem considerar-se reprovados todos os provetes que apresentem descontinuidades de comprimento maior que 3 mm no metal de solda ou na zona termicamente afetada [23].

#### **2.13.2.4. Ensaio de Choque**

O ensaio de choque consiste em fazer um pêndulo chocar uma única vez num provete com um entalhe em V (ensaio de Charpy-V), quebrando-o ou não, e permitindo avaliar o tipo de fratura, a percentagem de fratura por cisalhamento, quantificar a energia absorvida no impacto e medir a expansão lateral [19].

Para o ensaio de choque (Charpy-V), a média dos valores de energia para cada série de provetes não deve ser inferior a 18 J, não podendo ser inferior a 14 J em cada um dos provetes [79].

Os requisitos para a indústria nuclear são mais exigentes devendo os provetes apresentar um mínimo de 0,89 mm de expansão lateral e um valor de pelo menos 68 J de energia absorvida, a uma temperatura não superior à temperatura de transição dúctil-frágil + 33 °C. Esta temperatura deve ser determinada através de uma bateria de ensaios mais extensa [18, 23, 27].

#### **2.13.3. Ensaios Não-Destrutivos**

Os ensaios não destrutivos (NDT) são ensaios realizados no material sem que seja necessária a extração de provetes, resultantes da destruição de um componente, sendo, por isso, um conjunto de ensaios não intrusivos com o intuito de avaliar a integridade de uma peça. Para o procedimento de *Temper Bead Welding* é necessário realizar o ensaio de líquidos penetrantes, a radiografia industrial (raios-X) e o ensaio de ultrassons, de acordo com as secções III e IX da *ASME Boiler and Pressure Vessel Code 2017* [18, 23, 80].

##### **2.13.3.1. Inspeção por Líquidos Penetrantes**

O ensaio por líquidos penetrantes permite a deteção de defeitos superficiais. A metodologia utilizada consiste na limpeza da superfície seguida da aplicação do penetrante de elevada molhabilidade que poderá ser fluorescente, colorido ou misto. Terminado o período de penetração, mínimo de 5 minutos a uma temperatura inferior a 50 °C para que este líquido penetre defeitos superficiais, o excesso de penetrante é

removido por intermédio de um solvente, emulsificadores ou água, e é aplicado o revelador, que poderá ser seco, solúvel ou suspenso em água, à base solvente ou outros. Após o período de revelação (mínimo de 10 e máximo de 60 minutos), é feita uma inspeção visual onde se procuram defeitos superficiais sinalizados pelo contraste de cores entre o penetrante e o revelador [81].

Na Secção III da norma ASME *Boiler and Pressure Vessel Code*, Subsecção NB-4622.9, alíneas a) e b), é indicada a necessidade de realizar inspeção por líquidos penetrantes na cavidade a reparar, no final da deposição da segunda camada e pelo menos 48 horas após o final da reparação [18].

### **2.13.3.2. Inspeção por Raios-X**

Na radiografia com raios-X, faz-se incidir uma radiação de baixo comprimento de onda e elevada energia sobre uma peça que se encontra entre a fonte de raios-X e um filme sensível à radiação. Quanto maior a espessura e densidade do material mais energia este absorverá e mais claro ficará o filme. A presença de defeitos com densidade diferente da densidade do material fará com que nessa região haja uma menor quantidade de radiação absorvida na peça e, com isto, uma zona mais escura no filme [82, 83].

A radiografia industrial é um procedimento interessante devido à sua versatilidade em termos de materiais a ensaiar e à sua capacidade de detetar não só defeitos superficiais como também defeitos internos. Contudo, as principais desvantagens são a necessidade de medidas de proteção restritas para a realização e a ineficácia na deteção de alguns defeitos, como é o caso de fissuras não paralelas à propagação da radiação, uma vez que neste tipo de defeitos a variação de espessura ao longo do trajeto realizado pela radiação é insuficiente para a sua deteção [82, 83].

Os filmes devem conter informação quanto à sua sensibilidade (fio visível mínimo), também denominado indicador de qualidade de imagem (IQI) e referências de posicionamento [82, 83].

### **2.13.3.3. Inspeções por Ultrassons**

Na inspeção por ultrassons (pulso-eco) utilizam-se ondas sonoras de alta frequência que atravessam o material e são refletidas em paredes ou descontinuidades do mesmo. Em função do tempo necessário para que o eco seja detetado, pode medir-se a espessura do material e, caso sejam detetados ecos para intervalos de tempo inferiores ao previsto para o eco correspondente à parede do componente, estes sinalizam uma descontinuidade [80, 84].

A calibração do aparelho de ultrassons é realizada com recurso a padrões de espessura definida e com propriedades acústicas semelhantes às do material a inspecionar. Assim, a representação analógica é ajustada realizando medições no padrão de calibração antes da inspeção ao material [84].

A Figura 13 representa, esquematicamente, a deteção de uma descontinuidade por ultrassons.

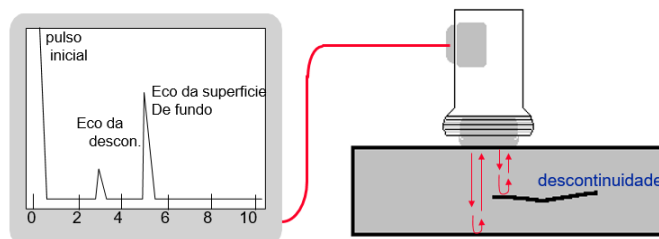


Figura 13: Deteção de uma descontinuidade por ultrassons [84].

Na Secção III da norma ASME *Boiler and Pressure Vessel Code*, Subsecção NB-4622.9, alínea b), ponto 3, é indicada a necessidade de realizar inspeção por ultrassons em todas as reparações por *Temper Bead Welding* [18].

Os critérios de aceitação para a inspeção por ultrassons são descritos na subsecção NB-5330, que refere que descontinuidades com o comprimento superior a um terço da espessura do metal de solda não podem ser aceites, e que defeitos como fissuração, falta de fusão e penetração incompleta são motivo de reprovação, independentemente das dimensões do defeito [18].

### 3. Procedimento Experimental

Para avaliar a necessidade de tratamentos térmicos após a soldadura foi calculado o valor de carbono equivalente do aço ASME SA516Gr60, fornecido no estado normalizado pela *Ilseburger Grobblech*, recorrendo à composição química do aço em estudo (Tabela 8), que pode ser detalhadamente analisada na ficha de produto (Anexo B).

Tabela 8: Composição Química do aço ASME SA516Gr60, de acordo com a ficha de produto, Anexo B.

| C    | Si   | Mn   | P     | S     | N     | Al    | Cu   |
|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 0,15 | 0,19 | 1,13 | 0,014 | 0,001 | 0,003 | 0,029 | 0,03 |

| Cr   | Ni   | V     | Nb   | Ti    | Mo   | B      |
|------|------|-------|------|-------|------|--------|
| 0,05 | 0,13 | 0,003 | 0,02 | 0,003 | 0,01 | 0,0005 |

Assim, por aplicação da Equação 1, obtém-se um valor de carbono equivalente de 0,36, o que indica a possibilidade de isenção de tratamentos térmicos à junta soldada. Contudo, são realizados procedimentos com vista à satisfação dos requisitos do cliente (Anexo A), possivelmente baseados na especificação NACE MR0103, que incluem a realização de um tratamento de alívio de tensões após a soldadura e a obtenção de uma dureza inferior a 200 HB (ou 200 HV) no metal de fusão e 248 HV na zona termicamente afetada e no metal de base.

#### 3.1. Produção das Juntas Soldadas

Para o estudo da utilização da técnica de *Half Temper Bead Welding*, produziram-se, inicialmente, juntas soldadas de aço ASME SA516Gr60 em chapas com 30 mm de espessura, utilizando uma WPS previamente desenvolvida pela ARSOPI, S.A, disponível no Anexo D.

Para isso, cortaram-se 8 chapas de 1500 x 150 x 30 mm por oxicorte. Uma imagem capturada durante este processo pode ser observada na Figura 14 e, com vista ao cumprimento dos requisitos da WPS foram introduzidos chanfros em X nas chapas, processo que pode ser analisado na Figura 15 e cujas dimensões podem ser conferidas no Anexo D.



Figura 14: Processo de oxicorte das chapas.



Figura 15: Chanfragem das chapas.

Concluídas estas etapas, deu-se início ao procedimento de soldadura. Como pode ser analisado na WPS (Anexo D), foram realizados dois passes de soldadura por elétrodo revestido seguidos de onze passes de soldadura por arco submerso.

O pré-aquecimento da junta soldada foi garantido por utilização de uma tocha de oxigás (propano) (Figura 16). A temperatura mínima de pré-aquecimento (100 °C), tal como a temperatura máxima de interpasse (300 °C), foram controladas através da utilização de lápis térmicos *Tempilstik* (Figura 17).



Figura 16: Pré-aquecimento da região a soldar com recurso à tocha oxigás.



Figura 17: Lápis térmicos *Tempilstik*.

Assim, realizaram-se quatro juntas soldadas de aço ASME SA516Gr60, recorrendo ao elétrodo E7018-1 no caso da soldadura SMAW e ao elétrodo EM12K e fluxo F7P6 para a soldadura SAW. A escolha destes materiais de adição foi feita a partir da Secção II da norma *ASME Boiler and Pressure Vessel Code 2017: Specifications for Welding Rods, Electrodes and Filler Metals* e na sua seleção deve ter-se em conta a composição química e propriedades mecânicas dos mesmos, procurando que estes sejam, tanto quanto possível, semelhantes às do metal de base.

Todos estes consumíveis encontravam-se armazenados numa estufa a uma temperatura de 150 °C; a estufa encontrava-se próximo da zona de trabalho do soldador. Imagens deste equipamento podem ser observadas nas Figuras 18 e 19.



Figura 18: Estufa para armazenamento de consumíveis a 150 °C.



Figura 19: Disposição dos elétrodos e fluxo na estufa.

Nas Figuras 20 e 21 pode ser observado o equipamento *KEMPI Pro 4000* da *Electro-Portugal* utilizado para a soldadura SMAW, assim como uma imagem capturada durante o procedimento.



Figura 20: Equipamento *KEMPI Pro 4000* da *Electro-Portugal*, utilizado na soldadura SMAW.



Figura 21: Procedimento de soldadura por eletrodo revestido.

Nas Figuras 22, 23, 24 e 25 pode observar-se o equipamento *Starmatic 1300 DC Subarc S* da *SAF - La Soudure Autogene Française* utilizado para a soldadura SAW, duas imagens capturadas durante o procedimento e o resultado do passe final de soldadura, respetivamente. Todos os parâmetros ao longo do procedimento de soldadura foram registados, e podem ser analisados no Anexo D.



Figura 22: Equipamento *SAF*, utilizado para a soldadura SAW.



Figura 23: Procedimento SAW, utilizando o equipamento da *SAF*.



Figura 24: Escória produzida durante o procedimento SAW.



Figura 25: Resultado após o passe final, utilizando o procedimento SAW.

A velocidade de avanço para a técnica SMAW foi determinada através da medição do comprimento do cordão de soldadura depositado ao longo de um minuto e, para a técnica SAW, foi registado o valor médio indicado no painel digital da máquina de soldadura, de comprimento 1500 mm.

Para que a qualidade do procedimento realizado fosse avaliada e os requisitos de inspeção da norma cumpridos, foram realizadas inspeções por líquidos penetrantes a ambos os lados do passe de raiz e da soldadura finalizada, utilizando produtos *MarkeR* (penetrante, revelador e removedor), mostrados na Figura 26. Imagens das principais etapas da inspeção por líquidos penetrantes podem ser analisadas nas Figuras 27 a 30.



Figura 26: Produtos *MarkeR* utilizados na inspeção por líquidos penetrantes.



Figura 27: Limpeza da superfície a analisar



Figura 28: Aplicação do penetrante



Figura 29: Aplicação do revelador.

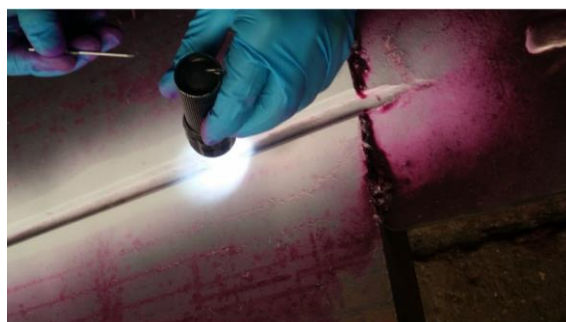


Figura 30: Inspeção do cordão de soldadura.

Completada a soldadura e o ensaio de líquidos penetrantes as chapas 2, 3 e 4 foram submetidas a um tratamento térmico de alívio de tensões (PWSR), cumprindo o estágio mínimo de 1h e 25 min a  $(610 \pm 10) ^\circ\text{C}$ , como especificado na WPS (Anexo D).

O ciclo térmico realizado foi registado recorrendo a um termopar do tipo K e o gráfico obtido pode ser analisado no Anexo D. A disposição das chapas 2, 3 e 4 no forno pode ser observada na Figura 31.



Figura 31: Disposição do material no forno para tratamento de alívio de tensões.

Posteriormente, foi feita uma inspeção por raios-X, utilizando um equipamento YXLON (Figura 32) e películas AGFA, a todas as juntas produzidas. Dado o comprimento das chapas (1500 mm) ser superior ao das películas disponíveis foi necessário dividir cada uma das chapas em 4 secções distintas, para mais facilmente identificar a localização de possíveis defeitos. Por isso, e tendo em conta a nomenclatura utilizada pela empresa, as chapas foram marcadas como mostrado na Figura 33, onde é também apresentado um exemplo de uma película (para a chapa 1, filme 1-2).



Figura 32: Equipamento YXLON utilizado para a inspeção raio X.

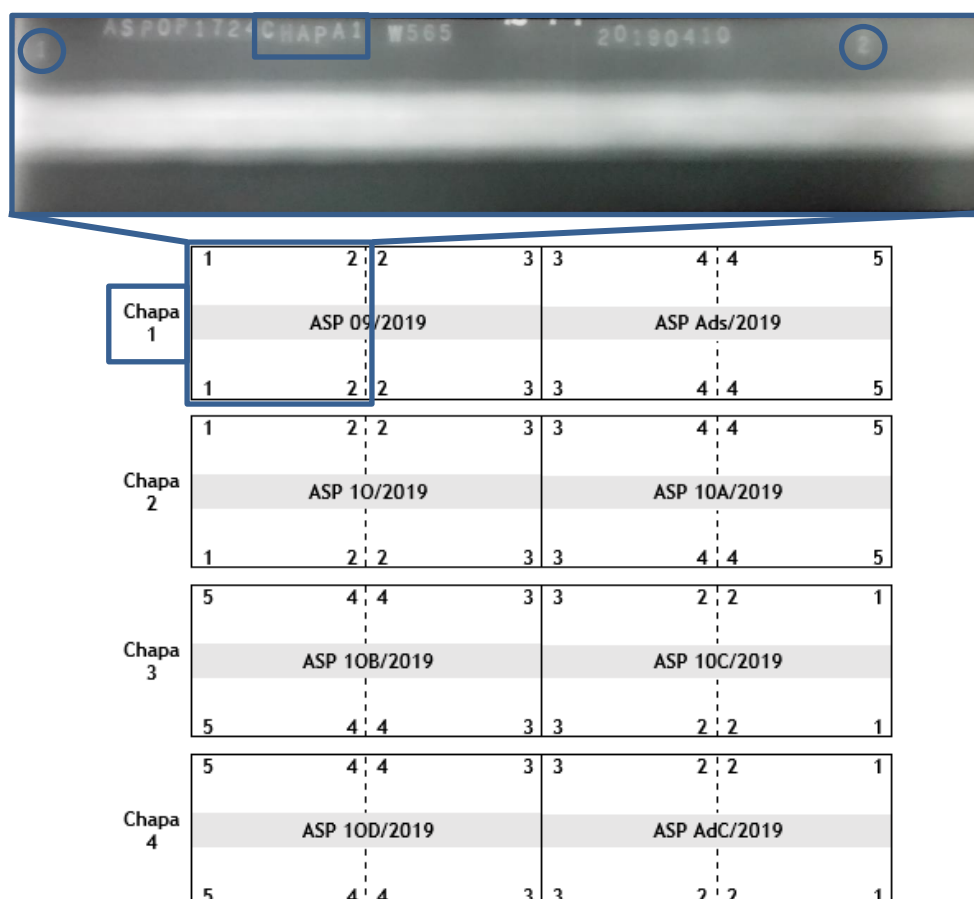


Figura 33: Divisão das chapas em seções para identificação das películas na inspeção por raios-X e exemplo do filme 1-2 da chapa 1.

Finalmente, as chapas foram cortadas a meio para que pudessem ser realizados procedimentos diferentes em cada uma destas secções. Para o corte, utilizou-se o serrote automático devidamente lubrificado, como pode ser observado na Figura 34.



Figura 34: Corte por serrote automático.

A fim de facilitar a nomenclatura utilizada e uma vez que cada uma das quatro chapas inicialmente produzidas foi cortada a meio e parte desse material não foi utilizado para testes, as chapas utilizadas serão denominadas ASP 09, 10, 10A, 10C e 10D, excluindo-se, portanto, as secções para ensaios adicionais. O procedimento para cada uma das chapas pode ser consultado na Tabela 9.

Tabela 9: Lista de procedimentos realizados em cada chapa.

| Ref. ASP | Procedimento                                                                                                                                |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 09       | Produção da junta soldada sem tratamento térmico de alívio de tensões                                                                       |
| 10       | Produção da junta soldada com tratamento térmico de alívio de tensões                                                                       |
| 10A      | Produção da junta soldada com tratamento térmico de alívio de tensões<br>Reparação por <i>Half Temper Bead Welding</i>                      |
| 10C      | Produção da junta soldada com tratamento térmico de alívio de tensões<br>Reparação convencional com tratamento térmico de alívio de tensões |
| 10D      | Produção da junta soldada com tratamento térmico de alívio de tensões<br>Reparação convencional sem tratamento térmico de alívio de tensões |

### 3.2. Soldadura de Reparação

Dado que este estudo foca um procedimento de reparação, realizou-se um desbaste procurando simular as etapas necessárias para a remoção de um defeito detetado. Com recurso a uma rebarbadora, desbastou-se o material das chapas ASP 10A, 10C e 10D de forma a criar uma cavidade com 10 mm de profundidade, respeitando a ASME III que indica que apenas podem ser reparadas por *Temper Bead Welding* cavidades com um terço da espessura do material. Além disso, os 20 mm de largura da cavidade permitiram ainda o cumprimento do limite máximo de área a reparar de 3230 cm<sup>2</sup>. Estas dimensões encontram-se descritas nas WPS desenvolvidas para as reparações, ver Anexos.

O controlo dimensional, isto é, a medição da profundidade e largura da cavidade, foi efetuada com recurso a um paquímetro *Mitutoyo*. Na Figura 35, pode observar-se a etapa de desbaste de uma das chapas e, na Figura 36, uma cavidade finalizada e a utilização do paquímetro para a medição da profundidade.

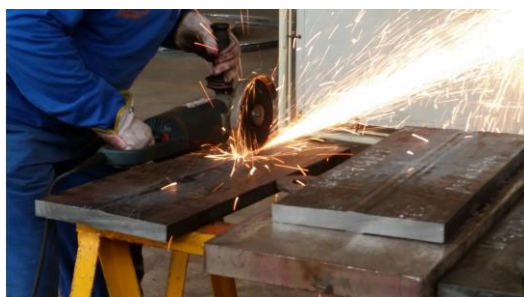


Figura 35: Desbaste da cavidade a reparar com recurso a rebarbadora.



Figura 36: Medição das dimensões da cavidade, com recurso ao paquímetro *Mitutoyo*.

Assim, a etapa de desbaste foi consecutivamente interrompida, medindo-se a largura e profundidade da cavidade e terminada quando o valor de profundidade e largura medidos foram de, aproximadamente, 10 e 20 mm, respetivamente.

Nas chapas ASP 10C e 10D, realizaram-se reparações convencionais, isto é, preencheram-se as cavidades a reparar, procurando-se comparar os resultados nelas obtidos com o *Half Temper Bead Welding*. As WPS utilizadas para estas chapas foram baseadas na WPS da produção das juntas soldadas (Anexo D), sendo a única diferença entre elas a realização de um PWSR.

Assim, recorrendo-se à técnica de SMAW e ao eléctrodo E7018-1, anteriormente utilizado na produção das juntas soldadas, preencheram-se as cavidades das chapas ASP 10C e 10D, com um primeiro passe com eléctrodo de 3,2 mm de diâmetro e 5 passes com eléctrodo de 4,0 mm de diâmetro. A escória formada deve ser removida entre todos os passes realizados, e a temperatura mínima de pré-aquecimento e temperatura máxima de interpasse, de 100 e 300 °C, respetivamente, devem ser respeitadas. Adicionalmente, foram realizados ensaios de líquidos penetrantes nas cavidades a reparar, após remoção do material e no final da reparação. As WPS desenvolvidas, os parâmetros registados durante as reparações e os relatórios de ensaios com líquidos penetrantes (na área a reparar e no final da reparação) para as chapas ASP 10C e ASP 10D podem ser consultados nos Anexos E e F, respetivamente.

Terminada a reparação, a chapa ASP 10C foi submetida a um estágio térmico de aproximadamente 1 hora e 30 minutos, semelhante ao anteriormente realizado no final da produção das juntas soldadas. A chapa ASP 10D não foi submetida a este tratamento térmico considerando-se, por isso, *as-repaired*.

Na chapa ASP 10A, foi realizado um procedimento diferente, o *Half Temper Bead Welding Technique*. A ASP 10B ficou reservada para ensaios adicionais.

Concluído o desbaste da cavidade e a inspeção por líquidos penetrantes da mesma, deu-se início à reparação da chapa ASP 10A. A técnica *Temper Bead Welding* requer requisitos apertados, nomeadamente um pré-aquecimento mínimo da região e uma temperatura máxima de interpasse de 177 e 232 °C, respetivamente, seguindo-se o método 2, disponível no Anexo C. Além disso, é necessária uma elevação da temperatura entre os 230 e os 290 °C, por 2 horas, no final da reparação. Por isso, o procedimento da chapa ASP 10A foi realizado num equipamento desenvolvido pela empresa e que permite ajustar a temperatura da mesma, utilizando um quadro *Schneider Electric* e um mostrador digital de temperatura *Eurotherm*.

O ciclo térmico foi registado com recurso a um termopar e a um registador *Shimaden*, e encontra-se disponível no Anexo G. Os equipamentos referidos podem ser observados nas Figuras 37, 38 e 39. Adicionalmente, utilizou-se um pirómetro que permitiu medir a temperatura de forma mais simples, o que poderá ser útil em reparações *in-situ*.



Figura 37: Aparato utilizado para o aquecimento e controlo da temperatura durante o procedimento de *Half Temper Bead Welding*.



Figura 38: Mostrador digital de temperatura da placa de aquecimento.



Figura 39: Registo da temperatura da chapa, com recurso a registador *Shimaden*.

A reparação da chapa ASP 10A foi realizada utilizando elétrodo E7018-1 H4 fornecidos pela *Electro - Portugal* com 2,5 mm de diâmetro e elétrodo E7018-1 H4R, fornecidos pela *Böhler* (Anexo A), de 3,2 e 4,0 mm de diâmetro, cumprindo o requisito de muito baixo teor em hidrogénio e elevada resistência à humidade. A empresa não dispunha de elétrodo de diâmetro 2,5 mm com a designação H4R.

Inicialmente, foi aplicada uma camada de amanteigamento com elétrodo de 2,5 mm de diâmetro. A escolha de um elétrodo de pequenas dimensões visa uma baixa entrega térmica e por isso uma reduzida zona termicamente afetada. O cálculo dos parâmetros de soldadura para a reparação por *Half Temper Bead Welding* estão disponíveis no Anexo G, e foram selecionados tendo como base o exemplo do Welding Technology Institute of Australia [48].

Para a primeira camada foi necessário realizar 7 passes de soldadura e, para que o procedimento *Half Temper Bead* fosse respeitado, realizou-se de seguida o desbaste de aproximadamente metade da espessura da camada depositada, isto é, aproximadamente 2 mm desbastados dos 4 mm depositados. A profundidade desbastada foi medida com recurso a um paquímetro *Mitutoyo*.

Os parâmetros utilizados na deposição da primeira camada de revenido (segunda camada) foram calculados tendo em vista um aumento de 1,6 vezes da entrega térmica

em relação à primeira camada. Parte da bibliografia indica que o aumento do diâmetro do eletrodo, por si só, resulta no aumento necessário de entrega térmica [48]. Ainda assim, procurou-se respeitar o rácio de 1,3 a 1,8 estabelecido pelo *Welding Technology Institute of Australia* para uma outra variante de *Temper Bead Welding*, a *Controlled Deposition Technique*. Assim, para a primeira camada de revenido foram utilizados eletrodos de 3,25 mm, tendo sido realizados 3 passes de soldadura. Finalizada a deposição, foi novamente realizado um desbaste de aproximadamente 2 mm da metade superior da camada. Para se cumprirem os requisitos da norma foi realizada uma inspeção por líquidos penetrantes no final do desbaste desta camada, o que tornou necessário permitir que a temperatura da região diminuísse até à temperatura ambiente.

Após nova elevação de temperatura, superior à temperatura mínima de pré-aquecimento e inferior à temperatura de interpasse, depositou-se a segunda camada de revenido (terceira camada), com um incremento de 1,4 vezes da entrega térmica, recorrendo-se ao mesmo procedimento, utilizando um eletrodo de 4,0 mm de diâmetro e aos parâmetros de soldadura disponíveis na Tabela 10. Terminado o desbaste de aproximadamente 1 mm desta camada, foi depositada uma quarta camada (em excesso), recorrendo aos parâmetros disponíveis na Tabela 10 e utilizando uma menor entrega térmica (de 0,8 vezes a da camada anterior) seguindo o exemplo disponibilizado pelo *Welding Technology Institute of Australia*, com vista a uma ZTA gerada mais reduzida, visto que esta camada, apesar de parcialmente removida, não terá nenhuma camada posterior que garanta o seu revenido.

Para o cálculo dos parâmetros seguiu-se o seguinte procedimento: o valor de intensidade foi estabelecido tendo em conta a gama de intensidades recomendadas para cada diâmetro de eletrodo (Anexo G e Tabela 7), o valor da entrega térmica foi calculado recorrendo aos rácios estabelecidos pelo *Welding Technology Institute of Australia* (intervalo de 1,3 a 1,8 entre camadas, exceto para a última camada) e o valor de tensão foi determinado com vista à obtenção de uma entrega térmica progressivamente superior.

Recorrendo à equação para o cálculo da entrega térmica (Equação 1), calculou-se a velocidade de avanço da soldadura. Ao optar-se pelos rácios de 1,6 e 1,4, entre a camada em contacto com o material de base e a primeira camada de revenido e entre a primeira e a segunda camada de revenido, respetivamente, procurou-se evitar a proximidade com os extremos do intervalo recomendado. Um quadro resumo dos parâmetros planeados para cada camada pode ser analisado na Tabela 10 e, para uma análise mais detalhada dos cálculos realizados, pode ser consultado o Anexo G.

A nomenclatura utilizada para cada camada é baseada no QW-462.12 da secção IX da norma.

Tabela 10: Parâmetros calculados para *Half Temper Bead Welding* recorrendo ao rácio de entregas térmicas recomendado em [48].

|                          | Camada em contacto com material base | 1ª Camada de Revenido | 2ª Camada de Revenido | Camada em Excesso |
|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| Rácio de Entrega Térmica |                                      | x 1,6                 | x 1,4                 | x 0,8             |
| Entrega Térmica (kJ/mm)  | 0,67 kJ/mm                           | 1,07 kJ/mm            | 1,50 kJ/mm            | 1,20 kJ/mm        |
| Ø Eléctrodo (mm)         | 2,5 mm                               | 3,25 mm               | 4,0 mm                | 4,0 mm            |
| Tensão (V)               | 20,5 V                               | 22,0 V                | 24,0 V                | 22,5 V            |
| Intensidade (A)          | 90 A                                 | 120 A                 | 165 A                 | 160 A             |
| Velocidade (mm/min)      | 165 mm/min                           | 150 mm/min            | 160 mm/min            | 180 mm/min        |

Com este planeamento dos parâmetros, procurava-se controlar a entrega térmica, contudo, a técnica SMAW está sujeita ao manuseamento do soldador, não sendo possível controlar todos os parâmetros como em processos de soldadura automatizados. É de notar que todas as etapas de desbaste e soldadura foram realizadas pelo mesmo soldador. Os parâmetros registados durante o procedimento estão descritos, para todos os passes, no Anexo G, e resumidos na Tabela 11.

Tabela 11: Resumo dos parâmetros registados durante o procedimento de *Half Temper Bead Welding*.

|                                     | Camada em contacto com material base | 1ª Camada de Revenido | 2ª Camada de Revenido | Camada em Excesso |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| Eléctrodo                           | E7018-1 H4                           | E7018-1 H4R           | E7018-1 H4R           | E7018-1 H4R       |
| Ø Eléctrodo (mm)                    | 2,5 mm                               | 3,25 mm               | 4,0 mm                | 4,0 mm            |
| Tensão (V)                          | 21,5 - 24 V                          | 23 - 24 V             | 23,5 - 25 V           | 24 - 25 V         |
| Intensidade (A)                     | 90 A                                 | 120 A                 | 165 A                 | 160 A             |
| Velocidade (mm/min)                 | 150 - 200                            | 140 - 170             | 170 - 180             | 175 - 230         |
| Entrega Térmica (kJ/mm) valor médio | 0,74                                 | 1,10                  | 1,37                  | 1,13              |
| Rácio de Entrega Térmica            |                                      | x 1,48                | x 1,25                | x 0,82            |

Terminada a deposição da última camada, a temperatura foi elevada a 250 °C para a realização do tratamento de *Postweld Hydrogen Bakeout*, por um período de 2 horas. Todo o ciclo térmico realizado pode ser analisado no Anexo G.

Terminado este estágio térmico, removeu-se por desbaste a camada em excesso ficando a região reparada praticamente paralela à superfície do metal de base. No Anexo G, podem ser observadas imagens de cada uma das etapas acima descritas.

Para a inspeção por ensaios não destrutivos recorreu-se ao ensaio por líquidos penetrantes, por raios-X e ultrassons. Estes ensaios foram realizados na reparação e na região adjacente, até uma distância de, pelo menos, 100 mm da reparação cumprindo o requisito da norma. Na Figura 40, pode ser observada uma imagem capturada durante a execução da inspeção por ultrassons, realizada pela empresa *A. Jorge Lima, Lda.*, recorrendo a um equipamento *SIUI SyncScan*.

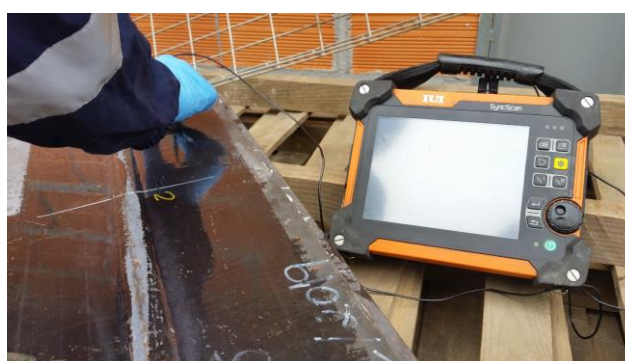


Figura 40: Inspeção por ultrassons.

### **3.3. Preparação de Provetes e Ensaios de Materiais**

Para a realização de ensaios segundo a norma ASME foram inicialmente cortadas secções transversais de cada uma das chapas e, posteriormente, procedeu-se à maquinagem dos provetes por fresagem. O corte foi realizado no serrote automático, seguindo as indicações descritas no Anexo H e a maquinagem dos provetes na fresa (Figura 41).



Figura 41: Maquinagem dos provetes (fresagem).

Para os ensaios das chapas ASP 09 e ASP 10 (juntas soldadas sem reparação), foram extraídos, em cada uma das chapas dois provetes longitudinais cilíndricos, que representam o cordão de soldadura. O diâmetro da zona útil do provete escolhido foi de 6,25 mm, garantindo que apenas o cordão de soldadura era considerado, de acordo com a Figura 4 (SA-370), da Secção II da norma ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* 2017.

Para as trações transversais prismáticas foi extraído, perpendicularmente ao cordão de soldadura, um provete com 20 mm de espessura, de cada uma das regiões e para cada uma das chapas, garantindo a representatividade do cordão de soldadura, da zona termicamente afetada e do metal de base, de acordo com as especificações da Figura 3, SA-370 da secção da norma acima mencionada.

Por consulta da Figura 11, SA-370 da mesma norma, determinou-se que os provetes para o ensaio de Charpy-V teriam uma secção de 10x10 mm, sendo extraídas séries de três provetes do cordão de soldadura, da zona termicamente afetada e do metal de base na metade superior e inferior das chapas.

Para as dobragens laterais foram extraídos quatro provetes com a espessura completa da chapa. Foram assim obtidos provetes com 30 x 10 mm, de acordo com a Figura QW-462.2 da ASME IX.

Os provetes relativos às reparações (ASP 10A, ASP 10C e ASP 10D) foram extraídos de forma semelhante ao acima descrito, com a exceção dos provetes do ensaio de Charpy-V. Para estas chapas, os provetes apresentavam uma espessura de 6,7 mm garantindo a representatividade da reparação (de menor espessura que o cordão de soldadura anteriormente produzido). Os provetes na metade não reparada foram extraídos com dimensões semelhantes aos provetes ASP 09 e ASP 10, isto é, 10 x 10 mm.

Adicionalmente, foram retiradas amostras que após ataque químico com Nital 2%, foram sujeitas à análise metalográfica e a ensaios de dureza Vickers. Além destas, foram também extraídas amostras para análise química na ARSOPI, com recurso a um equipamento *Spectrolab M*.

Os ensaios foram realizados num laboratório certificado do CATIM, para garantir a sua validade e possibilitar a certificação da WPS. Todas as etapas dos ensaios foram acompanhadas.

Os provetes utilizados foram medidos antes dos ensaios terem início, sendo que o controlo dimensional dos provetes para o ensaio de choque consistiu na medição do comprimento, utilizando um paquímetro Mitotoyo, na medição da sua altura e largura, utilizando um micrómetro Mitotoyo (Figura 42), na medição do ângulo do fundo do entalhe, utilizando a um microscópio de medida Mitotoyo (Figura 43) e na medição da altura do entalhe, com recurso ao projetor de perfis Mitotoyo (Figura 44).



Figura 42: Micrómetro para a medição da largura e espessura do provete.



Figura 43: Aparelho Mitutoyo para a medição do raio de curvatura do fundo do entalhe.

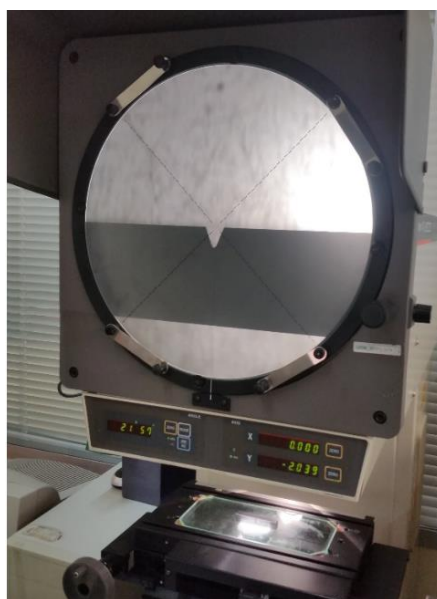


Figura 44: Projetor de perfis Mitutoyo.

Os ensaios de choque (Charpy-V) foram realizados a  $-46^{\circ}\text{C}$ , utilizando um pêndulo *ZwickRoell*. Essa temperatura foi assegurada colocando os provetes em acetona (para remoção de gorduras) e adicionando  $\text{CO}_2$  sólido, recorrendo a um termopar para controlar a temperatura da solução.

Através dos ensaios aos provetes transversais de tração avaliou-se a tensão de rotura, a resistência máxima do patamar de cedência e a localização da rotura no provete. Nestes provetes foi medida a altura e largura da secção do provete, com recurso ao paquímetro *Mitutoyo*.

Nas trações a provetes longitudinais, acoplou-se um extensómetro que permitiu acompanhar o alongamento do provete e registar a curva de tração durante o ensaio. Além do diâmetro inicial, foi também medido o comprimento da zona útil do provete utilizando o mesmo paquímetro; uma medição do comprimento após ensaio permitiu aferir o seu alongamento.

As Figuras 45, 46 e 47 mostram o equipamento *INSTRON 600LX* utilizado para a tração dos provetes transversais, o equipamento *INSTRON 5500R* utilizado para a tração dos provetes longitudinais e o extensómetro *INSTRON* acoplado ao provete, respetivamente.



Figura 45: Máquina de tração para provetes transversais prismáticos.



Figura 46: Máquina de tração para provetes longitudinais cilíndricos.



Figura 47: Extensómetro acoplado aos provetes de tração longitudinal.

Os ensaios de dobragem lateral foram realizados analisando-se visualmente o aparecimento de defeitos ao longo dos provetes, após a dobragem. O controlo dimensional realizado aos provetes para o ensaio de dobragem consistiu na medição da largura, da espessura e do comprimento dos provetes, com recurso ao paquímetro *Mitotoyo*.

O equipamento utilizado para a introdução deste ensaio pode ser analisado na Figura 48.



Figura 48: Equipamento utilizado para o ensaio de dobragem lateral (CATIM).

## **4. Apresentação e Discussão dos Resultados**

Os resultados das chapas ASP 09 e ASP 10 e das chapas ASP 10A, ASP 10C e ASP 10D serão de seguida apresentados e discutidos separadamente, para facilitar o estudo da necessidade de tratamento térmico de alívio de tensões após a soldadura do aço ASME SA516Gr60 e a necessidade de tratamento térmico de alívio de tensões após reparação das juntas soldadas do mesmo aço.

Recomenda-se a consulta da ficha de produto do aço ASME SA516Gr60 disponível no Anexo B. Nesse documento, podem analisar-se os resultados do ensaio de Charpy-V realizados pelo fornecedor e aferir que, apesar de cumprir os requisitos para o material ( $\geq 27$  J), existe uma gama de valores (que variam entre os 30 e os 136 J). Percebe-se, assim, que não deverá existir homogeneidade de propriedades mecânicas ao longo do material.

### **4.1. Ensaaios Não Destrutivos**

As inspeções por líquidos penetrantes foram realizadas nos dois lados do passe de raiz e da junta soldada finalizada, e nas reparações foi inspecionada a cavidade a reparar, a segunda camada de revenido e a reparação finalizada, até uma distância de pelo menos 100 mm da reparação. Foram ainda realizadas inspeções por raios-X nas juntas soldadas e nas reparações e adicionalmente, ultrassons a todas as reparações até uma distância de pelo menos 100 mm da reparação.

Ao longo do procedimento experimental realizaram-se 25 ensaios por líquidos penetrantes, foram utilizadas 22 películas para raios-X e efetuadas 3 inspeções por ultrassons; todos os ensaios realizados foram considerados aceites, não sendo detetados defeitos, como pode ser consultado nos anexos referentes a cada um dos procedimentos mencionados.

### **4.2. Análise Micro e Macroestrutural**

A visualização da microestrutura do material de base permitiu conferir que este é composto por uma matriz ferrítica (fase clara) e perlite (fase escura), visível na Figura 49, como era esperado, por comparação com a bibliografia disponível [22, 38, 42-45]. Na mesma Figura, é também possível perceber a direção de laminagem das chapas, dada a orientação dos seus constituintes.

Adicionalmente, foi capturada uma imagem do material de base sem ataque químico (Figura 50) que permitiu detetar alguns pontos escuros na sua estrutura. Estes poderão ser inclusões ou poros (no casos de geometrias arredondadas), sendo necessária uma análise de microscopia eletrónica de varrimento para a sua identificação.

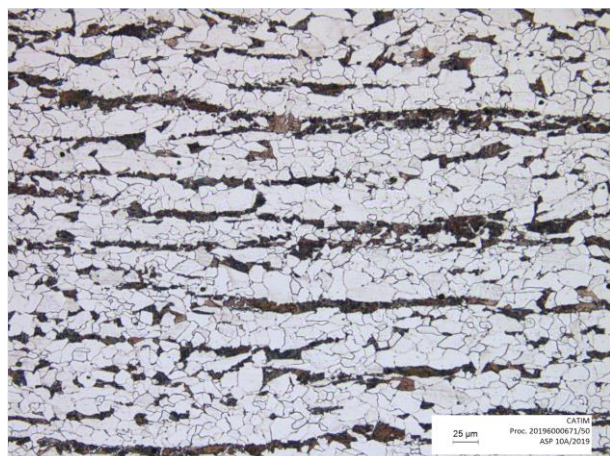


Figura 49: Microestrutura do material de base (ASME SA516Gr60): ferrite (fase clara) e perlite (fase escura).

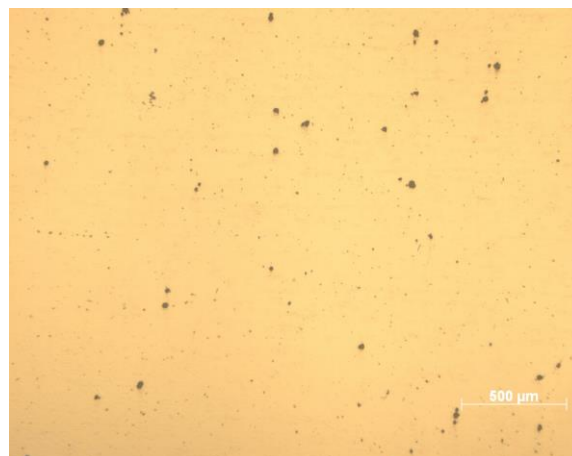


Figura 50: Microestrutura do material de base sem ataque químico.

Na Figura 51, pode ser analisada a microestrutura do cordão de soldada e da zona termicamente afetada para a amostra ASP 10A. No cordão de soldadura (região à esquerda na imagem), é evidente que a solidificação direcionada ocorreu da periferia para o centro do cordão de soldadura. Nesta região é esperada, segundo a bibliografia disponível, ferrite acicular (a claro) e perlite (a escuro) [51].

Na zona termicamente afetada (região à direita na Figura 51) é evidente que, junto à interface com o cordão de soldadura, o tamanho de grão aparenta maiores dimensões e, à medida que a distância à interface aumenta, ocorre um afinamento da estrutura.

É ainda de notar que tanto no cordão de soldadura como na zona termicamente afetada surgem pontos escuros que, mais uma vez, poderão ser inclusões, mas seriam necessárias análises de microscopia eletrónica de varrimento para uma melhor caracterização.

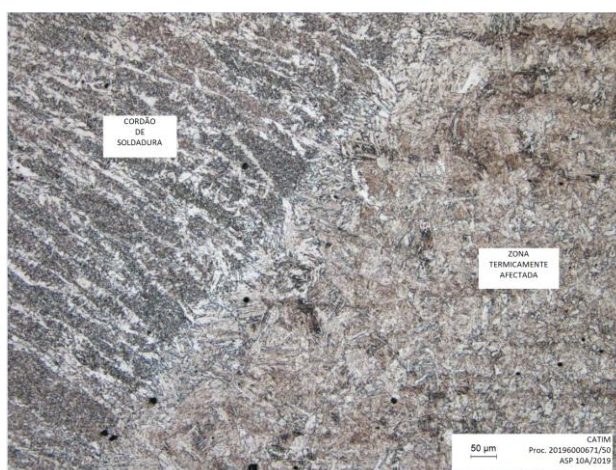


Figura 51: Microestrutura da zona termicamente afetada e cordão de soldadura.

Foram também recolhidas imagens à lupa das juntas soldadas produzidas e das reparações realizadas.

Na Figura 52, referente à amostra ASP 10 e semelhante à amostra ASP 09, podem observar-se os passes de soldadura realizados na produção das juntas soldadas. Para facilitar o estudo realizado, dividiu-se a espessura da amostra em duas regiões (região 1 e região 2), nas quais foram realizados passes com parâmetros ligeiramente diferentes, como pode ser constatado no Anexo E. Assim, a região 1 é composta por passes SMAW e SAW e a região 2 apenas por passes SAW.



Figura 52: Macrografia da amostra ASP 10.

Para que as reparações fossem realizadas em condições semelhantes, decidiu-se que a sua realização seria executada na região 1 das chapas. Assim, como pode ser constatado na Figura 53 para a amostra reparada por *Half Temper Bead Welding* e na Figura 54, para amostra ASP 10C (semelhante ASP 10D, uma vez que são distinguidas apenas pela realização de PWSR após a reparação), as reparações foram realizadas na região 1 da chapa.

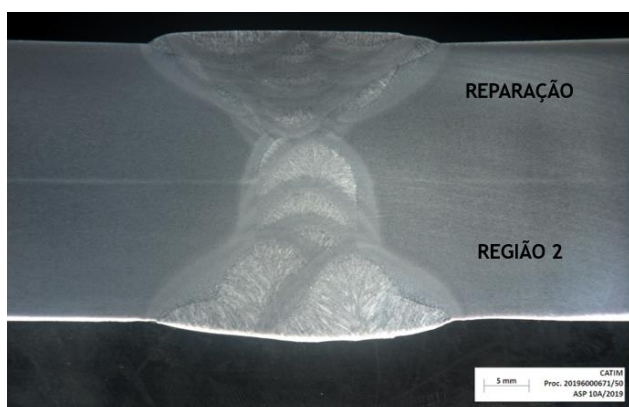


Figura 53: Macrografia da junta soldada (ASP 10A).

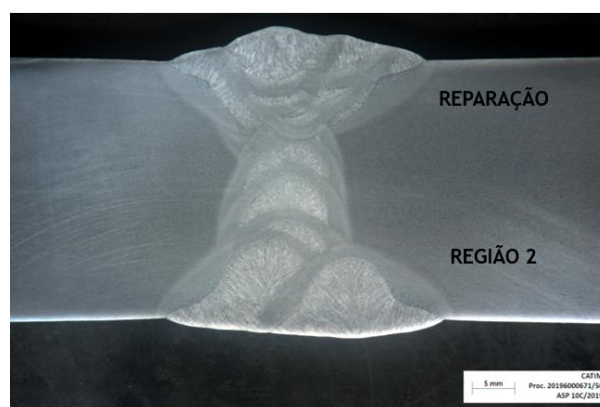


Figura 54: Macrografia da junta soldada (ASP 10C).

### 4.3. Análise Química

O resultado da análise química realizada no material de base pode ser analisado na Tabela 12. Pode entender-se que os valores obtidos cumprem com os requisitos da secção

II da norma ASME *Boiler and Pressure Vessel Code*, anteriormente enunciados na Tabela 1. Adicionalmente, pode dizer-se que estes valores se encontram muito próximos dos valores apresentados na ficha de produto (Anexo B).

Tabela 12: Resultados da análise química ao material de base (%).

| C     | Si    | Mn    | P     | S     | Cr     | Ni       |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
| 0,146 | 0,185 | 1,121 | 0,013 | 0,007 | 0,0300 | 0,099    |
| Mo    | Cu    | Nb    | Al    | Ti    | V      | Fe       |
| 0,008 | 0,021 | 0,019 | 0,027 | 0,003 | 0,013  | Restante |

Além da análise química realizada ao material de base, foram também executadas medições no cordão de soldadura de cada uma das condições descritas. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13: Resultados da análise química no cordão de soldadura (%).

| Ref     | C     | Si    | Mn    | P     | S     | Cu    | Fe       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| ASP 09  | 0,059 | 0,318 | 1,185 | 0,010 | 0,004 | 0,046 | Restante |
| ASP 10  | 0,067 | 0,299 | 1,164 | 0,010 | 0,004 | 0,047 | Restante |
| ASP 10A | 0,076 | 0,351 | 1,170 | 0,011 | 0,003 | 0,047 | Restante |
| ASP 10C | 0,068 | 0,450 | 1,195 | 0,010 | 0,003 | 0,039 | Restante |
| ASP 10D | 0,083 | 0,310 | 1,131 | 0,011 | 0,003 | 0,039 | Restante |

Com estas análises percebe-se que as composições químicas dos cordões de soldadura são semelhantes, apresentando variações pouco significativas. Os valores obtidos localizam-se na gama aceitável, sendo importante realçar que, os teores máximos de fósforo (P) e enxofre (S), de 0,015 % e 0,020 %, respetivamente, estabelecidos nos requisitos do Anexo A, são cumpridos em todas as condições.

O relatório referente às análises químicas realizadas emitido pela empresa pode ser consultado no Anexo I.

#### 4.4. Ensaios de Tração

Os ensaios de tração certificados foram realizados em provetes prismáticos transversais, determinando apenas a tensão de rotura e a sua localização e em provetes cilíndricos longitudinais do cordão de soldadura, com registo da curva de tração, da tensão máxima no patamar de cedência, da tensão de rotura e do alongamento dos provetes.

#### 4.4.1. Provete Transversais

Os resultados dos ensaios de tração realizados nos provetes transversais ao cordão de soldadura podem ser analisados na Tabela 14. Percebe-se que os provetes de ambas as condições (soldadura por SMAW e SAW sem e com tratamento térmico de alívio de tensões, chapas ASP 09 e ASP 10, respetivamente) cumprem os requisitos de resistência mecânica, que não poderá ser inferior a 415 MPa, valor mínimo especificado para o material e base.

Tabela 14: Quadro resumo dos resultados obtidos nos ensaios de tração para provetes transversais (ASP 09 a ASP10).

| Referência                     | ASP 09   |     |          |     | ASP 10   |     |          |     |
|--------------------------------|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|
| Proвете                        | Região 1 |     | Região 2 |     | Região 1 |     | Região 2 |     |
|                                | 1        | 2   | 3        | 4   | 1        | 2   | 3        | 4   |
| $R_m$ (MPa)                    | 509      | 506 | 505      | 507 | 491      | 491 | 492      | 489 |
| $R_m$ Média (MPa) <sup>1</sup> | 507 ± 2  |     |          |     | 491 ± 1  |     |          |     |

<sup>1</sup> O valor apresentado corresponde a: (Valor Médio ± Desvio Padrão).

Regista-se um ligeiro decréscimo da tensão de rotura após o tratamento térmico de aproximadamente 16 MPa, indicador de que a ASP 09 deverá apresentar valores de resistência mecânica superiores à ASP 10 em diversas propriedades mecânicas.

Os resultados dos ensaios realizados aos provetes extraídos das chapas sujeitas a reparação (ASP 10A, ASP 10C e ASP 10D) podem ser analisados na Tabela 15.

Tabela 15: Quadro resumo dos resultados obtidos nos ensaios de tração para provetes transversais (ASP 10A, ASP 10C e ASP 10D).

| Ref.                           | ASP 10A   |     |          |     | ASP 10C   |     |          |     | ASP 10D   |     |          |     |
|--------------------------------|-----------|-----|----------|-----|-----------|-----|----------|-----|-----------|-----|----------|-----|
| Proвете                        | Reparação |     | Região 2 |     | Reparação |     | Região 2 |     | Reparação |     | Região 2 |     |
| $R_m$ (MPa)                    | 494       | 494 | 493      | 492 | 489       | 487 | 489      | 490 | 498       | 499 | 494      | 496 |
| $R_m$ Média (MPa) <sup>1</sup> | 493 ± 1   |     |          |     | 489 ± 1   |     |          |     | 497 ± 2   |     |          |     |

<sup>1</sup> O valor apresentado corresponde a: (Valor Médio ± Desvio Padrão).

Por análise destes resultados pode aferir-se que os valores de tensão de rotura nos provetes ASP 10A e ASP 10C são muito semelhantes aos valores registados na ASP 10, procedimento de soldadura certificado pela empresa, podendo assim dizer-se que, tendo em conta apenas estes resultados, seria possível a certificação do procedimento de *Half Temper Bead Welding*. O valor da tensão de rotura obtido nos provetes ASP 10D foi ligeiramente superior, mas trata-se de uma diferença pouco significativa.

Adicionalmente, como pode ser constatado por consulta das Tabelas 14 e 15, não é registada uma diferença significativa em termos de tensão de rotura entre as diferentes regiões das juntas soldadas produzidas e das reparações realizadas,

Com este ensaio verificou-se também que todos os provetes fraturaram no material de base, fora da zona termicamente afetada e do cordão de soldadura, cumprindo por isso os requisitos de tração. Na Figura 55, podem observar-se os provetes após a realização do ensaio.

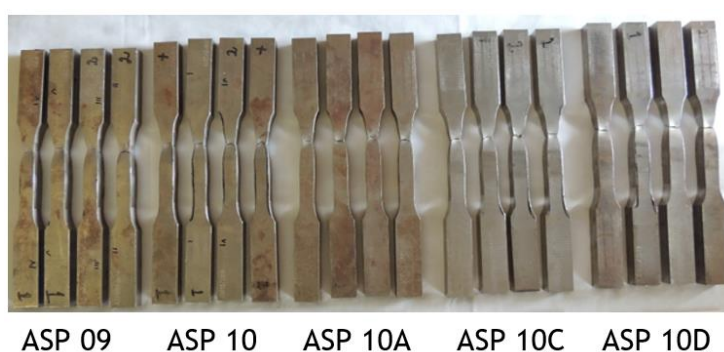


Figura 55: Provetes prismáticos transversais após a realização do ensaio de tração.

É também de destacar que alguns destes provetes apresentaram uma fissura paralela à direção em que a força de tração foi aplicada, que poderá ter surgido devido ao campo de tensões criado em torno de inclusões [85]. Na Figura 56 pode analisar-se uma destas fissuras.



Figura 56: Localização da fissura paralela à direção de tração.

#### **4.4.2. Provetes Longitudinais**

No ensaio de tração dos provetes cilíndricos a utilização do extensómetro permitiu a obtenção das curvas de tração.

À semelhança dos provetes transversais, a tensão de rotura do cordão de soldadura dos provetes ASP 09 (549 e 559 MPa) foi superior à dos ASP 10 (521 e 516 MPa). Pode então concluir-se que o tratamento térmico provocou uma diminuição da tensão de rotura na ASP 10, estando todos os valores obtidos acima do limite mínimo definido para o material de base (415 MPa). Em contrapartida, o alongamento registado para a ASP 09 (32,8 %) foi inferior ao da ASP 10 (37,2 %), ambos superiores ao limite mínimo e o módulo de elasticidade da ASP 09 (206 GPa) foi muito semelhante ao obtido para a ASP 10 (209 GPa).

É importante referir que os gráficos das Figuras 57 e 58 não permitem a determinação do alongamento dos provetes, uma vez que o extensómetro é retirado antes da sua rotura. O alongamento é, por isso determinado recorrendo à medição do comprimento do provete após a rotura. Nas Figuras 57 e 58 são apresentadas as curvas de tração e uma ampliação da zona do patamar de cedência, respetivamente.

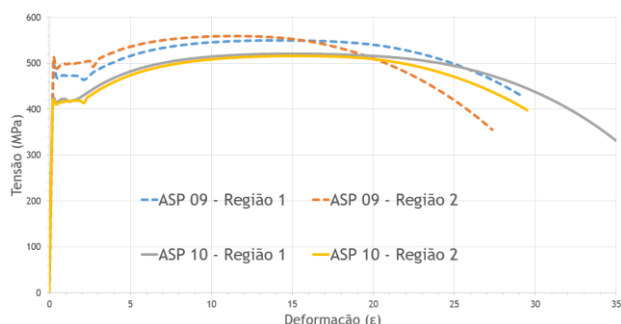


Figura 57: Curvas de tração dos provetes ASP 09 (tracejado) e ASP 10 (linha contínua).

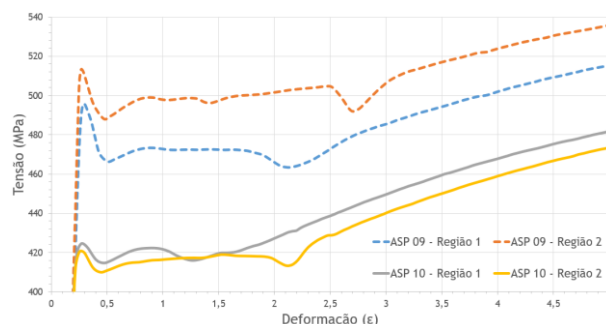


Figura 58: Ampliação da região do patamar de cedência nas curvas de tração dos provetes ASP 09 (tracejado) e ASP 10 (linha contínua).

Dada a existência de um patamar de cedência, não se determinou o  $R_{p0,2}$  mas sim o  $R_{eH}$ , valor de tensão de cedência superior. A ASP 09 atingiu uma  $R_{eH}$  média de 505 MPa e a ASP 10 um valor consideravelmente inferior, de 423 MPa.

O resumo dos resultados obtidos em cada ensaio pode ser consultado na Tabela 16.

Tabela 16: Resultados obtidos nos ensaios de tração para provetes longitudinais (ASP 09 e ASP 10).

| Referência |                       | E (GPa) <sup>(1)</sup> | $R_{eH}$ (MPa) | $R_m$ (MPa) | A (%)      |
|------------|-----------------------|------------------------|----------------|-------------|------------|
| ASP 09     | Região 1              | 198                    | 496            | 549         | 35,2       |
|            | Região 2              | 213                    | 513            | 559         | 31,2       |
|            | ASP 09 <sup>(2)</sup> | 206 ± 11               | 505 ± 9        | 554 ± 5     | 33,2 ± 2,0 |
| ASP 10     | Região 1              | 211                    | 425            | 521         | 38,8       |
|            | Região 2              | 206                    | 421            | 516         | 36,0       |
|            | ASP 10 <sup>(2)</sup> | 209 ± 4                | 423 ± 2        | 519 ± 3     | 37,4 ± 1,4 |

**Notas:**

<sup>(1)</sup> Módulo de elasticidade: determinado através do declive da reta, calculado após a escolha de um ponto no regime elástico da mesma. Os cálculos podem ser consultados no Anexo I.

<sup>(2)</sup> O valor apresentado corresponde a: (Valor Médio ± Desvio Padrão).

As trações dos provetes longitudinais às reparações foram realizadas utilizando o mesmo equipamento. Os valores obtidos para os provetes ASP 10A, apresentaram um valor médio de tensão de rotura de 515 MPa, inferior aos 522 MPa obtidos para a reparação convencional com tratamento térmico de alívio de tensões e aos 542 MPa obtidos para a

reparação convencional sem tratamento térmico de alívio de tensões estando, uma vez mais, todos os valores acima do limite mínimo para o material de base.

Da mesma forma, o valor de  $R_{eH}$  máximo foi atingido na ASP 10D (462 MPa), maior que os valores obtidos para a ASP 10A (423 MPa) e a ASP 10C (437 MPa). O valor máximo de alongamento foi registado para a ASP 10A (40,2%), superior aos valores obtidos para os provetes ASP 10C (35,6%) e ASP 10D (33,8%).

As curvas de tração dos provetes ASP 10A e uma ampliação dos patamares de cedência podem ser analisadas nas Figuras 59 e 60 e o resumo dos resultados obtidos em cada ensaio pode ser consultado na Tabela 17.

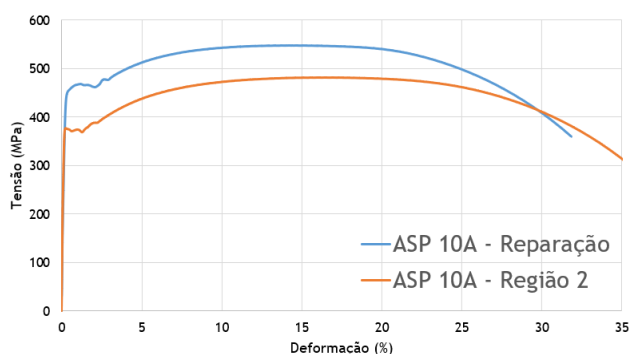


Figura 59: Curvas de tração dos provetes ASP 10A.

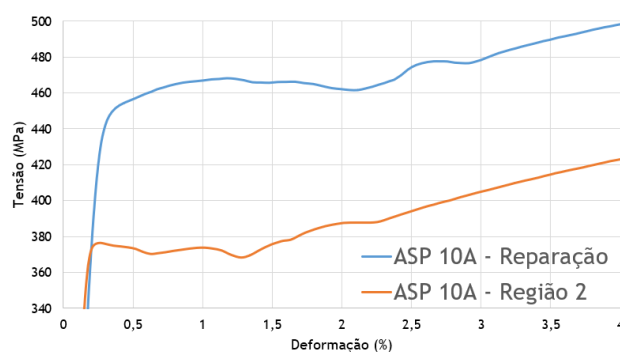


Figura 60: Ampliação da região do patamar de cedência nas curvas de tração dos provetes ASP 10A.

Tabela 17: Resultados obtidos nos ensaios de tração para provetes longitudinais das chapas reparadas.

| Referência |                        | E (GPa) <sup>(1)</sup> | $R_{eH}$ (MPa) | $R_m$ (MPa) | A (%)      |
|------------|------------------------|------------------------|----------------|-------------|------------|
| ASP 10A    | Reparação              | 189                    | 468            | 548         | 38,0       |
|            | Região 2               | 215                    | 377            | 481         | 42,4       |
|            | ASP 10A <sup>(2)</sup> | 202 ± 18               | 423 ± 64       | 515 ± 47    | 40,2 ± 3,1 |
| ASP 10C    | Reparação              | 181                    | 401            | 498         | 36,8       |
|            | Região 2               | 204                    | 473            | 545         | 34,4       |
|            | ASP 10C <sup>(2)</sup> | 193 ± 16               | 437 ± 51       | 522 ± 33    | 35,6 ± 1,7 |
| ASP 10D    | Reparação              | 169                    | 419            | 524         | 35,2       |
|            | Região 2               | 236                    | 504            | 559         | 32,4       |
|            | ASP 10D <sup>(2)</sup> | 202 ± 48               | 462 ± 60       | 542 ± 25    | 33,8 ± 2,0 |

**Notas:**

<sup>(1)</sup> Módulo de elasticidade: determinado através do declive da reta, calculado após a escolha de um ponto no regime elástico da mesma. Os cálculos podem ser consultados no Anexo I.

<sup>(2)</sup> O valor apresentado corresponde a: (Valor Médio ± Desvio Padrão).

A análise dos resultados anteriores permite afirmar que nenhum dos resultados obtidos durante a realização dos ensaios de tração impediria a certificação dos procedimentos realizados em qualquer uma das condições.

## 4.5. Ensaios de Dureza

Os ensaios de dureza são, como mencionado anteriormente, um dos principais resultados a ter em conta no caso em estudo, dado que refletem a existência de tensões residuais e ou de uma microestrutura suscetível à fissuração, que poderá potenciar a falha do equipamento.

Nas chapas ASP 09 e ASP 10 foram realizadas três filiações de dureza. As localizações das indentações podem ser analisadas na Figura 61.

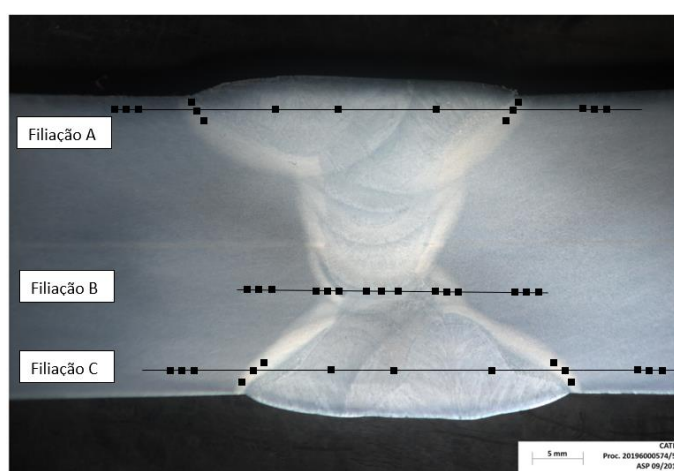


Figura 61: Filiações de dureza realizadas nas amostras ASP 09 e ASP 10.

Os valores médios das durezas determinados em cada uma das regiões e para cada uma das filiações realizadas nas amostras ASP 09 e ASP 10 podem ser observados na Tabela 18.

Tabela 18: Valores médios de dureza Vickers (HV 10).

| Ref.   | Filiação | MB      | ZTA      | CS      | ZTA      | MB      |
|--------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| ASP 09 | A        | 153 ± 2 | 233 ± 7  | 189 ± 4 | 227 ± 5  | 150 ± 2 |
|        | B        | 151 ± 4 | 207 ± 28 | 200 ± 7 | 190 ± 11 | 148 ± 2 |
|        | C        | 144 ± 2 | 239 ± 12 | 193 ± 3 | 225 ± 26 | 148 ± 3 |
| ASP 10 | A        | 140 ± 2 | 211 ± 2  | 170 ± 6 | 203 ± 3  | 141 ± 2 |
|        | B        | 139 ± 2 | 186 ± 32 | 173 ± 3 | 180 ± 31 | 140 ± 2 |
|        | C        | 138 ± 1 | 219 ± 14 | 181 ± 5 | 201 ± 19 | 138 ± 1 |

Os valores obtidos encontram-se na gama aceitável, ou seja, dureza inferior a 248 HV no metal de base e na zona termicamente afetada e 200 HV na zona de fusão. É contudo notório que a ASP 09 apresenta valores muito próximos do limite máximo e que duas das indentações realizadas no cordão de soldadura excediam esse limite. Tal motivo justifica a necessidade de tratamento térmico de alívio de tensões após a soldadura. Acrescenta-se ainda que pequenas variações nos parâmetros de soldadura ou em fatores como a temperatura ambiente (que influencia o arrefecimento da poça de fusão), poderiam levar a um aumento de dureza.

Nas Figuras 62 e 63, encontram-se gráficos com os perfis de dureza assim como o valor máximo aceitável para cada uma das regiões. O eixo horizontal nestes gráficos não pretende indicar as espessuras de cada uma das regiões das juntas soldadas, mas apenas em que região foi realizada cada uma das indentações.

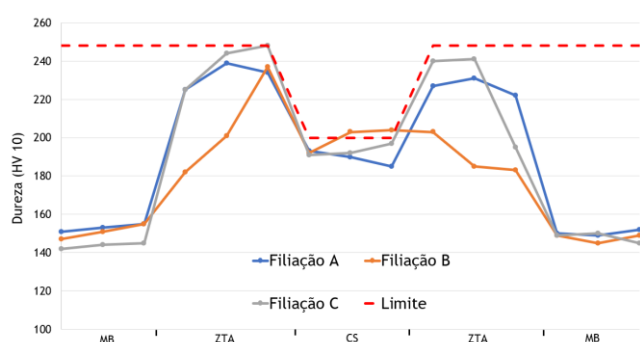


Figura 62: Perfis de dureza realizados na ASP 09.

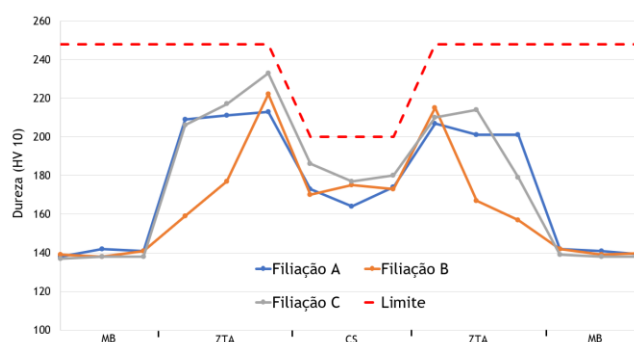


Figura 63: Perfis de dureza realizados na ASP 10.

A listagem das durezas medidas em cada uma das indentações pode ser analisada no Anexo I.

Adicionalmente, as filiações de dureza realizadas nas amostras ASP 10A (Figura 64), ASP 10C (Figura 65) e ASP 10D (semelhante à Figura 65) permitiram avaliar a necessidade e eficácia do tratamento térmico de alívio de tensões após a realização das reparações.

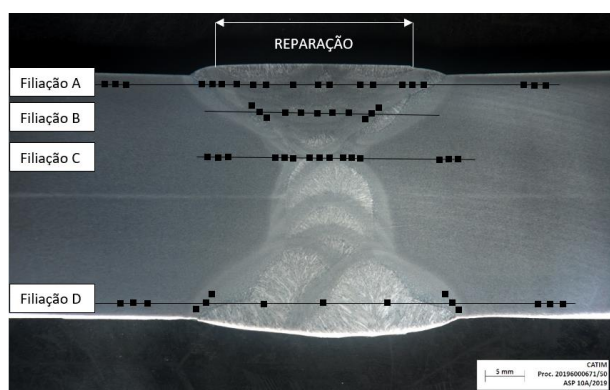


Figura 64: Filiações de dureza realizadas na amostra ASP 10A.

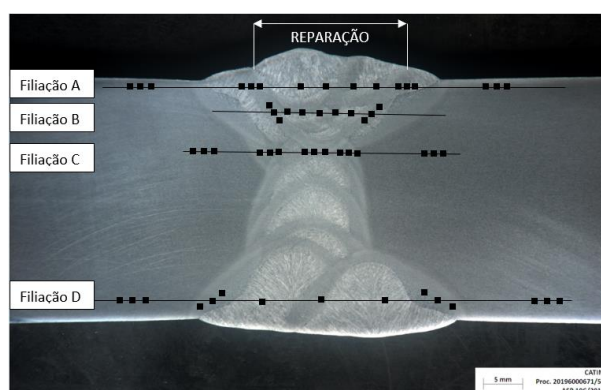


Figura 65: Filiações de dureza realizadas na amostra ASP 10C.

É evidente, por análise dos perfis de dureza apresentados nas Figuras 66 e 67, que os valores de dureza atingidos na amostra ASP 10C se encontram abaixo do limite máximo de dureza e que a mesma reparação sem realização do tratamento térmico apresenta valores mais elevados, que excedem o limite máximo de dureza no cordão de soldadura.

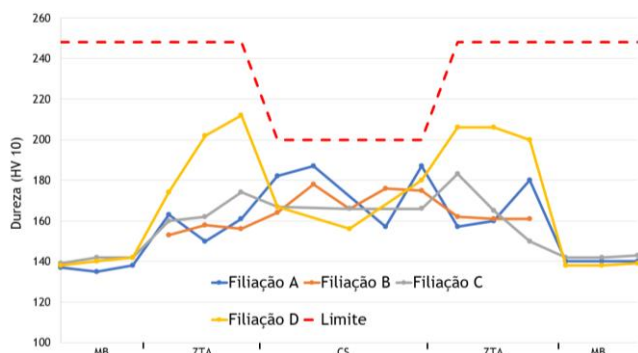


Figura 66: Perfis de durezas realizados na ASP 10C.

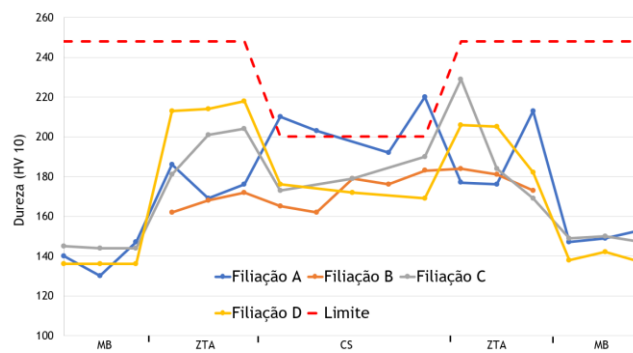


Figura 67: Perfis de dureza realizados na ASP 10D.

Assim, não seria possível satisfazer os requisitos do cliente relativamente aos valores de dureza sem a realização do PWSR após a reparação convencional.

Por outro lado, a utilização de *Half Temper Bead Welding* permitiu que, sem a realização do tratamento térmico de alívio de tensões, fossem atingidos valores de dureza inferiores ao limite máximo de dureza. De facto, cumpriram-se os requisitos desta propriedade mecânica e, por análise do gráfico da Figura 68, pode aferir-se que o alívio de tensões obtido pela deposição de sucessivas camadas com entrega térmica controlada permitiu que, em todas as filiações, fossem atingidas durezas inferiores ao limite máximo permitido.

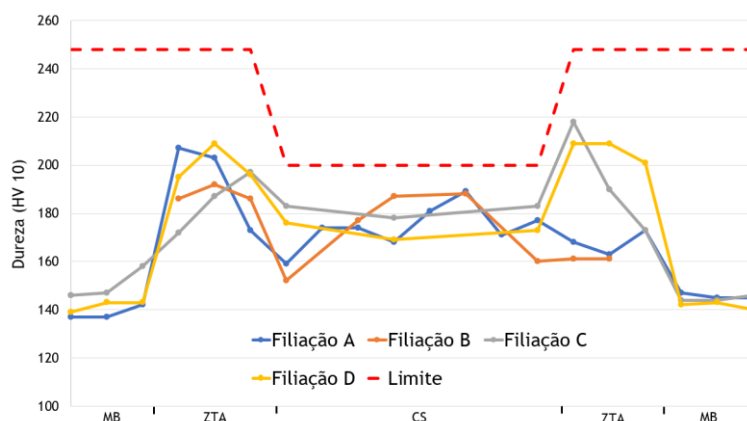


Figura 68: Perfis de dureza realizados na ASP 10A.

O valor máximo de dureza obtido na zona termicamente afetada da amostra ASP 10A foi de 218 HV 10, valor inferior ao limite máximo para esta região (248 HV). Quanto aos valores de dureza no cordão de soldadura, o valor máximo atingido foi de 188 HV 10, inferior ao limite de 200 HV.

Assim, tendo em conta as indentações realizadas nas amostras onde foram realizadas as reparações, pode aferir-se que as amostras ASP 10A e ASP 10C poderiam ser

certificadas, ao contrário da ASP 10D, que apresenta valores que impossibilitariam a sua certificação.

## 4.6. Ensaio de Dobragem

As quatro dobragens laterais realizadas em provetes das chapas ASP 09 e ASP 10 foram macroscopicamente observadas, registando-se que as partes convexa e laterais do provete não revelaram fissuras em nenhum dos ensaios.

À semelhança destes provetes, as dobragens realizadas nos provetes extraídos das chapas ASP 10A, ASP 10C e ASP 10D, também não evidenciaram qualquer fissura macroscópica após a realização do ensaio.

Assim, pode dizer-se que todas as chapas foram consideradas aceites no ensaio de dobragem.

## 4.7. Ensaio de Charpy

Os ensaios de choque (Charpy-V) foram realizados a  $-46^{\circ}\text{C}$  e permitiram aferir se as diferentes condições permitiriam satisfazer a resistência ao impacto, quer do metal de base, quer do cordão de soldadura e da zona termicamente afetada.

Os provetes ASP 09 e ASP 10 apresentaram, na sua totalidade valores de energia absorvida superiores ao limite mínimo, registando-se o valor mínimo de 35 J no metal de base da ASP 10.

O quadro resumo dos valores registados para os provetes ASP 09 e ASP 10 encontra-se disponível na Tabela 19.

Tabela 19: Resultados do ensaio de Charpy-V às juntas soldadas produzidas.

| Ref.   | Energia Absorvida <sup>(1)</sup> (J) |              |                           |              |               |             |
|--------|--------------------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------|-------------|
|        | Cordão de Soldadura                  |              | Zona Termicamente Afetada |              | Metal de Base |             |
|        | Região 1                             | Região 2     | Região 1                  | Região 2     | Região 1      | Região 2    |
| ASP 09 | $80 \pm 21$                          | $58 \pm 27$  | $136 \pm 47$              | $136 \pm 44$ | $118 \pm 18$  | $117 \pm 4$ |
|        | $69 \pm 24$                          |              | $136 \pm 40$              |              | $117 \pm 12$  |             |
| ASP 10 | $153 \pm 48$                         | $137 \pm 16$ | $95 \pm 48$               | $159 \pm 6$  | $100 \pm 18$  | $41 \pm 9$  |
|        | $145 \pm 33$                         |              | $127 \pm 46$              |              | $71 \pm 35$   |             |

Nota:

<sup>(1)</sup> O valor apresentado corresponde a: (Valor Médio  $\pm$  Desvio Padrão).

É de salientar que os desvios padrão calculados apresentam valores muito elevados, o que significa que houve uma elevada dispersão de resultados. Essa dispersão poderá

estar relacionada com a presença de possíveis inclusões, detetadas na análise microestrutural.

Deve ainda ter-se em consideração que, como se encontra descrito na ficha de produto do material de base disponível no Anexo B, este já apresentava uma dispersão de valores muito acentuada nos resultados do ensaio de impacto.

Também nas reparações, nenhum provete apresentou valores de resistência ao impacto inferiores ao exigido, registando o valor mínimo de 45 J no cordão de soldadura da região 2 dos provetes ASP 10A.

Os desvios-padrão dos resultados do ensaio de Charpy-V nas reparações apresentaram também valores muito elevados, o que indica a já mencionada pouca homogeneidade de propriedades mecânicas ao longo do cordão de soldadura, da zona termicamente afetada e do material de base, como pode ser consultado na Tabela 20.

Contudo, e uma vez que todos os valores se encontram acima do mínimo exigido para o aço ASME SA516Gr60, todas as condições seriam aprovadas, tendo em conta os ensaios de impacto.

Tabela 20: Resultados do ensaio de Charpy-V às reparações realizadas.

| Ref.    | Energia Absorvida (J) |          |                           |          |               |          |
|---------|-----------------------|----------|---------------------------|----------|---------------|----------|
|         | Cordão de Soldadura   |          | Zona Termicamente Afetada |          | Metal de Base |          |
|         | Reparação             | Região 2 | Reparação                 | Região 2 | Reparação     | Região 2 |
| ASP 10A | 107 ± 5               | 114 ± 80 | 118 ± 61                  | 89 ± 46  | 72 ± 6        | 101 ± 22 |
|         | 111 ± 51              |          | 103 ± 51                  |          | 86 ± 21       |          |
| ASP 10C | 104 ± 24              | 158 ± 26 | 88 ± 54                   | 171 ± 14 | 104 ± 7       | 73 ± 10  |
|         | 131 ± 37              |          | 129 ± 57                  |          | 89 ± 19       |          |
| ASP 10D | 119 ± 3               | 161 ± 21 | 82 ± 8                    | 133 ± 57 | 71 ± 9        | 105 ± 15 |
|         | 140 ± 27              |          | 107 ± 46                  |          | 88 ± 22       |          |

Nota:

<sup>(1)</sup> O valor apresentado corresponde a: (Valor Médio ± Desvio Padrão).

## Conclusões

Na presente dissertação pretendia-se avaliar a possibilidade de realizar reparações de juntas soldadas sem que para isso fosse necessário um tratamento térmico de alívio de tensões.

Foram produzidas juntas soldadas sem (ASP 09) e com (ASP 10) tratamento térmico de alívio de tensões, e ainda executadas reparações por *Half Temper Bead Welding* (ASP 10A) e reparações convencionais com (ASP 10C) e sem (ASP 10D) tratamento térmico de alívio de tensões.

Percebeu-se que, apesar das ligeiras diferenças em algumas propriedades mecânicas determinadas com ensaios de tração transversal e longitudinal, ensaios de dobragem e ensaios de Charpy-V, os resultados destes ensaios permitiriam a certificação de todos os procedimentos, sendo por isso os requisitos de dureza estabelecidos pelo cliente o principal desafio.

Com base nos ensaios de dureza, foi possível concluir que na produção das juntas soldadas, os valores de dureza da condição ASP 09 se encontravam muito próximos do limite máximo de 248 HV para a zona termicamente afetada e o material de base e de 200 HV para o cordão de soldadura. De facto, chegaram até a excedê-lo neste cordão, registando-se durezas de 203 e 204 HV 10. Por outro lado, para a condição ASP 10 todos os valores registados foram inferiores ao limite máximo definido.

Os perfis de dureza realizados nas amostras reparadas mostraram que seria possível certificar o procedimento de *Half Temper Bead Welding* e a reparação convencional com tratamento térmico, porém, a reparação convencional sem tratamento térmico seria rejeitada. O valor máximo obtido no cordão de soldadura da amostra ASP 10A foi de 187 HV 10, muito inferior aos 220 HV 10 registados na ASP 10D.

Deste trabalho foi concluído que a simulação de reparação por *Half Temper Bead* pode ser certificada, evitando-se assim a necessidade de realização de estágios longos de tratamento térmicos de alívio de tensões em componentes de parede espessa, que podem levar à distorção de componentes, sobretudo se estes tiverem cargas aplicadas. A reparação por *Half Temper Bead* evita também o prejuízo que pode ser causado nos materiais envolventes à zona a reparar causado pelo aquecimento prolongado.

## Considerações Finais

Terminada a dissertação, é necessário concluir o processo de certificação da Especificação do Procedimento de Soldadura, tendo em conta as limitações impostas pela norma quanto às variáveis em estudo, tais como a espessura a reparar.

Espera-se ainda que deste documento surjam dois artigos com potencial de publicação, um no qual se avalia a necessidade do tratamento térmico de alívio de tensões na produção de juntas soldadas e outro onde é estudada a aplicação de *Half Temper Bead Welding* na reparação de juntas soldadas de aço ASME SA516Gr60. Espera-se, por isso, complementar o procedimento experimental com a análise das amostras utilizando a técnica de microscopia eletrónica de varrimento.

Adicionalmente, será elaborado um documento, com vista à utilização por parte da empresa, para uma candidatura a um prémio de inovação.

## Trabalhos Futuros

Terminado este estudo, podem ser recomendados trabalhos a realizar futuramente:

- Utilização de diferentes elétrodos, como por exemplo, elétrodos à base de níquel e de um aço de maior tenacidade que permita a certificação do procedimento para a indústria nuclear [74].
- Utilização de outras técnicas como TIG automático ou FCAW [4], uma vez que se poderá controlar de forma mais precisa a velocidade e a entrega térmica. Além disso, a soldadura SMAW apresenta uma pegada ecológica e riscos para o soldador consideráveis [86].
- Utilizar diferentes variantes da técnica *Temper Bead Welding*, como a *Controlled Deposition Technique* [48] com parâmetros propostos no Anexo J.
- Teste de *Temper Bead Welding*, utilizando SMAW sem desbaste [76].
- Testar o conceito de *undermatching*, que consiste na utilização de um elétrodo com propriedades mecânicas inferiores às do metal de base, para que a ductilidade e diminuição das tensões residuais na junta seja maior e se evite a fissuração a frio [53].

## Referências Bibliográficas

- [1] D. W. Gandy, S. J. Findlan, and W. J. Childs, "Repair welding of SA508, class 2 pressure vessel steels using the consistent layer temperbead technique", *Materials ageing and component life extension*, pp. 961-978, 1995.
- [2] A. Aloraier, A. Al-Mazrouee, J. W. H. Price, and T. Shehata, "Weld repair practices without post weld heat treatment for ferritic alloys and their consequences on residual stresses: A review", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 87, no. 4, pp. 127-133, 2010.
- [3] V. Albuquerque, C. Silva, C. Moura, W. Aguiar, and J. Farias, "Effect of nonmetallic inclusion and banding on the success of the two-layer temper bead welding technique", *Materials & Design*, vol. 30, no. 4, pp. 1068-1074, 2009.
- [4] A. S. Aloraier, R. N. Ibrahim, and J. Ghajel, "Eliminating post-weld heat treatment in repair welding by temper bead technique: role bead sequence in metallurgical changes", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 153-154, pp. 392-400, 2004.
- [5] ARSOPI. (2019, 27 março). *ARSOPI: Industrial*. Available: <https://arsopi.pt/pt/industrial/>
- [6] A. Pinho, "Influência dos ciclos térmicos na soldadura do aço grau 91 - SA213 T91 / SA335 P91", Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2015.
- [7] "Lecture 13: Petrochemicals Overview"
- [8] R. Forrest and T. Rings. *Chemical Industry Vision 2030: A European Perspective*. AT Kearney (2012). Available: <https://www.atkearney.com>
- [9] M. G. Deighton, "Chapter 1 - Introduction" in *Facility Integrity Management*, M. G. Deighton, Ed. Boston: Gulf Professional Publishing, 2016, pp. 1-22.
- [10] F. D. W. Lucas, W. Thomas, D. Howse, D. Abson, S. Mulligan, and C. Bird, "Advanced Joining Processes for Repair in Nuclear Power Plants", *International Forum on Welding Technologies in Energy Engineering*, 2005.
- [11] H. Fang, "Investigation of Localized Corrosion of Carbon Steel in H<sub>2</sub>S Environments" Doctor of Philosophy, Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Russ College of Engineering and Technology, Ohio, 2012.
- [12] A. Muspratt. (2019). *Introduction to Oil and Gas Industry*. Available: [www.oilandgasiq.com](http://www.oilandgasiq.com)
- [13] D. Bush, C. Brown, and K. Lewis, "Introduction to NACE standard MR0103" 2004.
- [14] *Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking in Corrosive Petroleum Refining Environments*, 2012.
- [15] *Methods and Controls to Prevent In-Service Environmental Cracking of Carbon Steel Weldments in Corrosive Petroleum Refining Environments*, 2010.
- [16] "Nuclear Power in the World Today", World Nuclear Association 2019.

- [17] B. Sutton, S. McCracken, and G. Friedrich, "Welding and Repair Technology Center: Shielded Metal Arc Temper Bead Welding", EPRI: Electric Power Research Institute, California USA, 2015.
- [18] *ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Rules for Construction of Nuclear Facility Components*, 2017.
- [19] *ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Ferrous Material Specification (SA-415 to End)*, 2017.
- [20] C. Group. (20 de março). *SA 516 GR.60 Plates*. Available: <https://www.csecplates.com/sa-516-gr-60-plate-stockists-suppliers.html>
- [21] Masteel. (18 de março). *ASME SA516 Grade 60*. Available: <https://masteel.co.uk/2016/10/14/asme-sa516-grade-60/>
- [22] I. Oladele;, O. Agbabiakab;, and N. Yakubuc, "Influence of Welding Process and Thickness on the Mechanical Properties of SA516 Steel," *The Journal of the Association of Professional Engineers of Trinidad and Tobago*, vol. 44, pp. 11-16, 2016.
- [23] *ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Qualification Standard for Welding, Brazing and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators*, 2017.
- [24] W. Pang, "The structure and properties of the heat affected zone of structural plate steels welded by high productivity processes" Doctor of Philosophy, University of Wollongong, 1993.
- [25] S. Kou, *Welding Metallurgy*, 2nd ed. Wiley-Interscience, 2003.
- [26] K. Weman, "Submerged arc welding," in *Welding Processes Handbook (Second Edition)*, K. Weman, Ed.: Woodhead Publishing, 2012, pp. 105-117.
- [27] *ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Specifications for Welding Rods, Electrodes and Filler Metals*, 2017.
- [28] Chapel. (2018). *Conversion Calculators: Covert psi to MPa*. Available: [www.chapelsteel.com/psi-mpa.html](http://www.chapelsteel.com/psi-mpa.html)
- [29] P. Moore and G. Booth, "Welding problems and defects" in *The Welding Engineer's Guide to Fracture and Fatigue*, P. Moore and G. Booth, Eds. Oxford: Woodhead Publishing, 2015, pp. 23-36.
- [30] M. A. Wahab, "6.03 - Manual Metal Arc Welding and Gas Metal Arc Welding," in *Comprehensive Materials Processing*, S. Hashmi, G. F. Batalha, C. J. Van Tyne, and B. Yilbas, Eds. Oxford: Elsevier, 2014, pp. 49-76.
- [31] A. G. Olabi, R. Lostado, and K. Y. Benyounis, "Review of Microstructures, Mechanical Properties, and Residual Stresses of Ferritic and Martensitic Stainless-Steel Welded Joints" in *Comprehensive Materials Processing*, S. Hashmi, G. F. Batalha, C. J. Van Tyne, and B. Yilbas, Eds. Oxford: Elsevier, 2014, pp. 181-192.
- [32] J. M. Antonini, "Health Effects Associated with Welding" in *Comprehensive Materials Processing*, S. Hashmi, G. F. Batalha, C. J. Van Tyne, and B. Yilbas, Eds. Oxford: Elsevier, 2014, pp. 49-70.

- [33] K. Weman, "Manual metal arc (MMA) welding with coated electrodes" in *Welding Processes Handbook (Second Edition)*, K. Weman, Ed.: Woodhead Publishing, 2012, pp. 99-103.
- [34] L. Jeffus, *Welding Principles and Applications*, 8th ed. Cengage Learning, 2015.
- [35] R. Santos, "Tecnologias de Ligação: Metalurgia da Soldadura e Materiais I" 2018.
- [36] C. Fontes and C. Vaz, "Apostila de Eléktodos Revestidos" 2005.
- [37] Böhlér and Voelstapine. (2015). *UTP Maintenance: UTP 613 Kb*.
- [38] R. Dodo, T. Ause, M. Adamu, and Y. Ibrahim, "Effect of Post-Weld Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Arc Welded Medium Carbon Steel" *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*, vol. 35, no. 2, pp. 337-343, 2016.
- [39] N. Lah, A. Ali, and N. Ismail, "Characterization of Fusion Welded Joint: Review," Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Universiti Putra Malaysia, Universiti Putra Malaysia Press, 2009.
- [40] R. Rezende, "Soldagem de juntas tubulares de aço inoxidável austenítico AISI 348 para varetas combustíveis em reatores nucleares," Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais, Universidade de São Paulo, 2015.
- [41] P. Modenesi, "Terminologia Usual de Soldagem e Símbolos de Soldagem," 2008.
- [42] R. Oyyaravelu, P. Kuppan, and N. Arivazhagan, "Metallurgical and mechanical properties of laser welded high strength low alloy steel," *Journal of Advanced Research*, vol. 7, no. 3, pp. 463-472, 2016.
- [43] M. Butt;, T.Ahmad;, and N. Siddiqui, "Characterization of Two Hybrid Welding Techniques on SA 516 Grade 70 Weldments," *International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*, vol. 10, 2016.
- [44] Y. C. Lim *et al.*, "Fabrication of thick multilayered steel structure using A516 Grade 70 by multipass friction stir welding," *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 21, no. 7, pp. 564-569, 2016.
- [45] R. Oyyaravelu, P. Kuppan, and N. Arivazhagan, "Comparative study on metallurgical and mechanical properties of laser and laser-arc-hybrid welding of HSLA steel," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 5, Part 2, pp. 12693-12705, 2018.
- [46] Z. Śloderbach and J. Pająk, "Determination of ranges of components of heat affected zone including changes of structure," *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 60, no. 4, 2015.
- [47] V. Gunaraj and N. Murugan, "Prediction of Heat-Affected Zone Characteristics in Submerged Arc Welding of Structural Steel Pipes," *Welding Research*, 2002.
- [48] "Temper Bead Welding: Temper Bead Welding Techniques," *Welding Technology Institute of Australia*, 2006.
- [49] C. Fontes; and W. Araújo. (2005). *Metalurgia da Soldagem*.
- [50] A. Kumar, R. Kumar, and S. Kumar, "Some studies on Heat-Affected Zone (HAZ) Toughness behavior of API 5L X52 steel 1,2 1,2 1," *Indian Welding Journal*, vol. 48, 2015.

- [51] M. A. Morsy, A. Mahdy, and M. Al-Hameed, "Prevention of cold cracking in ASTM A516 Gr.70 steel weldment," *Journal of American Science*, vol. 10, no. 6, pp. 111-118, 2014.
- [52] *Repair of Pressure Equipment and Piping*, 2015.
- [53] C. Mattioli, P. Modenesi, A. Bracarense, and M. Oliveira, "Fissuração pelo Hidrogênio em um Aço API 5L X70 Soldado com Eletrodos Celulósicos de Diferentes Níveis de Resistência," *Soldagem e Inspeção*, vol. 23, no. 1, pp. 113-125, 2018.
- [54] E. Sabbah, "Corrosion in Petroleum Industry," 2016.
- [55] C. Brangança, "Suscetibilidade à Corrosão so Tensão em Meio Contendo H<sub>2</sub>S da Junta Soldada Dissimilar - Aço ASTM A333 GR.8 com INCONEL 625 como Metal de Adição," *Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil*, 2015.
- [56] M. Koteeswaran, "CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S Corrosion in Oil Pipelines," Master's Thesis, Faculty of Science and Technology, University of Stavanger, Norway, 2010.
- [57] R. Funderburk, "Key Concepts in Welding Engineering: Fundamentals of Preheat," *Welding Innovation*, vol. XIV, no. 2, 1997.
- [58] B. Srivastava, S. Tewari, and J. Prakash, "A Review on Effect of Preheating and/or Post Weld Heat Treatment (PWHT) on Mechanical Behaviour of Ferrous Metals," *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 2, pp. 625-631, 2010.
- [59] D. Miller, "What structural Engineers Should Know About Welding: Preheat and Interpass Temperature" pp. 14-15, 2003.
- [60] "Which is important - preheat or interpass?" *TWI - The Welding Institute*, 2019.
- [61] "Why is preheat used when arc welding steel, and how is it applied?," *TWI - The Welding Institute*, 2019.
- [62] Westermans. (2017, 27 março). *Why pre-heat before welding*. Available: <http://www.westermans.com/blog/why-pre-heat-before-welding/>
- [63] K. Dawson, "Dissimilar Metal Welds," Doctor in Philosophy, School of Engineering and Material Science, University of Liverpool, United Kingdom, 2012.
- [64] R. Hinton and R. Wiswesser, "Estimating Welding Preheat Requirements for Unknown Grades of Carbon and Low-alloy Steels," *Welding Research - Welding Journal*, vol. 87, 2008.
- [65] L. Andersen, "Heat Input and Interpass Temperature during welding"
- [66] S. S. Funderburk, "Key Concepts in Welding Engineering: Postweld Heat Treatment" *Welding Innovation*, vol. XV, no. 2, 1998.
- [67] P. Kumar, H. Arya, and S. Verma, "Effect of Post Weld Heat Treatment on Impact Toughness of SA 516 Gr. 70 Low Carbon Steel Welded by SAW Process," *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 5, no. VII, 2017.
- [68] P. Zamanhuri, N. Khalid, and A. Daud, "Effects of Post Weld Heat Treatment on Hardness Value of A36 Carbon Steel Welded Joints by Shielded Metal Arc Welding," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 12, no. 4, 2017.

- [69] T. Toyooka and K. Terai, "On the Effects of Postweld Heat Treatment," *Welding Research Supplement*, pp. 247-254, 1973.
- [70] V. D. Kalyankar and G. Chudasama, "Effect of post weld heat treatment on mechanical properties of pressure vessel steels," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 11, Part 3, pp. 24675-24684, 2018.
- [71] P. Brziak, M. Łomozik, M. R, and F. Matsuda, *Repair Welding of SQV2A Pressure Vessel Steel by Temper Bead Techniques Without Post Welding Heat Treatment*. 2011.
- [72] E. Budzakoska-Testone, D. Dunne, H. Li, M. Drew, and T. Nicholls, "Structural metastability of "cold" repair welds in 2.25Cr-1Mo (P22) steel under elevated temperature and stress conditions," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 705, pp. 315-324, 2017.
- [73] W. Mohr, M. A. Boring, and Y. P. Yang, "An Analysis of a Completed Temper Bead Weld Repair Performed on an Amine Tower," in *Proceedings of the ASME 2010 Pressure Vessel and Piping Division Conference*, Washington, USA, 2010.
- [74] T. Lant, D. L. Robinson, B. Spafford, and J. Storesund, "Review of weld repair procedures for low alloy steels designed to minimise the risk of future cracking," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 78, no. 11, pp. 813-818, 2001.
- [75] *NBIC - National Board Inspection Code*, 2015.
- [76] D. Gandy, R. Smith, and M. Lau, "SMAW Temper Bead Weld Repair Without Grinding," *Transactions*, 2001.
- [77] E. Sequeiros, "Laboratórios I: Apontamentos de Preparação Metalográfica," 2016.
- [78] L. Ribeiro, "Apontamos de Ensaio de Materiais: Ensaio de Tração," 2016.
- [79] *ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Ferrous Material Specification (Beginning to SA-450)*, 2017.
- [80] A. Lima, "Introdução aos Ensaio Não Destrutivos," *Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - FEUP e A. Jorge Lima Lda*, 2016.
- [81] A. Lima, "Manual de Formação: Líquidos Penetrantes," *Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - FEUP e A. Jorge Lima Lda*, 2010.
- [82] R. Andreucci, "Iniciação à Radiologia Industrial," 2006.
- [83] A. Lima, "Radiografia Industrial: Princípio do Método," *Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - FEUP e A. Jorge Lima Lda*, 2015.
- [84] A. Lima, "Introdução aos Ultrassons," *Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - FEUP e A. Jorge Lima Lda*, 2010.
- [85] C. Ruggieri, "Numerical investigation of constraint effects on ductile fracture in tensile specimens," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 26, no. 2, 2004.
- [86] Y.-J. Chang *et al.*, "Environmental and Social Life Cycle Assessment of Welding Technologies," *Procedia CIRP*, vol. 26, pp. 293-298, 2015.

**Anexo A - Requisitos do Cliente**

**Anexo B - Fichas de Produto dos Materiais Utilizados**

**Anexo C - Orientações do *National Board Inspectors Code* para a realização de *Temper Bead Welding* (Método 2)**

**Anexo D - Produção das Juntas Soldadas**

- Geometria do chanfro;
- Parâmetros registados na produção das juntas soldadas;
- Especificação e gráfico do tratamento térmico para as chapas 10, 10A, 10B, 10C e 10D.
- Relatórios dos NDT

**Anexo E - Reparação Convencional com PWHT (ASP 10C/2019)**

- WPS para a reparação;
- Registo dos parâmetros utilizados e esquema dos passes realizados;
- Ciclo térmico realizado (PWHT à reparação);
- Relatórios dos NDT.

**Anexo F - Reparação Convencional sem PWHT (ASP 10D/2019)**

- WPS para a reparação convencional sem PWHT (10D);
- Registo dos parâmetros utilizados e esquema dos passes realizados;
- Relatórios dos NDT.

**Anexo G - Reparação por *Half Temper Bead Welding* (ASP 10A/2019)**

- Cálculo dos parâmetros de soldadura para HTBW;
- WPS para a reparação com recurso à técnica HTBW;
- Ciclo térmico registado;
- Relatórios dos NDT.

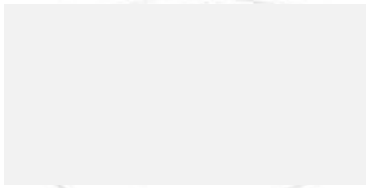
**Anexo H - Provetes**

**Anexo I - Resultados**

- Provetes após realização dos ensaios;
- Cálculo do Módulo de Elasticidade;
- Resultado de cada ensaio de Charpy-V e dureza Vickers;
- Relatório das análises químicas.

**Anexo J - Trabalho Futuro: Proposta de Procedimento para a *Controlled Deposition Technique***

## Anexo A - Requisitos do Cliente



### STANDARD MATERIAL SPECIFICATIONS

| Ref. | Rév. | Page |    |
|------|------|------|----|
|      | 2.1  | 1/14 | AC |

### STANDARD MATERIAL SPECIFICATIONS FOR

WET H<sub>2</sub>S SERVICES ~ HIC

Application to Carbon Steels

(IN-043)

*This document contains confidential proprietary information belonging to Axens.  
It shall not be disclosed to any third parties without Axens' prior written consent.*

STANDARD MATERIAL SPECIFICATIONS

| Réf. | Rév. | Page | AC |
|------|------|------|----|
|      | 2.1  | 9/14 |    |

## 5. WET H<sub>2</sub>S RESISTANT STEELS (CATEGORY 1)

Axens applies the following design requirements for Carbon Steel "wet H<sub>2</sub>S resistant":

- Carbon steel must be fully killed Carbon Steel type.
- Hardness of the base metal shall be below 22HRC or 237HB.
- Ni content shall be less than 1%.
- Carbon content shall be 0.20% maximum.
- CS base material shall be supplied in Normalized condition (or Quenched and Tempered), regardless of thickness.
- Typical limitation of Carbon Equivalent are the following:
  - Ceq < 0.42% for thicknesses below 2"
  - Ceq < 0.45% for thicknesses above or equal to 2"

With  $Ceq = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$

*These Ceq values are indicative and may be re-considered if needed regarding the used steel grade. In that case, new proposed values should be submitted to Engineering Contractor for approval.*
- Stress Relieving by Post Welding Heat Treatment (PWHT) is required for whole equipment and for seamless piping welds as minimum, even if it is not required by code.
- Thermal Stress Relieving required for cold bend zones even if it is not required by code. Level of deformation may require recovery annealing to restore properties of steels.
- Hardness of the production welds shall be lower than 200HB. This value uses to be slightly lower than the one defined for base metal (22HRC or 237HB) in order to anticipate potential non-homogeneity of certain weld deposits.
- Phosphorus and Sulfur content in the steel shall be limited as per following sections in order to avoid the formation of brittle phases during welding

### 5.1 Wet H<sub>2</sub>S Resistant Carbon Steel for plates and welded pipes

- Impurity level shall be control to avoid the occurrence of brittle phases during welding:
  - maximum allowable Phosphorus content 0.020%
  - maximum allowable Sulfur content 0.015%

200 HBW  
210 HV10  
NACE  
MR 0103

*This document contains confidential proprietary information belonging to Axens. It shall not be disclosed to any third parties without Axens' prior written consent.*

## Anexo B - Fichas de Produto dos Materiais Utilizados



**Abnahmeprüfzeugnis 3.1**  
**Inspection certificate 3.1**  
**Certificat de reception 3.1**  
**DIN EN 10204**  
 (A2)

No. (A2) G18-0826 Pos. 07-12 22.03.2018  
 Besteller Union Stahl GmbH  
 Purchaser 47229 Duisburg  
 Acheteur

Erzeugnis Grobblech  
 Produkt Heavy plate  
 Produkt Tôle forte  
 (B01)

Werkstoff und Lieferbedingung SA 516 Gr. 60MTLTV  
 Steel grade and terms of delivery ASME SA 516, SA 20  
 Nuance et conditions de livraison ASME SECT. II/A ed. 2017  
 (B02-B03) KLV Nr. 5 R.1  
 DIN EN 10029 B 02/11  
 DIN EN 10163-2 B UG3 03/05

No./No./N° (A03) 1123074  
 Seite/Page/Page 1/4  
 Datum/Date/Date 23.06.2018

Werkauftrags-Nr. 0000094948  
 Works order No.  
 N° de commande (A05)  
 Lieferschein-Nr. 0087646486  
 Dispatch note No.  
 Avis d'expédition N°

Abnahme Inspection  
 Reception (A06) WS

**Kennzeichnung des Materials / Marking of the product / Marquage du produit (B04)**  
 Herstellerzeichen/Stahlsorte/Schmelzen-Nr/  
 Erzeugnis-Nr./Sachverständigenstempel  
 Trademark/Steelgrade/Heat-No/Product-No/  
 inspector's stamp  
 Sigle de l'usine/Nuance de l'acier/N° coulée/  
 N° produit/Poinçon de l'expert

| Materialdaten / Material data / Données des matériaux (B01-B06)                                                                                                                                                                                                                 |                                       |                                                     |                                                 |                                                                  |                                                                                                     |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Pos.<br>Line<br>Poste                                                                                                                                                                                                                                                           | Anzahl<br>Quantity<br>Nombre<br>(B08) | Erzeugnis-Nr.<br>Product No.<br>N° produit<br>(B07) | Schmelzen-Nr.<br>Heat No.<br>N° Coulee<br>(B01) | Lieferzustand<br>Cond. of delivery<br>Etat de livraison<br>(B04) | Dicke x Breite x Länge<br>Thickness x Width x Length<br>Epaisseur x Largeur x Longueur<br>(B05-B11) | mm x mm x mm |
| 01                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1                                     | 891863 1                                            | 42200                                           | N                                                                | 30,00 x 3000,0 x 12000                                                                              |              |
| 02                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1                                     | 891724 1                                            | 42200                                           | N                                                                | 35,00 x 2000,0 x 12000                                                                              |              |
| 03                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1                                     | 891124 1                                            | 42200                                           | N                                                                | 35,00 x 2500,0 x 12000                                                                              |              |
| 03                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1                                     | 891688 1                                            | 42200                                           | N                                                                | 35,00 x 2500,0 x 12000                                                                              |              |
| 01                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1                                     | Gewichte                                            | 8.478                                           | kg                                                               | N: normalisiert / normalized / normalisé                                                            |              |
| 02                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1                                     | Weight                                              | 6.594                                           | kgs                                                              |                                                                                                     |              |
| 03                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2                                     | Poids                                               | 16.486                                          | kgs                                                              |                                                                                                     |              |
| Σ                                                                                                                                                                                                                                                                               | 4                                     | (B12)                                               | 31.558                                          |                                                                  |                                                                                                     |              |
| <b>Maßprüfung und Sichtkontrolle auf äußere Beschaffenheit; ohne Beanstandung</b><br><b>Dimensional check and visual examination of the surface condition:</b><br><b>without objection</b><br><b>Contrôle dimensionnel et examen visuel de l'état de surface: satisfaisants</b> |                                       |                                                     |                                                 |                                                                  |                                                                                                     |              |

Es wird bestätigt, daß die Lieferung den Anforderungen der Lieferbedingung entspricht.  
 We hereby certify that the delivered material complies with the terms of the order.  
 Nous certifions que la livraison répond aux conditions de livraison.  
 (Z01)  
 DIN-System: Certification au per ISO 9001 since 28 February 1991

Herstellerzeichen  
 Trademark  
 Sigle du producteur  
 (A01)

Ilsenburger Grobblech GmbH  
 Vöcknerstraße 10  
 D-58571 Iserburg  
 (A02)

Abdruckstempel  
 Inspection Stamp  
 Poinçon de l'expert  
 (Z02)

Abdruckesautorisiert  
 Inspection Representative  
 Représentant autorisé  
 (Z03)

Diese durch ein automatisiertes Datenverarbeitungssystem erstellte Bescheinigung ist gemäß EN 10 204, Abschnitt 5, ohne Unterschrift gültig.  
 This certificate was prepared by a suitable data processing system and is valid without signature according to EN 10 204, section 5.  
 Ce certificat a été établi par un système adapté de traitement de données. Il est valable sans signature selon EN 10 204, section 5.

Cyron



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Abnahmeprüfzeugnis 3.1</b><br><b>Inspection certificate 3.1</b><br><b>Certificat de reception 3.1</b><br><b>DIN EN 10204</b><br><b>(A02)</b>                                                                                                                                                   |                   | <b>Nr./No./N° (A01)</b> 1123074<br><b>Seite/Page/Page</b> 2/4<br><b>Datum/Date/Date</b> 23.06.2018                                                                                                           |
| <b>Nr. (A07)</b> G18-0826 Pos.07-12<br><b>Besteller</b> Union Stahl GmbH<br><b>Purchaser</b> 47229 Duisburg<br><b>Acheteur</b><br><b>(A06)</b>                                                                                                                                                    | <b>22.03.2018</b> |                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Ereugnis</b> Grobblech<br><b>Product</b> Heavy plate<br><b>Produit</b> Tôle forte<br><b>(B01)</b>                                                                                                                                                                                              |                   | <b>Werkzeugs-Nr.</b> 0000094948<br><b>Werkz. oder Nr.</b><br><b>N° de commande</b><br><b>(A08)</b><br><b>Lieferchein-Nr.</b> 0087646486<br><b>Dispatch note No.</b> 21.06.2018<br><b>Aus d'expédition N°</b> |
| <b>Werkstoff und Lieferbedingung</b> SA 516 Gr. 60MTLTV<br><b>Steel grade and terms of delivery</b> ASME SA 516 ,SA 20<br><b>Nomence et conditions de livraison</b> ASME SECT. II/A ed.2017<br><b>(B02-B03)</b> KLV Nr. 5 R.1<br><b>DIN EN 10029 B 02/11</b><br><b>DIN EN 10163-2 B UG3 03/05</b> |                   | <b>Abnahme</b> WS<br><b>Inspection</b><br><b>Reception</b><br><b>(A05)</b>                                                                                                                                   |

| Schmelzenanalyse / Ladle analysis / Analyse de coulée (CB-CH)                                                                                                                        |        |         |         |         |        |             |             |           |         |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|--------|-------------|-------------|-----------|---------|---------|
| Herstellernormen / Manufacturer standard / Données du fabricant                                                                                                                      |        |         |         |         |        |             |             |           |         |         |
| Schmelzen-Nr.<br>Heat No.<br>N° Coulée<br>(B02)                                                                                                                                      | C<br>% | Si<br>% | Mn<br>% | P<br>%  | S<br>% | N<br>%      | Al<br>%     | Cu<br>%   | Cr<br>% | Ni<br>% |
| 42200                                                                                                                                                                                | 0,15   | 0,19    | 1,13    | 0,014   | 0,001  | 0,003       | 0,029       | 0,03      | 0,05    | 0,13    |
| Schmelzen-Nr.<br>Heat No.<br>N° Coulée<br>(B02)                                                                                                                                      | V<br>% | Nb<br>% | Ti<br>% | Mo<br>% | B<br>% | EV1 1)<br>% | EV2 2)<br>% | Nb+V<br>% |         |         |
| 42200                                                                                                                                                                                | 0,003  | 0,02    | 0,003   | 0,01    | 0,0005 | 0,36        | 0,03        | 0,023     |         |         |
| II) EV1: Cb+Cu+Mn+Mo+Ni+P+S+Si+V+Ti+Zr<br>III) EV2: V+Nb+Ti                                                                                                                          |        |         |         |         |        |             |             |           |         |         |
| <b>Stahlherstellung: Sauerstoffaufblasverfahren</b><br><b>Steel making: Basic oxygen process</b><br><b>Fabrication d'acier: Procédé au convertisseur à l'oxygène</b><br><b>(C7H)</b> |        |         |         |         |        |             |             |           |         |         |

Es wird bestätigt, daß die Lieferung den Anforderungen der Lieferbedingung entspricht.  
 We hereby certify that the delivered material complies with the terms of the order.  
 Nous certifions que la livraison répond aux conditions de livraison.  
 (Z01)  
 DIN-System: Certification as per ISO 9001 since 28 February 1998

**Herstellereichen**  
**Trademark**  
**Signe du producteur**  
**(A04)**

**Ilseburger Grobblech GmbH**  
**Veckenstedter Weg 10**  
**D-47229 Duisburg**  
**(A03)**

**Abnahmeempfang**  
**Inspection Stamp**  
**Poinçon de l'expert**  
**(Z03)**

**Abnahmebeauftragter**  
**Inspection Representative**  
**Représentant autorisé**  
**(Z02)**

Diese durch ein geeignetes Datenverarbeitungssystem erstellte Bescheinigung ist gemäß EN 10 204, Abschnitt 5, ohne Unterschrift gültig.  
 This certificate was prepared by a suitable data processing system and is valid without signature according to EN 10 204, section 5.  
 Ce certificat a été établi par un système adéquat de traitement de données, il est valide sans signature selon EN 10 204, section 5.

Cyron



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Abnahmeprüfzeugnis 3.1</b><br><b>Inspection certificate 3.1</b><br><b>Certificat de reception 3.1</b><br><b>DIN EN 10204</b><br>(A02)                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                | Nr./No./N° (A03) <b>1123074</b><br>Seite/Page/Page <b>3/4</b><br>Datum/Date/Date <b>23.06.2018</b> |
| Nr. (A07) <b>G18-0826 Pos.07-12</b><br>Besteller <b>Union Stahl GmbH</b><br>Purchaser <b>47229 Duisburg</b><br>Acheteur<br>(A06)                                                                                                                                                                  | <b>22.03.2018</b>                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                    |
| Erzeugnis <b>Grobblech</b><br>Product <b>Heavy plate</b><br>Produit <b>Tôle forte</b><br>(B01)                                                                                                                                                                                                    | Werkzeugs-Nr. <b>0000094948</b><br>Works order No.<br>N° de commande<br>(A08)<br>Lieferschein-Nr. <b>0087646486</b><br>Dispatch note No.<br>Avis d'expédition N°<br><b>21.06.2018</b><br>Abnahme <b>WS</b><br>Inspection<br>Reception<br>(A05) |                                                                                                    |
| Werkstoff und Lieferbedingung <b>SA 516 Gr. 60MTLTV</b><br>Steel grade and terms of delivery <b>ASME SA 516 ,SA 20</b><br>Matière et conditions de livraison <b>ASME SECT. II/A ed.2017</b><br>(B02-B03) <b>KLV Nr. 5 R.1</b><br><b>DIN EN 10029 B 02/11</b><br><b>DIN EN 10163-2 B UG3 03/05</b> |                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                    |

| Zugversuch / Tensile test / Essai de traction (C10-C28)                                                                                                                                                                                                                             |                                                |                                  |                                        |                                    |                               |                                                                                       |                                                                                      |                                                                      |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--|
| Proben-Nr.<br>Specimen No.<br>N° épreuve<br>(C01)                                                                                                                                                                                                                                   | Schweiß-Nr.<br>Heat No.<br>N° Couille<br>(B07) | Ort<br>Location<br>Lieu<br>(C02) | Richte.<br>Direct.<br>Orient.<br>(C03) | Zustand<br>Cond.<br>Cond.<br>(B05) | Form<br>Type<br>Type<br>(C04) | Dehnungs-<br>Yield strength<br>Unité d'élasticité<br>(C11)<br>Rp0,2<br>N/mm2<br>≥ 275 | Zugfestigkeit<br>Tensile strength<br>Résistance<br>(C12)<br>Rm<br>N/mm2<br>415 - 550 | Bruchdehnung<br>Elongation<br>Allongement<br>(C13)<br>δ in %<br>≥ 21 |  |
| 891124                                                                                                                                                                                                                                                                              | 42200                                          | K6G                              | Q                                      | N                                  | P                             | 360                                                                                   | 502                                                                                  | 27                                                                   |  |
| 891688                                                                                                                                                                                                                                                                              | 42200                                          | K6G                              | Q                                      | N                                  | P                             | 355                                                                                   | 497                                                                                  | 32                                                                   |  |
| 891724                                                                                                                                                                                                                                                                              | 42200                                          | K6G                              | Q                                      | N                                  | P                             | 339                                                                                   | 494                                                                                  | 32                                                                   |  |
| 891863                                                                                                                                                                                                                                                                              | 42200                                          | K6G                              | Q                                      | N                                  | P                             | 373                                                                                   | 506                                                                                  | 32                                                                   |  |
| 1) K: Kopf / Top / Tête<br>2) 6: 1/6 Breite / 1/6 Width / 1/6 Largeur<br>3) G: Erzeugnisdicke / Thickness of product / Épaisseur du produit<br>4) Q: quer / transversal / transversal<br>5) N: normalisiert / normalized / normalisé<br>6) P: prismatisch / prismatic / prismatique |                                                |                                  |                                        |                                    |                               |                                                                                       |                                                                                      |                                                                      |  |

| Kerbschlagbiegeversuch / Impact test / Essai de résilience (C40-C48) |                                                |                                  |                                       |                                    |                                                               |                                                                 |                                                                                                |     |     |     |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| Proben-Nr.<br>Specimen No.<br>N° épreuve<br>(C01)                    | Schweiß-Nr.<br>Heat No.<br>N° Couille<br>(B07) | Ort<br>Location<br>Lieu<br>(C02) | Richt.<br>Direct.<br>Orient.<br>(C03) | Zustand<br>Cond.<br>Cond.<br>(B05) | Probenform<br>Type of specimen<br>Type d'épreuve<br>(C40-C41) | Temperatur<br>Temperature<br>Température<br>(C43)<br>°C<br>≥ 18 | Schlagarbeit<br>Impact energy<br>Energie de rupture<br>(C44-C45)<br>1 2 3 MW 6)<br>J J<br>≥ 27 |     |     |     |
| 891124                                                               | 42200                                          | K4O                              | Q                                     | N                                  | KV600                                                         | -050                                                            | 102                                                                                            | 87  | 97  | 95  |
| 891688                                                               | 42200                                          | K4O                              | Q                                     | N                                  | KV450                                                         | -050                                                            | 109                                                                                            | 30  | 120 | 86  |
| 891724                                                               | 42200                                          | K4O                              | Q                                     | N                                  | KV600                                                         | -050                                                            | 77                                                                                             | 81  | 76  | 78  |
| 891863                                                               | 42200                                          | K4O                              | Q                                     | N                                  | KV600                                                         | -050                                                            | 131                                                                                            | 108 | 136 | 125 |

1) K: Kopf / Top / Tête

2) 4: 1/4 Breite / 1/4 Width / 1/4 Largeur

3) O: oberflächennah / near surface / près de la peau

4) Q: quer / transversal / transversal

5) N: normalisiert / normalized / normalisé

6) MW: Mittelwert / Average / Moyenne



Es wird bestätigt, daß die Lieferung den Anforderungen der Lieferbedingung entspricht.  
 We hereby certify that the delivered material complies with the terms of the order.  
 Nous certifions que la livraison répond aux conditions de livraison.  
 (Z01)  
 QM-System: Certification as per ISO 9001 since 28 February 1998

Herstellerzeichen  
 Trademark  
 Sigle du producteur  
 (A04)

Ilseburger Grobblech GmbH  
 Verkeimsfelder Weg 10  
 D-38571 Ilseburg  
 (A01)

Abnahmeempfang  
 Inspection Stamp  
 Poignon de l'expert  
 (Z03)

Abnahmeempfang  
 Inspection Representative  
 Représentant autorisé  
 (Z02)

Diese durch ein geeignetes Datenverarbeitungssystem erstellte Bescheinigung ist gemäß EN 10 204, Abschnitt 5, ohne Unterschrift gültig.  
 This certificate was prepared by a suitable data processing system and is valid without signature according to EN 10 204, section 5.  
 Ce certificat a été établi par un système adéquat de traitement de données, il est valable sans signature selon EN 10 204, section 5.

2018/149

Cyron



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                   |                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Abnahmeprüfzeugnis 3.1</b><br><b>Inspection certificate 3.1</b><br><b>Certificat de reception 3.1</b><br><b>DIN EN 10204</b><br>(A2)                                                                                                                                                           |                   | Nr./No. (A2) <b>1123074</b><br>Seite/Page <b>4/4</b><br>Datum/Date <b>23.06.2018</b>                                                                                                    |
| Nr. (A7) <b>G18-0826 Pos.07-12</b><br>Besteller <b>Union Stahl GmbH</b><br>Purchaser <b>47229 Duisburg</b><br>Acheteur<br>(A8)                                                                                                                                                                    | <b>22.03.2018</b> |                                                                                                                                                                                         |
| Erzeugnis <b>Grobbblech</b><br>Product <b>Heavy plate</b><br>Produit <b>Tôle forte</b><br>(B1)                                                                                                                                                                                                    |                   | Werkauftrags-Nr. <b>0000094948</b><br>Works order No.<br>N° de commande<br>(A6)<br>Lieferschein-Nr. <b>0087646486</b><br>Dispatch note No.<br>Avis d'expédition N°<br><b>21.06.2018</b> |
| Werkstoff und Lieferbedingung <b>SA 516 Gr. 60MTLTV</b><br>Steel grade and terms of delivery <b>ASME SA 516, SA 20</b><br>Nuance et conditions de livraison <b>ASME SECT. II/A ed.2017</b><br>(B2-B3)<br><b>KLV Nr. 5 R.1</b><br><b>DIN EN 10029 B 02/11</b><br><b>DIN EN 10163-2 B UG3 03/05</b> |                   | Abnahme <b>WS</b><br>Inspection<br>Reception<br>(A5)                                                                                                                                    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Wärmebehandlung:</b> Temperatur: 910 +/-10°C<br>Haltezeit : 30 min/inch<br>Abkuehlung an ruhender Luft                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Heat treatment:</b> Temperature : 910 +/-10°C<br>Soaking time: 30 min/inch<br>Cooling in still air                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Traitement thermique:</b> Température: 910 +/- 10°C<br>Temps de maintien: 30 min/inch<br>Refroidissement par air                                                                                                                                                                                                                        |
| Unsere Produkte sind frei von radioaktiven Stoffen.<br>Der Freigabegrenzwert von 100 Bq/kg, der die Einhaltung<br>der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)<br>für die uneingeschränkte Freigabe von festen Stoffen<br>(StrlSchV Anlage III, Spalte 5) für eisenverwandte<br>Nuklide gewährleistet, wird nicht überschritten. |
| Our products are free of radioactive substances and<br>do not exceed the clearing limit value of 100 Bq/kg,<br>which guarantees the compliance with limit values<br>given in the Radiation Protection Ordinance (StrlSchV)<br>for the unrestricted clearance of solid material<br>(StrlSchV Annex III, Section 5) for ferrous nuclides.    |

Es wird bestätigt, daß die Lieferung den Anforderungen der Lieferbedingung entspricht.  
 We hereby certify that the delivered material complies with the terms of the order.  
 Nous certifions que la livraison répond aux conditions de livraison.  
 (201)  
 QM-System: Certification as per ISO 9001 since 28 February 1999


**Herstellerzeichen**  
**Trademark**  
**Signe du producteur**  
 (A4)

**Ilseburger Grobbblech GmbH**  
**Vockersmühl Weg 10**  
**D-38571 Ilseburg**  
 (A3)


**Abnahmeempel**  
**Inspection Stamp**  
**Prinzen de l'empert**  
 (202)

**Abnahmebeauftragter**  
**Inspection Representative**  
**Représentant autorisé**  
 (203)

Diese durch ein geeignetes Datenverarbeitungssystem erstellte Bescheinigung ist gemäß EN 10 204, Abschnitt 5, ohne Unterschrift gültig.  
 This certificate was prepared by a suitable data processing system and is valid without signature according to EN 10 204, section 5.  
 Ce certificat a été établi par un système adéquat de traitement de données, il est valable sans signature selon EN 10 204, section 5.

Cyron



# CERTIFICADO DE INSPECÇÃO

## INSPECTION CERTIFICATE

CERTIFICATE NO. /  
CERTIFICADO NO.: OF-E0117/01732

DATE OF ISSUE /  
DATA EMISSÃO: 16-10-2017

Shipment/Expedição: GRC-E0117/08347

Electro Portugal

Customer/Cliente: C0100020-ARSOPI - INDÚSTRIAS METALÚRGICAS

| TRADE DESIGNATION /<br>DESIGNAÇÃO | DIAMETER X LENGTH (mm)<br>DIÂMETRO x COMPRIMENTO (mm) | LOT<br>LOTE | APPLICABLE SPECIFICATION AND CLASSIFICATION<br>NORMAS APLICÁVEIS |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------|
| ELETR EUOTROD BN 18 VAC           | Ø 2,5x350 mm                                          | F17080003   | AWS A5.1: E 7018.1 H4<br>EN ISO 2560-A-E 42 4 B 4 2 H5           |

1. CHEMICAL COMPOSITIONS OF ALL WELD METAL (wt%) (According to EN 10 204-3.1 Y ANÁLISE QUÍMICA DO METAL DEPOSITADO (wt%) (de acordo com EN 10 204-3.1)

| ELEMENT / ELEMENTO               | C     | Si    | Mn   | P     | S     | Cr    | Ni    | Mo    | Cu    | V     | Nb  | Be  | Bi  |
|----------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| WELD METAL /<br>METAL DEPOSITADO | 0,065 | 0,469 | 1,02 | 0,016 | 0,010 | 0,025 | 0,022 | 0,021 | 0,022 | 0,016 | --- | --- | --- |

| ELEMENT / ELEMENTO               | Al  | Ti  | Zr  | N   | W   | Pb  | Sn  | Mg  | Fe  | Co  | Zn  | Ga  | B   |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| WELD METAL /<br>METAL DEPOSITADO | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

2. TENSILE TEST OF ALL WELD METAL (According to EN 10 204-2.2 ) /  
CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO METAL DEPOSITADO (de acordo com EN 10 204-2.2 ) ENSAIO RESILIÊNCIA DO METAL DEPOSITADO (de acordo com EN 10 204-2.2 )

| YIELD STRENGTH /<br>TENSÃO CEDÊNCIA<br>N/mm <sup>2</sup> | TENSILE STRENGTH /<br>TENSÃO RUPTURA<br>N/mm <sup>2</sup> | ELONGATION /<br>ALONGAMENTO<br>GL= 5 D(%) |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 480                                                      | 570                                                       | 27                                        |

Remarks / Observações

| TESTING TEMPERATURE /<br>TEMPERATURA TESTE<br>(°C) | ABSORBED ENERGY /<br>ENERGIA ABSORVIDA<br>(J) |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| -45                                                | 80                                            |
| ---                                                | ---                                           |
| ---                                                | ---                                           |



ELECTRO PORTUGAL  
QA Manager  
Director Qualidade

*[Signature]*  
2017/12/1

WE HEREBY CERTIFY THAT THE TEST RESULTS OF THE ABOVE WELDING MATERIAL ARE UNDER THE REQUIRED RULES.  
CERTIFICAMOS QUE OS RESULTADOS DOS TESTES CUMPREM COM AS NORMAS REQUERIDAS.



# CERTIFICADO DE INSPECÇÃO

## INSPECTION CERTIFICATE

Electro Portugal

Customer/Ciente: C0100020-ARSOPI - INDÚSTRIAS METALÚRGICAS

CERTIFICATE NO. /  
CERTIFICADO NO.: OF-E0118/03416  
DATE OF ISSUE /  
DATA EMISSÃO: 21-12-2018  
Shipment/Expedição: GRC-E0119/00524

| TRADE DESIGNATION /<br>DESIGNAÇÃO | DIAMETER X LENGTH (mm)<br>DIÁMETRO x COMPRIMENTO (mm) | LOT<br>LOTE | APPLICABLE SPECIFICATION AND CLASSIFICATION<br>NORMAS APLICÁVEIS |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------|
| ELETR EUROTROD BN 18 VAC          | Ø 3,2x350 mm                                          | F18120150   | AWS A5.1: E 7018.1 H4<br>EN ISO 2560-A-E 42 4 B 4 H5             |

### 1. CHEMICAL COMPOSITIONS OF ALL WELD METAL (wt%) (According to EN 10 204-3.1 / ANÁLISE QUÍMICA DO METAL DEPOSITADO (wt%) (de acordo com EN 10 204-3.1

| ELEMENT / ELEMENTO               | C     | Si   | Mn   | P     | S     | Cr    | Ni    | Mo    | Cu    | V     | Nb | Be | Bi |
|----------------------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|----|
| WELD METAL /<br>METAL DEPOSITADO | 0.077 | 0.25 | 0.98 | 0.023 | 0.013 | 0.035 | 0.045 | 0.015 | 0.085 | 0.013 | —  | —  | —  |

| ELEMENT / ELEMENTO               | Al | Ti | Zr | N | W | Pb | Sn | Mg | Fe | Co | Zn | Ga | B |
|----------------------------------|----|----|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|---|
| WELD METAL /<br>METAL DEPOSITADO | —  | —  | —  | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  | — |

### 2. TENSILE TEST OF ALL WELD METAL (According to EN 10 204-2.2 / CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO METAL DEPOSITADO (de acordo com EN 10 204-2.2

| YIELD STRENGTH /<br>TENSÃO DE CEDÊNCIA | TENSILE STRENGTH /<br>TENSÃO DE RUPÇÃO | ELONGATION /<br>ALONGAMENTO |
|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|
| N/mm <sup>2</sup><br>440               | N/mm <sup>2</sup><br>570               | GL + S D(%)<br>27           |

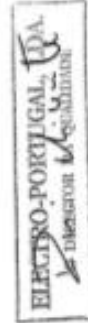
### 3. CHARPY IMPACT TEST OF WELD METAL (According to EN 10 204-2.2 / ENSAIO RESILIÊNCIA DO METAL DEPOSITADO (de acordo com EN 10 204-2.2

| TESTING TEMPERATURE /<br>TEMPERATURA TESTE | ABSORBED ENERGY /<br>ENERGIA ABSORVIDA |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| (°C)<br>-45                                | (J)<br>80                              |
| —                                          | —                                      |
| —                                          | —                                      |

Remarks / Observações

WE HEREBY CERTIFY THAT THE TEST RESULTS OF THE ABOVE WELDING MATERIAL ARE UNDER THE REQUIRED RULES.  
CERTIFICAMOS QUE OS RESULTADOS DOS TESTES CUMPREM COM AS NORMAS REQUERIDAS.

*[Signature]*  
21/12/2018



ELECTRO PORTUGAL  
QA Manager  
Director Qualidade

CQ-E0118/02455

77105



## INSPECTION CERTIFICATE

Electro Portugal

Customer/Cliente: C0100020-ARSOPI - INDÚSTRIAS METALÚRGICAS

CERTIFICATE NO. /  
CERTIFICADO NO.: OF-E0118/03441

DATE OF ISSUE /  
DATA EMISSÃO: 09-01-2019

Shipment/Expedição: GRC-E0119/00524

| TRADE DESIGNATION /<br>DESIGNAÇÃO | DIAMETER X LENGTH (mm)<br>DIÂMETRO x COMPRIMENTO (mm) | LOT<br>LOTE | APPLICABLE SPECIFICATION AND CLASSIFICATION<br>NORMAS APLICÁVEIS |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------|
| ELETR EUROTROD BN 18 VAC          | Ø 4,0x450 mm                                          | F18120181   | AWS A5.1: E 7018.1 H4<br>EN ISO 2560-A-E 42 4 B 4 2 H5           |

EN 10 204-3.1 / ANÁLISE QUÍMICA DO METAL DEPOSITADO (wt%) (de acordo com

| ELEMENT / ELEMENTO               | C     | Si   | Mn   | P     | S     | Cr    | Ni    | Mo    | Cu    | V     | Nb | Bt |
|----------------------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|
| WELD METAL /<br>METAL DEPOSITADO | 0,081 | 0,37 | 1,26 | 0,023 | 0,012 | 0,039 | 0,044 | 0,017 | 0,063 | 0,015 | —  | —  |

[illegible]

EN 10 206:2.2

EN 10 204-2.2

3. CHARPY IMPACT TEST OF WELD METAL. (According to  
ENSAIO RESILIÊNCIA DO METAL DEPOSITADO (de acordo com

| YIELD STRENGTH /<br>TENSÃO CEDÊNCIA | TENSILE STRENGTH /<br>TENSÃO RUPTURA | ELONGATION /<br>ALONGAMENTO |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| N/mm <sup>2</sup>                   | N/mm <sup>2</sup>                    | GL=5 0(%)                   |
| 480                                 | 570                                  | 27                          |

| TESTING TEMPERATURE /<br>TEMPERATURA TESTE | ABSORBED ENERGY /<br>ENERGIA ABSORVIDA | EN 19,304-2.2 |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|---------------|
| -45                                        | 80                                     |               |
| —                                          | —                                      |               |
| —                                          | —                                      |               |

Remarks / Observações

WE HEREBY CERTIFY THAT THE TEST RESULTS OF THE ABOVE WELDING MATERIAL ARE UNDER THE REQUIRED RULES.  
CERTIFICAMOS QUE OS RESULTADOS DOS TESTES CUMPRIM COM AS NORMAS REQUERIDAS.

COVER STORY

Distances 4 and 5

ELECTRO-PORTUGAL, LDA.  
O Director Geral

**ELECTRO PORTUGAL**  
QA Manager  
Director Qualidade

voestalpine Böhler Welding Spain S.A.

voestalpine Böhler Welding Spain S.A.

Pd Int. Can. Jard  
Grübenweg 15  
08191 Rubí (Barcelona)  
Tel + 00 34 93 585.59.07  
Fax + 00 34 93 585.71.37

Website www.voestalpine.com/welding

IND.METAL.ARLINDO S.PINHO,S.A.

APARTADO,10 RELVA-VILACHA  
3730 VALE DE CAMBRA  
Portugal

Certificado 3.1

Inspection certificate 3.1

a / as per : EN 10204

No. : No. : 2017-2019070382-900004-014

Rev. 0

Page / Page : 1 / 1

|                         |                          |                                                        |         |                                      |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------|
| Pedido No.              | PO no.                   | 20000243                                               | de / of | 06.07.2017                           |
| Orden de trabajo        | Order no.                | 1019056233                                             |         |                                      |
| Número de albarán       | Delivery note/pos./sp&it | 2019070382/000020/900004                               | de / of | 06.07.2017                           |
| Objeto de ensayo        | Product                  | stick electrode / stick electrode                      |         | 20000<br>10191<br>2019056233<br>0100 |
| Designación de la marca | Trade name               | BOEHLER FOX EV 60                                      |         |                                      |
| Clasificación estándar  | Standard designation     | EN ISO 2560-A: E 42 5 B 42 H5<br>AWS A5.1: E7018-1 H4R |         |                                      |
| Dimensión               | Dimension                | 4,0 x 450 mm                                           |         |                                      |
| Colada No.              | Serial no.               | 2138911                                                |         |                                      |
| Cantidad entregada      | Quantity                 | 394,4 KG                                               |         |                                      |

Composición química en %

Chemical composition in % of the weld metal

| C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cr   | Mo     | Ni   | V      | Cu   | Nb     | Mn+Ni+C |  |  |  |
|------|------|------|-------|-------|------|--------|------|--------|------|--------|---------|--|--|--|
| 0,08 | 0,50 | 1,05 | 0,008 | 0,007 | 0,04 | < 0,01 | 0,02 | < 0,01 | 0,02 | < 0,01 | 1,12    |  |  |  |

Propiedades mecánicas

Mechanical properties

| Ensayo de tracción |                                                  |                               |                                              |                                        |             |                          |                          | Tensile test |  |
|--------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------|--|
| T                  | ReL / Rp 0.2<br>MPa                              | Rp 1.0<br>MPa                 | Rm<br>MPa                                    | A (Lo = 5d)<br>%                       | Z<br>%      | WBH<br>PWHT              | Observaciones<br>Remarks |              |  |
| 20°C               | ≥ 420                                            |                               | 500 - 640                                    | ≥ 22                                   |             |                          |                          |              |  |
| Ensayo de impacto  |                                                  |                               |                                              |                                        |             |                          |                          | Impact test  |  |
| T                  | Energía de<br>impacto Impact<br>energy<br>KV / J | Promedio<br>Average<br>KV / J | Expansión lateral<br>Lateral expansion<br>mm | Fractura frágil<br>Shear fracture<br>% | WBH<br>PWHT | Observaciones<br>Remarks |                          |              |  |
| -50°C              | ≥ 47                                             |                               |                                              |                                        |             |                          |                          |              |  |
| 20°C               | ≥ 120                                            |                               |                                              |                                        |             |                          |                          |              |  |

Lugar / Town  
Rubí, Barcelona

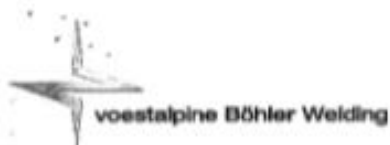
Fecha / Date  
06.07.2017

Este certificado fue emitido por el equipo de electrónica y no requiere la firma.  
This certificate was issued by OP-equipment and does not require signature

D.A. Authorized representative



voestalpine  
ONE STEP AHEAD



voestalpine Böhler Welding Spain S.A.

Pol. Ind. Can Jardi  
C/ Salmorra, 15  
08191 RUBÍ (Barcelona)  
Tel: + 00 34 93.588.89.07  
Fax: + 00 34 93.588.71.37

Website: www.voestalpine.com/welding

68241

IND.METAL.ARLINDO S.PINHO,S.A.

APARTADO,10 RELVA-VILACHA  
3730 VALE DE CAMBRA  
Portugal

### Certificado 3.1

### Inspection certificate 3.1

a / as per : EN 10204

No. : No. : 2015-2019053350-900001-014

Rev. 0

Page / Page : 1 / 1

|                         |                          |                                                        |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------|
| Pedido No.              | PO no.                   | da / of                                                |
| Orden de trabajo        | Order no.                | 1019043658                                             |
| Número de albarán       | Delivery note/pos./split | 2019053350/000010/900001 da / of 30.04.2015            |
| Objeto de ensayo        | Product                  | stick electrode / stick electrode                      |
| Designación de la marca | Trade name               | BOEHLER FOX EV 50                                      |
| Clasificación estándar  | Standard designation     | EN ISO 2560-A: E 42 5 B 42 H5<br>AWS A5.1: E7018-1 H4R |
| Dimensión               | Dimension                | 3,2 x 350 mm                                           |
| Colada No.              | Serial no.               | 2132785                                                |
| Cantidad entregada      | Quantity                 | 15,1 KG                                                |

Composición química en %

Chemical composition in % of the weld metal

| C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cr   | Mo   | Ni   | V    | Cu   | Nb     |  |  |  |  |
|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|--------|--|--|--|--|
| 0,08 | 0,54 | 1,25 | 0,015 | 0,005 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | < 0,01 |  |  |  |  |

Propiedades mecánicas

Mechanical properties

| Ensayo de tracción Tensile test |                                               |                               |                                              |                                        |             |                          |                          |
|---------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|
| T                               | ReL / Rp 0,2<br>MPa                           | Rp 1,0<br>MPa                 | Rm<br>MPa                                    | A (Lo = 5d)<br>%                       | Z<br>%      | WBH<br>PWHT              | Observaciones<br>Remarks |
| 20°C                            | ≥ 420                                         |                               | 500 - 640                                    | ≥ 22                                   |             |                          |                          |
| Ensayo de impacto Impact test   |                                               |                               |                                              |                                        |             |                          |                          |
| T                               | Energía de impacto<br>Impact energy<br>KV / J | Promedio<br>Average<br>KV / J | Expansión lateral<br>Lateral expansion<br>mm | Fractura frágil<br>Shear fracture<br>% | WBH<br>PWHT | Observaciones<br>Remarks |                          |
| -50°C                           | ≥ 47                                          |                               |                                              |                                        |             |                          |                          |
| 20°C                            | ≥ 120                                         |                               |                                              |                                        |             |                          |                          |

Lugar / Town  
Rubí, Barcelona

Fecha / Date  
30.04.2015

Este certificado fue emitido por el equipo de electrónica y no requiere la firma.  
This certificate was issued by DP-equipment and does not require signature.

Q.A. Authorized representative

20150514

voestalpine  
ONE STEP AHEAD



## UTP 613 Kb

basic-coated stick electrode

| Classifications                                                                                                                                                                                                                  |                                 |                 |                       |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------|
| EN ISO 2560-A                                                                                                                                                                                                                    |                                 | AWS A5.1        |                       |           |
| E 42 5 B42 H5                                                                                                                                                                                                                    |                                 | ~ E 7018-1 H4 R |                       |           |
| Characteristics and field of use                                                                                                                                                                                                 |                                 |                 |                       |           |
| UTP 613 Kb is a basic-coated stick electrode for construction-, boiler-, tube- and fine-grained steels as well as for steels with up to 0.35% C-content. It is especially recommended for the base materials as mentioned below. |                                 |                 |                       |           |
| UTP 613 Kb has a good weldability and a stable arc. The weld metal is resistant to ageing, crack-resistant and is little affected by steel impurities.                                                                           |                                 |                 |                       |           |
| Base materials                                                                                                                                                                                                                   |                                 |                 |                       |           |
| Construction steels                                                                                                                                                                                                              | St 34 - St 60                   |                 |                       |           |
| Fine-grained-steels                                                                                                                                                                                                              | St E 255 - 355                  |                 |                       |           |
| Boiler steels                                                                                                                                                                                                                    | H I - H II, 17 Mn 4             |                 |                       |           |
| Tube steels                                                                                                                                                                                                                      | St 35 - St 55, St 35.8, St 45.8 |                 |                       |           |
| Cast steels                                                                                                                                                                                                                      | GS 38 - GS 52                   |                 |                       |           |
| Typical analysis in %                                                                                                                                                                                                            |                                 |                 |                       |           |
| C                                                                                                                                                                                                                                | Si                              | Mn              | Fe                    |           |
| 0.07                                                                                                                                                                                                                             | 0.4                             | 1.1             | balance               |           |
| Mechanical properties of the weld metal                                                                                                                                                                                          |                                 |                 |                       |           |
| Yield strength $R_{p0.2}$                                                                                                                                                                                                        | Tensile strength $R_m$          | Elongation A    | Impact strength $K_v$ |           |
| MPa                                                                                                                                                                                                                              | MPa                             | %               | J                     |           |
| > 420                                                                                                                                                                                                                            | > 510                           | > 25            | > 120                 |           |
| Welding instruction                                                                                                                                                                                                              |                                 |                 |                       |           |
| Keep a short arc during the welding process. Weld dry stick electrodes only.<br>Re-drying: 2 – 3 h at 250 – 300° C. Preheat weldment if necessary.                                                                               |                                 |                 |                       |           |
| Welding positions                                                                                                                                                                                                                |                                 |                 |                       |           |
|  Current type DC (+)                                                                                                                          |                                 |                 |                       |           |
| Approvals                                                                                                                                                                                                                        |                                 |                 |                       |           |
| TÜV (No. 00794), DB (No. 10.014.80), ABS, BV, DNV                                                                                                                                                                                |                                 |                 |                       |           |
| Recommended welding parameters                                                                                                                                                                                                   |                                 |                 |                       |           |
| Electrodes $\varnothing \times L$ [mm]                                                                                                                                                                                           | 2.5 x 350                       | 3.2 x 350       | 4.0 x 350             | 5.0 x 450 |
| Amperage [A]                                                                                                                                                                                                                     | 80 – 100                        | 110 – 150       | 140 – 200             | 170 – 210 |

All information provided is based upon careful investigation and intensive research.  
However, we do not assume any liability for correctness and information is subject to change without notice.

08/2015 Rev. 1  
[www.voestalpine.com/welding](http://www.voestalpine.com/welding)

## Anexo C - National Board Inspectors Code (Método 2)

NB-23 2015

- e) The weld area shall be preheated and maintained at a minimum temperature of 300°F (149°C) during welding. Alternatively, for P-No. 1, Groups 1, 2 and 3 materials, the preheat may be reduced to 175°F (79°C) provided:
  - 1) Provided the carbon equivalent of the base material to be welded is determined to be 0.40 or less.
  - 2) The electrodes and filler metals are classified by the filler metal specification with a diffusible hydrogen designator of H4 or lower.
  - 3) When shielding gas is used, it shall have a dew point that is -60°F (-50°C) or lower.
- f) The preheat temperature shall be checked to assure that 4 in. (102 mm) of the material or four times the material thickness (whichever is greater) on each side of the groove (or full thickness of joint for a groove weld) is maintained at the preheat temperature during welding. When the weld does not penetrate through the full thickness of the material, the preheat need only be maintained at a distance of 4 in. (102 mm) or four times the depth of the repair weld, whichever is greater, on each side of the joint.

### 2.5.3.2 WELDING METHOD 2

When using this method, the following is required:

*Section 2 altered since 2017  
National Board Inspection Code 2017 Draft Edition  
2 alterations R.G. 115*

- a) This method shall be used when the applicable rules of the original code of construction required notch toughness testing or shall be used when the applicable rules of the original code of construction did not require notch toughness testing provided the adequacy of the notch toughness of the weld, including the heat-affected zone, in the as-welded condition at operating and pressure test conditions is verified;
- b) The materials shall be limited to carbon and low alloy steels permitted for welded construction by the applicable rules of the original code of construction, including those materials conforming to any of the following ASME P-No. designations: P-No. 1, Groups 1, 2, and 3; P-No. 3, Groups 1, 2, and 3; P-No. 4; P-No. 5A; P-No. 9A; P-No. 10A; P-No. 10B; P-No. 10C; P-No. 11A; or P-No. 11B;
- c) The welding shall be limited to the Shielded Metal-Arc Welding (SMAW), Gas Metal-Arc Welding (GMAW), Fluxcored-Arc Welding (FCAW), and Gas Tungsten-Arc Welding (GTAW) processes;
- d) The Welding Procedures Specifications shall be qualified in accordance with the temper bead procedure qualification requirements in QW-290 of ASME Section IX, and shall include the following additional requirements:
  - 1) For P-No. 1 Groups 1, 2, and 3 and P-No. 3 Groups 1, 2, and 3, the minimum preheat temperature shall be 350°F (177°C), and the maximum interpass shall be 450°F (232°C).
  - 2) For P-No. 9A, P-No. 10A, P-No. 10B, P-No. 10C, P-No. 11A, or P-No. 11B, the minimum preheat and interpass temperature requirements shall be in accordance with the guidelines in NBIC Part 3, 2.5.1.
  - 3) For P-No. 4 and P-No. 5A materials, the minimum preheat, interpass temperature, and technique shall be in accordance with NBIC Part 3, 2.5.3.4. The repair depth for temper bead repairs to pressure retaining items of P-No. 4 and P-No. 5A materials is limited to welds not penetrating through full thickness.
  - 4) For ASME Section VIII, Division 2 pressure vessels, where application of PWHT on in-service vessels has been demonstrated to cause harm to vessel material, full thickness temper bead repairs are permitted to pressure-retaining items of P-No. 4 and P-No. 5A materials. They shall be completed per NBIC Part 3, 3.3.5 with the following requirements:
    - a. The full thickness repair weld shall be verified as being the full penetration.
    - b. Volumetric examination of the full thickness weld shall be performed.

SECTION 2 46

2015 NATIONAL BOARD INSPECTION CODE

SECTION 2

- e) The test material for the welding procedure qualification shall be of the same material specification (including specification type, grade, class, and condition of heat treatment) as the material being repaired. In the event that the notch toughness of the material to be repaired is unknown, evidence from tests of that material or from another acceptable source (see NBIC Part 3, 2.5.3) may be used for the base metal notch toughness when qualifying the WPS as required in NBIC Part 3, 2.5.3.2 h). In the event that the original material specification is obsolete, the test material used should conform as closely as possible to the original material used for construction based on nominal composition and carbon equivalent (IIW Formula),<sup>9</sup> but in no case shall the material be lower in strength.
- (15) f) The qualification thickness for the test plates and repair groove depths shall be in accordance with ASME Section IX; for pressure retaining items repaired using this temper bead method, hardness testing and carbon equivalency requirements may be waived for ASME Section IX temper bead procedure qualification provided the pressure retaining item operates in steam service above 900°F (482°C).
- g) The organization making the repair shall include, when qualifying its WPS, sufficient tests to determine that the notch toughness of the weld metal and the heat-affected zone of the base metal in the "as-welded" condition is adequate at the minimum operating and pressure test temperatures (including start-up and shutdown). If for reasons of corrosion resistance, special hardness limits are necessary, such limits shall be included when qualifying the WPS.
- h) Notch toughness shall be determined and evaluated by Charpy impact tests in accordance with the provisions of the original code of construction at the temperature determined in accordance with NBIC Part 3, 2.5.3.2 d). Exemptions from impact testing described in the original code of construction are not applicable.
- i) For the welding process in NBIC Part 3, 2.5.3.2 c), use of austenitic or ferritic filler metals is permitted. For ferritic filler metals, use only electrodes and filler metals that are classified by the filler metal specification with a diffusible-hydrogen designator of H8 or lower. When shielding gases are used with a process, the gas shall exhibit a dew point that is below -60°F (-50°C). Surfaces on which welding will be done shall be maintained in a dry condition during welding and be free of rust, mill scale, and hydrogen producing contaminants such as oil, grease, and other organic materials. *\* for the FCAW and SMAW process*
- j) After the weld has been deposited flush with the base metal, a surface temper reinforcing weld layer shall be applied.
- k) For welds made by SMAW and FCAW, after completion of welding and without allowing the weldment to cool below the minimum preheat temperature, the temperature of the weldment shall be raised to a temperature of 450°F (232°C) minimum for a minimum period of two hours. This hydrogen bake-out treatment may be omitted provided the electrode used is classified by the filler metal manufacturer with a diffusible-hydrogen designator of H4 (e.g., E7018-H4). *Requisito de IIW NB155*
- l) After the finished repair weld has cooled to ambient temperature, the surface temper reinforcing layer shall be removed substantially flush with the surface of the base material.

Ponto de orvalho

2.5.3.3 WELDING METHOD 3

*Não se aplica*

When using this method, the following is required:

- a) This method may be used when the applicable rules of the original code of construction did not require notch toughness testing;
- b) The materials shall be limited to any P-No. 1 or P-No. 3 material as permitted for welded construction by the applicable rules of the original code of construction;
- c) The welding shall be limited to the SMAW, FCAW, and GTAW processes;

<sup>9</sup> The IIW Carbon Equivalent Formula is  $CE = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$ . Elements are expressed in Weight Percent Amounts.

*\* designação (norma formal)*

## Anexo D - Produção das Juntas Soldadas

| MOO. TE.0522.A0.20181221                                                                                                                                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>A</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>B</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>C</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>D</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>E</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>F</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>G</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>H</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>I</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>J</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>K</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>L</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>M</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>N</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>O</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>P</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>Q</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>R</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>S</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>T</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>U</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>V</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>W</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>X</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>Y</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>Z</b></p> </div> </div>   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AA</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>AB</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AC</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>AD</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AE</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>AF</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AG</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>AH</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AI</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>AJ</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AK</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>AL</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AM</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>AN</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AO</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>AP</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AQ</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>AR</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AS</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>AT</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AV</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>AW</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AX</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>AY</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>AZ</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BA</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BB</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BC</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BD</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BE</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BF</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BG</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BH</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BI</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BJ</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BK</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BL</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BM</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BN</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BO</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BP</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BQ</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BR</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BS</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BT</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BU</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BV</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BW</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BX</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>BY</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>BZ</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CA</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CB</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CC</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CD</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CE</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CF</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CG</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CH</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CI</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CJ</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CK</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CL</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CM</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CN</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CO</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CP</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CQ</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CR</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CS</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CT</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CU</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CV</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CW</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CX</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>CY</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>CZ</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DA</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DB</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DC</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DD</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DE</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DF</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DG</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DH</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DI</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DJ</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DK</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DL</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DM</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DN</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DO</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DP</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DQ</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DR</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DS</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DT</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DU</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DV</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DW</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DX</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>DY</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>DZ</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>EA</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>EB</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>EC</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>ED</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>EE</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>EF</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>EG</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>EH</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>EI</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>EJ</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>EK</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>EL</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>EM</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>EN</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>EO</b></p> </div> </div> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>EP</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>EQ</b></p> </div></div>  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



# WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

ESPECIFICAÇÃO DE SOLDADURA

SECTION IX, ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION N°. ASP36/2013 DATE 2013.11.05 SUPPORTING PQR N°(s) (In Qualification)  
Especificação de soldadura n°. Data PQR de suporte

WELDING PROCESS(ES) SMAW-SAW (Manual, Automatic, Machine or Semi-auto.) MACHINE-MANUAL  
Processo(s) de soldadura (Manual, Automático, Mecanizado ou Semi-Automático)

REV. 0

SHEET 1/2  
FOLHA 1/2

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|---------|------------|---|---|---|---|------------|------|--|--|-------|--------|--|--|--|------------|--|-----------|--|--|------|-------|
| <b>JOINTS (QW-402)</b><br>Juntas<br>JOINT DESIGN <u>X</u><br>Desenho da junta<br>BACKING (YES) <u>YES</u> (NO) FIRST LAYER<br>Cobre junta (sim) (não)<br>BACKING MATERIAL (Type) <u>WELDING MATERIAL</u><br>Material da cobre junta (Refer to both backing and retainers.) (Referir os dois, cobrejunta e de suporte)<br><input type="checkbox"/> METAL Metal<br><input type="checkbox"/> NONMETALLIC Não metálico<br><input type="checkbox"/> NONFUSING METAL Metal não fusível<br><input checked="" type="checkbox"/> OTHER (No retainers used) Outra (Sem cobre junta)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
| <b>BASE METALS (QW-403)</b><br>Metais base<br>P-N° <u>1</u> GROUP N° <u>1</u> TO P-N° <u>1</u> GROUP N° <u>2</u><br>P-N° a P-n°. Grupo N°. Grupo N°<br>OR OU<br>SPECIFICATION TYPE AND GRADE <u>SA 516 Gr.60</u><br>Especificação tipo e grau<br>TO SPECIFICATION TYPE AND GRADE <u>SA 516 Gr 70</u><br>A Especificação tipo e grau<br>OR OU<br>CHEM. ANALYSIS AND MECH. PROP. <u>                    </u><br>Análise química e propriedades mecânicas<br>TO CHEM. ANALYSIS AND MECH. PROP. <u>                    </u><br>A Análise química e propriedades mecânicas<br>THICKNESS RANGE:<br>Gama de espessuras<br>BASE METAL: <u>                    </u> GROOVE <u>30 mm</u> FILLET <u>                    </u><br>Metal base Junta Canto<br>PIPE DIA. RANGE: <u>                    </u> GROOVE <u>                    </u> FILLET <u>                    </u><br>Gama de diâmetros em tubo Junta Canto<br>OTHER <u>                    </u><br>Outro |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
| <b>FILLER METALS (QW-404)</b><br>Metais de adição<br>SPEC.N°.(SFA) <u>                    </u><br>Especificação<br>AWS N° (CLASS.) <u>                    </u><br>AWS N° (class.)<br>P-N° <u>                    </u><br>F-N° <u>                    </u><br>A-N° <u>                    </u><br>A-N°<br>SIZE OF FILLER METALS<br>Dimensão do metal de adição<br>WELD METAL<br>Metal depositado<br>THICKNESS RANGE:<br>Gama de espessuras<br>GROOVE <u>                    </u><br>Junta<br>FILLET <u>                    </u><br>Canto<br>ELECTRODE-FLUX (CLASS.) <u>                    </u><br>Electrodo-fluxo (class.)<br>FLUX TRADE NAME <u>                    </u><br>Marca comercial do fluxo<br>CONSUMABLE INSERT <u>                    </u><br>Consumível adicional<br>OTHER <u>                    </u><br>Outra                                                                                                                             | <table border="1"> <tr> <td>5.1</td> <td>5.17</td> </tr> <tr> <td>E7018-1</td> <td>F7P6-EM12K</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>3.25; 4 mm</td> <td>4 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>≤8 mm</td> <td>≤22 mm</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>F7P6-EM12K</td> </tr> <tr> <td></td> <td>FLUX BF10</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>BN18</td> <td>AS2Si</td> </tr> </table> | 5.1 | 5.17 | E7018-1 | F7P6-EM12K | 4 | 6 | 1 | 1 | 3.25; 4 mm | 4 mm |  |  | ≤8 mm | ≤22 mm |  |  |  | F7P6-EM12K |  | FLUX BF10 |  |  | BN18 | AS2Si |
| 5.1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 5.17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
| E7018-1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | F7P6-EM12K                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
| 3.25; 4 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 4 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
| ≤8 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ≤22 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | F7P6-EM12K                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | FLUX BF10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |
| BN18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | AS2Si                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |     |      |         |            |   |   |   |   |            |      |  |  |       |        |  |  |  |            |  |           |  |  |      |       |

Mod.ASP-TE-508.01.07



QW-482

WPS N°. ASP36/2013

SHEET 2/2  
FOLHA 2/2

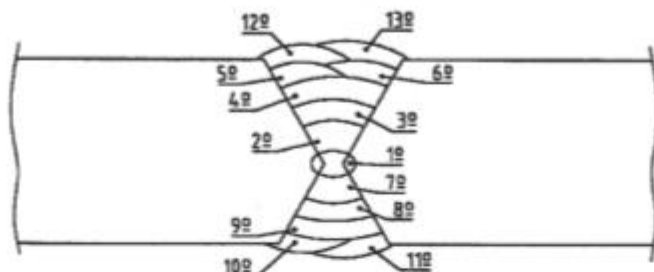
| <b>POSITIONS (QW-405)</b><br>Posições<br><b>POSITION(S) OF GROOVE</b> _____ A1(G)<br>Posição da junta<br><b>WELDING PROGRESSION: UP</b> _____ <b>DOWN</b> _____<br>Progressão de soldadura Ascendente Descendente<br><b>POSITION(S) OF FILLET</b> _____<br>Posição de soldadura de canto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            |                                        |                         | <b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b><br>Tratamento térmico após soldadura<br><b>TEMPERATURE RANGE</b> _____ 610 °C ± 10 °C<br>Gama de temperaturas<br><b>TIME RANGE</b> _____ According Heat Treatment Specification<br>Gama de tempo                                                                                                                                                                                                                                                      |                                       |                                     |                                                            |                         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------|--|--|---------------------------|--|--|---------|-----------|-----------|---------|-----------|--------|-----------|--|--|----------|--|--|---------|--|--|
| <b>PREHEAT (QW-406)</b><br>Préaquecimento<br><b>PREHEAT TEMP. MIN.</b> _____ 100 °C<br>Temp. préaquecimento Min.<br><b>INTERPASS TEMP. MAX.</b> _____ 300° (INDICATING CRAYON)<br>Temp. interpasso Max.<br><b>PREHEAT MAINTENANCE</b> _____<br>Manutenção do Préaquecimento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                            |                                        |                         | <b>GAS (QW-408)</b><br>Gás<br><table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PERCENT COMPOSITION</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Composição em percentagem</th> </tr> <tr> <th>GAS(ES)</th> <th>(MIXTURE)</th> <th>FLOW RATE</th> </tr> <tr> <th>Gás(es)</th> <th>(Mistura)</th> <th>Caudal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SHIELDING</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TRAILING</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>BACKING</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> |                                       |                                     |                                                            | PERCENT COMPOSITION     |  |  | Composição em percentagem |  |  | GAS(ES) | (MIXTURE) | FLOW RATE | Gás(es) | (Mistura) | Caudal | SHIELDING |  |  | TRAILING |  |  | BACKING |  |  |
| PERCENT COMPOSITION                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                            |                                        |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                       |                                     |                                                            |                         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| Composição em percentagem                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                            |                                        |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                       |                                     |                                                            |                         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| GAS(ES)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | (MIXTURE)                  | FLOW RATE                              |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                       |                                     |                                                            |                         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| Gás(es)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | (Mistura)                  | Caudal                                 |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                       |                                     |                                                            |                         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| SHIELDING                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                            |                                        |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                       |                                     |                                                            |                         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| TRAILING                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            |                                        |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                       |                                     |                                                            |                         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| BACKING                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                            |                                        |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                       |                                     |                                                            |                         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| <b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)</b><br>Características eléctricas<br><b>CURRENT AC OR DC</b> _____ DC<br>Corrente AC ou DC 110-155A (SAW)<br><b>AMPS (RANGE)</b> _____ 450-630A (SAW)<br>Intensidade (Gama)<br><b>TUNGSTEN ELECTRODE SIZE AND TYPE</b> _____<br>Dimensão e tipo do Electrodo de tungsténio<br><b>MODE OF METAL TRANSFER FOR GMAW</b> _____<br>Modo de transferência para GMAW<br><b>ELECTRODE WIRE FEED SPEED RANGE</b> _____<br>Gama de velocidade de alimentação de fio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                            |                                        |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                       |                                     |                                                            |                         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| <b>TECHNIQUE (QW-410)</b><br>Técnica<br><b>STRING OR WEAVE BEAD</b> _____ STRING<br>Cordão rectilíneo ou oscilatório<br><b>ORIFICE OR GAS CUP SIZE</b> _____<br>Tamanho do orifício ou do bocal de saída de gás<br><b>INITIAL AND INTERPASS CLEANING (BRUSHING, GRINDING, ETC.)</b> _____ BRUSHING ; GRINDING<br>Limpeza inicial e interpass (escovagem, rebarbagem, etc.)<br><b>METHOD OF BACK COUING</b> _____ GRINDING<br>Método de chanfragem<br><b>OSCILLATION</b> _____ NO<br>Oscilação<br><b>CONTACT TUBE TO WORK DISTANCE</b> _____ 25 mm<br>Distância do bocal à peça<br><b>MULTIPLE OR SINGLE PASS (PER SIDE)</b> _____ MULTIPLE<br>Passe múltiplo ou simples<br><b>TRAVEL SPEED (RANGE)</b> _____ 120-180 mm/min (SMAW); 400-600 mm/min (SAW)<br>Gama de velocidade de avanço<br><b>PRENNING</b> _____ NO<br>Martelagem<br><b>OTHER</b> _____<br>Outro |                            |                                        |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                       |                                     |                                                            |                         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| <b>WELD</b><br>Soldadura                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            | <b>FILLER METAL</b><br>Metal de adição |                         | <b>CURRENT</b><br>Corrente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                       | <b>VOLT RANGE</b><br>Gama de Tensão | <b>TRAVEL SPEED RANGE</b><br>Gama de velocidades de avanço | <b>OTHERS</b><br>Outros |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| <b>LAYER(S)</b><br>Passe(s)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>PROCESS</b><br>Processo | <b>CLASS.</b><br>Classificação         | <b>DIA.</b><br>Diâmetro | <b>TYPE-POLAR.</b><br>Tipo-polaridade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>AMP. RANGE</b><br>Gama Intensidade |                                     |                                                            | <b>(OBS.)</b>           |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| 1º                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | SMAW                       | E 7018-1                               | 3.25mm                  | DC(+)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 115-120A                              | 23-24V                              | 120-150 mm/min                                             | 1.06-1.44 KJ/mm         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| 2º                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | SMAW                       | E 7018-1                               | 4 mm                    | DC(+)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 140-160A                              | 23-25V                              | 170-180 mm/min                                             | 1.07-1.41 KJ/mm         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| 3º                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | SAW                        | F7P6-EM12K                             | 4 mm                    | DC(+)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 450-550A                              | 30-31V                              | 400-500 mm/min                                             | 1.62-2.56 KJ/mm         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| OTHERS(OUTROS)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | SAW                        | F7P6-EM12K                             | 4 mm                    | DC(+)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 600-630A                              | 30-33V                              | 550-600 mm/min                                             | 1.80-2.27 KJ/mm         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |
| ARSOPI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                            | INSPECTION<br>Inspeção                 |                         | CLIENT<br>Cliente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                       |                                     |                                                            |                         |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |           |  |  |          |  |  |         |  |  |

Mod.ASP.WE.509.01.97

Procedimento número: ASP36/2013

Representação esquemática do número de passes executados:

Data de Execução: 2013.11.05



| Mat. Base                      | Espessura      | Lote | Vazamento | Certificado nº |
|--------------------------------|----------------|------|-----------|----------------|
| SA 516 Gr 70 /<br>SA 516 Gr 60 | 30 mm<br>30 mm |      |           |                |

| Nº Passe | Material de Adição | Ø Material de Adição | Intensidade | Voltagem | Velocidade de Trabalho |
|----------|--------------------|----------------------|-------------|----------|------------------------|
| 1º       | E7018-1            | Ø3.25mm              | 110A        | 23V      | 120mm/min              |
| 2º       | E7018-1            | Ø4mm                 | 155A        | 25V      | 180mm/min              |
| 3º       | F7P6-EM12K (BF10)  | Ø4mm                 | 450A        | 30V      | 400mm/min              |
| 4º       | F7P6-EM12K (BF10)  | Ø4mm                 | 550A        | 31V      | 400mm/min              |
| 5º-7º    | F7P6-EM12K (BF10)  | Ø4mm                 | 600A        | 30.5V    | 550mm/min              |
| 8º-10º   | F7P6-EM12K (BF10)  | Ø4mm                 | 630A        | 32V      | 500mm/min              |
| 11º-13º  | F7P6-EM12K (BF10)  | Ø4mm                 | 615A        | 32V      | 600mm/min              |
|          |                    |                      |             |          |                        |
|          |                    |                      |             |          |                        |
|          |                    |                      |             |          |                        |
|          |                    |                      |             |          |                        |

Identificação do Soldador:

Nome: PEDRO DANIEL DA SILVA CORREIA

Número: 1703

ARSOPi 

**Produção de 4 juntas soldadas utilizando os parâmetros da WPS**

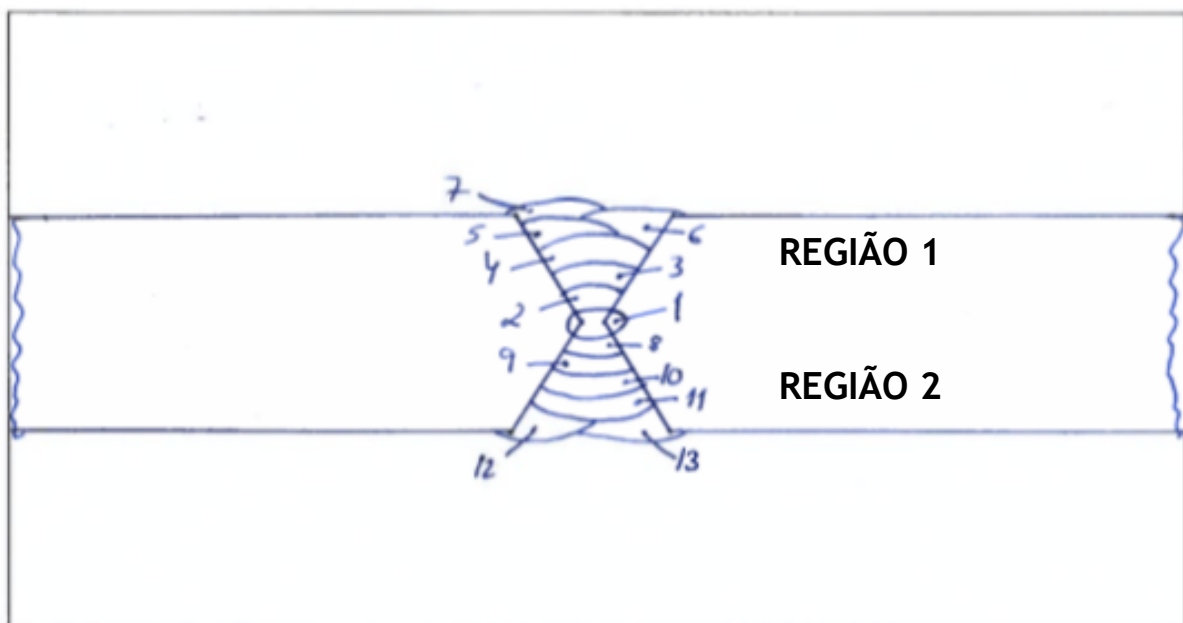
**Chapa 1**  
(Sem tratamento de alívio de tensões)

**Chapa 2**  
(Com tratamento de alívio de tensões)

**Chapa 3**  
(Com tratamento de alívio de tensões)

**Chapa 4**  
(Com tratamento de alívio de tensões)

**Representação esquemática das juntas produzidas:**



Produção das Juntas Soldadas

Chapa 1

Simão Silva

ASP 09 / 2019 e ASP AdS / 2019

|   |                           |              |   |
|---|---------------------------|--------------|---|
| 1 | ASP 09/2019<br>(sem PWHT) | ASP AdS/2019 | 1 |
| 1 |                           |              | 1 |

|   |                           |                                                         |   |
|---|---------------------------|---------------------------------------------------------|---|
| 2 | ASP 10/2019<br>(com PWHT) | ASP 10A/2019<br>(com PWHT + Half Temper Bead Technique) | 2 |
| 2 |                           |                                                         | 2 |

|   |                                         |                                                            |   |
|---|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|---|
| 3 | ASP 10B/2019<br>(com PWHT + Adicionais) | ASP 10C/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional + PWHT) | 3 |
| 3 |                                         |                                                            | 3 |

|   |                                                     |                                         |   |
|---|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|---|
| 4 | ASP 10D/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional) | ASP AdC/2019<br>(com PWHT + Adicionais) | 4 |
| 4 |                                                     |                                         | 4 |

| Passe | Técnica | Ø Metal de Adição (mm) | Tensão (V) | Intensidade (A) | Tempo      | Velocidade (mm/min) | Entrega Térmica (kJ/mm) |
|-------|---------|------------------------|------------|-----------------|------------|---------------------|-------------------------|
| 1º    | SMAW    | 3,25                   | 23,0       | 110             | -----      | 120                 | 1,27                    |
| 2º    | SMAW    | 4                      | 23,0       | 155             | -----      | 175                 | 1,22                    |
| 3º    | SAW     | 4                      | 29,8       | 455             | 4 min 06 s | 410                 | 1,98                    |
| 4º    | SAW     | 4                      | 30,9       | 555             | 4 min 08 s | 400                 | 2,57                    |
| 5º    | SAW     | 4                      | 30,5       | 610             | 3 min 02 s | 550                 | 2,03                    |
| 6º    | SAW     | 4                      | 30,3       | 605             | 3 min 04 s | 550                 | 2,00                    |
| 7º    | SAW     | 4                      | 30,5       | 605             | 3 min 16 s | 540                 | 2,05                    |
| 8º    | SAW     | 4                      | 30,5       | 605             | 3 min 00 s | 550                 | 2,01                    |
| 9º    | SAW     | 4                      | 32,0       | 630             | 3 min 25 s | 500                 | 2,42                    |
| 10º   | SAW     | 4                      | 31,9       | 635             | 3 min 24 s | 510                 | 2,38                    |
| 11º   | SAW     | 4                      | 32,1       | 638             | 3 min 18 s | 510                 | 2,41                    |
| 12º   | SAW     | 4                      | 32,2       | 635             | 3 min 16 s | 510                 | 2,41                    |
| 13º   | SAW     | 4                      | 32,0       | 620             | 2 min 45 s | 610                 | 1,95                    |

Obs: Tempo SAW: Tempo cronometrado para 1500 mm  
 Velocidade SAW: medição do comprimento do cordão de soldadura após 1 minuto  
 Velocidade SMAW: Velocidade no mostrador digital do equipamento de soldadura  
 Líquidos Penetrantes: ambos os lados do passe de raiz e da junta soldada final

Produção das Juntas Soldadas

Chapa 2

Simão Silva

ASP 10 / 2019 e ASP 10A / 2019

|   |                           |              |   |
|---|---------------------------|--------------|---|
| 1 | ASP 09/2019<br>(sem PWHT) | ASP AdS/2019 | 1 |
| 1 |                           |              | 1 |

|   |                           |                                                         |   |
|---|---------------------------|---------------------------------------------------------|---|
| 2 | ASP 10/2019<br>(com PWHT) | ASP 10A/2019<br>(com PWHT + Half Temper Bead Technique) | 2 |
| 2 |                           |                                                         | 2 |

|   |                                         |                                                            |   |
|---|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|---|
| 3 | ASP 10B/2019<br>(com PWHT + Adicionais) | ASP 10C/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional + PWHT) | 3 |
| 3 |                                         |                                                            | 3 |

|   |                                                     |                                         |   |
|---|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|---|
| 4 | ASP 10D/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional) | ASP AdC/2019<br>(com PWHT + Adicionais) | 4 |
| 4 |                                                     |                                         | 4 |

| Passe | Técnica | Ø Metal de Adição (mm) | Tensão (V) | Intensidade (A) | Tempo      | Velocidade (mm/min) | Entrega Térmica (kJ/mm) |
|-------|---------|------------------------|------------|-----------------|------------|---------------------|-------------------------|
| 1º    | SMAW    | 3,25                   | 22,0       | 110             | -----      | 120                 | 1,21                    |
| 2º    | SMAW    | 4                      | 23,0       | 155             | -----      | 165                 | 1,30                    |
| 3º    | SAW     | 4                      | 29,8       | 455             | 3 min 53 s | 430                 | 1,89                    |
| 4º    | SAW     | 4                      | 30,9       | 555             | 3 min 58 s | 420                 | 2,45                    |
| 5º    | SAW     | 4                      | 30,3       | 610             | 2 min 57 s | 560                 | 1,98                    |
| 6º    | SAW     | 4                      | 30,5       | 610             | 2 min 52 s | 560                 | 1,99                    |
| 7º    | SAW     | 4                      | 30,5       | 605             | 2 min 59 s | 550                 | 2,01                    |
| 8º    | SAW     | 4                      | 30,7       | 610             | 3 min 00 s | 550                 | 2,04                    |
| 9º    | SAW     | 4                      | 32,0       | 635             | 3 min 23 s | 490                 | 2,49                    |
| 10º   | SAW     | 4                      | 32,0       | 635             | 3 min 29 s | 500                 | 2,44                    |
| 11º   | SAW     | 4                      | 32,1       | 635             | 3 min 22 s | 500                 | 2,45                    |
| 12º   | SAW     | 4                      | 32,1       | 635             | 3 min 23 s | 510                 | 2,40                    |
| 13º   | SAW     | 4                      | 32,2       | 620             | 2 min 41 s | 610                 | 1,96                    |

Obs: Tempo SAW: tempo cronometrado para 1500 mm  
 Velocidade SAW: Velocidade no mostrador digital do equipamento de soldagem  
 Velocidade SMAW: medição do comprimento do cordão de soldagem após 1 minuto  
 líquidos penetrantes: ambos os lados do passe de raiz e da junta soldada final

Produção das Juntas Soldadas

Chapa 3

Simão Silva

ASP 10B / 2019 e ASP 10C / 2019

|   |                           |              |   |
|---|---------------------------|--------------|---|
| 1 | ASP 09/2019<br>(sem PWHT) | ASP AdS/2019 | 1 |
| 1 |                           |              | 1 |

|   |                           |                                                         |   |
|---|---------------------------|---------------------------------------------------------|---|
| 2 | ASP 10/2019<br>(com PWHT) | ASP 10A/2019<br>(com PWHT + Half Temper Bead Technique) | 2 |
| 2 |                           |                                                         | 2 |

|   |                                         |                                                            |   |
|---|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|---|
| 3 | ASP 10B/2019<br>(com PWHT + Adicionais) | ASP 10C/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional + PWHT) | 3 |
| 3 |                                         |                                                            | 3 |

|   |                                                     |                                         |   |
|---|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|---|
| 4 | ASP 10D/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional) | ASP AdC/2019<br>(com PWHT + Adicionais) | 4 |
| 4 |                                                     |                                         | 4 |

| Passo | Técnica | Ø Metal de Adição (mm) | Tensão (V) | Intensidade (A) | Tempo      | Velocidade (mm/min) | Entrega Térmica (kJ/mm) |
|-------|---------|------------------------|------------|-----------------|------------|---------------------|-------------------------|
| 1º    | SMAW    | 3,25                   | 23,0       | 110             | -----      | 120                 | 1,27                    |
| 2º    | SMAW    | 4                      | 24,0       | 155             | -----      | 175                 | 1,28                    |
| 3º    | SAW     | 4                      | 30,0       | 450             | 3 min 57 s | 420                 | 1,93                    |
| 4º    | SAW     | 4                      | 30,9       | 555             | 3 min 58 s | 420                 | 2,45                    |
| 5º    | SAW     | 4                      | 30,3       | 605             | 3 min 03 s | 560                 | 1,96                    |
| 6º    | SAW     | 4                      | 30,3       | 605             | 3 min 04 s | 560                 | 1,96                    |
| 7º    | SAW     | 4                      | 30,4       | 605             | 3 min 00 s | 560                 | 1,97                    |
| 8º    | SAW     | 4                      | 30,6       | 605             | 3 min 05 s | 560                 | 1,98                    |
| 9º    | SAW     | 4                      | 31,9       | 630             | 3 min 30 s | 500                 | 2,41                    |
| 10º   | SAW     | 4                      | 32,0       | 635             | 3 min 19 s | 500                 | 2,44                    |
| 11º   | SAW     | 4                      | 32,0       | 635             | 3 min 10 s | 500                 | 2,44                    |
| 12º   | SAW     | 4                      | 32,1       | 635             | 3 min 19 s | 500                 | 2,45                    |
| 13º   | SAW     | 4                      | 32,2       | 615             | 2 min 42 s | 600                 | 1,98                    |

Obs: Tempo SAW: tempo cronometrado para 1500 mm  
 Velocidade SAW: Velocidade no mostrador digital do equipamento de soldadura  
 Velocidade SHAW: medição do comprimento do arco de soldadura após 1 minuto  
 Líquidos Penetrantes: ambos os lados do passo de raiz e de junta soldada final

Produção das Juntas Soldadas

Chapa 4

Simão Silva

ASP 10D / 2019 e ASP AdC / 2019

|   |                           |              |   |
|---|---------------------------|--------------|---|
| 1 | ASP 09/2019<br>(sem PWHT) | ASP AdS/2019 | 1 |
| 1 |                           |              | 1 |

|   |                           |                                                         |   |
|---|---------------------------|---------------------------------------------------------|---|
| 2 | ASP 10/2019<br>(com PWHT) | ASP 10A/2019<br>(com PWHT + Half Temper Bead Technique) | 2 |
| 2 |                           |                                                         | 2 |

|   |                                         |                                                            |   |
|---|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|---|
| 3 | ASP 10B/2019<br>(com PWHT + Adicionais) | ASP 10C/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional + PWHT) | 3 |
| 3 |                                         |                                                            | 3 |

|   |                                                     |                                         |   |
|---|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|---|
| 4 | ASP 10D/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional) | ASP AdC/2019<br>(com PWHT + Adicionais) | 4 |
| 4 |                                                     |                                         | 4 |

| Passe | Técnica | Ø Metal de Adição (mm) | Tensão (V) | Intensidade (A) | Tempo      | Velocidade (mm/min) | Entrega Térmica (kJ/mm) |
|-------|---------|------------------------|------------|-----------------|------------|---------------------|-------------------------|
| 1º    | SMAW    | 3,25                   | 22,5       | 110             | -----      | 120                 | 1,24                    |
| 2º    | SMAW    | 4                      | 23,5       | 155             | -----      | 165                 | 1,32                    |
| 3º    | SAW     | 4                      | 30,0       | 450             | 4 min 08 s | 410                 | 1,98                    |
| 4º    | SAW     | 4                      | 31,0       | 555             | 4 min 15 s | 400                 | 2,58                    |
| 5º    | SAW     | 4                      | 30,5       | 610             | 3 min 01 s | 550                 | 2,03                    |
| 6º    | SAW     | 4                      | 30,5       | 610             | 3 min 00 s | 550                 | 2,03                    |
| 7º    | SAW     | 4                      | 30,6       | 610             | 2 min 57 s | 550                 | 2,04                    |
| 8º    | SAW     | 4                      | 30,4       | 610             | 2 min 58 s | 560                 | 1,99                    |
| 9º    | SAW     | 4                      | 32,0       | 630             | 3 min 20 s | 500                 | 2,42                    |
| 10º   | SAW     | 4                      | 32,0       | 635             | 3 min 23 s | 500                 | 2,44                    |
| 11º   | SAW     | 4                      | 32,0       | 635             | 3 min 21 s | 500                 | 2,44                    |
| 12º   | SAW     | 4                      | 32,1       | 640             | 3 min 16 s | 510                 | 2,42                    |
| 13º   | SAW     | 4                      | 32,1       | 620             | 2 min 46 s | 600                 | 1,99                    |

Obs: Tempo SAW: tempo cronometrado para 1500 mm  
 Velocidade SAW: velocidade no mostrador digital do equipamento de soldadura  
 Velocidade SMAW: medição do comprimento do eixo de soldadura após 1 minuto  
 Líquidos Penetrantes: ambos os lados do passe de raiz e de junta soldada final

|                                                                                                                                             |                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|  <b>DOSSIER DE CONSTRUÇÃO</b><br>MANUFACTURING DATA REPORT |                                  |
| <b>ARSOPI S.A.</b>                                                                                                                          |                                  |
| <b>Fabricante-Manufacturer:</b> ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.                                                      |                                  |
| <b>Direcção- Address:</b> Apartado 10 3730 - 954 Vale de Cambra Portugal                                                                    |                                  |
| <b>Cliente- Client:</b> -----                                                                                                               | <b>Encomenda Nº- P.O.:</b> ----- |
| <b>Projecto- Plant:</b> -----                                                                                                               | <b>ITEM Nº:</b> -----            |
| <b>Desenho- Drawing:</b> -----                                                                                                              | <b>O.F. : 100001724</b>          |

**RELATÓRIO DE ENSAIO COM LÍQUIDOS PENETRANTES**  
DYE PENETRANT EXAMINATION REPORT

**PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO DE ENSAIO**  
Procedure / Test Specification : Pop.QU0201 **REVISÃO** : A/4  
Revision

**MÉTODO:** ☒ **SPRAY** ☐ **PINCELAGEM**  
Method Spray Brushing

**TEMPERATURA:** 16°C **PENETRANT TYPE** ☒ **VISÍVEL**  
Temperature Tipo de Penetrante Visible ☐ **FLUORESCENTE**  
Fluorescent

| PRODUTO<br>Product      | MARCA<br>Make | TIPO<br>Type             | TEMPO<br>Time |
|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| LIMPEZA<br>Pretreatment | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| PENETRANTE<br>Penetrant | MarkeR        | Penetrant<br>MR 68 C     | 15 min        |
| REMOVEDOR<br>Remover    | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| REVELADOR<br>Developer  | MarkeR        | Developer<br>MR 70       | 15 min        |

**EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO:** Natural light - >1000 lx  
Lighting Equipment

**EXTENSÃO DO ENSAIO:** Passo de raiz (ambos os lados) - Chapa 1 (ASP 03/2019 e ASP AdS/2019).  
Extent of testing

**MATERIAL:** SA 516 Gr 60N **ESPESSURA:** ×30mm  
Material Thickness

**OBSERVAÇÕES:** Nenhuma indicação observada.  
Remarks

**Conclusão/Conclusion** : Aceitável

**Local e data /Place and date** : Vale de Cambra, 29 de Março de 2019.

  
Rubrica e Carimbo  
Sign and stamp

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                        |                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ARSOPI</b><br><b>Nome-Name:</b> Fernando Fernandes<br><b>Cargo-Position:</b> Q.C. Inspector<br><b>Data-Date:</b> <u>2019/03/29</u><br><b>Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:</b>  | <b>INSPECÇÃO-INSPECTION</b><br><b>Nome-Name:</b><br><b>Cargo-Position:</b><br><b>Data-Date:</b><br><b>Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:</b> | <b>CLIENTE-CLIENT</b><br><b>Nome-Name:</b><br><b>Cargo-Position:</b><br><b>Data-Date:</b><br><b>Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Mod ASP QU 061 04 07

|                                                                                                      |  |                                                           |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------|--|
|  <b>ARSOPI S.A.</b> |  | <b>DOSSIER DE CONSTRUÇÃO</b><br>MANUFACTURING DATA REPORT |  |
| <b>Fabricante-Manufacturer:</b> ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.               |  |                                                           |  |
| <b>Direcção- Address:</b> Apartado 10 3730 - 954 Vale de Cambra Portugal                             |  |                                                           |  |
| <b>Cliente- Client:</b> _____                                                                        |  | <b>Encomenda Nº- P.O.:</b> _____                          |  |
| <b>Projecto- Plant:</b> _____                                                                        |  | <b>ITEM Nº:</b> _____                                     |  |
| <b>Desenho- Drawing:</b> _____                                                                       |  | <b>O.F. : 100001724</b>                                   |  |

**RELATÓRIO DE ENSAIO COM LÍQUIDOS PENETRANTES**  
DYE PENETRANT EXAMINATION REPORT

**PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO DE ENSAIO**  
Procedure / Test Specification : Pop.QU0201 **REVISÃO** : A/4  
Revision

**MÉTODO:** ☒ **SPRAY** ☐ **PINCELAGEM**  
Method Spray Brushing

**TEMPERATURA:** 16°C **PENETRANT TYPE** ☒ **VISÍVEL**  
Temperature Tipo de Penetrante Visible  
☐ **FLUORESCENTE**  
Fluorescent

| PRODUTO<br>Product              | MARCA<br>Make | TIPO<br>Type             | TEMPO<br>Time |
|---------------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| LIMPEZA<br>Preliminary cleaning | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| PENETRANTE<br>Penetrant         | MarkeR        | Penetrant<br>MR 68 C     | 15 min        |
| REMOVEDOR<br>Remover            | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| REVELADOR<br>Developer          | MarkeR        | Developer<br>MR 70       | 15 min        |

**EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO:** Natural light – >1000 lx  
Lighting Equipment

**EXTENSÃO DO ENSAIO:** Final (ambos os lados) - Chapa 1 (ASP 09/2019 e ASP AdS/2019).  
Extent of testing

**MATERIAL:** SA 516 Gr 60N **ESPESSURA:** ×30mm  
Material Thickness

**OBSERVAÇÕES:** Nenhuma indicação observada.  
Remarks

**Conclusão/Conclusion** : Aceitável

**Local e data /Place and date** : Vale de Cambra, 1 de Abril de 2019.

  
Rubrica e Carimbo  
Sign and stamp

|                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                        |                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ARSOPI</b><br><b>Nome-Name:</b> Fernando Fernandes<br><b>Cargo-Position:</b> Q.C.Inspector<br><b>Data-Date:</b> 2019/04/01<br><b>Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:</b>  | <b>INSPECÇÃO-INSPECTION</b><br><b>Nome-Name:</b><br><b>Cargo-Position:</b><br><b>Data-Date:</b><br><b>Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:</b> | <b>CLIENTE-CLIENT</b><br><b>Nome-Name:</b><br><b>Cargo-Position:</b><br><b>Data-Date:</b><br><b>Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Mod ASP QU 061 04 07

**ARSOPI S.A.** **DOSSIER DE CONSTRUÇÃO**  
MANUFACTURING DATA REPORT

**Fabricante-Manufacturer:** ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.

**Direcção- Address:** Apartado 10 3730 - 954 Vale de Cambra Portugal

**Cliente- Client:** ----- **Encomenda Nº- P.O.:** -----

**Projecto- Plant:** ----- **ITEM Nº:** -----

**Desenho- Drawing:** ----- **O.F. : 100001724**

**RELATÓRIO DE ENSAIO COM LÍQUIDOS PENETRANTES**  
DYE PENETRANT EXAMINATION REPORT

**PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO**  
**DE ENSAIO**

Procedure / Test Specification

Pop.QU0201

**REVISÃO**

Revision

A/4

**MÉTODO:**

Method



SPRAY

Spray



PINCELAGEM

Brushing



**TEMPERATURA:**

Temperature

16°C

**PENETRANT TYPE**

Tipo de Penetrante



VISÍVEL

Visible



FLUORESCENTE

Fluorescent

| PRODUTO<br>Product      | MARCA<br>Make | TIPO<br>Type             | TEMPO<br>Time |
|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| LIMPEZA<br>Pretreatment | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| PENETRANTE<br>Penetrant | MarkeR        | Penetrant<br>MR 68 C     | 15 min        |
| REMOVEDOR<br>Remover    | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| REVELADOR<br>Developer  | MarkeR        | Developer<br>MR 70       | 15 min        |

**EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO:** Natural light – >1000 lx  
Lighting Equipment

**EXTENSÃO DO ENSAIO:** Passe de raiz (ambos os lados) - Chapa 2 (ASP 10/2019 e ASP 10A/2019) ...  
Extent of testing

**MATERIAL:**

Material

SA 516 Gr 60N

**ESPESSURA:**

Thickness

\*30mm

**OBSERVAÇÕES:**

Remarks

Nenhuma indicação observada.

**Conclusão/Conclusion**

: Aceitável

**Local e data /Place and date**

: Vale de Cambra, 25 de Março de 2019.

Rubrica e Carimbo  
Sign and stamp

|                                       |                                     |                                     |
|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>ARSOPI</b>                         | <b>INSPECÇÃO-INSPECTION</b>         | <b>CLIENTE-CLIENT</b>               |
| <b>Nome-Name:</b> Fernando Fernandes  | <b>Nome-Name:</b>                   | <b>Nome-Name:</b>                   |
| <b>Cargo-Position:</b> Q.C. Inspector | <b>Cargo-Position:</b>              | <b>Cargo-Position:</b>              |
| <b>Data-Date:</b> 2019/03/25          | <b>Data-Date:</b>                   | <b>Data-Date:</b>                   |
| <b>Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:</b>    | <b>Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:</b> | <b>Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:</b> |

Rev ASP QU 061 04 07



ARSOP S.A.

# DOSSIER DE CONSTRUÇÃO

MANUFACTURING DATA REPORT

Fabricante-Manufacturer: **ARSOP, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

Direcção- Address: Apartado 10 3730 - 954 Vale de Cambra Portugal

Cliente- Client: .....

Encomenda Nº- P.O.: .....

Projecto- Plant: .....

ITEM Nº: .....

Desenho- Drawing: .....

O.F. : 100001724

## RELATÓRIO DE ENSAIO COM LÍQUIDOS PENETRANTES

DYE PENETRANT EXAMINATION REPORT

### PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO DE ENSAIO

Procedure / Test Specification

Pop.QU0201

REVISÃO

Revision

A/4

MÉTODO:

Method



SPRAY

Spray



PINCELAGEM

Brushing



TEMPERATURA:

Temperature

16°C

PENETRANT TYPE

Tipo de Penetrante



VISÍVEL

Visible



FLUORESCENTE

Fluorescent

| PRODUTO<br>Product      | MARCA<br>Make | TIPO<br>Type             | TEMPO<br>Time |
|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| LIMPEZA<br>Precleaning  | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| PENETRANTE<br>Penetrant | MarkeR        | Penetrant<br>MR 68 C     | 15 min        |
| REMOVEDOR<br>Remover    | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| REVELADOR<br>Developer  | MarkeR        | Developer<br>MR 70       | 15 min        |

EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO: Natural light - >1000 lx

Lighting Equipment

EXTENSÃO DO ENSAIO:

Extent of testing

Final (ambos os lados) - Chapa 2 (ASP 16/2019 e ASP 10A/2019).

MATERIAL:

Material

SA 516 Gr 60N

ESPESSURA:

Thickness

\*30mm

OBSERVAÇÕES:

Remarks

Nenhuma indicação observada.

Conclusão/Conclusion

: Aceitável

Local e data /Place and date

: Vale de Cambra, 26 de Março de 2019.

Rubrica e Carimbo  
Sign and stamp

ARSOP

Nome-Name: Fernando Fernandes

Cargo-Position: Q.C. Inspector

Data-Date: 2019/03/26

Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:

INSPECÇÃO-INSPECTION

Nome-Name:

Cargo-Position:

Data-Date:

Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:

CLIENTE-CLIENT

Nome-Name:

Cargo-Position:

Data-Date:

Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:

Mod ASP QJ 051 04 07

**ASP**  
ARSOPi S.A.

**DOSSIER DE CONSTRUÇÃO**  
MANUFACTURING DATA REPORT

Fabricante-Manufacturer: **ARSOPi, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

Direcção- Address: Apartado 10 3730 - 954 Vale de Cambra Portugal

Cliente- Client: ..... Encomenda Nº- P.O.: .....

Projecto- Plant: ..... ITEM Nº: .....

Desenho- Drawing: ..... O.F. : 100001724

**RELATÓRIO DE ENSAIO COM LÍQUIDOS PENETRANTES**  
DYE PENETRANT EXAMINATION REPORT

**PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO**  
**DE ENSAIO**

Procedure / Test Specification

Pop. QU0201

REVISÃO

Revision

A/4

**MÉTODO:**

Method



SPRAY

Spray



PINCELAGEM

Brushing



**TEMPERATURA:**

Temperature

16°C

**PENETRANT TYPE**

Tipo de Penetrante



VISÍVEL

Visible



FLUORESCENTE

Fluorescent

| PRODUTO<br>Product      | MARCA<br>Make | TIPO<br>Type             | TEMPO<br>Time |
|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| LIMPEZA<br>Preliminary  | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| PENETRANTE<br>Penetrant | MarkeR        | Penetrant<br>MR 68 C     | 15 min        |
| REMOVEDOR<br>Remover    | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| REVELADOR<br>Developer  | MarkeR        | Developer<br>MR 70       | 15 min        |

EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO: Natural light – >1000 lx  
Lighting Equipment

EXTENSÃO DO ENSAIO: Passo de raiz (ambos os lados) - Chapa 3 (ASP 10B/2019 e ASP 10C/2019).  
Extent of testing

MATERIAL:

SA 516 Gr 60N

ESPESSURA:

×30mm

Material

Thickness

OBSERVAÇÕES:

Remarks

Nenhuma indicação observada.

Conclusão/Conclusion

: Aceitável

Local e data /Place and date

: Vale de Cambra, 27 de Março de 2019.

  
Rubrica/ Carimbo  
Sign and stamp

ARSOPi

Nome-Name: Fernando Fernandes

Cargo-Position: Q.C. Inspector

Data-Date: 2019/03/27

Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:

Mod ASP QU 061 04 07



INSPECÇÃO-INSPECTION

Nome-Name:

Cargo-Position:

Data-Date:

Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:

CLIENTE-CLIENT

Nome-Name:

Cargo-Position:

Data-Date:

Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:

**ASP**  
ARSOPI S.A.

**DOSSIER DE CONSTRUÇÃO**  
MANUFACTURING DATA REPORT

Fabricante-Manufacturer: **ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

Direcção- Address: Apartado 10 3730 - 954 Vale de Cambra Portugal

Cliente- Client: ..... Encomenda Nº- P.O.: .....

Projecto- Plant: ..... ITEM Nº: .....

Desenho- Drawing: ..... O.F. : 100001724

**RELATÓRIO DE ENSAIO COM LÍQUIDOS PENETRANTES**  
DYE PENETRANT EXAMINATION REPORT

**PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO**  
**DE ENSAIO**

Procedure / Test Specification

Pop.QU0201

REVISÃO

Revision

A/4

**MÉTODO:**

Method



SPRAY

Spray



PINCELAGEM

Brushing



**TEMPERATURA:**

Temperature

16°C

**PENETRANT TYPE**

Tipo de Penetrante



VISÍVEL

Visible



FLUORESCENTE

Fluorescent

| PRODUTO<br>Product      | MARCA<br>Make | TIPO<br>Type             | TEMPO<br>Time |
|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| LIMPEZA<br>Precleaning  | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| PENETRANTE<br>Penetrant | MarkeR        | Penetrant<br>MR 68 C     | 15 min        |
| REMOVEDOR<br>Remover    | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| REVELADOR<br>Developer  | MarkeR        | Developer<br>MR 70       | 15 min        |

EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO: Natural light – >1000 lx  
Lighting Equipment

EXTENSÃO DO ENSAIO: Final (ambos os lados) - Chapa 3 (ASP 10B/2019 e ASP 10C/2019).  
Extent of testing

**MATERIAL:**

Material

SA 516 Gr 60N

**ESPESSURA:**

Thickness

×30mm

**OBSERVAÇÕES:**

Remarks

Nenhuma indicação observada.

**Conclusão/Conclusion**

: Aceitável

**Local e data /Place and date**

: Vale de Cambra, 28 de Março de 2019.

  
Rubrica e Carimbo  
Sign and stamp

**ARSOPI**

Nome-Name: Fernando Fernandes

Cargo-Position: Q.C. Inspector

Data-Date: 2019/03/28

Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:



**INSPECÇÃO-INSPECTION**

Nome-Name:

Cargo-Position:

Data-Date:

Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:

**CLIENTE-CLIENT**

Nome-Name:

Cargo-Position:

Data-Date:

Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:

Mod ASP QU 051 04 07



ARSOP S.A.

# DOSSIER DE CONSTRUÇÃO

## MANUFACTURING DATA REPORT

Fabricante-Manufacturer: **ARSOP, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

Direcção- Address: Apartado 10 3730 - 954 Vale de Cambra Portugal

Cliente- Client: .....

Encomenda Nº- P.O.: .....

Projecto- Plant: .....

ITEM Nº: .....

Desenho- Drawing: .....

O.F. : 100001724

## RELATÓRIO DE ENSAIO COM LÍQUIDOS PENETRANTES

### DYE PENETRANT EXAMINATION REPORT

#### PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO DE ENSAIO

Procedure / Test Specification

Pop.QU0201

REVISÃO  
Revision

A/4

MÉTODO:  
Method

☒ SPRAY  
Spray

☐ PINCELAGEM  
Brushing

TEMPERATURA:  
Temperature

16°C

PENETRANT TYPE  
Tipo de Penetrante

☒ VISÍVEL  
Visible  
☐ FLUORESCENTE  
Fluorescent

| PRODUTO<br>Product      | MARCA<br>Make | TIPO<br>Type             | TEMPO<br>Time |
|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| LIMPEZA<br>Pretreatment | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| PENETRANTE<br>Penetrant | MarkeR        | Penetrant<br>MR 68 C     | 15 min        |
| REMOVEDOR<br>Remover    | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| REVELADOR<br>Developer  | MarkeR        | Developer<br>MR 70       | 15 min        |

EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO: Natural light - >1000 lx  
Lighting Equipment

EXTENSÃO DO ENSAIO: Passe de raiz (ambos os lados) - Chapa 4 (ASP 10D/2019 e ASP AdC/2017).  
Extent of testing

MATERIAL: SA 516 Gr 60N  
Material

ESPESSURA: \*30mm  
Thickness

OBSERVAÇÕES: Nenhuma indicação observada.  
Remarks

Conclusão/Conclusion : Aceitável

Local e data /Place and date : Vale de Cambra, 28 de Março de 2019.

Rubrica e Carimbo  
Sign and stamp

ARSOP

Nome-Name: Fernando Fernandes

Cargo-Position: Q.C. Inspector

Data-Date: 2019/03/28

Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:

INSPECÇÃO-INSPECTION

Nome-Name:

Cargo-Position:

Data-Date:

Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:

CLIENTE-CLIENT

Nome-Name:

Cargo-Position:

Data-Date:

Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:

Mod ASP-QU 061 04 07

**ASP**  
ARSOPI S.A.

**DOSSIER DE CONSTRUÇÃO**  
MANUFACTURING DATA REPORT

Fabricante-Manufacturer: **ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

Direcção- Address: Apartado 10 3730 - 954 Vale de Cambra Portugal

Cliente- Client: \_\_\_\_\_ Encomenda Nº- P.O.: \_\_\_\_\_

Projecto- Plant: \_\_\_\_\_ ITEM Nº: \_\_\_\_\_

Desenho- Drawing: \_\_\_\_\_ O.F. : 100001724

**RELATÓRIO DE ENSAIO COM LÍQUIDOS PENETRANTES**  
DYE PENETRANT EXAMINATION REPORT

PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO  
DE ENSAIO : Pop.QU0201 REVISÃO : A/4  
Procedure / Test Specification Revision

MÉTODO: ☒ SPRAY ☐ PINCELAGEM ☐  
Method Spray Brushing

TEMPERATURA: 16°C PENETRANT TYPE ☒ VISÍVEL  
Temperature Tipo de Penetrante Visible  
☐ FLUORESCENTE  
Fluorescent

| PRODUTO<br>Product      | MARCA<br>Make | TIPO<br>Type             | TEMPO<br>Time |
|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| LIMPEZA<br>Pretreatment | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| PENETRANTE<br>Penetrant | MarkeR        | Penetrant<br>MR 68 C     | 15 min        |
| REMOVEDOR<br>Remover    | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| REVELADOR<br>Developer  | MarkeR        | Developer<br>MR 70       | 15 min        |

EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO: Natural light - >1000 lx  
Lighting Equipment

EXTENSÃO DO ENSAIO: Final (ambos os lados) - Chapa 4 (ASF 10D/2019 e ASP AdC/2019).  
Extent of testing

MATERIAL: SA 516 Gr 60N ESPESSURA: >30mm  
Material Thickness

OBSERVAÇÕES: Nenhuma indicação observada.  
Remarks

Conclusão/Conclusion : Aceitável

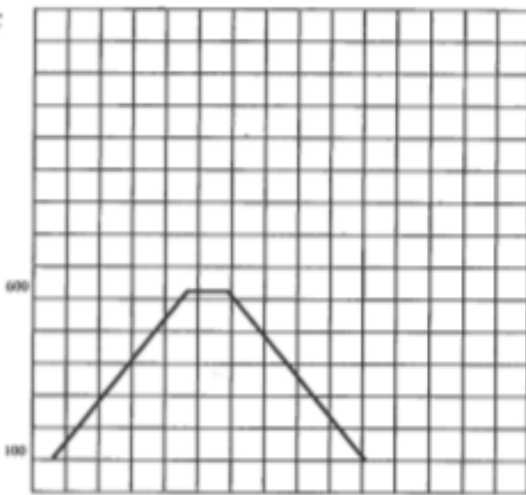
Local e data /Place and date : Vale de Cambra, 29 de Março de 2019.

  
Rubrica e Carimbo  
Sign and stamp

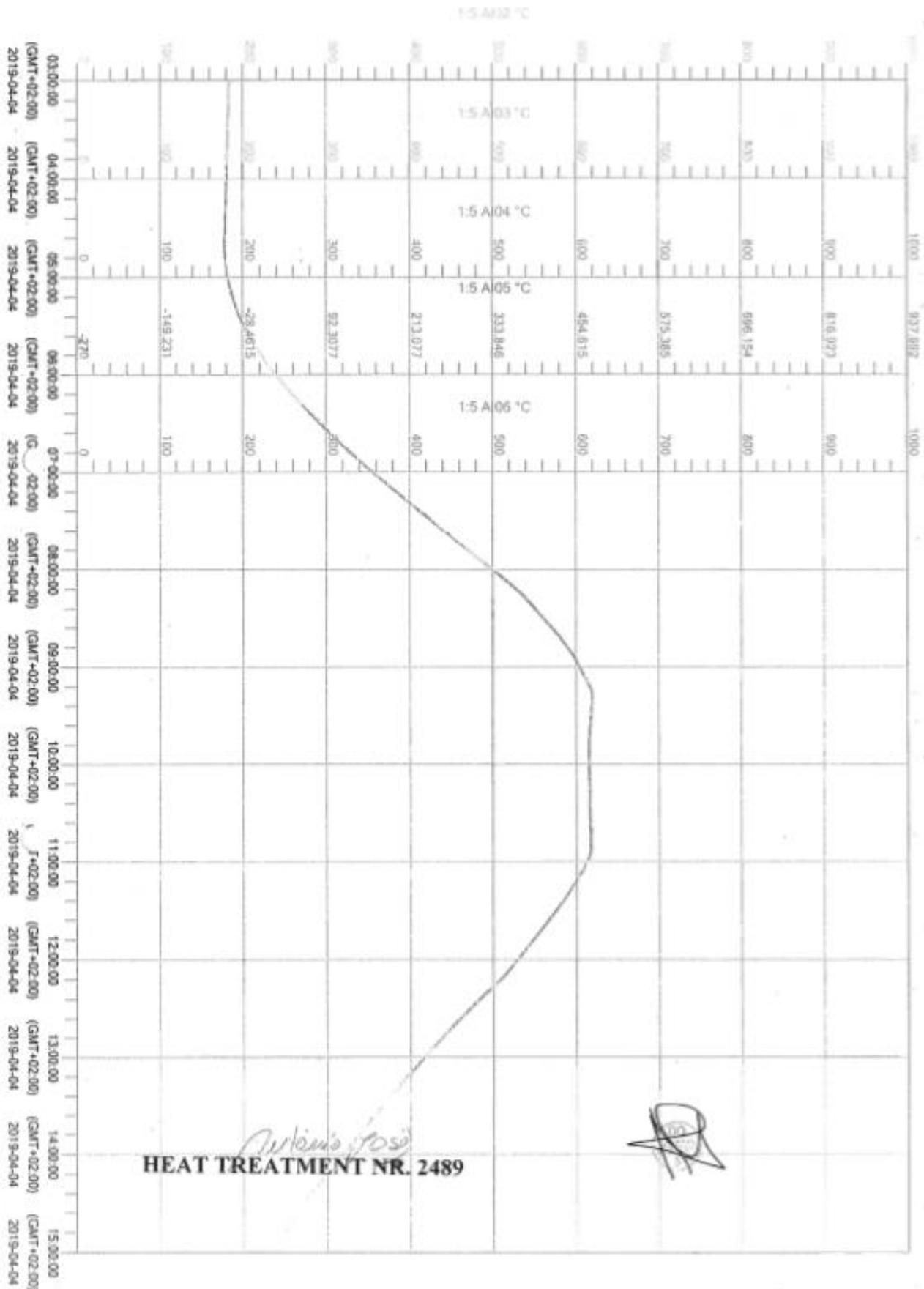
|                                |                              |                              |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <b>ARSOPI</b>                  | <b>INSPECÇÃO-INSPECTION</b>  | <b>CLIENTE-CLIENT</b>        |
| Nome-Name: Fernando Fernandes  | Nome-Name:                   | Nome-Name:                   |
| Cargo-Position: Q.C. Inspector | Cargo-Position:              | Cargo-Position:              |
| Data-Date: 2019/03/29          | Data-Date:                   | Data-Date:                   |
| Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:    | Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp: | Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp: |

Mod.ASP QU 061.04.07



|  <p><b>ARSOPi</b><br/>ATENÇÃO: 10-17122-0000 DE FURNACE-OPERATOR</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <h2 style="margin: 0;">HEAT TREATMENT SPECIFICATION</h2> | <p>SHEET      OF</p> <p>DATE 2019-04-04</p> |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------|----------------|---------|------------|--------------|--|-------------|-----------|--|-------------|--|--|-------------|--|--|
| <p><b>CLIENT:</b></p> <p>ORDER Nº</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p><b>ITEM:</b></p> <p>REV. 0</p>                        |                                             |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |
| <p><b>HEAT TREATMENT OBJECTIVE: STRESS RELIEVING</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                          |                                             |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>THERMAL CYCLE</b></p> <p>HEATING RATE<br/>    &lt; 150 °C/hour</p> <p>HOLDING<br/>  TEMPERATURE    610 ± 10 °C<br/>  TIME              1 hour 25 minutes</p> <p>COOLING RATE<br/>    &lt; 150 °C/hour</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>TEMPERATURE °C</p>  <p>TIME h</p> </div> </div> <p><b>REMARKS:</b><br/>- 1 CALIBRATED THERMOCOUPLE TO BE IN EFFECTIVE CONTACT WITH THE ITEM AND SHIELDED FROM DIRECT RADIATION OR FLAMES.</p> |                                                          |                                             |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |
| <p><b>CHARGE DESCRIPTION</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">DESIGNATION</th> <th style="width: 30%;">MATERIAL / THK</th> <th style="width: 30%;">DWG No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ASP10/2019</td> <td>SA-516 Gr60N</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ASP10A/2019</td> <td>30 mm thk</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ASP10C/2019</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ASP10D/2019</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>                                                                                                                                    |                                                          |                                             | DESIGNATION | MATERIAL / THK | DWG No. | ASP10/2019 | SA-516 Gr60N |  | ASP10A/2019 | 30 mm thk |  | ASP10C/2019 |  |  | ASP10D/2019 |  |  |
| DESIGNATION                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | MATERIAL / THK                                           | DWG No.                                     |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |
| ASP10/2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | SA-516 Gr60N                                             |                                             |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |
| ASP10A/2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 30 mm thk                                                |                                             |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |
| ASP10C/2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                          |                                             |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |
| ASP10D/2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                          |                                             |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |
| <p>4-4-2019</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                          |                                             |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |
| <p>HEAT TREATMENT Nº <b>2489</b> ON</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                          |                                             |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |
| <p>FURNACE OPERATOR <i>Antonio José</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                          |                                             |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |
| <p>ARSOPi</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>INSPECTION</p>                                        | <p>CLIENT</p>                               |             |                |         |            |              |  |             |           |  |             |  |  |             |  |  |

Mod. ASP-TEL 102 93 05





ARSOP S.A.

# CONTROLO RADIOGRÁFICO X – RAY REPORT

Fabricante-Manufacturer: **ARSOP, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

Direcção/Address: P.O. Box 10 3730-954 Vale de Cambra Codex Portugal

Cliente/Cient: ARSOP-INDÚSTRIA

Encomenda/ P.O.:-----

Código/Code: Pop.Qu0202

ITEM Nº: SEMINÁRIO E TESE DE MESTRADO

Desenho/Drawing: -----

O.F. 100001724

TEST CLASS "B"

| Referências<br>References |                     |                    | Densidade<br>Density | Interpretação<br>Assessment | Decisão<br>Decision |            | IQI<br>ASTM 1B<br>Source side | Observações<br>Remarks |
|---------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|------------|-------------------------------|------------------------|
| Soldadura<br>Weld         | Radiografia<br>Film | Soldador<br>Welder |                      |                             | 1ª<br>Obs.          | 2ª<br>Obs. |                               |                        |

|         |       |     |     |   |   |   |   |                        |
|---------|-------|-----|-----|---|---|---|---|------------------------|
| CHAPA 1 | 1 - 2 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP05/2019 (NO PWHT)   |
| CHAPA 1 | 2 - 3 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP05/2019 (NO PWHT)   |
| CHAPA 1 | 3 - 4 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP Ads/2019 (NO PWHT) |
| CHAPA 1 | 4 - 5 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP Ads/2019 (NO PWHT) |
| CHAPA 2 | 1 - 2 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP10/2019 (PWHT)      |
| CHAPA 2 | 2 - 3 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP10/2019 (PWHT)      |
| CHAPA 2 | 3 - 4 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP10A/2019 (PWHT)     |
| CHAPA 2 | 4 - 5 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP10A/2019 (PWHT)     |
| CHAPA 3 | 1 - 2 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP10C/2019 (PWHT)     |
| CHAPA 3 | 2 - 3 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP10C/2019 (PWHT)     |
| CHAPA 3 | 3 - 4 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP10B/2019 (PWHT)     |
| CHAPA 3 | 4 - 5 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP10B/2019 (PWHT)     |
| CHAPA 4 | 1 - 2 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP10A/C/2019 (PWHT)   |
| CHAPA 4 | 2 - 3 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP10A/C/2019 (PWHT)   |
| CHAPA 4 | 3 - 4 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP100/2019 (PWHT)     |
| CHAPA 4 | 4 - 5 | 565 | 3.2 | - | - | - | 6 | ASP100/2019 (PWHT)     |

|                      |  |                                     |  |                                                                      |  |                                                                      |  |
|----------------------|--|-------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------|--|
| Técnica<br>Technique |  | Outra técnica/<br>Another technique |  | Observação/<br>Viewing                                               |  | Tipo de exposição/<br>Exposure type                                  |  |
|                      |  |                                     |  | Parede simples (x)<br>Single wall<br>Dupla parede<br>Double wall ( ) |  | Parede simples (x)<br>Single wall<br>Dupla parede<br>Double wall ( ) |  |

## CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO DO CONTROLO

## Execution conditions

| Aparelho/Equipment: YXLON                        | SOLDADURA/Welding                                | DECISÃO TOMADA/Decision           |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Dimensão do foco/Focal spot size: ----           | Materiais/Materials: SA516Gr60N                  | Bom/Good -                        |
| Tensão/Voltage: 270Kv                            | Esp.reforço soldadura/weld reinf thickness: 3mm  | Aceitável/Acceptable /            |
| Intensidade/Amperage: 4mA                        | Espessura/Thickness: 30mm                        | A reparar/To repair +             |
| Isotopo/Isotope: ---- Dimensão/size: ----        | Proc.soldadura/Welding process: SMAW+SAW         | Bom após reparação =              |
| Min. source-to-object distance: 750mm            | Posição/Position: 1G                             | Aceitável após reparação X        |
| Max.distance source side of object to film: 30mm | Tipo chanfro/Groove: X                           | Operator/Operator: Fernando Costa |
| Temp.exposição/Exposure time: 4min               | Antes ou Após TT/Before or After HT: See Remarks | END148 (Level II – EN ISO 9712)   |
| Películas/Films: AGFA D4 Ug=0.2                  |                                                  |                                   |
| Nº filmes por cassete/Nº films per cassette: 1   |                                                  |                                   |

## NOTAÇÃO/Notation

|                                         |    |                                         |    |                                             |    |
|-----------------------------------------|----|-----------------------------------------|----|---------------------------------------------|----|
| Inclusões gasosas/Gaseous inclusions    | A  | Defeitos na mudança de electrodo/       | Be | De cratera/On cavities                      | Ec |
| Poros esféricos/Round porosity          | Aa | Defects on electrode changing           |    | Bordos queimados(mordeduras)/               | F  |
| Poros vermiculares/Worm holes           | Ab | Falta de fusão colagem/Lack of fusion   | C  | Undercut                                    |    |
| Poros superficiais/Surface porosity     | Ad | Falta de penetração/Lack of penetration | D  | Inclusões do fluxo/Flux inclusions          | G  |
| Inclusões de escória/Slag inclusion     | B  | No fundo do chanfro/On root             | Da | Inclusões de metais/Metal inclusions        | H  |
| Qualquer/Random                         | Ba | Entre cordões/Between passes            | Db | Inclusões de óxidos/Oxide inclusions        | J  |
| Alinhadas/Aligned                       | Bb | Fendas ou fissuras/Cracks               | E  | Cratera/Shrinkage cavities                  | K  |
| Alternadas/Alternate                    | Bc | Longitudinais/Longitudinal              | Ea | Expulsão de metal/Metal expulsion           | L  |
| Defeitos de rebarbagem/Grinding defects | Bd | Transversais/Transverse                 | Eb | Inclusões de tungsténio/Tungsten inclusions | T  |

|                                                                |                             |                       |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| <b>ARSOP</b><br>Fernando Costa END148 (Level II – EN ISO 9712) | <b>INSPECTOR/INSPECTION</b> | <b>CLIENTE/CLIENT</b> |
| Data/Date: 2018-04-10                                          | Data/Date:                  | Data/Date:            |
| Sign/Stamp:                                                    | Sign/Stamp:                 | Sign/Stamp:           |

Mod.ASP.QU.040.01.12

Pág. 1 / 1

## Anexo E - Reparação Convencional com PWHT (ASP 10C/2019)



### WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

ESPECIFICAÇÃO DE SOLDADURA

SECTION IX, ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE

(REPAIR)

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION N°. ASP10C/2019 DATE \_\_\_\_\_ SUPPORTING PQR N°(s) \_\_\_\_\_  
Especificação de soldadura n°. Data PQR de suporte

WELDING PROCESS(ES) SMAW (Manual, Automatic, Machine or Semi-Auto.) MANUAL  
Processos de soldadura (Manual, Automático, Mecanizado ou Semi-Automático)

REV. 0 SHEET 1/2  
FOLHA 1/2

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| <b>JOINTS (QW-402)</b><br>Juntas<br><b>JOINT DESIGN</b> VER ESQUEMA<br>Desenho da junta<br><b>BACKING (YES)</b> YES (NO)<br>Cobre junta (sim) (não)<br><b>BACKING MATERIAL (Type)</b> WELDING MATERIAL<br>Material da cobre junta (Refer to both backing and retainers.)<br>(Referir os dois, cobrejunta e de suporte)<br><input type="checkbox"/> METAL Metal<br><input type="checkbox"/> NONMETALLIC Não metálico<br><input type="checkbox"/> NONFUSING METAL Metal não fusível<br><input checked="" type="checkbox"/> OTHER (No retainers used) Outra (Sem cobre junta) |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                           |                     |  |                               |                           |                     |                                                   |                     |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|--|-------------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>BASE METALS (QW-403)</b><br>Metais base<br>P-N°. 1 GROUP N°. 1 TO P-N°. 1 GROUP N°. 1<br>P-N°. Grupo N°. a P-n. Grupo N.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                           |                     |  |                               |                           |                     |                                                   |                     |                     |
| OR<br>OU<br><b>SPECIFICATION TYPE AND GRADE</b> SA 516 Gr 60N<br>Especificação tipo e grau<br><b>TO SPECIFICATION TYPE AND GRADE</b> SA 516 Gr 60N<br>A Especificação tipo e grau<br>OR<br>OU<br><b>CHEM. ANALYSIS AND MECH. PROP.</b><br>Análise química e propriedades mecânicas<br><b>TO CHEM. ANALYSIS AND MECH. PROP.</b><br>A Análise química e propriedades mecânicas<br><b>THICKNESS RANGE:</b><br>Gama de espessuras<br><table border="0"> <tr> <td><b>BASE METAL:</b> Metal base</td> <td><b>GROOVE</b> Junta 30 mm</td> <td><b>FILLET</b> Canto</td> </tr> <tr> <td><b>PIPE DIA. RANGE:</b> Gama de diâmetros em tubo</td> <td><b>GROOVE</b> Junta</td> <td><b>FILLET</b> Canto</td> </tr> </table> <b>OTHER</b> Outro |                           |                     |  | <b>BASE METAL:</b> Metal base | <b>GROOVE</b> Junta 30 mm | <b>FILLET</b> Canto | <b>PIPE DIA. RANGE:</b> Gama de diâmetros em tubo | <b>GROOVE</b> Junta | <b>FILLET</b> Canto |
| <b>BASE METAL:</b> Metal base                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>GROOVE</b> Junta 30 mm | <b>FILLET</b> Canto |  |                               |                           |                     |                                                   |                     |                     |
| <b>PIPE DIA. RANGE:</b> Gama de diâmetros em tubo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>GROOVE</b> Junta       | <b>FILLET</b> Canto |  |                               |                           |                     |                                                   |                     |                     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                          |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--|
| <b>FILLER METALS (QW-404)</b><br>Metais de adição<br><b>SPEC.N°.(SFA)</b> Especificação<br><b>AWS N°.(CLASS.)</b> AWS N°. (class.)<br><b>F-N°</b><br><b>F-N°</b><br><b>A-N°</b><br><b>A-N°</b><br><b>SIZE OF FILLER METALS</b> Dimensão do metal de adição<br><b>WELD METAL</b> Metal depositado<br><b>THICKNESS RANGE:</b> Gama de espessuras<br><b>GROOVE</b> Junta<br><b>FILLET</b> Canto<br><b>ELECTRODE-FLUX (CLASS.)</b> Electrodo-fluxo (class.)<br><b>FLUX TRADE NAME</b> Marca comercial do fluxo<br><b>CONSUMABLE INSERT</b> Consumível adicional<br><b>OTHER</b> Outra | 5.1<br>E7018-1<br>4<br>1<br>3.25; 4 mm<br>=10 mm<br>BN18 |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--|

Mod.ASP.YE.508.01.07



QW-482

WPS N°. ASP10C/2019 (REPAIR) SHEET 2/2  
FOLHA 2/2

| <b>POSITIONS (QW-405)</b><br>Posições<br><b>POSITION(S) OF GROOVE</b> A (1G)<br>Posição da junta<br><b>WELDING PROGRESSION: UP</b> <input type="checkbox"/> <b>DOWN</b> <input type="checkbox"/><br>Progressão de soldadura Ascendente Descendente<br><b>POSITION(S) OF FILLET</b> <input type="checkbox"/><br>Posição de soldadura de canto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |                                                                                                     |         | <b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b><br>Tratamento térmico após soldadura<br><b>TEMPERATURE RANGE</b> 610°C±10°C<br>Gama de temperaturas<br><b>TIME RANGE</b> 1h/in<br>Gama de tempo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--|--|---------------------------|--|--|---------|-----------|-----------|---------|-----------|--------|------------------|--|--|-----------|--|--|-----------------|--|--|-------------|--|--|----------------|--|--|------|--|--|
| <b>PREHEAT (QW-406)</b><br>Préaquecimento<br><b>PREHEAT TEMP. MIN.</b> 100°C<br>Temp. préaquecimento Min.<br><b>INTERPASS TEMP. MAX.</b> 300° C (THERMAL PENCIL)<br>Temp. interpasso Max.<br><b>PREHEAT MAINTENANCE</b><br>Manutenção do Préaquecimento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |           |                                                                                                     |         | <b>GÁS (QW-408)</b><br>Gás<br><table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PERCENT COMPOSITION</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Composição em percentagem</th> </tr> <tr> <th>GAS(ES)</th> <th>(MIXTURE)</th> <th>FLOW RATE</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mistura)</th> <th>Caudal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>SHIELDING</b></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Protecção</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>TRAILING</b></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Suplementar</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><b>BACKING</b></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Raiz</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> |            |                                     |                                                            | PERCENT COMPOSITION               |  |  | Composição em percentagem |  |  | GAS(ES) | (MIXTURE) | FLOW RATE | Gas(es) | (Mistura) | Caudal | <b>SHIELDING</b> |  |  | Protecção |  |  | <b>TRAILING</b> |  |  | Suplementar |  |  | <b>BACKING</b> |  |  | Raiz |  |  |
| PERCENT COMPOSITION                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |           |                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| Composição em percentagem                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |           |                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| GAS(ES)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | (MIXTURE) | FLOW RATE                                                                                           |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| Gas(es)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | (Mistura) | Caudal                                                                                              |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| <b>SHIELDING</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |           |                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| Protecção                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |           |                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| <b>TRAILING</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |           |                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| Suplementar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |           |                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| <b>BACKING</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |           |                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| Raiz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |           |                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| <b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)</b><br>Características eléctricas<br><b>CURRENT AC OR DC</b> DC <b>POLARITY</b> REVERSE (INVERSA)<br>Corrente AC ou DC Polaridade<br><b>AMPS (RANGE)</b> 110-170A <b>VOLTS (RANGE)</b> 22-24V<br>Intensidade (Gama) Tensão (Gama)<br><b>TUNGSTEN ELECTRODE SIZE AND TYPE</b><br>Dimensão e tipo do Electrodo de tungsténio<br><b>MODE OF METAL TRANSFER FOR GMAW</b><br>Modo de transferência para GMAW<br><b>ELECTRODE WIRE FEED SPEED RANGE</b><br>Gama de velocidade de alimentação de fio                                                                                                                                                                                                                       |           |                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| <b>TECHNIQUE (QW-410)</b><br>Técnica<br><b>STRING OR WEAVE BEAD</b> STRING<br>Cordão rectilíneo ou oscilatório<br><b>ORIFICE OR GAS CUP SIZE</b><br>Tamanho do orifício ou do bocal de saída de gás<br><b>INITIAL AND INTERPASS CLEANING (BRUSHING, GRINDING, ETC.)</b> BRUSHING ; GRINDING<br>Limpeza inicial e interpass (escovagem, rebarbagem, etc.)<br><b>METHOD OF BACK GOUGING</b> GRINDING<br>Método de chanfragem<br><b>OSCILLATION</b> NO<br>Oscilação<br><b>CONTACT TUBE TO WORK DISTANCE</b> = 25mm<br>Distância do bocal à peça<br><b>MULTIPLE OR SINGLE PASS (PER SIDE)</b> MULTIPLE<br>Passe múltiplo ou simples<br><b>TRAVEL SPEED (RANGE)</b><br>Gama de velocidade de avanço<br><b>PEENING</b> NO<br>Martelagem<br><b>OTHER</b><br>Outro |           |                                                                                                     |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| <b>WELD</b><br>Soldadura<br><b>LAYER(S)</b><br>Passe(s)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |           | <b>FILLER METAL</b><br>Metal de adição<br><b>CLASS.</b><br>Classificação<br><b>DIA.</b><br>Diâmetro |         | <b>CURRENT</b><br>Corrente<br><b>TYPE-POLAR</b><br>Tipo-polaridade<br><b>AMP. RANGE</b><br>Gama Intensidade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |            | <b>VOLT RANGE</b><br>Gama de Tensão | <b>TRAVEL SPEED RANGE</b><br>Gama de velocidades de avanço | <b>OTHERS</b><br>Outros<br>(OBS.) |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| 1º                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | SMAW      | E7018-1                                                                                             | 3.25 mm | DC(+)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 110 - 120A | 22 - 23V                            | 120-130mm/min                                              | 1.12-1.38KJ/mm                    |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| OUTROS (OTHERS)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | SMAW      | E7018-1                                                                                             | 4 mm    | DC(+)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 150 - 170A | 23 - 24V                            | 160-170mm/min                                              | 1.23-1.53KJ/mm                    |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |
| ARSOPI<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |           | INSPECTION<br>Inspeção                                                                              |         | CLIENT<br>Cliente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |            |                                     |                                                            |                                   |  |  |                           |  |  |         |           |           |         |           |        |                  |  |  |           |  |  |                 |  |  |             |  |  |                |  |  |      |  |  |

Mod. ASP. TE. 508.01.07

Reparação

ASP 10E / 2019

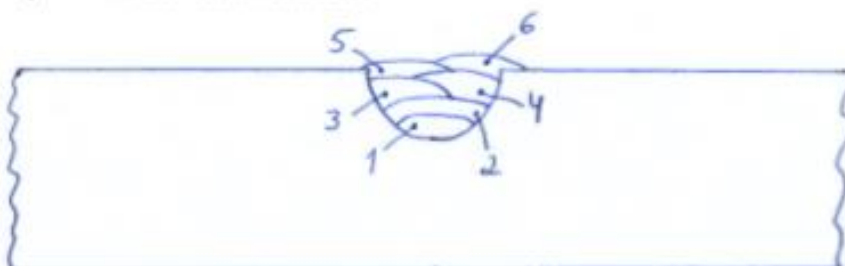
Simão Silva

|   |                                                     |                                                            |   |
|---|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---|
| 1 | ASP 09/2019<br>(sem PWHT)                           | ASP AdS/2019                                               | 1 |
| 1 |                                                     |                                                            | 1 |
| 2 | ASP 10/2019<br>(com PWHT)                           | ASP 10A/2019<br>(com PWHT + Half Temper Bead Technique)    | 2 |
| 2 |                                                     |                                                            | 2 |
| 3 | ASP 10B/2019<br>(com PWHT + Adicionais)             | ASP 10C/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional + PWHT) | 3 |
| 3 |                                                     |                                                            | 3 |
| 4 | ASP 10D/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional) | ASP AdC/2019<br>(com PWHT + Adicionais)                    | 4 |
| 4 |                                                     |                                                            | 4 |

| Passe | Técnica | Ø Metal de Adição (mm) | Tensão (V) | Intensidade (A) | Velocidade (mm/min) | Entrega Térmica (kJ/mm) |
|-------|---------|------------------------|------------|-----------------|---------------------|-------------------------|
| 1º    | SMAW    | 3,25                   | 21,0       | 115             | 130                 | 1,11                    |
| 2º    | SMAW    | 4                      | 22,0       | 160             | 150                 | 1,41                    |
| 3º    | SMAW    | 4                      | 23,0       | 160             | 165                 | 1,34                    |
| 4º    | SMAW    | 4                      | 23,5       | 160             | 165                 | 1,37                    |
| 5º    | SMAW    | 4                      | 23,0       | 160             | 160                 | 1,38                    |
| 6º    | SMAW    | 4                      | 23,0       | 160             | 135                 | 1,64                    |

Obs: Desbaste da cavidade de acordo com a WPS ASP10E/2019  
Líquidos Penetrantes: Cavidade a reparar e após o final da reparação

Representação Esquemática dos Passes Realizados:



**ARSOPI S.A.** **DOSSIER DE CONSTRUÇÃO**  
MANUFACTURING DATA REPORT

Fabricante-Manufacturer: **ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

Direcção- Address: Apartado 10 3730 - 954 Vale de Cambra Portugal

Cliente- Client: \_\_\_\_\_ Encomenda Nº- P.O.: \_\_\_\_\_

Projecto- Plant: \_\_\_\_\_ ITEM Nº: \_\_\_\_\_

Desenho- Drawing: \_\_\_\_\_ O.F.: 100001724

**RELATÓRIO DE ENSAIO COM LÍQUIDOS PENETRANTES**  
DYE PENETRANT EXAMINATION REPORT

PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO  
DE ENSAIO : Pop.QU0201 REVISÃO : A/4  
Procedure / Test Specification : Revision

MÉTODO: ☒ SPRAY ☐ PINCELAGEM  
Method : Spray : Brushing

TEMPERATURA: 16°C PENETRANT TYPE ☒ VISÍVEL  
Temperature : Tipo de Penetrante : Visible  
Fluorescent

| PRODUTO<br>Product      | MARCA<br>Make | TIPO<br>Type             | TEMPO<br>Time |
|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| LIMPEZA<br>Pretreatment | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| PENETRANTE<br>Penetrant | MarkeR        | Penetrant<br>MR 68 C     | 15 min        |
| REMOVEDOR<br>Remover    | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| REVELADOR<br>Developer  | MarkeR        | Developer<br>MR 70       | 15 min        |

EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO: Natural light – >1000 lx  
Lighting Equipment

EXTENSÃO DO ENSAIO: Área a reparar - Chapa 3 (ASP 10C/2019)  
Extent of testing

MATERIAL: SA 516 Gr 60N ESPESSURA: 30mm  
Material : Thickness

OBSERVAÇÕES: Nenhuma indicação observada.  
Remarks

Conclusão/Conclusion : Aceitável

Local e data /Place and date : Vale de Cambra, 23 de Abril de 2019.

*[Signature]*  
Rubrica e Carimbo  
Sign and stamp

| ARSOPI                         | INSPECÇÃO-INSPECTION         | CLIENTE-CLIENT               |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Nome-Name: Fernando Fernandes  | Nome-Name:                   | Nome-Name:                   |
| Cargo-Position: Q.C. Inspector | Cargo-Position:              | Cargo-Position:              |
| Data-Date: 2019/04/23          | Data-Date:                   | Data-Date:                   |
| Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:    | Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp: | Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp: |

Mod ASP QU 001 DA 01

*[Signature]*



ARSOP S.A.

# DOSSIER DE CONSTRUÇÃO MANUFACTURING DATA REPORT

Fabricante-Manufacturer: **ARSOP, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

Direcção- Address: Apartado 10 3730 - 954 Vale de Cambra Portugal

Cliente- Client: .....

Encomenda Nº- P.O.: .....

Projecto- Plant: .....

ITEM Nº: .....

Desenho- Drawing: .....

O.F. : 100001724

## RELATÓRIO DE ENSAIO COM LÍQUIDOS PENETRANTES DYE PENETRANT EXAMINATION REPORT

### PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO DE ENSAIO

Procedure / Test Specification

Pop.QU0201

REVISÃO

Revision

A/4

### MÉTODO:

Method



SPRAY

Spray



PINCELAGEM

Brushing



### TEMPERATURA:

Temperature

16°C

### PENETRANT TYPE

Tipo de Penetrante



VISÍVEL

Visible



FLUORESCENTE

Fluorescent

| PRODUTO<br>Product      | MARCA<br>Make | TIPO<br>Type             | TEMPO<br>Time |
|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| LIMPEZA<br>Precleaning  | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| PENETRANTE<br>Penetrant | MarkeR        | Penetrant<br>MR 68 C     | 15 min        |
| REMOVEDOR<br>Remover    | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| REVELADOR<br>Developer  | MarkeR        | Developer<br>MR 70       | 15 min        |

EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO: Natural light - >1000 lx  
Lighting Equipment

EXTENSÃO DO ENSAIO: Após soldadura de reparação - Chapa 3 (ASP 10C/2019).  
Extent of testing

MATERIAL: SA 516 Gr 60N

Material

ESPESSURA:

Thickness

\*30mm

### OBSERVAÇÕES:

Remarks

Nenhuma indicação observada.

Conclusão/Conclusion

: Aceitável

Local e data /Place and date

: Vale de Cambra, 24 de Abril de 2019.

Rubrica e Carimbo  
Sign and stamp

### ARSOP

Nome-Name: Fernando Fernandes

Cargo-Position: Q.C. Inspector

Data-Date: 2019/04/24

Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:

### INSPECÇÃO-INSPECTION

Nome-Name:

Cargo-Position:

Data-Date:

Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:

### CLIENTE-CLIENT

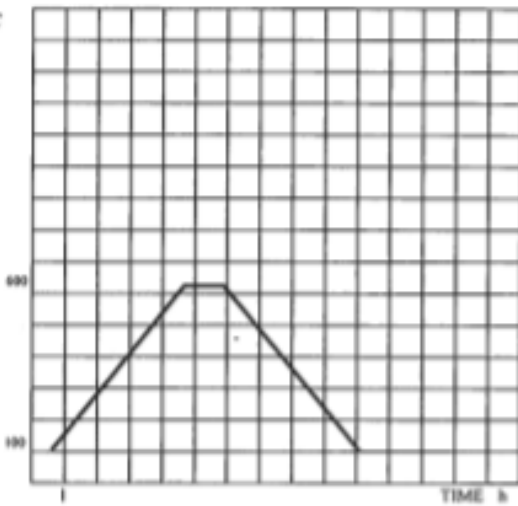
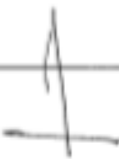
Nome-Name:

Cargo-Position:

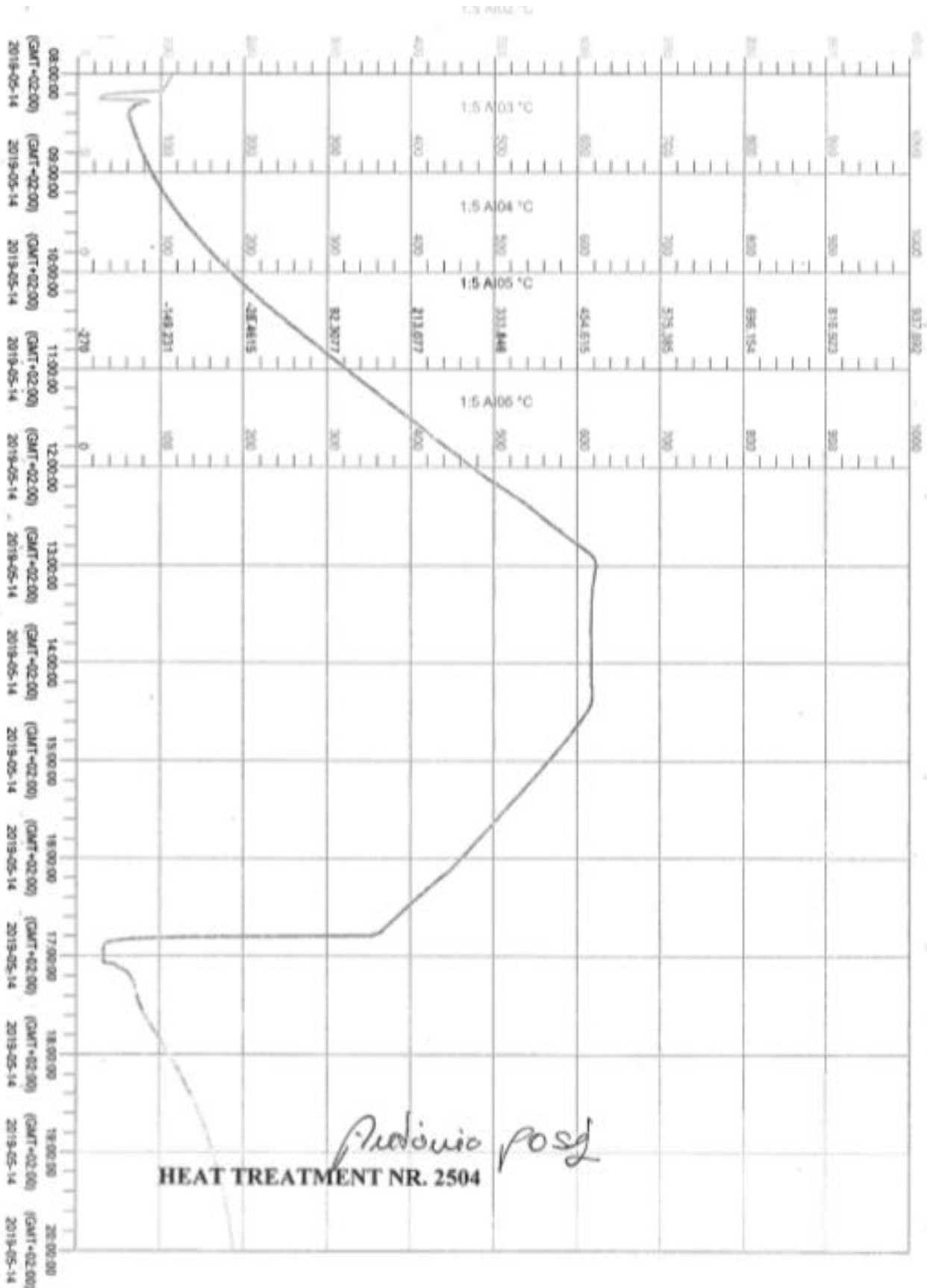
Data-Date:

Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp:

Mod.ASP 001 04.07

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                         |                                  |             |                |         |             |                           |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|-------------|----------------|---------|-------------|---------------------------|--|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>HEAT TREATMENT<br/>SPECIFICATION</b> | SHEET      OF<br>DATE 2019-05-14 |             |                |         |             |                           |  |
| <b>CLIENT:</b><br><br>ORDER Nº                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>ITEM:</b><br><br>REV. 0              |                                  |             |                |         |             |                           |  |
| <b>HEAT TREATMENT OBJECTIVE: STRESS RELIEVING</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                         |                                  |             |                |         |             |                           |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>THERMAL CYCLE</b></p> <p>HEATING RATE<br/>    &lt; 150 °C/hour</p> <p>HOLDING<br/>  TEMPERATURE    610 ± 10 °C<br/>  TIME              1 hour 25 minutes</p> <p>COOLING RATE<br/>    &lt; 150 °C/hour</p> <p><b>REMARKS:</b><br/>- 1 CALIBRATED THERMOCOUPLE TO BE IN EFFECTIVE CONTACT WITH THE ITEM AND SHIELDED FROM DIRECT RADIATION OR FLAMES.</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> <p>TEMPERATURE °C</p>  <p>TIME h</p> </div> </div> |                                         |                                  |             |                |         |             |                           |  |
| <p><b>CHARGE DESCRIPTION</b></p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">DESIGNATION</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">MATERIAL / THK</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">DWG No.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ASP10C/2019</td> <td style="text-align: center;">SA-516 Gr60N<br/>30 mm thk</td> <td></td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                     |                                         |                                  | DESIGNATION | MATERIAL / THK | DWG No. | ASP10C/2019 | SA-516 Gr60N<br>30 mm thk |  |
| DESIGNATION                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | MATERIAL / THK                          | DWG No.                          |             |                |         |             |                           |  |
| ASP10C/2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | SA-516 Gr60N<br>30 mm thk               |                                  |             |                |         |             |                           |  |
| 14-05-2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                         |                                  |             |                |         |             |                           |  |
| HEAT TREATMENT Nº <u>2504</u> ON                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                         |                                  |             |                |         |             |                           |  |
| FURNACE OPERATOR <u>Antônio Foz</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                         |                                  |             |                |         |             |                           |  |
| ARSOPI<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | INSPECTION                              | CLIENT                           |             |                |         |             |                           |  |

Mod. ASP/TE.102.93.05





**ARSOPi S.A.**

**CONTROL RADIOLÓGICO**  
**X - RAY REPORT**

Fabricante-Manufacturer: **ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

**Direcção/Address:** P.O. Box 10 3730-954 Vale de Cambra Codex Portugal

**Cliente/Client : ARSOPI-INDÚSTRIA**

Encomenda/ P.O. \_\_\_\_\_

**Código:** Exame Pop. Qu0202

**ITEM Nº: SEMINÁRIO E TESTE DE MESTRADO**

Desenho/Drawing: .....

O.F. 100001724

| Referências<br>References |                     |                    | Densidade<br>Density | Interpretação<br>Assessment | Decisão<br>Decision |            | IQI<br>ASTM 18<br>Source side | Observações<br>Remarks |
|---------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|------------|-------------------------------|------------------------|
| Soldadura<br>Weld         | Radiografia<br>Film | Soldador<br>Welder |                      |                             | 1ª<br>Obs.          | 2ª<br>Obs. | Fio visível<br>Wire obs.      |                        |

|             |       |     |     |   |   |                             |
|-------------|-------|-----|-----|---|---|-----------------------------|
| ASP10C/2019 | 1 - 2 | 565 | 2.7 | - | 6 | HEAT TREATMENT AFTER REPAIR |
| ASP10C/2019 | 2 - 3 | 565 | 2.8 | - | 6 | HEAT TREATMENT AFTER REPAIR |

| Técnicas<br>Technique | <br>(1) | <br>(1) | <br>(1) | <br>(1) | <br>(1) | <br>(1) | <br>(1) | <br>(1) | Outra técnica/<br>Another technique<br><div data-bbox="804 1012 887 1016"></div><br>(1) | Observação:<br>Viewing       | Exposição:<br>Exposure type  |                              |     |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----|
|                       |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                         | Parde simples<br>Single wall | Parde simples<br>Single wall | (1)                          |     |
|                       |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                         | Dupla parede<br>Double wall  | Dupla parede<br>Double wall  | (1)                          |     |
|                       |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                         |                              | Parde simples<br>Single wall | Parde simples<br>Single wall | (2) |
|                       |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                         |                              | Dupla parede<br>Double wall  | Dupla parede<br>Double wall  | (1) |

| CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO DO CONTROLO                |                                                         | Execution conditions            |   |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------|---|
| Aparelho/Equipment: ICM                          | <b>SOLDADURA/Welding</b>                                | <b>DECISÃO TOMADA/Decision</b>  |   |
| Dimensão do foco/Focal spot size: 2.5X2.5        | Material/Materials: SA 516 Gr65 N                       | Bom/Good                        | - |
| Tensão/Voltage 270Kv                             |                                                         | Aceitável/Acceptable            | / |
| Intensidade/Amperage: 5mA                        | Esp.reforço soldadura/weld reinforcement thickness: 1mm | A reparar/To repair             | + |
| Isótopo/Isotope: ..... Dimensão/size: .....      | Espessura/Thickness: 30mm                               | Bom após reparação              | = |
| Min. source-to-object distance: 750mm            | Proc.soldadura/Welding process: SMAW-SAW                | Good after repair               |   |
| Max.distance source side of object to film: 30mm | Posição/Position: 1G                                    | Aceitável após reparação        | X |
| Temp.exposição/Exposure time 4min                | Tipo: chanfro/Groove: See WPS                           | Acceptable after repair         |   |
| Películas/Films: AGFA D4                         | Antes ou Após TT/Before or After HT: IIT                | Operator/Operator: PINHEIRO     |   |
| NP films: por cassete/np films per cassette: 1   |                                                         | END148 (Level II - EN ISO 9712) |   |

| NOTAÇÃO/Notation                       |    |
|----------------------------------------|----|
| Inclusões gasosas/Gaseous inclusions   | A  |
| Poros estencos/Found porosity          | Aa |
| Poros vermiculares/Worm holes          | Ab |
| Poros superficiais/Surface porosity    | Ad |
| Inclusões de escória/Slag inclusion    | B  |
| Quaisquer/Random                       | Ba |
| Alinhadas/Aligned                      | Bb |
| Alternadas/Alternate                   | Bc |
| Defeitos de rebabagem/Grinding defects | Bd |
| Defeitos na mudança de electrode/      | Be |
| Defeitos na mudança de electrode/      | Be |
| Bordos queimados/mordeduras/           | F  |
| Undercut                               | C  |
| Inclusões do fluxo/Flux inclusions     | D  |
| Inclusões de metais/Metal inclusions   | Da |
| Inclusões de óxidos/Oxide inclusions   | Db |
| Cratera/Shrinkage cavities             | E  |
| Expulsão de metais/Metal expulsion     | Ea |
| Inclusões de tungstênio/Tungsten       | Eb |

|                                                                                                                                                                                         |                                                          |                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>ARSOPI</b><br>Formado Coal EN0148 (Level 1 - EN180 EN15)<br>Data/Date: 2019-05-20<br>Sign/Stamp:  | <b>INSPECTOR/INSPECTION</b><br>Data/Date:<br>Sign/Stamp: | <b>CLIENTE/CLIENT</b><br>Data/Date:<br>Sign/Stamp: |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|

Mod ASP OU 040 of 12

Pág. 1 / 1



ARSOPI S.A.

## MANUFACTURING DATA REPORT

Manufacturer: **ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

Address: P.O. Box 10 3730 954 Vale de Cambra Portugal

Pag. 1 de 1

Cliente- Client: -----

Encomenda Nº- Purchase Order: -----

Projecto- Plant: -----

ITEM Nº: ASP10C/2019

Desenho- Drwg: -----

O.F.: 100001724

## RELATÓRIO DE INSPECÇÃO POR ULTRA SONS Ultrasonic Examination Report

PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO DE ENSAIO:

Procedure / Test Specification:

Pop.QU0204 A/3

DESENHOS:

DRAWINGS: -----

OBJECTIVO:

PURPOSE: Detecção de descontinuidades após reparação

MATERIAL:

MATERIAL: SA516 Gr60

ESPESSURA:

TICKNESS: 30mm

PROCESSO DE SOLDADURA:

WELDING PROCEDURE: SMAW

MATERIAL DE ADIÇÃO:

WELDING MATERIAL: E7018-1 H4R

CHANFROS:

GROOVE: -----

EQUIPAMENTO-EQUIPMENT:

MARCA:

MAKE:

SIUI

MODELO:

MODEL:

Syncscan

10

Nº:

Nº

UT046

SONDA:

PROBE:

KD SE10/6 PB4C

WK 70 PB4 C

WK 45 PB4 C

DIMENSÃO:

DIMENSION:

8x9

8x9

FREQUÊNCIA:

FREQUENCY:

4 MHz

BLOCOS DE CALIBRAÇÃO:

CALIBRATION BLOCKS

V1 for probe's delay calibration

Ø3 mm SDH for sensitivity scanning

CONDIÇÕES DE ENSAIO-TEST CONDITIONS:

ESTADO DA SUPERFÍCIE:

SURFACE CONDITION:

Smooth

AMPLIFICAÇÃO:

AMPLITUDE:

37 db

31 db

42 db

ACOPLANTE:

COUPLANT:

KD Echotrace

ESCALA:

SCALE:

0 - 300 mm

0 - 200 mm

0 - 50 mm

CABO:

CABLE:

Lemo 00 - 1,5 m

OBSERVAÇÕES:

REMARKS:

Não foram detetadas indicações numa zona adjacente à soldadura de 100 mm para cada lado

CONCLUSÃO:

CONCLUSION:

Aceitável

Local/Data-Place and date

: Vale de Cambra, 23 de Maio 2019.

ARSOPI

Nome-Name:

Cert. No: END-823 (RELACRE - PT)

Cargo-Position: Level II - EN ISO 9712

Data-Date: 23 de Maio 2019

Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:

INSPECTION

Nome-Name:

Cargo-Position:

Data-Date:

Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:

CLIENT

Nome-Name:

Cargo-Position:

Data-Date:

Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:

Mod: ASP-QU062 00 07

## Anexo F - Reparação Convencional sem PWHT (ASP 10D/2019)



## WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

ESPECIFICAÇÃO DE SOLDADURA

SECTION IX, ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE

(REPAIR)

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION N°. ASP10D/2019 DATE \_\_\_\_\_ SUPPORTING PQR N°(s) \_\_\_\_\_  
Especificação de soldadura n°. Data PQR de suporteWELDING PROCESS(ES) SMAW (Manual, Automatic, Machine or Semi-Auto.) MANUAL  
Processo(s) de soldadura (Manual, Automático, Mecanizado ou Semi-Automático)REV. 0 SHEET 1/2  
FOLHA 1/2

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                       |                        |                                  |                              |                        |                                                      |                        |                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>JOINTS (QW-402)</b><br>Juntas<br><b>JOINT DESIGN</b> VER ESQUEMA<br>Desenho da junta<br><b>BACKING (YES)</b> YES (NO)<br>Cobre junta (sim) (não)<br><b>BACKING MATERIAL (Type)</b> WELDING MATERIAL<br>Material da cobre junta (Refer to both backing and retainers.)<br>(Referir os dois, cobrejunta e de suporte)<br><input type="checkbox"/> METAL Metal<br><input type="checkbox"/> NONMETALLIC Não metálico<br><input type="checkbox"/> NONFUSING METAL Metal não fusível<br><input checked="" type="checkbox"/> OTHER (No retainers used) Outra (Sem cobre junta)                             |                                                                                                       |                        |                                  |                              |                        |                                                      |                        |                        |
| <b>BASE METALS (QW-403)</b><br>Metais base<br>P-N°. 1 GROUP N°. 1 TO P-N°. 1 GROUP N°. 1<br>P-N°. Grupo N°. a P-n°. Grupo N°.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                       |                        |                                  |                              |                        |                                                      |                        |                        |
| OR<br>SPECIFICATION TYPE AND GRADE SA 516 Gr 60N<br>Especificação tipo e grau<br>TO SPECIFICATION TYPE AND GRADE SA 516 Gr 60N<br>A Especificação tipo e grau                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                       |                        |                                  |                              |                        |                                                      |                        |                        |
| OR<br><b>CHEM. ANALYSIS AND MECH. PROP.</b> _____<br>Análise química e propriedades mecânicas<br><b>TO CHEM. ANALYSIS AND MECH. PROP.</b> _____<br>A Análise química e propriedades mecânicas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                       |                        |                                  |                              |                        |                                                      |                        |                        |
| <b>THICKNESS RANGE:</b><br>Gama de espessuras<br><table border="0"> <tr> <td><b>BASE METAL:</b><br/>Metal base</td> <td><b>GROOVE</b><br/>Junta 30 mm</td> <td><b>FILLET</b><br/>Canto</td> </tr> <tr> <td><b>PIPE DIA. RANGE:</b><br/>Gama de diâmetros em tubo</td> <td><b>GROOVE</b><br/>Junta</td> <td><b>FILLET</b><br/>Canto</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                       |                        | <b>BASE METAL:</b><br>Metal base | <b>GROOVE</b><br>Junta 30 mm | <b>FILLET</b><br>Canto | <b>PIPE DIA. RANGE:</b><br>Gama de diâmetros em tubo | <b>GROOVE</b><br>Junta | <b>FILLET</b><br>Canto |
| <b>BASE METAL:</b><br>Metal base                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>GROOVE</b><br>Junta 30 mm                                                                          | <b>FILLET</b><br>Canto |                                  |                              |                        |                                                      |                        |                        |
| <b>PIPE DIA. RANGE:</b><br>Gama de diâmetros em tubo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>GROOVE</b><br>Junta                                                                                | <b>FILLET</b><br>Canto |                                  |                              |                        |                                                      |                        |                        |
| <b>OTHER</b> _____<br>Outro                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                       |                        |                                  |                              |                        |                                                      |                        |                        |
| <b>FILLER METALS (QW-404)</b><br>Metais de adição<br><b>SPEC.N°.(SFA)</b><br>Especificação<br><b>AWS N°.(CLASS.)</b><br>AWS N°. (class.)<br><b>F-N°</b><br>F-N°.<br><b>A-N°</b><br>A-N°.<br><b>SIZE OF FILLER METALS</b><br>Dimensão do metal de adição<br><b>WELD METAL</b><br>Metal depositado<br><b>THICKNESS RANGE:</b><br>Gama de espessuras<br><b>GROOVE</b><br>Junta<br><b>FILLET</b><br>Canto<br><b>ELECTRODE-FLUX (CLASS.)</b><br>Electrodo-fluxo (class.)<br><b>FLUX TRADE NAME</b><br>Marca comercial do fluxo<br><b>CONSUMABLE INSERT</b><br>Consumível adicional<br><b>OTHER</b><br>Outra | 5.1<br>E7018-1<br>4<br>1<br>3.25; 4 mm<br>_____<br>=10 mm<br>_____<br>_____<br>_____<br>_____<br>BN18 |                        |                                  |                              |                        |                                                      |                        |                        |

Mod. ASP-TE.508.01.07



QW-482

(REPAIR) SHEET 2/2  
WPS N°. ASP10D/2019 FOLHA 2/2

| <b>POSITIONS (QW-405)</b><br>Posições<br><b>POSITION(S) OF GROOVE</b> _____ A (1G)<br>Posição da junta<br><b>WELDING PROGRESSION:</b> UP _____ DOWN _____<br>Progressão de soldadura Ascendente Descendente<br><b>POSITION(S) OF FILLET</b> _____<br>Posição de soldadura de canto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                  |                                        |                         | <b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b><br>Tratamento térmico após soldadura<br><b>TEMPERATURE RANGE</b> _____<br>Gama de temperaturas<br><b>TIME RANGE</b> _____<br>Gama de tempo<br><b>GÁS (QW-408)</b><br>Gás                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                       |                   |                               |                         |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------|--|--|--|--------------------|------------------------|---------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|
| <b>PREHEAT (QW-406)</b><br>Préaquecimento<br><b>PREHEAT TEMP. MIN.</b> _____<br>Temp. préaquecimento Min. 100°C<br><b>INTERPASS TEMP. MAX.</b> _____<br>Temp. interpassa Max. 300° C (THERMAL PENCIL)<br><b>PREHEAT MAINTENANCE</b> _____<br>Manutenção do Préaquecimento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                  |                                        |                         | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="3">PERCENT COMPOSITION<br/>Composição em percentagem</th> </tr> <tr> <th></th> <th>GAS(ES)<br/>Gas(es)</th> <th>(MIXTURE)<br/>(Mistura)</th> <th>FLOW RATE<br/>Caudal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>SHIELDING</b><br/>Protecção</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td><b>TRAILING</b><br/>Suplementar</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td><b>BACKING</b><br/>Raiz</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table> |                                       |                   |                               |                         | PERCENT COMPOSITION<br>Composição em percentagem |  |  |  | GAS(ES)<br>Gas(es) | (MIXTURE)<br>(Mistura) | FLOW RATE<br>Caudal | <b>SHIELDING</b><br>Protecção | _____ | _____ | _____ | <b>TRAILING</b><br>Suplementar | _____ | _____ | _____ | <b>BACKING</b><br>Raiz | _____ | _____ | _____ |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | PERCENT COMPOSITION<br>Composição em percentagem |                                        |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                       |                   |                               |                         |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | GAS(ES)<br>Gas(es)                               | (MIXTURE)<br>(Mistura)                 | FLOW RATE<br>Caudal     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                       |                   |                               |                         |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |
| <b>SHIELDING</b><br>Protecção                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | _____                                            | _____                                  | _____                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                       |                   |                               |                         |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |
| <b>TRAILING</b><br>Suplementar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | _____                                            | _____                                  | _____                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                       |                   |                               |                         |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |
| <b>BACKING</b><br>Raiz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | _____                                            | _____                                  | _____                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                       |                   |                               |                         |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |
| <b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)</b><br>Características eléctricas<br><b>CURRENT AC OR DC</b> _____ DC _____ <b>POLARITY</b> _____ REVERSE (INVERSA)<br>Corrente AC ou DC Polaridade<br><b>AMPS (RANGE)</b> _____ 110-170A <b>VOLTS (RANGE)</b> _____ 22-24V<br>Intensidade (Gama) Tensão (Gama)<br><b>TUNGSTEN ELECTRODE SIZE AND TYPE</b> _____<br>Dimensão e tipo do Electrodo de tungsténio<br><b>MODE OF METAL TRANSFER FOR GMAW</b> _____<br>Modo de transferência para GMAW<br><b>ELECTRODE WIRE FEED SPEED RANGE</b> _____<br>Gama de velocidade de alimentação de fio                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                  |                                        |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                       |                   |                               |                         |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |
| <b>TECHNIQUE (QW-410)</b><br>Técnica<br><b>STRING OR WEAVE BEAD</b> _____ STRING _____<br>Cordão rectilíneo ou oscilatório<br><b>ORIFICE OR GAS CUP SIZE</b> _____<br>Tamanho do orifício ou do bocal de saída de gás<br><b>INITIAL AND INTERPASS CLEANING (BRUSHING, GRINDING, ETC.)</b> _____ BRUSHING ; GRINDING<br>Limpeza inicial e interpass (escovagem, rebarbagem, etc.)<br><b>METHOD OF BACK COUGING</b> _____ GRINDING _____<br>Método de chanfragem<br><b>OSCILLATION</b> _____ NO _____<br>Oscilação<br><b>CONTACT TUBE TO WORK DISTANCE</b> _____ = 25mm _____<br>Distância do bocal à peça<br><b>MULTIPLE OR SINGLE PASS (PER SIDE)</b> _____ MULTIPLE _____<br>Passe múltiplo ou simples<br><b>TRAVEL SPEED (RANGE)</b> _____<br>Gama de velocidade de avanço<br><b>PEENING</b> _____ NO _____<br>Martelagem<br><b>OTHER</b> _____<br>Outro |                                                  |                                        |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                       |                   |                               |                         |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |
| <b>WELD</b><br>Soldadura                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                  | <b>FILLER METAL</b><br>Metal de adição |                         | <b>CURRENT</b><br>Corrente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                       | <b>VOLT RANGE</b> | <b>TRAVEL SPEED RANGE</b>     | <b>OTHERS</b><br>Outros |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |
| <b>LAYER(S)</b><br>Passe(s)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>PROCESS</b><br>Processo                       | <b>CLASS.</b><br>Classificação         | <b>DIA.</b><br>Diâmetro | <b>TYPE-POLAR.</b><br>Tipo-polaridade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>AMP. RANGE</b><br>Gama Intensidade | Gama de Tensão    | Gama de velocidades de avanço | <b>(OBS.)</b>           |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |
| 1º                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | SMAW                                             | E7018-1                                | 3.25 mm                 | DC(+)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 110 - 120A                            | 22 - 23V          | 120-130mm/min                 | 1.12-1.38KJ/mm          |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |
| OUTROS (OTHERS)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | SMAW                                             | E7018-1                                | 4 mm                    | DC(+)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 150 - 170A                            | 23 - 24V          | 160-170mm/min                 | 1.23-1.53KJ/mm          |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |
| ARSOPi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                  | INSPECTION<br>Inspeção                 |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | CLIENT<br>Cliente                     |                   |                               |                         |                                                  |  |  |  |                    |                        |                     |                               |       |       |       |                                |       |       |       |                        |       |       |       |

Mod.ASP.TE.508.01.07

Reparação

ASP 10D / 2019

Simão Silva

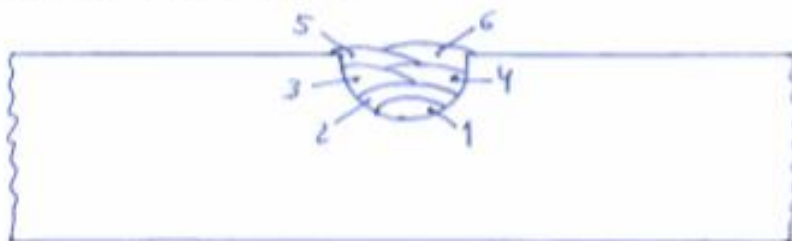
|   |                                                     |                                                            |   |
|---|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---|
| 1 | ASP 09/2019<br>(sem PWHT)                           | ASP AdS/2019                                               | 1 |
| 1 |                                                     |                                                            | 1 |
| 2 | ASP 10/2019<br>(com PWHT)                           | ASP 10A/2019<br>(com PWHT + Half Temper Bead Technique)    | 2 |
| 2 |                                                     |                                                            | 2 |
| 3 | ASP 10B/2019<br>(com PWHT + Adicionais)             | ASP 10C/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional + PWHT) | 3 |
| 3 |                                                     |                                                            | 3 |
| 4 | ASP 10D/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional) | ASP AdC/2019<br>(com PWHT + Adicionais)                    | 4 |
| 4 |                                                     |                                                            | 4 |

| Passe | Técnica | Ø Metal de Adição (mm) | Tensão (V) | Intensidade (A) | Velocidade (mm/min) | Entrega Térmica (kJ/mm) |
|-------|---------|------------------------|------------|-----------------|---------------------|-------------------------|
| 1º    | SMAW    | 3,25                   | 21,5       | 115             | 130                 | 1,14                    |
| 2º    | SMAW    | 4                      | 22,5       | 160             | 140                 | 1,54                    |
| 3º    | SMAW    | 4                      | 23,5       | 160             | 150                 | 1,50                    |
| 4º    | SMAW    | 4                      | 23,0       | 160             | 160                 | 1,38                    |
| 5º    | SMAW    | 4                      | 23,5       | 160             | 130                 | 1,74                    |
| 6º    | SMAW    | 4                      | 23,5       | 160             | 135                 | 1,67                    |

Obs:

Restante da cavidade a reparar de acordo com a WPS ASP10D/2019  
Líquidos Penetrantes: cavidade a reparar e após o final da reparação

Representação Esquemática dos Passes Realizados:



**ASP**  
ARSOPI S.A.

**DOSSIER DE CONSTRUÇÃO**  
MANUFACTURING DATA REPORT

Fabricante-Manufacturer: **ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

Direcção- Address: Apartado 10 3730 - 954 Vale de Cambra Portugal

Cliente- Client: \_\_\_\_\_ Encomenda Nº- P.O.: \_\_\_\_\_

Projecto- Plant: \_\_\_\_\_ ITEM Nº: \_\_\_\_\_

Desenho- Drawing: \_\_\_\_\_ O.F. : 100001724

**RELATÓRIO DE ENSAIO COM LÍQUIDOS PENETRANTES**  
DYE PENETRANT EXAMINATION REPORT

PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO  
DE ENSAIO : Pop.QU0201 REVISÃO : A/4  
Procedure / Test Specification Revision

MÉTODO: ☒ SPRAY ☐ PINCELAGEM ☐  
Method Spray Brushing

TEMPERATURA: 16°C PENETRANT TYPE ☒ VISÍVEL  
Temperature Tipo de Penetrante Visible  
☐ FLUORESCENTE  
Fluorescent

| PRODUTO<br>Product      | MARCA<br>Make | TIPO<br>Type             | TEMPO<br>Time |
|-------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| LIMPEZA<br>Preliminary  | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| PENETRANTE<br>Penetrant | MarkeR        | Penetrant<br>MR 68 C     | 15 min        |
| REMOVEDOR<br>Remover    | MarkeR        | Special Cleaner<br>MR 79 |               |
| REVELADOR<br>Developer  | MarkeR        | Developer<br>MR 70       | 15 min        |

EQUIPAMENTO DE ILUMINAÇÃO: Natural light - >1000 lx  
Lighting Equipment

EXTENSÃO DO ENSAIO: Área a reparar e após soldadura de reparação - Chapa 4 (ASP 10Dx2019) :  
Extent of testing

MATERIAL: SA 516 Gr 60N ESPESSURA: \*30mm  
Material Thickness

OBSERVAÇÕES: Nenhuma indicação observada.  
Remarks

Conclusão/Conclusion : Aceitável

Local e data /Place and date : Vale de Cambra, 23 de Abril de 2019.

  
Roberto e Carimbo  
Sign and stamp

|                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                            |                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ARSOPI</b><br>Nome-Name: Fernando Fernandes<br>Cargo-Position: Q.C. Inspector<br>Data-Date: 2019/04/23<br>Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:  | <b>INSPECÇÃO-INSPECTION</b><br>Nome-Name:<br>Cargo-Position:<br>Data-Date:<br>Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp: | <b>CLIENTE-CLIENT</b><br>Nome-Name:<br>Cargo-Position:<br>Data-Date:<br>Rubrica/ Carimbo-Sign/Stamp: |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Mod ASP QU 061 04 07



**ARSOPi S.A.**

**CONTROLO RADIOGRÁFICO**  
**X - RAY REPORT**

Fabricante-Manufacturer: **ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

**Direcção/Address:** P.O. Box 10 3730-954 Vale de Cambra Codex Portugal

**Cliente/Client:** ARSOPI-INDÚSTRIA

Encomenda/ P.O.: \_\_\_\_\_

Código/Code: Pop. Qu0202

ITEM Nº: SEMINÁRIO E TESTE DE MESTRADO

Desenho/Drawing: -----

O.F. 100001724

| Referências<br>References |                     |                    | Densidade<br>Density | Interpretação<br>Assessment | Decisão<br>Decision |            | IQI<br>ASTM 1B<br>Source side | Observações<br>Remarks |
|---------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|------------|-------------------------------|------------------------|
| Soldadura<br>Weld         | Radiografia<br>Film | Soldador<br>Welder |                      |                             | 1ª<br>Obs.          | 2ª<br>Obs. | Fio visível<br>Wire size      |                        |

[illegible]

|                      |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |  |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Técnica<br>Technique |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|

#### CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO DO CONTROLO

### Execution conditions

| Aparelho/Equipment ICM                           | SOLDADURA/Welding                               | DECISÃO TOMADA/Decision        |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|
| Dimensão do foco/Focal spot size 2.5X2.5         | Material/Materials: SA 316 Gr40 N               | Bom/Good -                     |
| Tensão/Voltage 270Kv                             |                                                 | Aceitável/Acceptable /         |
| Intensidade/Amperage 3mA                         | Esp. reforço soldadura/weld joint thickness 1mm | A reparar/To repair +          |
| Isotopo/isotope: ----- Dimensão/size -----       | Espessura/Thickness: 30mm                       | Bom após reparação =           |
| Min. source-to-object distance: 750mm            | Proc. soldadura/Welding process: SMAW+SAW       | Good after repair              |
| Max. distance source side of object to film 30mm | Posição/Position: 1G                            | Aceitável após reparação X     |
| Temp. exposição/Exposure time 4min               | Tipo: chanfro/Groove: See WPS                   | Acceptable after repair        |
| Películas/Film: AGFA D4                          | Antes ou Após TTT/Before or After HT: NO HT     | Operator/Operator: PINHEIRO    |
| NP film ou cassette/NP film ou cassette: 1       |                                                 | EN0148 (Level 3 – EN ISO 9712) |

## NOTAÇÃO/Notation

|                                         |    |                                         |    |                                      |   |
|-----------------------------------------|----|-----------------------------------------|----|--------------------------------------|---|
| Inclusões gasosas/Gaseous inclusions    | A  | Defeitos na mudança de eletrodo         | Ba | De cratera/On cavities               | E |
| Poros esféricos/Round porosity          | Aa | Defeitos on electrode changing          | Bb | Borões queimados/(mordeduras)/       | F |
| Poros vemiculares/Worm holes            | Ab | Falta de fusão colagem/Lack of fusion   | C  | Undercut                             | G |
| Poros superficiais/Surface porosity     | Ad | Falta de penetração/Lack of penetration | D  | Inclusões do fluxo/Fux inclusions    | H |
| Inclusões de escória/Slag inclusion     | B  | No fundo do chanfro/On root             | Da | Inclusões de metais/Metal inclusions | I |
| Quaisquer/Random                        | Ba | Entre cordões/Between passes            | Db | Inclusões de Óxidos/Oxide inclusions | J |
| Alinhadas/Aligned                       | Bb | Fendas ou fissuras/Cracks               | E  | Cratera/shrinkage cavities           | K |
| Alternadas/Alternate                    | Bc | Longitudinais/Longitudinal              | Ea | Expulsão de metais/Metal expulsion   | L |
| Defeitos de rebarbagem/Grinding defects | Bd | Transversais/Transverse                 | Eb | Inclusões de tungstênio/Tungsten     | M |

**ARSOPI**

Expandable Code EN0140 Level 3 - ENR000123

Data/Date: 2019-08-20

Sign/Stamp:

Mod ASP QU 04001.15

INSPECTOR/INSPECTION

1997-1998

Data/Date:

**Sign/Stamp:**

**CLIENTE/CLIENT**

100

Data/Date:

Sign/Stamp:

|                                                                                                      |  |                                     |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
|  <b>ARSOPI S.A.</b> |  | <b>MANUFACTURING DATA REPORT</b>    |  |
| Manufacturer: <b>ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.</b>                          |  |                                     |  |
| Address: P.O. Box 10 3730 954 Vale de Cambra                                                         |  | Portugal                            |  |
| Cliente- Client: -----                                                                               |  | Encomenda Nº- Purchase Order: ----- |  |
| Projecto- Plant: -----                                                                               |  | ITEM Nº: ASP10D/2019                |  |
| Desenho- Drwg: -----                                                                                 |  | O.F.: 100001724                     |  |

**RELATÓRIO DE INSPECÇÃO POR ULTRA SONS**  
**Ultrasonic Examination Report**

**PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO DE ENSAIO:**

Procedure / Test Specification:

Pop.QU0204 A/3

**DESENHOS:**

DRAWINGS: -----

|                                                                           |  |                                                             |  |
|---------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------|--|
| <b>OBJECTIVO:</b><br>PURPOSE: Detecção de descontinuidades após reparação |  |                                                             |  |
| <b>MATERIAL:</b><br>MATERIAL: SA516 Gr60                                  |  | <b>ESPESSURA:</b><br>THICKNESS: 30mm                        |  |
| <b>PROCESSO DE SOLDADURA:</b><br>WELDING PROCEDURE: SMAW                  |  | <b>MATERIAL DE ADIÇÃO:</b><br>WELDING MATERIAL: E7018-1 H4R |  |
|                                                                           |  | <b>CHANFROS:</b><br>GROOVE: -----                           |  |

**EQUIPAMENTO-EQUIPMENT:**

|                                                                                                                            |                                                 |                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>MARCA:</b><br>MAKE: SIUI                                                                                                | <b>MODELO:</b><br>MODEL: Syncscan               | <b>Nº:</b><br>N°: UT046                |
| <b>SONDA:</b><br>PROBE: KD SE10/5 PB4C<br>WK 70 PB4 C<br>WK 45 PB4 C                                                       | <b>DIMENSÃO:</b><br>DIMENSION: 10<br>8x9<br>8x9 | <b>FREQUÊNCIA:</b><br>FREQUENCY: 4 MHz |
| <b>BLOCOS DE CALIBRAÇÃO:</b><br>CALIBRATION BLOCKS: V1 for probe's delay calibration<br>Ø3 mm SDH for sensitivity scanning |                                                 |                                        |

**CONDIÇÕES DE ENSAIO-TEST CONDITIONS:**

|                                                           |                                                                |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>ESTADO DA SUPERFÍCIE:</b><br>SURFACE CONDITION: Smooth | <b>AMPLIFICAÇÃO:</b><br>AMPLITUDE: 37 db<br>31 db<br>42 db     |
| <b>ACOPLANTE:</b><br>COUPLANT: KD Echotrace               | <b>ESCALA:</b><br>SCALE: 0 - 300 mm<br>0 - 200 mm<br>0 - 50 mm |
| <b>CABO:</b><br>CABLE: Lemo 00 - 1,5 m                    |                                                                |

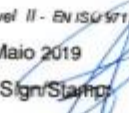
**OBSERVAÇÕES:**

REMARKS: Não foram detetadas indicações numa zona adjacente à soldadura de 100 mm para cada lado

**CONCLUSÃO:**

CONCLUSION: Aceitável

Local/Data-Place and date : Vale de Cambra, 23 de Maio 2019.

|                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                 |                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ARSOPI</b><br>Nome-Name: Jorge Silva<br>Cert. No: END-823 (RELACRE - PT)<br>Cargo-Position: Level II - EN ISO 9712<br>Data-Date: 23 de Maio 2019<br>Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:  | <b>INSPECTION</b><br>Nome-Name:<br>Cargo-Position:<br>Data-Date:<br>Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp: | <b>CLIENT</b><br>Nome-Name:<br>Cargo-Position:<br>Data-Date:<br>Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp: |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|

Mod. ASP QU 062 09 07

## Anexo G - Reparação por Half Temper Bead (ASP 10A/2019)

### Cálculo dos Parâmetros para Half Temper Bead Technique

|                                                                                                                                            |                        |                        |                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1ª Camada com eletrodo de <math>\varnothing = 2,5</math> mm</b><br>(De acordo com o Documento Temper Bead Welding da WTIA)              |                        |                        | Heat Input = HI = J/mm<br>Tensão = V<br>Intensidade = A<br>Velocidade = v = mm/s |
| $HI = \frac{V * A}{v}$                                                                                                                     | $v = \frac{V * A}{HI}$ | $A = \frac{v * HI}{V}$ | $V = \frac{v * HI}{A}$                                                           |
| <b>Heat Input = 0,67 kJ/mm</b><br><b>Tensão = 20,5 V</b><br><b>Intensidade = 90 A</b><br><b>Velocidade <math>\approx</math> 165 mm/min</b> |                        |                        |                                                                                  |

|                                                                                                                                                               |                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>2ª Camada com eletrodo de <math>\varnothing = 3,2</math> mm</b><br>Rácio = 1,6 da primeira para a segunda camada<br>$1,6 \times 0,67 = 1,07$ kJ/mm         |                                                                                                         |
| <b>Heat Input = 1,07 kJ/mm</b><br>Heat Input = 1070 J/mm<br>Tensão= 22 V<br>Intensidade = 120 A<br>$v = \frac{V * A}{HI} = \frac{22 * 120}{1070} = 2,47$ mm/s | <b>Tensão = 22 V</b><br><b>Intensidade = 120 A</b><br><b>Velocidade <math>\approx</math> 150 mm/min</b> |

|                                                                                                                                                                |                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>3ª Camada com eletrodo de <math>\varnothing = 4,0</math> mm</b><br>Rácio = 1,4 da segunda para a terceira camada<br>$1,4 \times 1,072 = 1,50$ kJ/mm         |                                                                                                         |
| <b>Heat Input = 1,50 kJ/mm</b><br>Heat Input = 1500 J/mm<br>Tensão = 24 V<br>Intensidade = 165 A<br>$v = \frac{V * A}{HI} = \frac{24 * 165}{1500} = 2,64$ mm/s | <b>Tensão = 24 V</b><br><b>Intensidade = 165 A</b><br><b>Velocidade <math>\approx</math> 160 mm/min</b> |

|                                                                                                                                                      |                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>4ª Camada com eletrodo de <math>\varnothing = 4,0</math> mm</b><br>Rácio = 1,3 para a camada final<br>$0,8 \times 1,50 = 1,20$ kJ/mm              |                                                                                        |
| <b>Heat Input = 1,20 kJ/mm = 1200 J/mm</b><br>Tensão = 22,5 V<br>Intensidade = 160 A<br>$v = \frac{V * A}{HI} = \frac{22,5 * 160}{1200} = 3,00$ mm/s | <b>Tensão = 22,5 V</b><br><b>Intensidade = 160 A</b><br><b>Velocidade = 180 mm/min</b> |

## Intensidade de Corrente Recomendada Para Diferentes Eléttodos

| ELECTRODE   | DIAMETER | AMPERAGE RANGE |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|-------------|----------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|             |          | 50             | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 |  |
| 6010 & 6011 | 3/32     | ■              | ■   |     |     |     |     |     |     |     |  |
|             | 1/8      |                | ■   | ■   |     |     |     |     |     |     |  |
|             | 5/32     |                |     | ■   | ■   |     |     |     |     |     |  |
|             | 3/16     |                |     | ■   | ■   | ■   |     |     |     |     |  |
|             | 7/32     |                |     |     | ■   | ■   | ■   |     |     |     |  |
| 6013        | 1/4      |                |     |     |     | ■   | ■   | ■   |     |     |  |
|             | 1/16     | ■              | ■   |     |     |     |     |     |     |     |  |
|             | 5/64     | ■              | ■   |     |     |     |     |     |     |     |  |
|             | 3/32     |                | ■   | ■   | ■   |     |     |     |     |     |  |
|             | 1/8      |                |     | ■   | ■   | ■   |     |     |     |     |  |
|             | 5/32     |                |     | ■   | ■   | ■   | ■   |     |     |     |  |
|             | 3/16     |                |     |     | ■   | ■   | ■   | ■   |     |     |  |
|             | 7/32     |                |     |     |     | ■   | ■   | ■   | ■   |     |  |
| 7014        | 1/4      |                |     |     |     |     | ■   | ■   | ■   |     |  |
|             | 3/32     |                | ■   | ■   |     |     |     |     |     |     |  |
|             | 1/8      |                |     | ■   | ■   | ■   |     |     |     |     |  |
|             | 5/32     |                |     |     | ■   | ■   | ■   |     |     |     |  |
|             | 3/16     |                |     |     |     | ■   | ■   | ■   | ■   |     |  |
| 7018        | 7/32     |                |     |     |     |     | ■   | ■   | ■   | ■   |  |
|             | 1/4      |                |     |     |     |     |     | ■   | ■   | ■   |  |
|             | 3/32     |                | ■   | ■   |     |     |     |     |     |     |  |
|             | 1/8      |                |     | ■   | ■   | ■   |     |     |     |     |  |
|             | 5/32     |                |     |     | ■   | ■   | ■   |     |     |     |  |
| 7024        | 3/16     |                |     |     |     | ■   | ■   | ■   | ■   |     |  |
|             | 7/32     |                |     |     |     |     | ■   | ■   | ■   | ■   |  |
|             | 1/4      |                |     |     |     |     |     | ■   | ■   | ■   |  |
|             | 3/32     |                |     | ■   | ■   |     |     |     |     |     |  |
|             | 1/8      |                |     |     | ■   | ■   | ■   |     |     |     |  |
| Ni-Ci       | 5/32     |                |     | ■   | ■   |     |     |     |     |     |  |
|             | 3/16     |                |     |     | ■   | ■   |     |     |     |     |  |
|             | 3/32     |                | ■   | ■   |     |     |     |     |     |     |  |
|             | 1/8      |                |     | ■   | ■   |     |     |     |     |     |  |
| 308L        | 7/32     | ■              | ■   |     |     |     |     |     |     |     |  |
|             | 1/4      |                |     | ■   | ■   |     |     |     |     |     |  |
|             | 5/32     |                |     |     | ■   | ■   |     |     |     |     |  |

Reparação Half Temper Bead Welding

Simão Silva

ASP 10A / 2019

|   |                                                     |                                                            |   |
|---|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---|
| 1 | ASP 09/2019<br>(sem PWHT)                           | ASP AdS/2019                                               | 1 |
| 1 |                                                     |                                                            | 1 |
| 2 | ASP 10/2019<br>(com PWHT)                           | ASP 10A/2019<br>(com PWHT + Half Temper Bead Technique)    | 2 |
| 2 |                                                     |                                                            | 2 |
| 3 | ASP 10B/2019<br>(com PWHT + Adicionais)             | ASP 10C/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional + PWHT) | 3 |
| 3 |                                                     |                                                            | 3 |
| 4 | ASP 10D/2019<br>(com PWHT + Reparação Convencional) | ASP AdC/2019<br>(com PWHT + Adicionais)                    | 4 |
| 4 |                                                     |                                                            | 4 |

| Camada | Passe | Técnica<br>Eléctrodo | Ø Metal de<br>Adição<br>(mm) | Tensão<br>(V) | Intensidade<br>(A) | Velocidade<br>(mm/min) | Entrega Térmica<br>(kJ/mm) |
|--------|-------|----------------------|------------------------------|---------------|--------------------|------------------------|----------------------------|
| 1      | 1º    | SMAW<br>E7018-1 H4   | 2,5                          | 21,5          | 90                 | 155                    | 0,75                       |
|        | 2º    |                      |                              | 23,5          | 90                 | 155                    | 0,82                       |
|        | 3º    |                      |                              | 22,5          | 90                 | 150                    | 0,81                       |
|        | 4º    |                      |                              | 23,0          | 90                 | 165                    | 0,75                       |
|        | 5º    |                      |                              | 23,5          | 90                 | 175                    | 0,73                       |
|        | 6º    |                      |                              | 23,5          | 90                 | 185                    | 0,69                       |
|        | 7º    |                      |                              | 24,0          | 90                 | 200                    | 0,65                       |
| 2      | 8º    | SMAW<br>E7018-1 H4R  | 3,2                          | 23,0          | 120                | 140                    | 1,18                       |
|        | 9º    |                      |                              | 24,0          | 120                | 170                    | 1,02                       |
|        | 10º   |                      |                              | 23,5          | 120                | 155                    | 1,09                       |
| 3      | 11º   | SMAW<br>E7018-1 H4R  | 4,0                          | 24,0          | 165                | 170                    | 1,40                       |
|        | 12º   |                      |                              | 23,5          | 165                | 180                    | 1,29                       |
|        | 13º   |                      |                              | 25,0          | 165                | 175                    | 1,41                       |
| 4      | 14º   | SMAW<br>E7018-1 H4R  | 4,0                          | 24,0          | 160                | 175                    | 1,32                       |
|        | 15º   |                      |                              | 24,5          | 160                | 230                    | 1,02                       |
|        | 16º   |                      |                              | 25,0          | 160                | 230                    | 1,04                       |

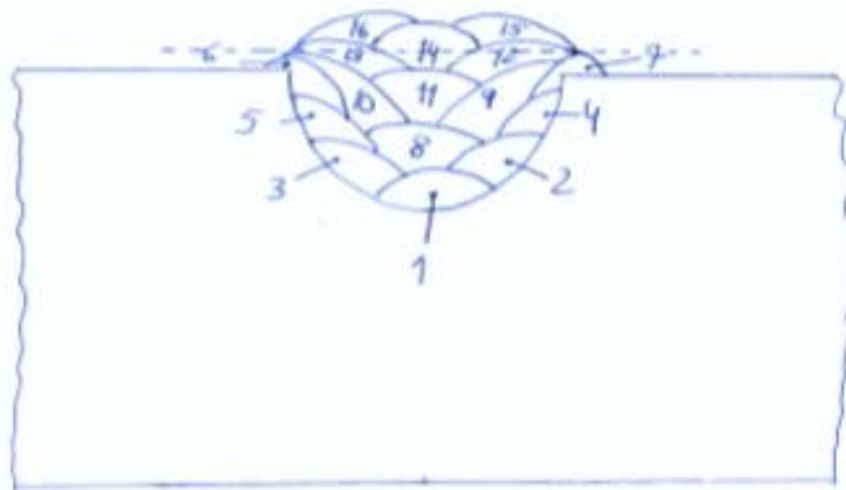
Obs:

Perante da cavidade a reparar de aço com a WPS ASP/0A/2019

Líquidos Penetrantes: Cavidade a reparar, após deposição da segunda camada e após o final da reparação.

Representação Esquemática dos Passes Realizados:

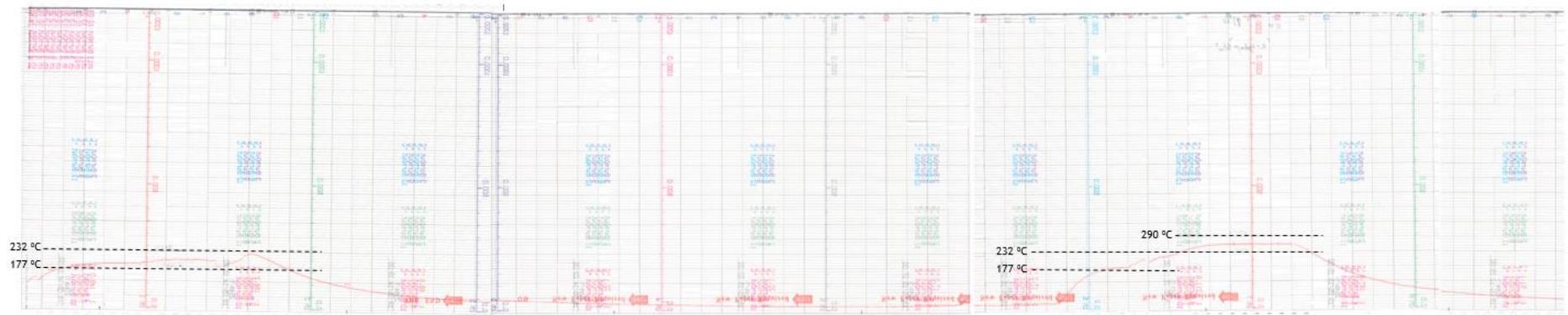
Half Temper Bead Welding



## Parâmetros Registados no Procedimento de *Half Temper Bead* (ASP 10A)

| Material de Adição (mm)                                                                                     | Camada                                       | Passe | Tensão (V) | Intensidade (A) | Velocidade (mm/min) | Entrega Térmica (kJ/mm) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------|------------|-----------------|---------------------|-------------------------|
| 2,5<br>E7018-1 H4                                                                                           | Camada em contacto com o material de base 1ª | 1º    | 21,5       | 90              | 155                 | 0,75                    |
|                                                                                                             |                                              | 2º    | 23,5       | 90              | 155                 | 0,82                    |
|                                                                                                             |                                              | 3º    | 22,5       | 90              | 150                 | 0,81                    |
|                                                                                                             |                                              | 4º    | 23,0       | 90              | 165                 | 0,75                    |
|                                                                                                             |                                              | 5º    | 23,5       | 90              | 175                 | 0,73                    |
|                                                                                                             |                                              | 6º    | 23,5       | 90              | 185                 | 0,69                    |
|                                                                                                             |                                              | 7º    | 24,0       | 90              | 200                 | 0,65                    |
|                                                                                                             | Média ± Desvio Padrão                        |       | 23,1 ± 0,8 | 90              | 169 ± 18            | 0,74 ± 0,06             |
| Desbaste de ≈ 2 mm na primeira camada                                                                       |                                              |       |            |                 |                     |                         |
| 3,2<br>E7018-1 H4R                                                                                          | Primeira camada de revenido 2º               | 8º    | 23,0       | 120             | 140                 | 1,18                    |
|                                                                                                             |                                              | 9º    | 24,0       | 120             | 170                 | 1,02                    |
|                                                                                                             |                                              | 10º   | 23,5       | 120             | 155                 | 1,09                    |
|                                                                                                             | Média ± Desvio Padrão                        |       | 23,5 ± 0,5 | 120             | 155 ± 15            | 1,10 ± 0,08             |
| Desbaste de ≈ 2 mm da segunda camada                                                                        |                                              |       |            |                 |                     |                         |
| 4,0<br>E7018-1 H4R                                                                                          | Segunda cada de revenido 3º                  | 11º   | 24,0       | 165             | 170                 | 1,40                    |
|                                                                                                             |                                              | 12º   | 23,5       | 165             | 180                 | 1,29                    |
|                                                                                                             |                                              | 13º   | 25,0       | 165             | 175                 | 1,41                    |
|                                                                                                             | Média ± Desvio Padrão                        |       | 24,2 ± 0,8 | 165             | 175 ± 5             | 1,37 ± 0,07             |
| Desbaste de ≈ 1 mm da terceira camada                                                                       |                                              |       |            |                 |                     |                         |
| 4,0<br>E7018-1 H4R                                                                                          | Camada em excesso 4º                         | 14º   | 24,0       | 160             | 175                 | 1,32                    |
|                                                                                                             |                                              | 15º   | 24,5       | 160             | 230                 | 1,02                    |
|                                                                                                             |                                              | 16º   | 25,0       | 160             | 230                 | 1,04                    |
|                                                                                                             | Média ± Desvio Padrão                        |       | 24,5 ± 0,5 | 160             | 212 ± 32            | 1,13 ± 0,16             |
| Desbaste da camada em excesso até ser obtida uma superfície paralela à superfície original do metal de base |                                              |       |            |                 |                     |                         |

## Ciclo térmico registado durante a realização de *Half Temper Bead Welding*



- Pré-aquecimento
- Deposição da camada em contacto com o material de base
- Deposição da primeira camada de revenido

- Arrefecimento
- Realização de Inspeção por Líquidos Penetrantes

- Deposição segunda camada de revenido e da camada em excesso

- *Postweld Hydrogen Bakeout*

- Arrefecimento
- NDT finais (48h depois)



Figura 69: Medição da largura da cavidade, utilizando o paquímetro Mitutoyo.



Figura 70: Deposição do 7º passe, 1ª camada.



Figura 71: Desbaste da 1ª camada (≈ 2 mm).



Figura 72: Deposição do 10º passe, 2ª camada.



Figura 73: Desbaste da 2ª camada (≈ 2 mm).

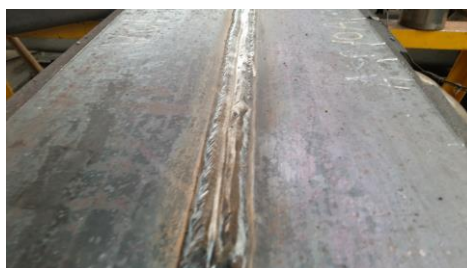


Figura 74: Deposição do 13º passe, 3ª camada.



Figura 75: Desbaste da 3ª camada (≈ 1 mm).



Figura 76: Deposição do 16º passe, 4ª camada.



Figura 77: Desbaste da 4ª camada.



Figura 78: Reparação finalizada por HTBW.



**ARSOPi S.A.**

**CONTROLO RADIOGRÁFICO**  
**X - RAY REPORT**

Fabricante-Manufacturer: **ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.**

**Direcção/Address:** P.O. Box 10 3730-954 Vale de Cambra Codex Portugal

**Cliente/Client : ARSOPI-INDÚSTRIA**

Encomenda/ P.O. : \_\_\_\_\_

**Código:** ~~Cod~~ Pop. Qu0202

ITEM Nº: SEMINÁRIO E TESTE DE MESTRADO

Desenho/Drawing: .....

O.F. 100001724

| Referências<br>References |                     |                    | Densidade<br>Density | Interpretação<br>Assessment | Decisão<br>Decision |            | IQI<br>ASTM 18<br>Source side | Observações<br>Remarks |
|---------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|------------|-------------------------------|------------------------|
| Soldadura<br>Weld         | Radiografia<br>Film | Soldador<br>Welder |                      |                             | 1ª<br>Obs.          | 2ª<br>Obs. | Fio visível<br>Wire obs.      |                        |

[illegible]

| Técnica<br>Technique | Diagrama<br>Diagram | Outra técnica/<br>Another technique | Observação<br>Viewing | Exposição<br>Exposure type | Observação<br>Viewing         | Exposição<br>Exposure type |
|----------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|
|                      |                     |                                     |                       |                            | Parede simples<br>Single wall | (A)                        |
|                      |                     |                                     |                       |                            | Dupla parede<br>Double wall   | (I)                        |
|                      |                     |                                     |                       |                            | Parede simples<br>Single wall | (A)                        |
|                      |                     |                                     |                       |                            | Dupla parede<br>Double wall   | (I)                        |
|                      |                     |                                     |                       |                            | Parede simples<br>Single wall | (A)                        |
|                      |                     |                                     |                       |                            | Dupla parede<br>Double wall   | (I)                        |
|                      |                     |                                     |                       |                            | Parede simples<br>Single wall | (A)                        |
|                      |                     |                                     |                       |                            | Dupla parede<br>Double wall   | (I)                        |

#### CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO DO CONTROLO

### Execution conditions

| Aparelho/Equipment ICM                            | SOLDADURA/Welding                                | DECISÃO TOMADA/Decision        |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------|
| Dimensão do foco/Focal spot size: 2.5X2.5         | Materiais/Materials: SA 516 Gr60 N               | Bom/Good -                     |
| Tensão/Voltage: 270Kv                             |                                                  | Aceitável/Acceptable /         |
| Intensidade/Amperage: 5mA                         | Esp. reforço soldadura/weld joint thickness: 6mm | A reparar/To repair +          |
| Isótopo/isotope: ..... Dimensão/size: .....       | Espessura/Thickness: 30mm                        | Bom após reparação =           |
| Min. source-to-object distance: 750mm             | Proc. soldadura/Welding process: SMAW-GAW        | Good after repair              |
| Max. distance source side of object to film: 30mm | Posição/Position: 1G                             | Aceitável após reparação X     |
| Temp. exposição/Exposure time: 4min               | Tipo chanfro/Groove: See WPS                     |                                |
| Películas/Films: AGFA D4                          | Antes ou Após TT/Before or After HT: NO HT       | Operador/Operator: PINHEIRO    |
| NP films, por cassette/NP films per cassette: 1   |                                                  | EN0148 (Level 2 - EN ISO 9712) |

## NOTAÇÃO/Notation

|                                         |    |                                         |    |                                      |    |
|-----------------------------------------|----|-----------------------------------------|----|--------------------------------------|----|
| Inclusões gasosas/Gaseous inclusions    | A  | Defeitos na mudança de eletrodo/        | Ba | De cratera/On cavities               | En |
| Poros esféricos/Round porosity          | Aa | Defects on electrode changing           | Bb | Bordos queimados/mordedures/         | F  |
| Poros vermiformes/Worm holes            | Ab | Falta de fusão colagem/Lack of fusion   | C  | Undercut                             | G  |
| Poros superficiais/Surface porosity     | Ad | Falta de penetração/Lack of penetration | D  | Inclusões do fluxo/Flux inclusions   | Q  |
| Inclusões de escória/Slag inclusion     | B  | No fundo do chanfro/On root             | Da | Inclusões de metais/Metal inclusions | R  |
| Quebraquês/Flakiness                    | Ba | Entre cordões/between passes            | Db | Inclusões de óxidos/Oxide inclusions | J  |
| Alinhadas/Aligned                       | Bb | Fendas ou fissuras/Cracks               | E  | Cratera/Shrinkage cavities           | K  |
| Alternadas/Alternate                    | Bc | Longitudinais/Longitudinal              | Ea | Expulsão de metal/Metal expulsion    | L  |
| Defeitos de rebarbagem/Grinding defects | Bd | Transversais/Transverse                 | Eb | Inclusões de tungstênio/Tungsten     | T  |

**ARSOP1**

Formosa Code 0ND148 (Level II - EN ISO 9172)

Data/Date: 2  
Sign/Stamp:

INSPECTOR/INSPECTION

Data/Date:

Sign/Stamp:

**CLIENTE/CLIENT**

Data/Date:

Sign/Stamp:

Mod ASP QU 040/01/12

Pág. 1 / 1

|                                                                             |                                     |                                  |             |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------|
| <b>ASP</b>                                                                  |                                     | <b>MANUFACTURING DATA REPORT</b> |             |
| <b>ARSOPI S.A.</b>                                                          |                                     |                                  |             |
| Manufacturer: <b>ARSOPI, Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.</b> |                                     |                                  |             |
| Address: P.O. Box 10 3730 954 Vale de Cambra                                |                                     | Portugal                         | Pag. 1 de 1 |
| Cliente- Client: -----                                                      | Encomenda Nº- Purchase Order: ----- |                                  |             |
| Projecto- Plant: -----                                                      | ITEM Nº: ASP10A/2019                |                                  |             |
| Desenho- Drwg: -----                                                        | O.F.: 100001724                     |                                  |             |

**RELATÓRIO DE INSPECÇÃO POR ULTRA SONS**  
**Ultrasonic Examination Report**

PROCEDIMENTO / ESPECIFICAÇÃO DE ENSAIO:  
Procedure / Test Specification:

Pop.QU0204 A/3

DESENHOS:  
DRAWINGS:

|                                                                           |                                                             |                                   |  |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--|
| <b>OBJECTIVO:</b><br>PURPOSE: Detecção de descontinuidades após reparação |                                                             |                                   |  |
| <b>MATERIAL:</b><br>MATERIAL: SA516 Gr60                                  | <b>ESPESSURA:</b><br>THICKNESS: 30mm                        |                                   |  |
| <b>PROCESSO DE SOLDADURA:</b><br>WELDING PROCEDURE: SMAW                  | <b>MATERIAL DE ADIÇÃO:</b><br>WELDING MATERIAL: E7018-1 H4R | <b>CHANFROS:</b><br>GROOVE: ----- |  |

**EQUIPAMENTO-EQUIPMENT:**

|                                                                                                                            |                                   |                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| <b>MARCA:</b><br>MAKE: SIUI                                                                                                | <b>MODELO:</b><br>MODEL: Syncscan | <b>Nº:</b><br>Nº: UT046                |
| <b>SONDA:</b><br>PROBE: KD SE10/6 PB4C                                                                                     | <b>DIMENSÃO:</b><br>DIMENSION: 10 | <b>FREQUÊNCIA:</b><br>FREQUENCY: 4 MHz |
| <b>BLOCOS DE CALIBRAÇÃO:</b><br>CALIBRATION BLOCKS: V1 for probe's delay calibration<br>Ø3 mm SDH for sensitivity scanning |                                   |                                        |

**CONDIÇÕES DE ENSAIO-TEST CONDITIONS:**

|                                                           |                                                                |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>ESTADO DA SUPERFÍCIE:</b><br>SURFACE CONDITION: Smooth | <b>AMPLIFICAÇÃO:</b><br>AMPLITUDE: 37 db<br>31 db<br>42 db     |
| <b>ACOPLANTE:</b><br>COUPLANT: KD Echotrace               | <b>ESCALA:</b><br>SCALE: 0 - 300 mm<br>0 - 200 mm<br>0 - 50 mm |
| <b>CABO:</b><br>CABLE: Lemo 00 - 1,5 m                    |                                                                |

**OBSERVAÇÕES:**  
REMARKS: Não foram detetadas indicações numa zona adjacente à soldadura de 100 mm para cada lado

**CONCLUSÃO:**  
CONCLUSION: Aceitável

Local/Data-Place and date : Vale de Cambra, 23 de Maio 2019.

|                                               |                                    |                                    |
|-----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>ARSOPI</b>                                 | <b>INSPECTION</b>                  | <b>CLIENT</b>                      |
| <b>Nome-Name:</b> Jorge Silva                 | <b>Nome-Name:</b>                  | <b>Nome-Name:</b>                  |
| <b>Cert. No:</b> END-823 (RELACRE - PT)       | <b>Cert. No:</b>                   | <b>Cert. No:</b>                   |
| <b>Cargo-Position:</b> Level II - EN ISO 9712 | <b>Cargo-Position:</b>             | <b>Cargo-Position:</b>             |
| <b>Data-Date:</b> 23 de Maio 2019             | <b>Data-Date:</b>                  | <b>Data-Date:</b>                  |
| <b>Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:</b>            | <b>Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:</b> | <b>Rubrica/Carimbo-Sign/Stamp:</b> |

Mod. ASP-QU/062 09 07



## Anexo I - Resultados dos Ensaios

Provetes após realização de ensaios mecânicos





LABORATÓRIO DE METALURGIA  
METALLURGICAL LABORATORY

RELATÓRIO DE ANÁLISE QUÍMICA

CHEMICAL ANALYSIS REPORT

Nº Relatório: 025/2019

Test Report Nr.

Data: 2019-06-17

Date

Fabricante: ARSOP - Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.

Manufacturer

Equipamento: Optical Emission Spectrometer, Mod SPECTROLAB M, 11366/99

Equipment

Material: SA516 GR 60

Material

Nº Amostra: ASP10D/2019

Sample Nr.

Ordem de Fabrico: -----

Manufacturing Nr.

| ANÁLISE QUÍMICA   |       |       |       |       |           |       |       |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| CHEMICAL ANALYSIS |       |       |       |       |           |       |       |       |       |
|                   | C     | Si    | Mn    | P     | S         | Cr    | Ni    | Mo    | Cu    |
| ASP10D/2019       | 0.146 | 0.185 | 1.121 | 0.013 | 0.007     | 0.030 | 0.099 | 0.008 | 0.021 |
|                   | Nb    | Al    | Ti    | V     | Fe        | ---   | ---   | ---   | ---   |
|                   | 0.019 | 0.027 | 0.003 | 0.013 | remainder | ---   | ---   | ---   | ---   |

Observações:

Observations

Local e Data: Vale de Cambra, 2019-06-17

Place and date

Operador: \_\_\_\_\_

Operator

Mod. QU0121. AO. 20150909



LABORATÓRIO DE METALURGIA  
METALLURGICAL LABORATORY

RELATÓRIO DE ANÁLISE QUÍMICA  
CHEMICAL ANALYSIS REPORT

Nº Relatório: 030/2019  
Test Report Nr.

Data: 2019-06-17  
Date

Fabricante: ARSOPI - Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.  
Manufacturer

Equipamento: Optical Emission Spectrometer, Mod SPECTROLAB M, 11366/99  
Equipment

Material: E7018-1 + EM12K  
Material

Nº Amostra: ASP09/2019  
Sample Nr.

Ordem de Fabrico: -----  
Manufacturing Nr.

| ANÁLISE QUÍMICA<br>CHEMICAL ANALYSIS |       |       |       |       |       |       |           |     |     |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----|-----|
|                                      | C     | Si    | Mn    | P     | S     | Cu    | Fe        | --- | --- |
| ASP09/2019                           | 0.059 | 0.318 | 1.185 | 0.010 | 0.004 | 0.046 | remainder | --- | --- |
|                                      | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---       | --- | --- |
|                                      | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---       | --- | --- |

Observações:  
Observations

Local e Data: Vale de Cambra, 2019-06-17  
Place and date

Operador: \_\_\_\_\_  
Operator

Mod QU0121 AO 20150909



LABORATÓRIO DE METALURGIA  
METALLURGICAL LABORATORY

RELATÓRIO DE ANÁLISE QUÍMICA  
CHEMICAL ANALYSIS REPORT

Nº Relatório: 029/2019  
Test Report Nr.

Data: 2019-06-17  
Date

Fabricante: ARSOPI - Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.  
Manufacturer

Equipamento: Optical Emission Spectrometer, Mod SPECTROLAB M, 11366/99  
Equipment

Material: E7018-1 + EM12K  
Material

Nº Amostra: ASP10/2019  
Sample Nr.

Ordem de Fabrico: -----  
Manufacturing Nr.

| ANÁLISE QUÍMICA<br>CHEMICAL ANALYSIS |       |       |       |       |       |       |           |     |     |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----|-----|
|                                      | C     | Si    | Mn    | P     | S     | Cu    | Fe        | --- | --- |
| ASP10/2019                           | 0.067 | 0.299 | 1.164 | 0.010 | 0.004 | 0.047 | remainder | --- | --- |
|                                      | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---       | --- | --- |
|                                      | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---       | --- | --- |

Observações:  
Observations

Local e Data: Vale de Cambra, 2019-06-17  
Place and date

Operador:    
Operator

Mod QU0121 AQ. 20150908



LABORATÓRIO DE METALURGIA  
METALLURGICAL LABORATORY

RELATÓRIO DE ANÁLISE QUÍMICA  
CHEMICAL ANALYSIS REPORT

Nº Relatório: 028/2019  
Test Report Nr.

Data: 2019-06-17  
Date

Fabricante: ARSOPI - Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.  
Manufacturer

Equipamento: Optical Emission Spectrometer, Mod SPECTROLAB M, 11366/99  
Equipment

Material: E7018-1  
Material

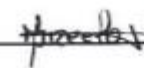
Nº Amostra: ASP10A/2019  
Sample Nr.

Ordem de Fabrico: -----  
Manufacturing Nr.

| ANÁLISE QUÍMICA<br>CHEMICAL ANALYSIS |       |       |       |       |       |       |           |     |     |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----|-----|
|                                      | C     | Si    | Mn    | P     | S     | Cu    | Fe        | --- | --- |
| ASP10A/2019                          | 0.076 | 0.351 | 1.170 | 0.011 | 0.003 | 0.047 | remainder | --- | --- |
|                                      | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---       | --- | --- |
|                                      | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---       | --- | --- |

Observações:  
Observations

Local e Data: Vale de Cambra, 2019-06-17  
Place and date

Operador:    
Operator

Mod QU0121 AO 20150909



LABORATÓRIO DE METALURGIA  
METALLURGICAL LABORATORY

RELATÓRIO DE ANÁLISE QUÍMICA  
CHEMICAL ANALYSIS REPORT

Nº Relatório: 027/2019  
Test Report Nr.

Data: 2019-06-17  
Date

Fabricante: ARSOPI - Indústrias Metalúrgicas Ariando S. Pinho, S.A.  
Manufacturer

Equipamento: Optical Emission Spectrometer, Mod SPECTROLAB M, 11366/99  
Equipment

Material: E7018-1  
Material

Nº Amostra: ASP10C/2019  
Sample Nr.

Ordem de Fabrico: -----  
Manufacturing Nr.

| ANÁLISE QUÍMICA<br>CHEMICAL ANALYSIS |       |       |       |       |       |       |           |     |     |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----|-----|
|                                      | C     | Si    | Mn    | P     | S     | Cu    | Fe        | --- | --- |
| ASP10C/2019                          | 0.068 | 0.450 | 1.195 | 0.010 | 0.003 | 0.039 | remainder | --- | --- |
|                                      | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---       | --- | --- |
|                                      | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---       | --- | --- |

Observações:  
Observations

Local e Data: Vale de Cambra, 2019-06-17  
Place and date

Operador:   
Operator

Mod QU0121 AQ 20150909



LABORATÓRIO DE METALURGIA  
METALLURGICAL LABORATORY

RELATÓRIO DE ANÁLISE QUÍMICA  
CHEMICAL ANALYSIS REPORT

Nº Relatório: 026/2019  
Test Report Nr.

Data: 2019-06-17  
Date

Fabricante: ARSOPi - Indústrias Metalúrgicas Arlindo S. Pinho, S.A.  
Manufacturer

Equipamento: Optical Emission Spectrometer, Mod SPECTROLAB M, 11366/99  
Equipment

Material: E7018-1  
Material

Nº Amostra: ASP10D/2019  
Sample Nr.

Ordem de Fabrico: -----  
Manufacturing Nr.

| ANÁLISE QUÍMICA<br>CHEMICAL ANALYSIS |       |       |       |       |       |       |           |     |     |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----|-----|
|                                      | C     | Si    | Mn    | P     | S     | Cu    | Fe        | --- | --- |
| ASP10D/2019                          | 0.083 | 0.310 | 1.131 | 0.011 | 0.003 | 0.039 | remainder | --- | --- |
|                                      | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---       | --- | --- |
|                                      | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---   | ---       | --- | --- |

Observações:  
Observations

Local e Data: Vale de Cambra, 2019-06-17  
Place and date

Operador: \_\_\_\_\_  
Operator

Mod. QU0121 AO 20150909

### Cálculo do Módulo de Elasticidade

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

| Referência | Provete   | $\sigma$ (MPa) | $\varepsilon$ | E (GPa) |
|------------|-----------|----------------|---------------|---------|
| ASP 09     | Região 1  | 352,185        | 0,1782364     | 198     |
|            | Região 2  | 350,316        | 0,1646596     | 213     |
| ASP 10     | Região 1  | 352,867        | 0,1671520     | 211     |
|            | Região 2  | 352,547        | 0,1713550     | 206     |
| ASP 10A    | Reparação | 350,099        | 0,1852284     | 189     |
|            | Região 2  | 351,499        | 0,1635845     | 215     |
| ASP 10C    | Reparação | 353,286        | 0,1954614     | 181     |
|            | Região 2  | 350,040        | 0,1717219     | 204     |
| ASP 10D    | Reparação | 354,193        | 0,2108790     | 168     |
|            | Região 2  | 352,621        | 0,1493168     | 236     |

## Resultados dos Ensaios de Dureza (HV 10)

| ASP 09 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|        | MB  |     |     | ZTA |     |     | CS  |     |     | ZTA |     |     | MB  |     |     |
| A      | 151 | 153 | 155 | 225 | 239 | 234 | 193 | 190 | 185 | 227 | 231 | 222 | 150 | 149 | 152 |
| B      | 147 | 151 | 155 | 182 | 201 | 237 | 192 | 203 | 204 | 203 | 185 | 183 | 149 | 145 | 149 |
| C      | 142 | 144 | 145 | 225 | 244 | 248 | 191 | 192 | 197 | 240 | 241 | 195 | 149 | 150 | 145 |

| ASP 10 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|        | MB  |     |     | ZTA |     |     | CS  |     |     | ZTA |     |     | MB  |     |     |
| A      | 138 | 142 | 141 | 209 | 211 | 213 | 173 | 164 | 174 | 207 | 201 | 201 | 142 | 141 | 139 |
| B      | 139 | 138 | 141 | 159 | 177 | 222 | 170 | 175 | 173 | 215 | 167 | 157 | 142 | 139 | 140 |
| C      | 137 | 138 | 138 | 206 | 217 | 233 | 186 | 177 | 180 | 210 | 214 | 179 | 139 | 138 | 138 |

| ASP 10A |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | MB  |     |     | ZTA |     |     | CS  |     |     |     |     |     |     |     | ZTA |     |     | MB  |     |     |     |
| A       | 137 | 137 | 142 | 207 | 203 | 173 | 159 | 174 | 174 | 168 | 181 | 189 | 171 | 177 | 168 | 163 | 173 | 147 | 145 | 145 |     |
| B       | -   |     |     | 186 | 192 | 186 | 152 |     | 177 |     | 187 |     | 188 |     | 160 |     | 161 | 161 | 158 | -   |     |
| C       | 146 | 147 | 158 | 172 | 187 | 197 | 183 |     |     | 178 |     |     | 183 |     |     | 218 | 190 | 173 | 144 | 144 | 146 |
| D       | 139 | 143 | 143 | 195 | 209 | 196 | 176 |     |     | 169 |     |     | 173 |     |     | 209 | 209 | 201 | 142 | 143 | 140 |

| ASP 10C |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | MB  |     |     | ZTA |     |     | CS  |     |     |     |     | ZTA |     |     | MB  |     |     |     |
| A       | 137 | 135 | 138 | 163 | 150 | 161 | 182 | 187 |     | 157 |     | 187 | 157 | 160 | 180 | 140 | 140 | 140 |
| B       | -   |     |     | 153 | 158 | 156 | 164 | 178 | 166 | 176 | 175 | 162 | 161 | 161 | -   |     |     |     |
| C       | 139 | 142 | 142 | 160 | 162 | 174 | 167 |     | 166 |     | 166 |     | 183 | 165 | 150 | 142 | 142 | 143 |
| D       | 138 | 140 | 142 | 174 | 202 | 212 | 167 |     | 156 |     | 180 |     | 206 | 206 | 200 | 138 | 138 | 139 |

| ASP 10D |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | MB  |     |     | ZTA |     |     | CS  |     |     |     | ZTA |     |     | MB  |     |     |
| A       | 140 | 130 | 147 | 186 | 169 | 176 | 210 | 203 | 192 | 220 | 177 | 176 | 213 | 147 | 149 | 153 |
| B       |     |     |     | 162 | 168 | 172 | 165 | 162 | 179 | 176 | 183 | 184 | 181 | 173 |     |     |
| C       | 145 | 144 | 144 | 181 | 201 | 204 | 173 | 179 |     | 190 | 229 | 184 | 169 | 149 | 150 | 147 |
| D       | 136 | 136 | 136 | 213 | 214 | 218 | 176 | 172 |     | 169 | 206 | 205 | 182 | 138 | 142 | 137 |

## Resultados dos Ensaios Charpy-V

| ASP 09 |     |          |          |
|--------|-----|----------|----------|
| CS1-1  | 56  | 80 ± 21  | 69 ± 24  |
| CS1-2  | 93  |          |          |
| CS1-3  | 90  |          |          |
| CS2-1  | 36  | 58 ± 27  |          |
| CS2-2  | 51  |          |          |
| CS2-2  | 88  |          |          |
| ZTA1-1 | 82  | 136 ± 47 | 136 ± 40 |
| ZTA1-2 | 166 |          |          |
| ZTA1-3 | 160 |          |          |
| ZTA2-1 | 94  | 136 ± 44 |          |
| ZTA2-2 | 181 |          |          |
| ZTA2-3 | 134 |          |          |
| MB1-1  | 130 | 118 ± 18 | 117 ± 12 |
| MB1-2  | 127 |          |          |
| MB1-3  | 97  |          |          |
| MB2-1  | 116 | 117 ± 4  |          |
| MB2-2  | 121 |          |          |
| MB2-3  | 113 |          |          |

| ASP 10 |     |          |          |
|--------|-----|----------|----------|
| CS1-1  | 191 | 153 ± 48 | 145 ± 33 |
| CS1-2  | 99  |          |          |
| CS1-3  | 168 |          |          |
| CS2-1  | 154 | 137 ± 16 |          |
| CS2-2  | 134 |          |          |
| CS2-2  | 123 |          |          |
| ZTA1-1 | 148 | 95 ± 48  | 127 ± 46 |
| ZTA1-2 | 56  |          |          |
| ZTA1-3 | 81  |          |          |
| ZTA2-1 | 159 | 159 ± 6  |          |
| ZTA2-2 | 165 |          |          |
| ZTA2-3 | 154 |          |          |
| MB1-1  | 120 | 100 ± 18 | 71 ± 35  |
| MB1-2  | 85  |          |          |
| MB1-3  | 96  |          |          |
| MB2-1  | 35  | 41 ± 9   |          |
| MB2-2  | 36  |          |          |
| MB2-3  | 51  |          |          |

| ASP 10A |     |          |          |
|---------|-----|----------|----------|
| CS1-1   | 110 | 107 ± 5  | 111 ± 51 |
| CS1-2   | 110 |          |          |
| CS1-3   | 102 |          |          |
| CS2-1   | 94  | 114 ± 80 |          |
| CS2-2   | 45  |          |          |
| CS2-2   | 202 |          |          |
| ZTA1-1  | 48  | 118 ± 61 | 103 ± 51 |
| ZTA1-2  | 147 |          |          |
| ZTA1-3  | 158 |          |          |
| ZTA2-1  | 48  | 89 ± 46  |          |
| ZTA2-2  | 79  |          |          |
| ZTA2-3  | 139 |          |          |
| MB1-1   | 67  | 72 ± 6   | 86 ± 21  |
| MB1-2   | 78  |          |          |
| MB1-3   | 70  |          |          |
| MB2-1   | 86  | 101 ± 22 |          |
| MB2-2   | 90  |          |          |
| MB2-3   | 126 |          |          |

| ASP 10C |     |          |          |
|---------|-----|----------|----------|
| CS1-1   | 130 | 104 ± 24 | 131 ± 37 |
| CS1-2   | 101 |          |          |
| CS1-3   | 82  |          |          |
| CS2-1   | 143 | 158 ± 26 |          |
| CS2-2   | 188 |          |          |
| CS2-2   | 142 |          |          |
| ZTA1-1  | 59  | 88 ± 54  | 129 ± 57 |
| ZTA1-2  | 150 |          |          |
| ZTA1-3  | 55  |          |          |
| ZTA2-1  | 184 | 171 ± 14 |          |
| ZTA2-2  | 172 |          |          |
| ZTA2-3  | 156 |          |          |
| MB1-1   | 111 | 104 ± 7  | 89 ± 19  |
| MB1-2   | 97  |          |          |
| MB1-3   | 104 |          |          |
| MB2-1   | 84  | 73 ± 10  |          |
| MB2-2   | 68  |          |          |
| MB2-3   | 67  |          |          |

| ASP 10D |     |          |          |
|---------|-----|----------|----------|
| CS1-1   | 122 | 119 ± 3  | 140 ± 27 |
| CS1-2   | 116 |          |          |
| CS1-3   | 118 |          |          |
| CS2-1   | 137 | 161 ± 21 |          |
| CS2-2   | 175 |          |          |
| CS2-2   | 170 |          |          |
| ZTA1-1  | 74  | 82 ± 8   | 107 ± 46 |
| ZTA1-2  | 90  |          |          |
| ZTA1-3  | 82  |          |          |
| ZTA2-1  | 132 | 133 ± 57 |          |
| ZTA2-2  | 190 |          |          |
| ZTA2-3  | 76  |          |          |
| MB1-1   | 77  | 71 ± 9   | 88 ± 22  |
| MB1-2   | 74  |          |          |
| MB1-3   | 61  |          |          |
| MB2-1   | 123 | 105 ± 15 |          |
| MB2-2   | 98  |          |          |
| MB2-3   | 95  |          |          |

## Anexo J - Trabalho Futuro: Proposta de Procedimento para a *Controlled Deposition Technique*

|                                                                                                                                                                                                                                    |                        |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1ª Camada com eletrodo de ø = 2,5 mm<br>(De acordo com o Documento Temper Bead Welding da WTIA)                                                                                                                                    |                        |                                                                                                                                                                                                                                        | Heat Input = HI = J/mm<br>Tensão = V<br>Intensidade = A<br>Velocidade = v = mm/s |
| $HI = \frac{V * A}{v}$                                                                                                                                                                                                             | $v = \frac{V * A}{HI}$ | $A = \frac{v * HI}{V}$                                                                                                                                                                                                                 | $V = \frac{v * HI}{A}$                                                           |
| Heat Input = 0,67 kJ/mm<br>Tensão = 20,5 V<br>Intensidade = 85 A<br>Velocidade = 155 mm/min                                                                                                                                        |                        |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                  |
| 2ª Camada com eletrodo de ø = 2,5 mm<br>Rácio = 1,6 da primeira para a segunda camada<br>1,6 x 0,67 = 1,072 kJ/mm                                                                                                                  |                        |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                  |
| Opção A                                                                                                                                                                                                                            |                        | Opção B                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                  |
| Heat Input = 1,072 kJ/mm<br>Heat Input = 1072 J/mm<br>Tensão= 21 V<br>Intensidade = 85 A<br>$v = \frac{V * A}{HI} = \frac{21 * 85}{1072} = 1,67 \text{ mm/s}$<br>Tensão = 21 V<br>Intensidade = 85 A<br>Velocidade = 100 mm/min    |                        | Heat Input = 1,072 kJ/mm<br>Heat Input = 1072 J/mm<br>Tensão = 21,5 V<br>Intensidade = 100 A<br>$v = \frac{V * A}{HI} = \frac{21,5 * 100}{1072} = 2 \text{ mm/s}$<br>Tensão = 21,5 V<br>Intensidade = 100 A<br>Velocidade = 120 mm/min |                                                                                  |
| 3ª Camada com eletrodo de ø = 3,2 mm<br>Rácio = 1,4 da segunda para a terceira camada<br>1,4 x 1,072 = 1,50 kJ/mm                                                                                                                  |                        |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                  |
| Heat Input = 1,50 kJ/mm<br>Heat Input = 1500 J/mm<br>Tensão = 23 V<br>Intensidade = 120 A<br>$v = \frac{V * A}{HI} = \frac{23 * 120}{1500} = 1,84 \text{ mm/s}$<br>Tensão = 23 V<br>Intensidade = 120 A<br>Velocidade = 110 mm/min |                        | Heat Input = 1,50 kJ/mm<br>Heat Input = 1500 J/mm<br>Tensão = 24 V<br>Intensidade = 150 V<br>$v = \frac{V * A}{HI} = \frac{24 * 150}{1500} = 2,4 \text{ mm/s}$<br>Tensão = 24 V<br>Intensidade = 150 A<br>Velocidade = 145 mm/min      |                                                                                  |
| 4ª Camada com eletrodo de ø = 3,2 mm<br>Rácio = 1,3 para a camada final<br>1,3 x 1,50 = 1,95 kJ/mm                                                                                                                                 |                        |                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                  |
| Heat Input = 1,95 kJ/mm = 1950 J/mm<br>Tensão = 23 V<br>Intensidade = 140 A                                                                                                                                                        |                        | $v = \frac{V * A}{HI} = \frac{23 * 140}{1950} = 1,65 \text{ mm/s} = 100 \text{ mm/min}$                                                                                                                                                |                                                                                  |