

CESAR RIBEIRO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ENERGIA DE
SOLDAGEM EM REPARO DE DUTOS API 5L GRAU X65
EM OPERAÇÃO PELO MÉTODO DE DUPLA-CALHA**

Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada em Engenharia da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
conclusão de curso de Especialização.

São Paulo

2014

CESAR RIBEIRO

(Especialista em Engenharia de Soldagem, USP, 2014)

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ENERGIA DE
SOLDAGEM EM REPARO DE DUTOS API 5L GRAU X65
EM OPERAÇÃO PELO MÉTODO DE DUPLA-CALHA**

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para conclusão de curso de Especialização.

Área de Concentração:
Engenharia da Soldagem

Orientador:
Professor Dr. Sérgio Duarte Brandi

São Paulo

2014

FOLHA DE APROVAÇÃO

*"A vida não dá o que espera dela a criança caprichosa,
mas apenas o que lhe arrancam à força os corajosos e
audaciosos."*

(Saltykov-Stcherdrine, Mikhail)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais Alcides Ribeiro dos Anjos e Vânia Regina Santo Mauro Ribeiro, à minha esposa Nathália Belisa Brito Ribeiro e ao meu sogro José de Deus Brito.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que está comigo em todos os momentos, dando-me força de vontade para lutar em busca de um futuro repleto de felicidade, paz e conquistas na vida pessoal e profissional.

Agradeço ao meu orientador Professor Dr. Sérgio Duarte Brandi e ao coorientador Jaime Casanova Soeiro Junior pelo apoio, aprendizado e diretrizes para elaboração e desenvolvimento desse estudo.

Agradeço aos meus pais, Vânia Regina Santo Mauro Ribeiro e Alcides Ribeiro dos Anjos, pelo apoio e dedicação durante toda minha vida, pela educação oferecida que fez de mim um homem correto, de princípios e caráter, com objetivos sólidos baseado nas boas ações e ética.

Agradeço à minha esposa, Nathália Belisa Brito Ribeiro, que está sempre ao meu lado e amadurece junto a mim no caminho da vida; faz parte do meu ser e se dedica à felicidade e companheirismo de nossa união.

Agradeço ao meu sogro, José de Deus Brito, por me inserir na área de soldagem e incentivar o meu progresso profissional. Agradecê-lo também por abrir as portas do laboratório Team Lab, de sua propriedade, para que eu pudesse realizar todos os ensaios referentes a esse trabalho. Dessa mesma maneira, agradeço a toda equipe do laboratório que se empenhou em fazer o serviço da melhor forma possível.

Agradeço a toda equipe do Creduto, em especial ao consultor Petrobrás Sidney Barbalho da Silva Braga, que autorizou a execução da soldagem na empresa e disponibilizou todos os recursos necessários.

CURRICULUM VITAE

Nome: Cesar Ribeiro

Celular: (11) 94133-1975 / E-mail: cesar_engsold@hotmail.com

Data de nascimento: 27/01/1989

1. FORMAÇÃO

- Especialização em Engenharia de soldagem - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia (USP-PECE).
- Graduação em Tecnologia de Soldagem – Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP).

2. QUALIFICAÇÃO FBTS

- Inspetor de Soldagem Nível 2 – Fundação Brasileira de Tecnologia da Soldagem (FBTS) – IS11163N2.

3. HISTÓRICO PROFISSIONAL

- março/2014-atualmente: SACS Construções e Montagens LTDA.
(Transpetro-Creduto – Centro Nacional de Reparo de Dutos)
Cargo: Inspetor de soldagem N1 / Responsável pelo laboratório de ensaios.
- setembro/2008-janeiro2014: Team Lab – Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais LTDA.
Cargo: Coordenador/Supervisor técnico de laboratório de ensaios.

RESUMO

Os aços utilizados na construção de dutos estão em constante desenvolvimento a fim de promover maior economia através de melhores propriedades mecânicas e metalúrgicas. Atualmente os aços utilizados nesse setor são os chamados ARBL (alta resistência baixa liga) que apresentam em sua composição elementos de microliga, os quais proporcionam ao material melhores propriedades como maior resistência à corrosão atmosférica e maior resistência mecânica. Os dutos são meio de transporte de diversos tipos de produtos, dentre eles petróleo e seus derivados. O fluxo interno de produtos e reações químicas ali presentes podem causar corrosão; neste caso o duto necessita de reparo de maneira que se evite vazamento e cause prejuízos financeiros e impacto ambiental.

O reparo definitivo mais largamente utilizado é a soldagem de dupla-calha, a qual possui particularidades que a distingue da soldagem convencional. Os dois principais riscos que essa soldagem apresenta são: perfuração e trinca à frio induzida pelo hidrogênio. O risco de perfuração está presente em soldagem de dutos com baixa espessura e, no caso da trinca, em dutos de elevada dureza com presença de hidrogênio e tensões. Nos dois casos o principal agente que deve ser estudado antes da soldagem e pode prevenir quaisquer imprevistos é o controle da energia de soldagem. O fluxo interno retira calor da soldagem, o que aumenta a taxa de resfriamento e a dureza do material. A energia de soldagem deve ser alta suficiente para diminuir a taxa de resfriamento, porém baixa o bastante para evitar perfurações.

Foram soldadas três amostras de materiais de base API 5L grau X65, 18" de diâmetro e 11,7 mm de espessura; cada uma com um valor de energia de soldagem diferente: 1,58 kJ/mm, 1,05 kJ/mm e 0,63 kJ/mm. A maior energia de soldagem promove um maior crescimento de grãos na região adjacente à solda, porém apresenta maior eficiência no "revenimento" do passe anterior e da zona afetada pelo calor, o que diminui a dureza. Já na menor energia de soldagem, a dureza é mais elevada; no caso da energia de soldagem

intermediária os resultados de dureza foram mais equilibrados e não apresentou grandes variações.

A energia de soldagem não influencia qualitativamente, ou seja, não promove ou evita defeitos como poros, falta de fusão, falta de penetração ou inclusão de escória.

Deve-se analisar antecipadamente cada situação de soldagem, levando em consideração todas as variáveis essenciais classificadas pela norma aplicável, além das condições operacionais e nível de corrosão da parede do duto; a fim de determinar uma energia de soldagem ótima que evite tanto a perfuração quanto a trinca à frio induzida pelo hidrogênio.

ABSTRACT

Steels used in the pipelines construction are in constant development in order to promote greater savings through better mechanical and metallurgical properties. Currently steels used in this sector are called HSLA (high strength low alloy) having in its composition microalloying elements, which provide better properties for the material such as increased resistance to atmospheric corrosion and higher mechanical strength. The pipelines transport various types of products, including oil and its derivatives. The internal flow of products and the present chemical reactions can cause corrosion; in this case the pipeline needs repair in order to avoid leakage that can cause financial losses and environmental impact.

The permanent repair most widely used is the sleeve welding, which has characteristics which distinguishes it from conventional welding. The two main risks presents in this welding is the burn-through and hydrogen cracking. The risk of burn-through is present in welding pipes with low thickness and, in the case of cracks, high hardness associated with presence of hydrogen and tensions. In both cases the main agent that must be studied before welding and can prevent any unforeseen is the control of heat input. The flux of the product "steals" heat welding, which increases the cooling rate and the hardness of the material. The heat input must be high enough to lower the cooling rate, but low enough to avoid burn-through.

Three samples of base material API 5L X65 grade 18" in diameter and 11.7 mm in thickness were welded; each with a different heat input value: 1.58 kJ/mm, 1.05 kJ/mm and 0.63 kJ/mm. More welding energy promotes higher grain growth in the region adjacent to the weld, but the most efficient in "tempering" of the previous pass and the heat affected zone, which decreases the hardness. In the lower energy weld, the hardness is the highest; in the case of intermediate heat input, hardness results were more balanced and did not show large variations.

The heat input haven't qualitatively influence, does not promote or avoid defects such as pores, lack of fusion, incomplete penetration or slag inclusion.

Before the procediments, each welding situation should be analyzed; all the essential variables classified by the applicable standard, in addition to operating conditions and level of corrosion of the pipe wall; in order to determine an optimal welding energy that avoids burn-through and hydrogen cracking.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Dupla-calha soldada.....	3
Figura 2.2 – Esquema de soldagem por eletrodo revestido.....	4
Figura 2.3 – Equipamento básico para soldagem com eletrodo revestido	5
Figura 2.4 – Influência da corrente de soldagem sobre a taxa de deposição em função de alguns diâmetros de alma do eletrodo.....	8
Figura 2.5 – Influência da corrente de soldagem sobre a geometria do cordão de solda realizado	8
Figura 2.6 – Relação entre taxa de deposição e corrente para um ciclo de trabalho de 100%,	9
Figura 2.7 – Classificação de eletrodos revestidos conforme ASME II Parte C SFA5.1: 2010	12
Figura 2.8 – influência da taxa de resfriamento e valor de carbono equivalente nas propriedades mecânicas da ZAC. a) tensão ao escoamento (MPa). b) dureza (vickers)	18
Figura 2.9 – Exemplo de ciclo térmico em ponto específico no metal de base.	19
Figura 2.10 – Repartição térmica em uma junta soldada	20
Figura 2.11 – Esquema de absorção e difusão do hidrogênio na junta soldada	22
Figura 2.12 – Zonas de soldabilidade em função da composição química do material.....	23
Figura 2.13 – Teor de hidrogênio na solda em função do processo de soldagem	24

Figura 2.14 – Transformações ocorridas no metal de base, na região da ZAC, em função da temperatura e distância da zona fundida	26
Figura 2.15 – Diagrama TRC do aço estudado por Zhao. bf=ferrita bainítica, af=ferrita acicular, pf=ferrita poligonal e p=perlita.....	28
Figura 2.16 – Desenvolvimento dos aços API nos últimos anos em função do limite de escoamento.....	31
Figura 2.17 – Desenvolvimento dos aços API nos últimos anos em função da tecnologia de fabricação	32
Figura 2.18 – Economia em peso quanto à utilização de aços resistentes.....	32
Figura 2.19 – Rota de fabricação de processo termomecânico controlado	34
Figura 2.20 – Métodos de resfriamento acelerado no processo termomecânico controlado	35
Figura 2.21 – Exemplos de composições químicas resultantes dos diferentes métodos de rota de produção	35
Figura 2.22 – Esquema de soldagem para qualificação de procedimento.....	41
Figura 2.23 – Retirada de corpos de prova conforme API 1104	42
Figura 4.1 – Esquema da soldagem	48
Figura 4.2 – Regiões de interesse para estudo da energia de soldagem	52
Figura 4.3 – Preparação de corpo de prova para ensaio de “nick-break”	52
Figura 4.4 – Preparação de corpo de prova para ensaio de dobramento de face	53
Figura 4.5 – Preparação de corpo de prova para ensaio de macrografia.....	54
Figura 4.6 – Dimensional da solda para os ensaios de macrografia	54
Figura 4.7 – Perfil de varredura da junta soldada por dureza.....	55

Figura 5.1 – Ensaio de micrografia – microestrutura – aumento 500 vezes – avaliação: perlita e ferrita com característica de tratamento térmico de normalização.....	60
Figura 5.2 – Ensaio de micrografia – tamanho de grão - aumento 100 vezes – avaliação: tamanho de grão nº 10 da ASTM.....	60
Figura 5.3 – Preparação do corpo de prova para ensaio de análise química do metal depositado.....	62
Figura 5.4 – Corpos de prova de nick-break após ensaio.....	64
Figura 5.5 – Corpos de prova de dobramento após ensaio.	65
Figura 5.6 – Perfil de varredura da junta soldada por dureza.....	66
Figura 5.7 – COmparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – Solda: Passe A.....	70
Figura 5.8 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – Solda: Passe B.....	71
Figura 5.9 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – Solda: Passe C	71
Figura 5.10 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – Solda: Passe D	72
Figura 5.11 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – Solda: Passe E.....	72
Figura 5.12 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – Solda: Passe F.....	73
Figura 5.13 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – ZAC: Calha	73

Figura 5.14 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – ZAC: Calha	74
Figura 5.15 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – ZAC: Calha	74
Figura 5.16 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – ZAC: Duto	75
Figura 5.17 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – ZAC: Duto	76
Figura 5.18 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – ZAC: Duto	76
Figura 5.19 – Ensaios de macrografia da junta soldada com maior energia de soldagem (1,58 kJ/mm).....	77
Figura 5.20 – Ensaios de macrografia da junta soldada com energia de soldagem intermediária (1,05 kJ/mm)	78
Figura 5.21 – Ensaios de macrografia da junta soldada com energia de soldagem intermediária (0,63 kJ/mm)	78
Figura 5.22 – Dimensional da solda para os ensaios de macrografia	79
Figura 5.23 – Comparação entre os valores dimensionados nas juntas estudadas de penetração da solda no duto	80
Figura 5.24 – Comparação entre os valores dimensionados nas juntas estudadas de penetração da solda na calha	81
Figura 5.25 – Comparação entre os valores dimensionados nas juntas estudadas de penetração da solda na raiz.....	81

- Figura 5.26 – Microestrutura – solda: energia de soldagem 1,58 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: longitudinal - ampliação: 500 vezes – avaliação: ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos..... 82
- Figura 5.27 – Microestrutura – ZAC-calha: energia de soldagem 1,58 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: longitudinal - ampliação: 500 vezes – avaliação: ferrita, ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos. 83
- Figura 5.28 – Microestrutura – ZAC-duto: energia de soldagem 1,58 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: longitudinal - ampliação: 500 vezes – avaliação: ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos. 83
- Figura 5.29 – Microestrutura – solda: energia de soldagem 1,05 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: longitudinal - ampliação: 500 vezes – avaliação: ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos..... 84
- Figura 5.30 – Microestrutura – ZAC-calha: energia de soldagem 1,05 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: longitudinal - ampliação: 500 vezes – avaliação: ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos. 84
- Figura 5.31 – Microestrutura – ZAC-duto: energia de soldagem 1,05 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: longitudinal - ampliação: 500 vezes – avaliação: ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos. 85

- Figura 5.32 – Microestrutura – solda: energia de soldagem 0,63 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: longitudinal - ampliação: 500 vezes – avaliação: ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos..... 85
- Figura 5.33 – Microestrutura – ZAC-calha: energia de soldagem 0,63 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: longitudinal - ampliação: 500 vezes – avaliação: ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos. 86
- Figura 5.34 – Microestrutura – ZAC-duto: energia de soldagem 0,63 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: longitudinal - ampliação: 500 vezes – avaliação: ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos. 86
- Figura 5.35 – Tamanho de grão – ZAC-calha: energia de soldagem 1,58 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: transversal - ampliação: 100 vezes - variação granulométrica: 6,5 a 10. 88
- Figura 5.36 – Tamanho de grão – ZAC-duto: energia de soldagem 1,58 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: transversal - ampliação: 100 vezes - variação granulométrica: 6,5 a 10. 88
- Figura 5.37 – Tamanho de grão – ZAC-calha: energia de soldagem 1,05 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: transversal - ampliação: 100 vezes - variação granulométrica: 7,5 a 10. 89
- Figura 5.38 – Tamanho de grão – ZAC-duto: energia de soldagem 1,05 kJ/mm - reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: transversal - ampliação: 100 vezes - variação granulométrica: 7 a 10. 89

Figura 5.39 – Tamanho de grão – ZAC-calha: energia de soldagem 0,63 kJ/mm
- reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada:
transversal - ampliação: 100 vezes - variação granulométrica: 7 a 10..... 90

Figura 5.40 – Tamanho de grão – ZAC-duto: energia de soldagem 0,63 kJ/mm -
reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - seção analisada: transversal
- ampliação: 100 vezes - variação granulométrica: 6,5 a 10. 90

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Eficiência de deposição de alguns tipos de eletrodo revestido	10
Tabela 2.2 – Características de eletrodos revestidos em função da classificação ASME SFA5.1 e propriedades referentes ao processo de soldagem	13
Tabela 2.3 – Faixas típicas de corrente de soldagem para as diversas dimensões de eletrodo E7018	14
Tabela 2.4 – Relação da composição do revestimento do E7018 e suas respectivas funções na soldagem	14
Tabela 2.5 – Tipo de revestimento e respectivo teor de hidrogênio difusível ..	15
Tabela 2.6 – Conceito de proporção para teor de hidrogênio difusível.....	16
Tabela 2.7 – Critério de composição química do eletrodo E7018.....	16
Tabela 2.8 – Critério de propriedades mecânicas (de tração e tenacidade) do eletrodo E7018.....	16
Tabela 2.9 – Composição química do aço estudado por Zhao	27
Tabela 2.10 – Exemplos de aços API e sua respectiva aplicação	30
Tabela 2.11 – Critério de composição química para o aço API 5L Grau X65	39
Tabela 2.12 – Critério de propriedades mecânicas para o aço API 5L Grau X65	40
Tabela 2.13 – Relação entre espessura do duto e requisitos normativos	43
Tabela 4.1 – Dados apresentados no certificado do tubo	45
Tabela 4.2 – Dados apresentados no certificado do eletrodo	46
Tabela 4.3 – Instrumentos utilizados no acompanhamento de soldagem	47
Tabela 4.4 – Equipamentos e instrumentos laboratoriais.....	47

Tabela 4.5 – Parâmetros fixos de soldagem	49
Tabela 4.6 – Parâmetros variáveis de soldagem	50
Tabela 4.7 – Tipo e quantidade de ensaios realizados e sua relação com o estudo da energia de soldagem.....	51
Tabela 5.1 – Composição química do metal de base	57
Tabela 5.2 – Propriedades mecânicas do metal de base.....	58
Tabela 5.3 – Composição química do metal depositado.....	61
Tabela 5.4 – Resultados: ensaio visual.....	62
Tabela 5.5 – Resultados: ensaio por líquido penetrante	63
Tabela 5.6 – Resultados: ensaio de nick-break	63
Tabela 5.7 – Resultados: ensaio de dobramento	64
Tabela 5.8 – Resultados: ensaio de dureza – amostra “plana 1” (1,58 kJ/mm)	66
Tabela 5.9 – Resultados: ensaio de dureza – amostra “plana 2” (1,05 kJ/mm)	67
Tabela 5.10 – Resultados: ensaio de dureza – amostra “plana 3” (0,63 kJ/mm)	68
Tabela 5.11 – Resultados: ensaios de macrografia	79
Tabela 5.12 – Resultados: ensaios de micrografia – microestrutura	87
Tabela 5.13 – Resultados: ensaios de micrografia – tamanho de grão	91

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

API:	American Petroleum Institute
ARBL:	Alta resistência baixa liga
ASME:	American Society of Mechanical Engineers
ASTM:	American Society for Testing and Materials
AWS:	American Welding Society
CA:	Corrente alternada
CC:	Corrente contínua polaridade direta
CC ⁺ :	Corrente contínua polaridade reversa
CE:	Carbono Equivalente
Creduto:	Centro Nacional de Reparo de Dutos
D:	Ensaio de dobramento
DZ:	Ensaio de dureza
EPI:	Equipamento de proteção individual

EPS: Especificação de Procedimento de Soldagem

ER: Processo de soldagem eletrodo revestido

ERW: electric resistance welding

EVS: Ensaio visual de solda

EWI: Edison Welding Institute

IIW: International Institute of Welding

LP: Ensaio de líquido penetrante

M: Ensaio de macrografia

MI: Ensaio de micrografia para avaliação de microestrutura

NB: Ensaio de Nick-break

PETROBRÁS: Petróleo Brasileiro S.A.

PRCI: Pipeline Research Council International

PSL: Product Specification Level

RTDT: Regulamento Técnico de Dutos Terrestres para Movimentação de Petróleo, Derivados e Gás Natural

TG:	Ensaio de micrografia para avaliação de tamanho de grão
TMCP:	Processo termomecânico controlado
TMCR:	Laminação termomecânica controlada
TRANSPETRO:	Petrobrás Transporte S.A.
TRC:	Transformação por resfriamento contínuo
ZAC:	Zona Afetada pelo Calor
ZF:	Zona fundida
ZL:	Zona de ligação

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
CURRICULUM VITAE	iv
RESUMO	v
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS	xviii
SUMÁRIO	xxi
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. SOLDAGEM EM OPERAÇÃO.....	2
2.1.1. DUPLA-CALHA.....	3
2.2. ELETRODO REVESTIDO.....	3
2.2.1. EQUIPAMENTO E CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS.....	4
2.2.2. ELETRODOS REVESTIDOS PARA SOLDAGEM DE AÇOS CARBONO E BAIXA LIGA.....	5
2.2.3. RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS E CARACTERÍSTICAS DA JUNTA SOLDADA.....	7
2.2.4. EFICIÊNCIA DE DEPOSIÇÃO	9
2.2.5. CONSIDERAÇÕES DE QUALIDADE DE SOLDAGEM.....	10
2.2.6. ASME II PARTE C – SFA5.1	11
2.2.7. CLASSIFICAÇÃO.....	12
2.2.8. E7018: CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÃO	14
2.3. ENERGIA DE SOLDAGEM.....	17
2.4. APORTE DE CALOR NA SOLDAGEM.....	18
2.5. SOFTWARE DE SIMULAÇÃO TÉRMICA.....	20
2.6. OCORRÊNCIAS NA SOLDAGEM EM OPERAÇÃO.....	21
2.6.1. RISCO DE PERFURAÇÃO.....	21
2.6.2. TRINCA A FRIO INDUZIDA POR HIDROGÊNIO.....	22
2.7. CARACTERÍSTICAS METALÚRGICAS.....	25
2.7.1. SOLDAGEM DE AÇOS FERRÍTICOS	25
2.7.2. DIAGRAMA TRC (TRANSFORMAÇÃO POR RESFRIAMENTO CONTÍNUO)	27
2.7.3. SOLDABILIDADE	28
2.8. TUBOS API 5L.....	29
2.9. TUBOS DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA (ARBL)	33
2.9.1. ROTA DE PRODUÇÃO.....	33

2.9.2. ELEMENTOS DE LIGA, MICROLIGA E DELETÉRIOS.....	36
2.10. API 5L GRAU X65 PSL 1.....	38
2.10.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	39
2.10.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	39
2.11. NORMATIZAÇÃO E PROCEDIMENTOS.....	41
2.11.1. API 1104.....	41
2.11.2. PETROBRÁS N-2163.	42
3. OBJETIVOS.	44
4. MATERIAIS E MÉTODOS.	45
4.1. METAL DE BASE.....	45
4.2. CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM.	46
4.3. EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.	47
4.3.1 DISPOSITIVO DE CIRCULAÇÃO DE ÁGUA.	48
4.4 EXECUÇÃO DA SOLDAGEM.	49
4.4.1. PARÂMETROS DE SOLDAGEM FIXOS.	49
4.4.2. PARÂMETROS DE SOLDAGEM VARIÁVEIS.	50
4.5. ENSAIOS DAS JUNTAS SOLDADAS.	50
4.5.1. METODOLOGIA.....	50
4.5.2. VISUAL E LÍQUIDO PENETRANTE.....	52
4.5.3. "NICK-BREAK".....	52
4.5.4. DOBRAMENTO.	53
4.5.5. MACROGRAFIA.....	54
4.5.6. DUREZA.....	55
4.5.7. MICROGRAFIA.	56
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
5.1. METAL DE BASE.....	57
5.1.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	57
5.1.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS.	58
5.1.3. CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL.	59
5.2. CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM.	61
5.2.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	61
5.3. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS.....	62
5.3.1. VISUAL.....	62
5.3.2. LÍQUIDO PENETRANTE.....	63
5.4. ENSAIOS MECÂNICOS QUALITATIVOS	63
5.4.1. "NICK-BREAK".....	63
5.4.2. DOBRAMENTO GUIADO DE FACE	64
5.5. ENSAIO MECÂNICO QUANTITATIVO.	65
5.5.1 PERFIL DE DUREZA VICKERS.....	65
5.6. CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA.	77
5.6.1. MACROGRAFIA.....	77

5.6.2. MICROGRAFIA.	82
5.6.2.1. MICROESTRUTURA.....	82
5.6.2.2. TAMANHO DE GRÃO.....	87
6. CONCLUSÕES.	92
<i>SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....</i>	<i>94</i>
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXO I – CERTIFICADO DO METAL DE BASE	101
ANEXO II – CERTIFICADO DO ELETRODO REVESTIDO	112
ANEXO III – CERTIFICADOS DE INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM	114
ANEXO IV – EPS DE REFERÊNCIA	123
ANEXO V – RELAÇÃO DE SOLDADORES QUALIFICADOS	126
ANEXO VI – REGISTRO DE ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM	128
ANEXO VII – ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS PÓS SOLDAGEM... ..	132
ANEXO VIII – CERTIFICADOS DE INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA ENSAIO DAS AMOSTRAS.	135
ANEXO IX – RELATÓRIOS DE ENSAIO DOS MATERIAIS	158

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.

A parada dos dutos (interrupção do fluxo) representa um prejuízo muito alto às indústrias envolvidas na comercialização dos produtos por eles transportados e às comunidades receptoras/consumidoras; por este motivo há numerosos estudos para desenvolvimento de novos métodos de reparo e aperfeiçoamento daqueles já existentes a fim de não haver necessidade de parada de fornecimento.

A soldagem deste tipo de reparo é extremamente particular e exige a atuação de pessoal qualificado para execução do serviço. Os principais riscos que podem ocorrer devido à soldagem são: perfuração do duto e trincas à frio induzidas pelo hidrogênio. A Petrobrás (Petróleo Brasileiro S.A.) realiza esse reparo em dutos transportadores de combustíveis, o que faz com que esse processo seja considerado de alto risco. Todos os parâmetros devem ser muito bem definidos através de estudos de engenharia baseados em normas técnicas consagradas e softwares desenvolvidos para simulação térmica. Os soldadores devem ser qualificados assim como o inspetor de soldagem; todos conforme norma de referência apropriada ao serviço.

O estudo será baseado na variação da energia de soldagem e sua consequência sobre as propriedades mecânicas e metalúrgicas da junta soldada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

2.1 SOLDAGEM EM OPERAÇÃO.

Este tipo particular de soldagem consiste em fazer intervenções em dutos sem a interrupção de fluxo do produto que estes transportam. Essas intervenções são caracterizadas pela necessidade de realizar reparos em regiões dos dutos onde haja alguma irregularidade na espessura, seja vazamento (perfuração) ou degradação por intermédio de mecanismos de corrosão presentes.

A soldagem em operação possui alguns conceitos diferentes daqueles da soldagem convencional. O fluxo interno no duto ajuda a retirar o calor gerado pelo processo de soldagem, o que eleva bruscamente a taxa de resfriamento [1]. O método desenvolvido pelo EWI (*Edison Welding Institute*) para medição de extração de calor em dutos com fluxo de produto consiste em aquecer uma área de aproximadamente 50 mm de diâmetro, com maçarico, até uma temperatura entre 300 e 325°C, em seguida retira-se o maçarico e mede-se o tempo de queda da temperatura a partir de 250°C até 100°C. Faz-se a medição em alguns locais distintos no duto (geratriz inferior, laterais, topo) e calcula-se a média. O valor encontrado é utilizado em cálculos de verificação de capacidade de dissipação de calor na tubulação; relacionando-o com a taxa de resfriamento [2].

Os reparos por soldagem podem ser realizados por simples deposição direta na parede do duto corroída para preenchimento da espessura ou pela instalação de duplas-calhas de aço [1].

2.1.1 DUPLA-CALHA.

Duplas-calhas são luvas bipartidas soldadas que envolvem totalmente a tubulação com intuito de manter a continuidade do duto e atender aos requisitos de pressão de projeto, principalmente após degradação total da parede do duto a que foi sobreposta [1, 3].

O ajuste é realizado por um pré-tensionamento da calha no duto através de meios mecânicos, hidráulicos ou pneumáticos. Entre a calha e o duto, a fim de eliminar a folga, coloca-se compostos endurecíveis epóxi ou poliéster. A união das calhas é realizada por soldagem em junta de topo e, a união entre calha e duto, é realizada pelas soldas circunferenciais em ângulo nas extremidades da dupla-calha [1, 4]. A figura 2.1 mostra a foto de uma dupla-calha soldada fixa na horizontal, em oficina, para avaliação de desempenho de soldadores realizada pelo Centro Nacional de Reparo de Dutos (CREDUTO).



Figura 2.1 – Dupla-calha soldada.

2.2 ELETRODO REVESTIDO.

O eletrodo revestido (ER) é um processo de soldagem manual, a arco elétrico gerado entre um eletrodo revestido e a peça a ser soldada, considerado de baixo custo operacional, baixa produtividade (baixo ciclo de trabalho devido

a paradas para troca de eletrodo e limpeza do cordão), simples e versátil [5, 6]. A figura 2.2 apresenta um esquema de soldagem por eletrodo revestido [6]. O eletrodo revestido é fundido com o aquecimento gerado pela corrente elétrica que produz o arco elétrico, e transfere o metal para a região que está sendo soldada. A solda é constituída pelo material de adição e parte do material de base que foi fundido durante a soldagem. A porcentagem de metal de base que funde durante a soldagem e integra a solda é chamada de diluição.

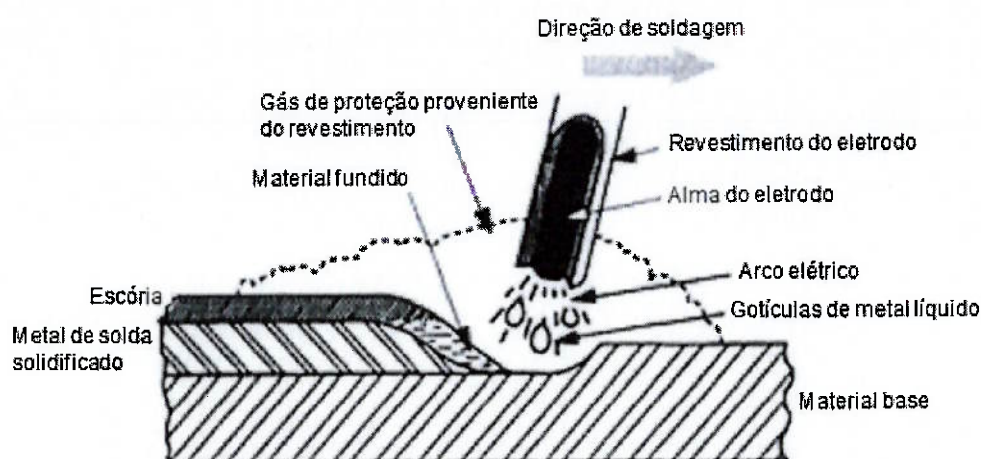


Figura 2.2 – Esquema de soldagem por eletrodo revestido [6].

2.2.1 EQUIPAMENTO E CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS.

O equipamento necessário para execução do processo consiste em uma fonte de energia, alicate para fixação dos eletrodos (porta-eletrodo), eletrodo revestido, cabos de interligação (eletrodo-fonte e fonte-peça) e pinça para conexão elétrica à peça [5, 7]. A figura 2.3 apresenta um esquema de equipamento para o processo de soldagem eletrodo revestido [6].

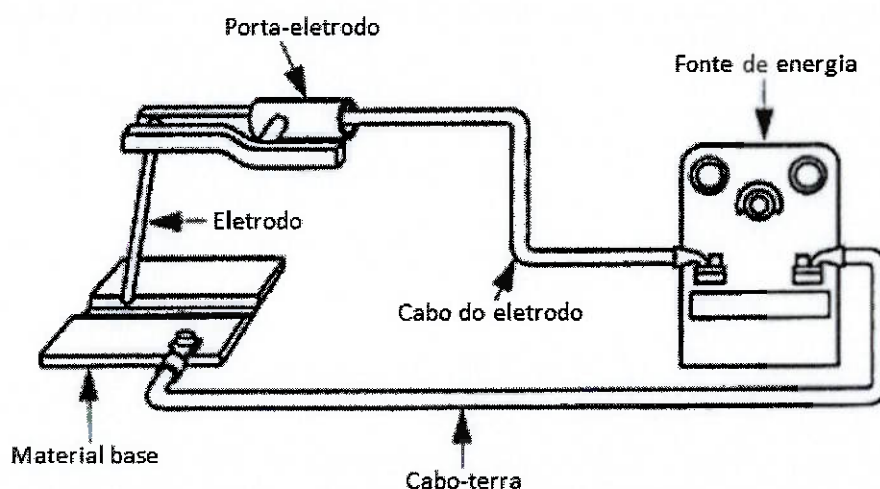


Figura 2.3 – Equipamento básico para soldagem com eletrodo revestido [6].

O processo ER pode ser executado tanto em corrente contínua (polaridade direta: CC^- ou reversa: CC^+) quanto em corrente alternada (CA). A corrente contínua proporciona melhor estabilidade do arco e qualidade de depósitos, porém é mais susceptível ao sopro magnético. A corrente alternada apresenta menor susceptibilidade ao sopro magnético, qualidade média de estabilidade do arco e inferior facilidade de ignição. As fontes de energia que podem ser utilizadas são do tipo transformador para corrente alternada, gerador ou transformador retificador para corrente contínua [5, 6].

2.2.2 ELETRODO REVESTIDO PARA SOLDAGEM DE AÇOS CARBONO E BAIXA LIGA.

O eletrodo revestido consiste basicamente de uma alma metálica revestida. A alma metálica deve ter teores baixos controlados de fósforo (P) e enxofre (S), é fabricada por fio-máquina, laminada à quente na forma de bobinas, posteriormente é trefilada a frio até o diâmetro adequado, quando é retificada e cortada no comprimento especificado [7]. Os revestimentos consistem de misturas de compostos minerais ou orgânicos associados a aglomerantes. As principais propriedades do revestimento são: proteção gasosa

da poça de fusão, desoxidação, adição de liga (revestimentos sintéticos), formação e destacamento da escória, estabilidade do arco, isolamento da alma, flexibilidade e, em função da formação da escória, reduz a velocidade de solidificação e protege a poça contra oxidação do ar atmosférico [5].

Existem quatro tipos de revestimentos que são utilizados para soldagem de aços baixa e média liga. São eles:

a) Celulósicos: mais de 20% de sua composição é de materiais celulósicos. Apresenta características de elevada penetração, baixa taxa de deposição, tensão de arco elevada, escória fina e de rápida solidificação, grande quantidade de respingos, formato irregular das escamas; é considerado satisfatório quanto à resistência mecânica e composição química gerada [5].

b) Rutílicos: mais de 20% de sua composição é óxido de titânio (areia de rutilo ou ilmenita). Apresentam características de alta estabilidade de arco, tensões comparativamente baixas, pequena quantidade de respingos e bom aspecto superficial do cordão, boas propriedades mecânicas e aumento da taxa de deposição com a adição de pó de ferro [5].

c) Ácidos: Composto de óxido de ferro e de manganês, e silicatos. Apresenta características de escória facilmente destacável, baixa resistência à fissuração, tensão de arco relativamente baixa, pouco respingo, boa aparência do cordão, alta taxa de deposição e penetração [5].

d) Básicos: Composto de carbonato de cálcio. Apresenta características de depósitos com baixo teor de hidrogênio e inclusões, elevadas propriedades mecânicas e resistência à fissuração, tensão de arco relativamente elevada, altas taxas de deposição com adição de pó de ferro, soldagem em todas as posições (dependendo da quantidade de pó de ferro). Esse tipo de revestimento, por ser higroscópico, requer secagem e manutenção cuidadosas para manter o nível de hidrogênio baixo, dentro do máximo especificado [5].

Os eletrodos revestidos são fabricados, normalmente, por extrusão sob pressão de um revestimento sobre a alma. Após extrusão, eles passam por uma série de operações de secagem até o empacotamento do produto acabado. Os elementos de liga podem ser inseridos ou no revestimento ou na alma metálica.

A fabricação dos eletrodos é padronizada em diâmetros que variam de 1,6 a 8 mm e comprimentos que variam de 230 a 455 mm [6]. O limite de faixa útil de corrente de soldagem está associado à densidade de corrente por unidade de área da seção transversal da alma do eletrodo [5]. A faixa de corrente varia de 20 a 500A e a tensão de 15 a 35V. O fabricante do eletrodo deve sugerir uma faixa de trabalho ótima para cada tipo e dimensão de eletrodo [6].

A escolha do eletrodo é realizada em função do tipo de metal de base (propriedades mecânicas e composição química), posição de soldagem, equipamento disponível, espessura do metal de base, montagem, exigências de qualidade do serviço a ser realizado e custos de soldagem [7].

2.2.3 RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS E CARACTERÍSTICAS DA JUNTA SOLDADA.

A corrente de soldagem, velocidade de avanço, ângulo do eletrodo (ataque e trabalho) e oscilação do eletrodo interferem diretamente nas propriedades da junta soldada. A corrente influencia no aspecto do cordão, taxa de deposição, penetração, largura, reforço e é inversamente proporcional à taxa de resfriamento. A velocidade de avanço é inversamente proporcional à largura do cordão. O ângulo do eletrodo deve ser ajustado a fim de equalizar a distribuição de energia entre as partes a serem soldadas; o soldador deve ter habilidade suficiente para controlar a poça de fusão. A oscilação do eletrodo aumenta a energia de soldagem pontual se comparado à técnica de passe estreito [5]. As figuras 2.4 e 2.5 [5] ilustram os efeitos de alguns parâmetros citados em função de propriedades da junta soldada.

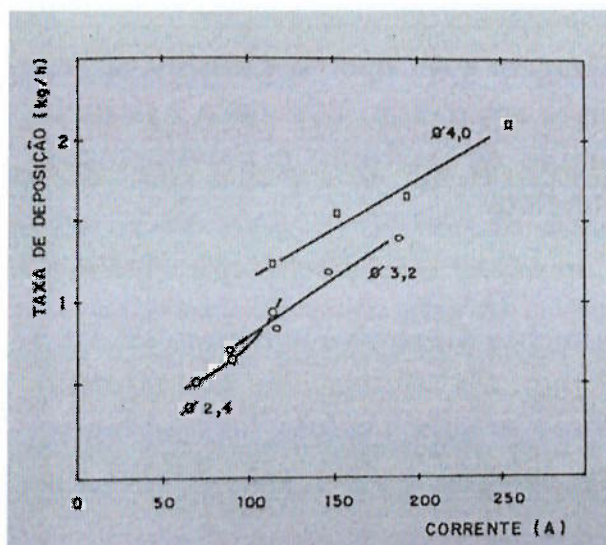


Figura 2.4 – Influência da corrente de soldagem sobre a taxa de deposição em função de alguns diâmetros de alma do eletrodo [5].

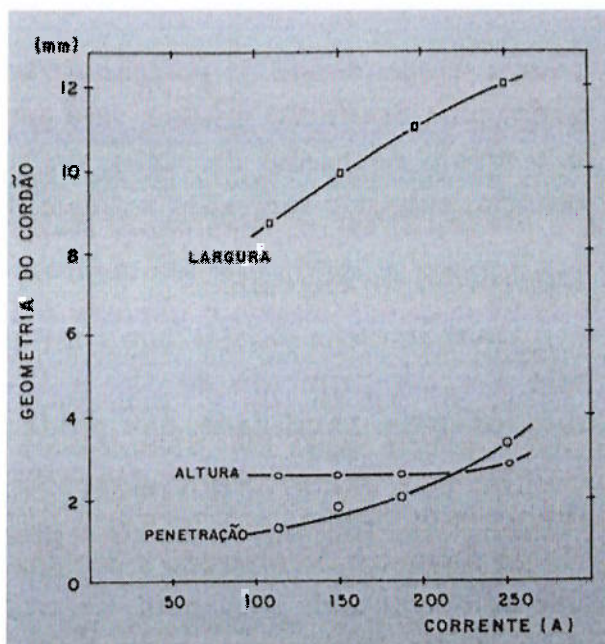


Figura 2.5 – Influência da corrente de soldagem sobre a geometria do cordão de solda realizado [5].

A taxa de fusão é diretamente proporcional à corrente de soldagem. A densidade de corrente no eletrodo aumenta com correntes mais altas, o que aumenta a taxa de fusão e consequentemente a taxa de deposição. A taxa de deposição é a massa de metal depositado por unidade de tempo (arco aberto); sendo diretamente proporcional à corrente de soldagem. A figura 2.6 apresenta a relação entre corrente e taxa de deposição para certos tipos de eletrodos [6].

Nota-se que para uma mesma corrente de 300A o eletrodo que apresenta maior taxa de deposição é o E7027.

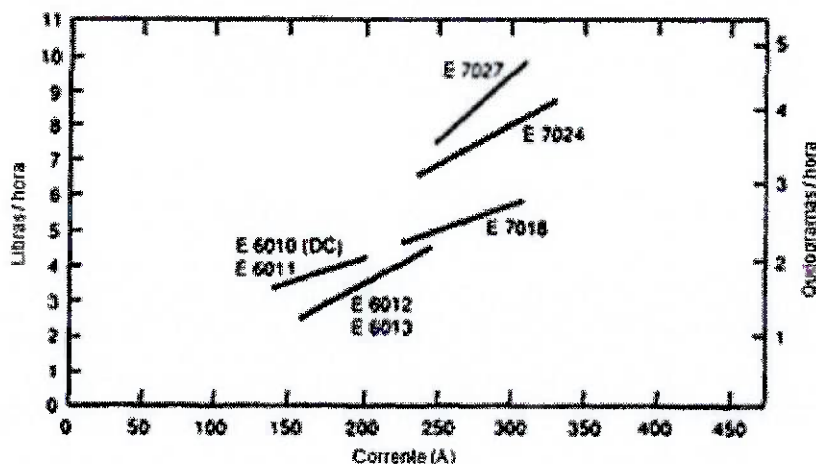


Figura 2.6 – Relação entre taxa de deposição e corrente para um ciclo de trabalho de 100% [6].

2.2.4 EFICIÊNCIA DE DEPOSIÇÃO.

O eletrodo revestido utilizado na soldagem não é consumido totalmente devido a perdas de massa que ocorrem por respingos, escória, fumos, gases e pontas (em média 50 mm). A porcentagem de massa do eletrodo que efetivamente integra a solda é chamada de eficiência de deposição, e pode ser calculada segundo a equação abaixo:

$$\text{Eficiência de deposição (\%)} = \frac{\text{Massa do metal depositado}}{\text{Massa total do eletrodo}} \times 100$$

Eq. (01)

A tabela 2.1 relaciona alguns tipos de eletrodo revestido à eficiência de deposição, sem considerar a perda por pontas, já que esta é variável e depende do soldador.

Tabela 2.1 – Eficiência de deposição de alguns tipos de eletrodo revestido [7].

Classe	Eficiência de deposição média (%)
E6010	63,8
E6011	68,5
E6012	66,9
E6013	66,8
E7014	64,6
E7016	62,8
E7018	69,5
E6020	65,2
E7024	66,8
E7027	68,6

O processo de soldagem por eletrodo revestido possui vários campos de aplicação, dentre eles: construção de navios, serviços em campo em geral, oleodutos e gasodutos e manutenção em geral [6].

2.2.5 CONSIDERAÇÕES DE QUALIDADE DE SOLDAGEM.

São fatores essenciais para produção de uma solda de alta qualidade:

- a) Escolha do tipo correto de eletrodo (metal de base, tipo de trabalho e propriedades mecânicas);
- b) Escolha do diâmetro correto de eletrodo (tipo de eletrodo, posição de soldagem, preparação da junta, espessura do metal de base e habilidade do soldador);
- c) Escolha da faixa de corrente correta (muito alta: poça de fusão larga, irregular, de difícil controle, quebra do revestimento / muito baixa: poça de fusão irregular, difícil manutenção do arco e calor insuficiente para formar o gás de proteção);

d) Comprimento de arco correto (muito longo: cordão largo e irregular, porosidade e degradação de propriedades mecânicas / muito curto: eletrodo tende a “grudar” na peça);

e) Velocidade de soldagem correta (muito rápido: solidificação antes de impurezas e gases escaparem, perfil de cordão estreito e inadequado / muito devagar: acúmulo de material fundido, perfil de cordão largo e inadequado);

f) Ângulo do eletrodo correto (dispersão uniforme de calor);

g) Correta manipulação de arco;

h) Extinção do arco (quando houver pausa para posterior continuação de cordão: extinção rápida / fim de um cordão: preenchimento da cratera antes da extinção);

i) Correta limpeza entre passes (prevenção contra inclusão de escória, falta de fusão e porosidade) [6].

2.2.6 ASME II PARTE C – SFA5.1.

A AWS (*American Welding Society*) estabelece um sistema de identificação (classificação) e agrupamento dos vários tipos de eletrodos revestidos em função de suas características de composição química e propriedades mecânicas [7]. O código ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) emite suas normas com nomenclatura e revisão próprias sobre consumíveis de soldagem com conteúdo idêntico às normas AWS. A nomenclatura é muito parecida com a da AWS, por exemplo: ASME II parte C SFA5.1: 2010 corresponde à AWS A5.1: 2004, e assim por diante [5, 8].

Requisitos de ensaios, critérios de aceitação, aplicação e classificação dos eletrodos revestidos para soldagem de aços carbono estão contidos na norma SFA5.1 [5, 8].

2.2.7 CLASSIFICAÇÃO.

Os eletrodos possuem a letra E como prefixo da classificação que indica o eletrodo. Os demais símbolos descrevem características do eletrodo como resistência à tração, composição química, tipo de corrente de trabalho, posições de soldagem, tipo de revestimento, tenacidade, e outros [7]. Existem eletrodos revestidos de diversos materiais e, para cada material, há um método de classificação diferente. Neste trabalho será abordado o método de classificação segundo ASME SFA5.1, o qual é ilustrado na figura 2.7 [8].

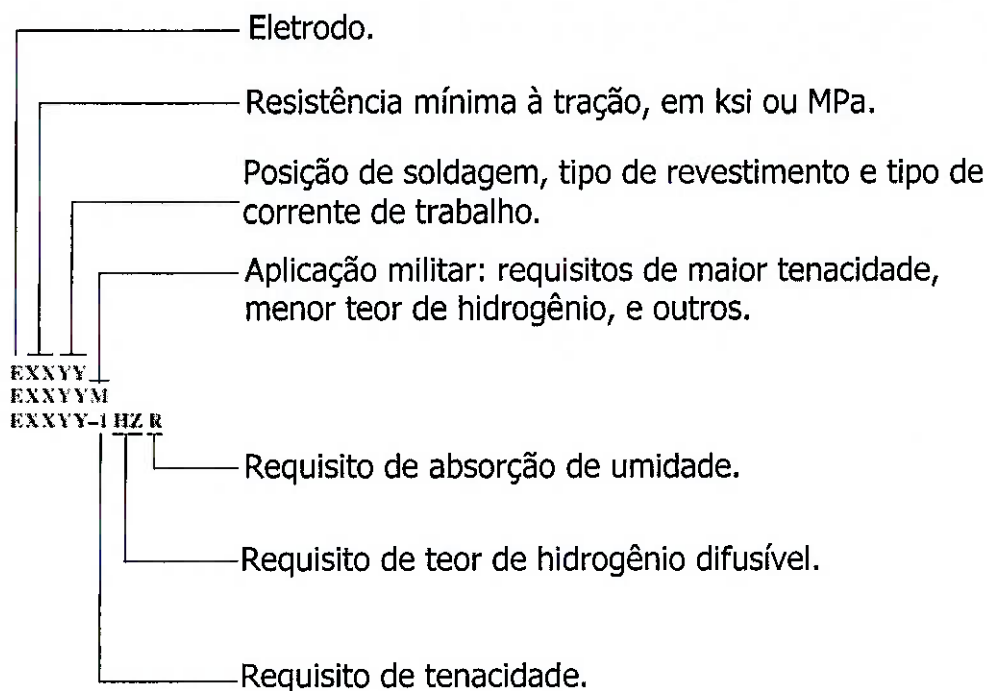


Figura 2.7 – Classificação de eletrodos revestidos conforme ASME II Parte C SFA5.1: 2010 [adapt., 8].

A tabela 2.2 apresenta exemplos de eletrodos e algumas características em função da classificação, além de propriedades específicas relacionadas a característica do arco, penetração e adição de pó de ferro para maior taxa de deposição [7].

Tabela 2.2 – Características de eletrodos revestidos em função da classificação ASME SFA5.1 e propriedades referentes ao processo de soldagem [7].

Classe	Corrente	Arco	Penetração	Revestimento / Escória	Pó de ferro
EXX10	CC+	agressivo	profunda	Celulósico - sódio	0-10%
EXX11	CA/CC+	agressivo	profunda	Celulósico - potássio	0
EXX12	CA/CC-	médio	média	Rutílico - sódio	0-10%
EXX13	CA/CC-/CC+	suave	leve	Rutílico - potássio	0-10%
EXX14	CA/CC-/CC+	suave	leve	Rutílico – pó de ferro	25-40%
EXX15	CC+	médio	média	Baixo hidrogênio - sódio	0
EXX16	CA/CC+	médio	média	Baixo hidrogênio - potássio	0
EXX18	CA/CC+	médio	média	Baixo hidrogênio – pó de ferro	25-40%
EXX20	CA/CC-	médio	média	Óxido de ferro - sódio	0
EXX22	CA/CC-/CC+	médio	média	Óxido de ferro - sódio	0
EXX24	CA/CC-/CC+	suave	leve	Rutílico – pó de ferro	50%
EXX27	CA/CC-/CC+	médio	média	Óxido de ferro – pó de ferro	50%
EXX28	CA/CC+	médio	média	Baixo hidrogênio – pó de ferro	50%
EXX48	CA/CC+	médio	média	Baixo hidrogênio – pó de ferro	25-40%

O percentual de pó de ferro é baseado na massa do revestimento.

2.2.8 E7018: CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÃO.

A classificação E7018 pode ser definida como um eletrodo revestido que apresenta resistência mínima à tração de 70 ksi em temperatura ambiente, capacidade de soldagem em todas as posições, revestimento básico e trabalho em corrente contínua ou alternada [8]. A tabela 2.3 apresenta as faixas típicas de corrente utilizadas para os diversos diâmetros de eletrodo. A composição e função dos constituintes do revestimento desse eletrodo são relacionadas na tabela 2.4 [7].

Tabela 2.3 – Faixas típicas de corrente de soldagem para as diversas dimensões de eletrodo E7018 [adapt., 8].

Diâmetro do eletrodo (mm)	Faixa de corrente (A)
2,4 e 2,5	70 – 110
3,2	105 - 155
4,0	130 – 200
5,0	200 – 275
5,6	260 – 340
6,0	315 – 400
8,0	375 - 470

Tabela 2.4 – Relação da composição do revestimento do E7018 e suas respectivas funções na soldagem [7].

Composição		Função	Proteção
Constituinte	Concentração		
Carbonato de cálcio	30%	Formador de gases / agente fluxante	80% CO 20% CO ₂
Fluorita	20%	Formador de escória / agente fluxante	
Ferro-manganês	5%	Desoxidante / ferro-liga	
Silicato de Potássio	15%	Aglomerante / estabilizador de arco	
Pó de ferro	30%	Agente de deposição	
Umidade	0,1%	-	

O E7018 é um eletrodo de baixo hidrogênio para aplicações que envolvem juntas de alto teor de carbono, alta resistência e aços baixa liga [8]. Na fabricação desses eletrodos é imprescindível a eliminação de compostos orgânicos e químicos com alto teor de umidade na obtenção do revestimento. O processo de secagem é realizado como eletrodos convencionais e, posteriormente, são ressecados separadamente a altas temperaturas. A armazenagem, tratamento e manuseio desses consumíveis, quanto ao controle de temperatura e umidade relativa do ar, devem ser realizados conforme instruções do fabricante. Esses eletrodos podem ser adquiridos em embalagens à vácuo, o que controla ainda mais a absorção de umidade [7].

O controle de hidrogênio difusível no eletrodo é essencial para o desenvolvimento das atividades a que ele é proposto mantendo a mais alta qualidade. O volume de gás (ml) em condições normais de temperatura e pressão para cada 100 gramas de metal depositado é o método em que se quantifica o teor de hidrogênio difusível. A tabela 2.5 apresenta a relação entre tipo de revestimento e teor de hidrogênio difusível. Percebe-se a grande diferença entre os 3 principais revestimentos utilizados, no qual o básico apresenta um controle extremamente maior [7].

Tabela 2.5 – Tipo de revestimento e respectivo teor de hidrogênio difusível [7].

Tipo de eletrodo	Teor de hidrogênio difusível
Celulósico	Acima de 30 ml/100g
Rutílico	Entre 15 e 30 ml/100g
Básico	Abaixo de 10 ml/100g

A tabela 2.6 mostra, segundo a classificação IIW (*International Institute of Welding*), o conceito de proporção de teor de hidrogênio difusível. Os eletrodos de revestimento básico apresentam teor médio menor que 10 ml/100g, o que representa um valor entre muito baixo e baixo [7]. Esses eletrodos são adquiridos normalmente na condição H8 (8 ml/100g), mas, dependendo do tipo de serviço, podem apresentar a condição H4 (4 ml/100g) com um controle extremamente maior [8].

Tabela 2.6 – Conceito de proporção para teor de hidrogênio difusível [7].

Classificação IIW	Teor de hidrogênio difusível
Muito baixo	0 a 5 ml/100g
Baixo	5 a 10 ml/100g
Médio	10 a 15 ml/100g
alto	Acima de 15 ml/100g

De acordo com a tabela 7 da norma ASME II Parte C SFA5.1 [8], a composição química requerida para o eletrodo E7018 é representada na tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Critério de composição química do eletrodo E7018 [adapt., 8].

Concentração em massa dos elementos químicos (%)				
C (máx.)	Mn (máx.)	Si (máx.)	P (máx.)	S (máx.)
0,15	1,60	0,75	0,035	0,035
Ni (máx.)	Cr (máx.)	Mo (máx.)	V (máx.)	Mn+Ni+Cr+Mo+V (máx.)
0,30	0,20	0,30	0,08	1,75

De acordo com as tabelas 2 e 3 da norma ASME II Parte C SFA5.1 [8], as propriedades mecânicas requeridas para o eletrodo E7018 é representada na tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Critério de propriedades mecânicas (de tração e tenacidade) do eletrodo E7018 [adapt., 8].

Requisitos para os resultados do ensaio de tração			
Limite de escoamento MPa (ksi)	Limite de Resistência MPa (ksi)	Alongamento %	
Mín. 400 (58)	Mín. 490 (70)	Mín. 22	
Requisitos para os resultados do ensaio impacto charpy			
Classificação	Temperatura de teste (°C)	Energia absorvida – média (J)	Energia absorvida – individual (J)
E7018	- 30	Mín. 27	Mín. 20
E7018-1	- 45	Mín. 27	Mín. 20

2.3 ENERGIA DE SOLDAGEM.

A transferência de calor na soldagem tem influência direta nas transformações metalúrgicas e fenômenos mecânicos na zona de solda. Como já visto, a transferência de calor é responsável pela atuação dos ciclos térmicos e repartição térmica, e poder ser chamada de aporte de calor ou energia de soldagem [5].

A energia de soldagem pode ser calculada em função dos três principais fatores que influenciam na quantidade de calor introduzida na peça que está sendo soldada: corrente, tensão e velocidade de soldagem. Além dos três fatores, cada processo de soldagem é caracterizado por uma eficiência térmica (rendimento térmico) específica que determina a quantidade de energia que realmente é introduzida na peça, pois parte da energia total é dissipada na atmosfera como energia irradiante e parte perde-se por convecção no meio gasoso que protege a poça de fusão. Como exemplo, o processo eletrodo revestido situa-se na faixa de 66 a 85% (o valor 0,75% é habitualmente utilizado nos cálculos) [2, 5]. As equações abaixo mostram como calcular a energia de soldagem [2, 9].

$$En = \frac{U \times I}{vs}$$

Eq. (02)

Onde: En é a energia nominal de soldagem (J/mm)

U é a tensão do arco (V)

I é a corrente de soldagem (A)

vs é a velocidade de soldagem (mm/s)

$$E = r \times En$$

Eq. (03)

Onde: E é a energia de soldagem (J/mm)

r é o rendimento térmico do processo de soldagem

En é a energia nominal de soldagem

Tratando-se de soldagem em operação, o valor de energia a ser utilizado deve ser intermediário, pois quanto menor a energia, maior a taxa de resfriamento da junta; e quanto maior a energia, maior o tempo de exposição acima da temperatura de austenitização, o que propicia o crescimento de grãos e aumenta a temperabilidade. A figura 2.8 mostra a influência da taxa de resfriamento correlacionada ao valor de carbono equivalente do material nas características mecânicas da ZAC resultante do processo de soldagem [2]. Outro fator relacionado à alta energia de soldagem é a espessura do duto; quanto menor a espessura, maior a chance de perfuração pela sobrepenetração do arco voltaico [1].

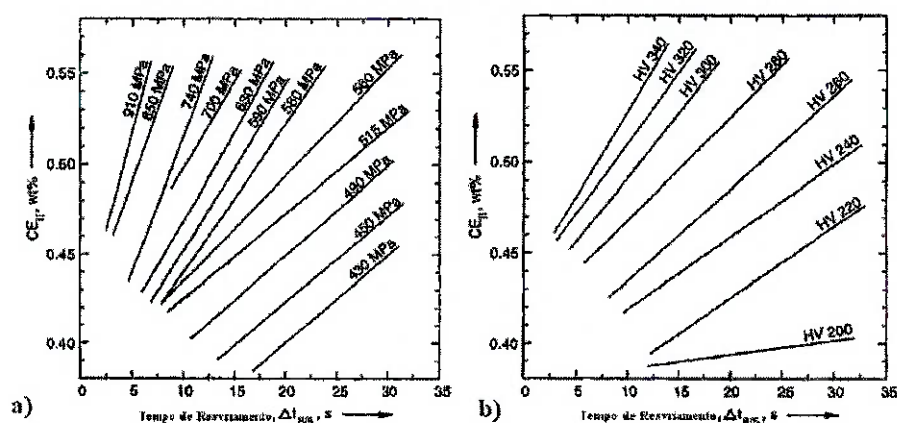


Figura 2.8 – Influência da taxa de resfriamento e valor de carbono equivalente nas propriedades mecânicas da ZAC. a) Tensão ao escoamento (MPa). b) Dureza (Vickers) [2, 10].

A figura acima deixa claro que quanto maior o carbono equivalente do material associado à maior taxa de resfriamento; maior serão a complexidade da soldagem e os cuidados a serem tomados no seu planejamento.

2.4 APORTE DE CALOR NA SOLDAGEM.

A principal fonte de energia na soldagem pelos processos de fusão a arco voltaico é o calor; seu controle de fornecimento e distribuição é

imprescindível para gerar uma solda de alta qualidade. O calor tem influência direta nas transformações de fase e fenômenos mecânicos que podem ocorrer principalmente devido à história térmica gerada a partir dos ciclos térmicos e repartição térmica da soldagem [11].

A história térmica é o resultado final do conjunto de ciclos térmicos de soldagem em conjunto com a repartição térmica. O ciclo térmico é a variação de temperatura (θ) em função do tempo (t) em determinados locais pontuais no metal de base relacionados em função da distância da fonte de calor. Nesses locais são estudados a temperatura máxima atingida e a velocidade de resfriamento, os quais determinarão a microestrutura remanescente e por consequência as propriedades da junta soldada [5, 11, 12].

A figura 2.9 representa o ciclo térmico referente a um ponto A em uma localização específica no metal de base. Nesta figura pode-se identificar θ_m como sendo a temperatura máxima alcançada; θ_s simboliza a temperatura crítica e V_R é a velocidade de resfriamento a uma temperatura θ_R [11, 12].

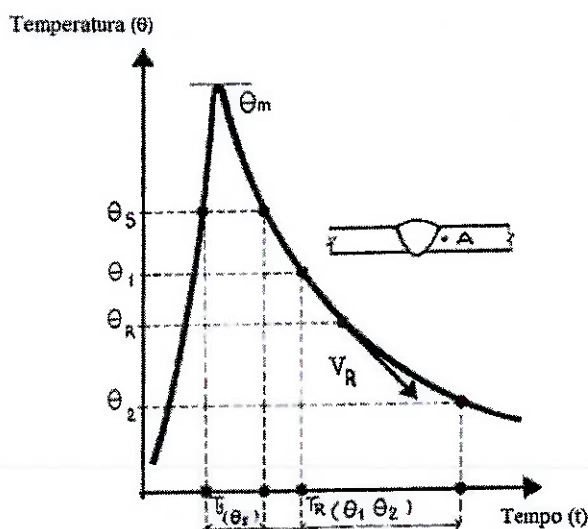


Figura 2.9 – Exemplo de ciclo térmico em ponto específico no metal de base [11, 12].

A repartição térmica apresenta a extensão da ZAC, ou seja, o quanto do metal de base foi influenciado pela atuação do calor e teve sua microestrutura transformada. A repartição térmica é esquematizada em uma visão transversal

à junta soldada e pode ser exemplificada na figura 2.10, na qual se evidencia a presença da temperatura máxima atingida durante a soldagem no centro do cordão de solda. Com esse mecanismo é possível determinar a extensão da ZAC e suas transformações em cada uma de suas regiões expostas a diferentes temperaturas [11, 12].

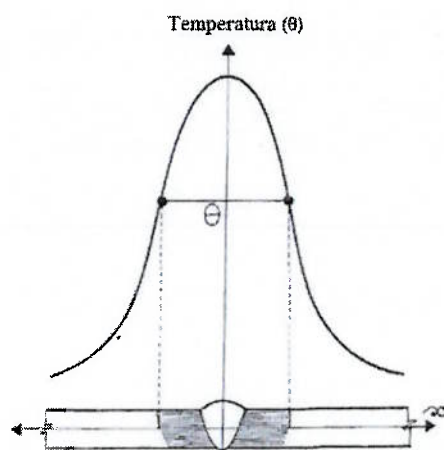


Figura 2.10 – Repartição térmica em uma junta soldada [11, 12].

2.5 SOFTWARE DE SIMULAÇÃO TÉRMICA.

Com o intuito de prever os riscos a fim de evitar os acidentes, foi desenvolvido o modelo computacional Batelle que consiste em uma análise térmica da situação de soldagem. Como o risco de perfuração está associado à temperatura da parede interna do duto, especificou-se, com margem de segurança, temperatura máxima de 980°C em trabalhos com eletrodos básicos e 760°C com eletrodos celulósicos [2, 13]. A situação de soldagem consiste em parâmetros de soldagem, produto e condições de operação do duto; são dados de entrada do software para análise térmica. Os dados de saída são a dureza estimada na ZAC e a possibilidade de ocorrência da perfuração [2, 13]. Após dez anos do desenvolvimento do Batelle, a PRCI (*Pipeline Research Council International*) desenvolveu um modelo computacional aperfeiçoado com o mesmo propósito, de interface mais amigável.

2.6 OCORRÊNCIAS NA SOLDAGEM EM OPERAÇÃO.

2.6.1 RISCO DE PERFURAÇÃO.

Os principais fatores que influenciam na possível perfuração do duto durante a soldagem são: condições operacionais da linha (vazão e pressão), baixa espessura do duto (menor que 6 mm), elevada energia de soldagem (maior que 12 kJ/cm), oscilação do eletrodo ("trançar") durante a soldagem ao invés da utilização da técnica de passa estreito (retilíneo), uso de eletrodos de alta taxa de penetração e eletrodos de grande diâmetro (maior que 3,2 mm) [1, 14]. O principal fator é a espessura do duto, pois caso seja maior que 12,7 mm, com ou sem fluxo interno, não há risco de perfuração [15]. A baixa espessura, associada aos demais fatores apresentados, intensifica o risco de perfuração [1, 14]. A principal consequência da perfuração é o vazamento do produto, seja líquido ou gasoso, tóxico ou inflamável; o que pode resultar em acidentes catastróficos e danos à saúde dos envolvidos no serviço [1].

O risco de perfuração está associado à temperatura atingida na parede interna do duto. Com base em estudos, a perfuração tende a ocorrer quando esta temperatura ultrapassa 1260°C [1, 16]. O aço, a altas temperaturas, apresenta redução do limite de escoamento (acima de 800°C é em torno de 4 a 10% da resistência a temperatura ambiente). Essa característica possibilita concluir que, independente das propriedades do material a temperatura ambiente, a altas temperaturas a ZAC apresentará baixa resistência [1].

Apesar de conhecida a espessura nominal do duto, antes da soldagem em operação a espessura real no local de trabalho deve ser verificada por equipamentos e técnicas apropriadas. A diferença entre espessura nominal e real pode ocorrer em função de corrosão generalizada, pites, alveolar, erosão, cavitação e outros métodos de degradação [1, 14]. A presença de segregação, como dupla-laminação, também deve ser considerada. Em função disto, é indispensável conhecer a espessura real do duto.

2.6.2 TRINCA A FRIO INDUZIDA POR HIDROGÊNIO.

A trinca a frio induzida pelo hidrogênio ocorre somente na presença simultânea de quatro fatores: presença de hidrogênio, baixa temperatura (menor que 150°C), microestrutura susceptível e tensão (externa e/ou residual). O hidrogênio combina-se formando gás em microtrincas e microcavidades internas do material, o que aumenta a pressão interna resultando na expansão das microtrincas e microcavidades por deformação ou clivagem; em certo momento há o coalescimento e falha do material [5].

A solubilidade do hidrogênio diminui com a queda da temperatura e é maior na austenita. O hidrogênio é introduzido pela atmosfera do arco para a poça de fusão que, ao solidificar-se, apresenta estrutura austenítica; neste momento perde parte do hidrogênio para a atmosfera. No metal de base, próximo à solda, existe uma área austenitizada. O hidrogênio do metal de solda, quando este passa de estrutura austenítica para ferrita-cementita, migra para a região do metal de base austenítica. Essa região, durante o resfriamento, pode ser temperada; obtendo-se no final estrutura susceptível associada à presença de hidrogênio [5, 17]. A figura 2.11 ilustra o caminho percorrido pelo hidrogênio até a nucleação da trinca [2, 17].

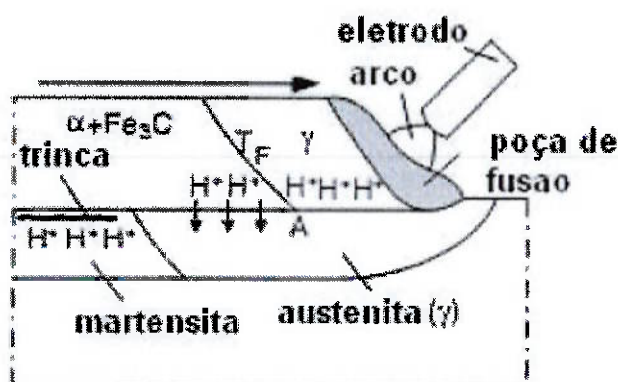


Figura 2.11 – Esquema de absorção e difusão do hidrogênio na junta soldada [2, 17].

A microestrutura típica com maior susceptibilidade à trinca a frio é a martensita, seguida da bainita [1, 5]. Quanto maior a resistência do aço, em geral, maior o risco de ocorrer fissuração. A resistência está associada à dureza do material que é limitada por algumas normas em 320 a 350 HV máximo para evitar a trinca [1]. A temperabilidade do aço é função do teor de carbono, composição química e tamanho de grão austenítico durante a soldagem [5]. O resfriamento brusco associado a esses fatores resulta em microestruturas frágeis; e é função da energia de soldagem, pré-aquecimento e condições operacionais da tubulação [1, 14]. Na soldagem em operação, ao contrário da soldagem convencional, quanto menor a espessura, maior a taxa de resfriamento, pois a "barreira" entre a região de soldagem e o fluido interno que retira o calor é menor [1]. A figura 2.12 relaciona as zonas de soldabilidade do aço em função da composição química. Em ordem crescente de susceptibilidade à trinca a frio aparecem as zonas 1, 2 e 3.

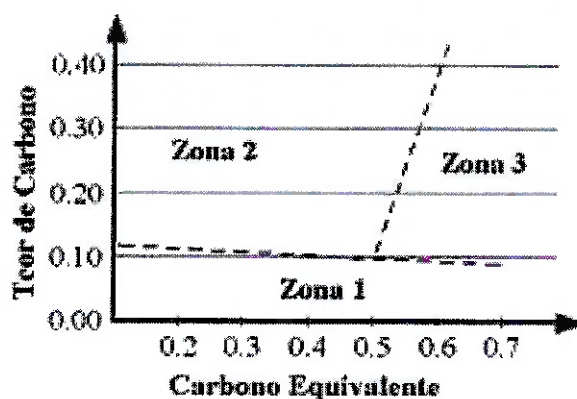


Figura 2.12 – Zonas de soldabilidade em função da composição química do material [2, 18].

Um exemplo de prática para minimizar o aprisionamento do hidrogênio é pré-aquecer a junta, o que aumentaria o tempo de resfriamento e a temperatura na qual a difusão do hidrogênio ainda é facilitada; reduziria também a quantidade de martensita na ZAC [5].

As tensões residuais da soldagem e grau de restrição da junta são fatores importantes a serem considerados. O tipo de junta influencia no grau de susceptibilidade à trinca, em ordem crescente: topo a topo, em ângulo,

cruciforme. Descontinuidades presentes na solda como falta de fusão e falta de penetração também são concentradores de tensões [5].

O hidrogênio é proveniente de diversas fontes, dentre elas destaca-se as principais [5]:

- a) Consumíveis: umidade no revestimento dos eletrodos, contaminação com óleo, sujeiras ou graxa na superfície;
- b) Metal de base: hidrogênio referente ao processo de fabricação do aço, óleo, graxa ou sujeira na superfície, resíduos líquidos desengraxantes, óxidos hidratados;
- c) Processo de soldagem: a figura 2.13 mostra a influência do processo de soldagem na quantidade de hidrogênio presente na solda.

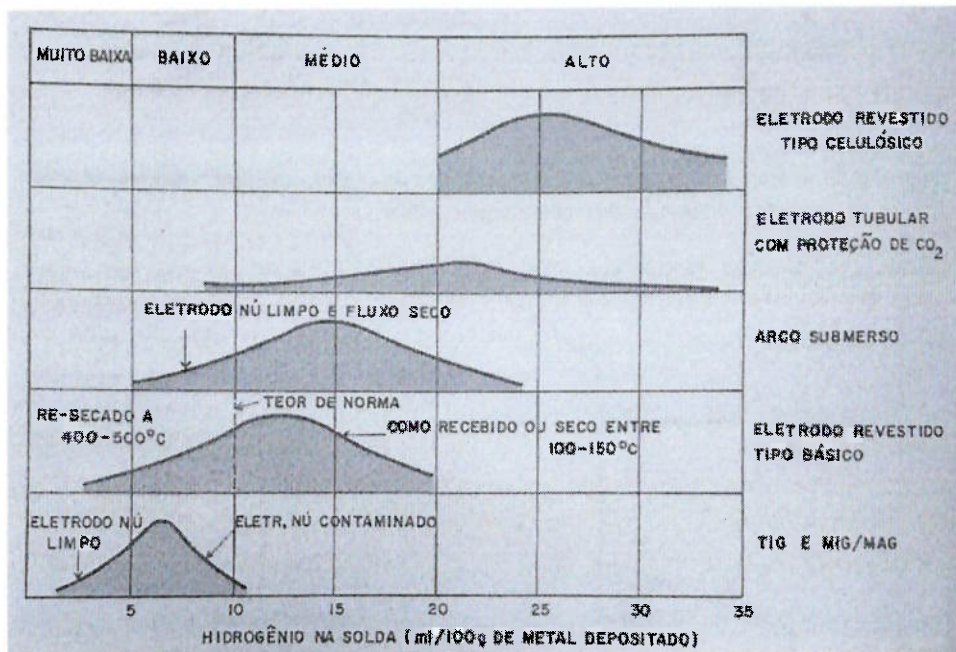


Figura 2.13 – Teor de hidrogênio na solda em função do processo de soldagem [5].

Baseando-se nos dados apresentados, é possível concluir que, para minimizar a probabilidade da ocorrência da trinca a frio deve-se avaliar os quatro fatores: microestrutura susceptível, tensões residuais, controle de umidade do processo com suas variáveis e temperatura. A trinca a frio ocorre com a associação dos quatro fatores, ou seja, evitando-se ao menos um deles, não há risco de trincar [1, 5].

2.7 CARACTERÍSTICAS METALÚRGICAS.

2.7.1 SOLDAGEM DE AÇOS FERRÍTICOS.

A microestrutura da junta soldada deve apresentar propriedades similares às do metal de base. A microestrutura da zona fundida (ZF) é função do teor de elementos de liga que estão sendo adicionados, composição química do metal de base (diluição), distribuição e tamanho de inclusões não-metálicas resultantes do processo de solidificação e ciclo térmico da soldagem. Os microconstituintes do metal de solda em aços ferríticos podem ser classificados em 5 tipos: ferrita primária, ferrita acicular, ferrita com fase secundária, agregado ferrita-carboneto e martensita. Na poça de fusão há um crescimento epitaxial e a solidificação acontece a partir dos grãos parcialmente fundidos do metal de base. Os modos de solidificação dependem do gradiente térmico, velocidade de solidificação e concentração do soluto [5].

A zona de ligação (ZL), ou zona parcialmente fundida apresenta durante a soldagem um crescimento epitaxial e competitivo de grãos; em função disso a estrutura poderá ser grosseira ou refinada. Quanto maior o tamanho de grão do metal de base, mais grosseira será a solda e quanto maior a temperatura atingida na ZL, maior o tamanho de grão e mais grosseira será a solda [5].

As transformações na zona afetada pelo calor (ZAC) dependem do teor de carbono e elementos de liga do metal de base. A figura 2.14 ilustra as regiões da ZAC em função da temperatura e distância da zona fundida. Na região mais próxima à zona de ligação há um crescimento de grão durante a soldagem, o que aumenta a temperabilidade dependendo do tempo em que esses grãos fiquem expostos à energia de soldagem, o que favorece a formação de microconstituintes de baixas temperaturas (abaixo de 500°C). Adjacente a esta região ocorre refino de grão, com menor temperabilidade. A região próxima é caracterizada pela transformação parcial e esferoidização de carbonetos; seguida do metal de base não afetado [5].

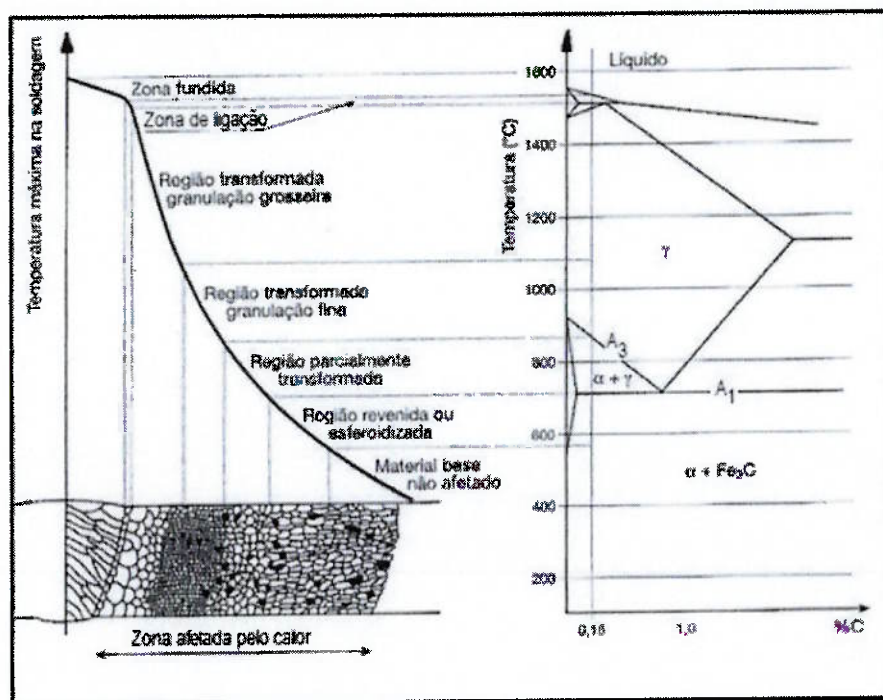


Figura 2.14 – Transformações ocorridas no metal de base, na região da ZAC, em função da temperatura e distância da zona fundida [11, 19].

A região de crescimento de grão é caracterizada pela transformação da ferrita em austenita. esse crescimento pode ser inibido com a presença de precipitados nos contornos de grãos; vai depender se durante o ciclo térmico esses precipitados irão ou não se dissolver. A resultante da decomposição da austenita durante o resfriamento será, junto com o crescimento de grão, responsável pelas propriedades mecânicas dessa região. A região de refino de grãos apresenta pequena deformação, temperatura e tempo menores resultando em menor tamanho de grão. Esta região apresenta resistência e ductilidade elevadas. A região parcialmente transformada pode apresentar perlita, bainita ou martensita. As propriedades mecânicas, com relação ao metal de base, podem ser inferiores. A região de esferoidização de carbonetos apresenta propriedades mecânicas inferiores com a possibilidade das lamelas da cementita da perlita se esferoidizarem [5].

2.7.2 DIAGRAMA TRC (TRANSFORMAÇÃO POR RESFRIAMENTO CONTÍNUO).

O diagrama TRC é traçado para aços em função da composição química específica, o qual correlaciona a velocidade de resfriamento em função de certas temperaturas, ao tipo de microestrutura remanescente. Este diagrama pode ser utilizado para qualquer trabalho em um aço de mesma composição química que haja aquecimento e resfriamento. Pode-se citar os processos de laminação termomecânica controlada, soldagem e conformação de tubos por indução [20].

Um exemplo é o diagrama que Zhao [21] obteve de um aço microligado de composição química apresentada na tabela 2.9. O diagrama representado na figura 2.15 mostra que para uma velocidade de resfriamento de 50°C/s a microestrutura remanescente no material é composta por bainita e ferrita acicular. Em contrapartida, em uma velocidade de resfriamento de 10°C/s, a microestrutura apresentada é basicamente ferrita acicular. Já em uma velocidade mais baixa, de 1°C/s, a microestrutura apresentada é constituída de ferrita poligonal e perlita [20, 21].

Percebe-se que a velocidade de resfriamento tem influência direta na composição microestrutural do material e por consequência na dureza alcançada após os processos de aquecimento/resfriamento. Quanto maior a taxa de resfriamento, maior concentração de microconstituintes que fornecem propriedades de dureza e resistência mecânica ao aço. Os principais fatores que influenciam nas mudanças microestruturais no aço são: composição química, processo de laminação e taxa de resfriamento [20].

Tabela 2.9 – Composição química do aço estudado por Zhao [20, 21].

Concentração dos Elementos na Amostra (%)									
C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ti	O	N
0,077	0,25	1,28	0,001	0,0006	0,045	0,053	0,027	0,0011	0,0018

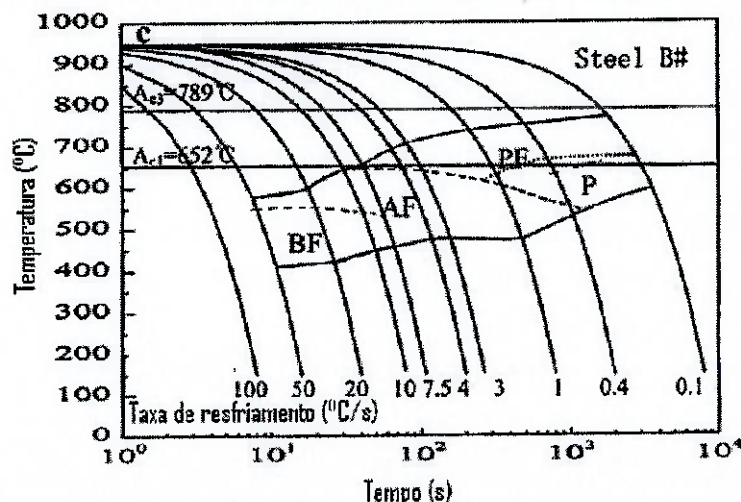


Figura 2.15 – Diagrama TRC do aço estudado por Zhao. BF=Ferrita Bainítica, AF=Ferrita Acicular, PF=Ferrita Poligonal e P=Perlita [20, 21].

2.7.3 SOLDABILIDADE.

A soldabilidade pode ser definida como “capacidade de um material ser soldado sob as condições impostas de fabricação em uma estrutura específica a fim de executar satisfatoriamente seu objetivo [22].

Os fatores a serem observados na análise da soldabilidade são: fatores operacionais (características do processo, habilidade do soldador); propriedades do material a ser soldado (físicas, mecânicas, químicas); características do meio e condições de soldagem, e conhecimento do projeto do equipamento.

O método mais utilizado para prever a soldabilidade do aço associada à capacidade deste formar martensita na ZAC é o cálculo do carbono equivalente, o qual relaciona os elementos de liga que mais têm influência na temperabilidade. Existem diversas fórmulas para se calcular o carbono equivalente, porém as mais utilizadas são as que constam na norma API Specification 5L e são apresentadas a seguir [23, 24]:

$$CE_{IIW} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15}$$

Eq. (04)

$$CEP_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

Eq. (05)

A equação 04 é utilizada para cálculo de carbono equivalente de aços com teor de carbono acima de 0,12%, ou seja, em geral é utilizada em tubos de aço antigos. Os aços ARBL modernos apresentam teor de carbono abaixo de 0,12%, neste caso utiliza-se a equação 05 [1, 24].

Um valor alto de carbono equivalente indica que o aço tem menor soldabilidade e maior temperabilidade, porém a dureza máxima atingida pelo material não depende somente do CE, mas também da repartição térmica e dos ciclos térmicos da soldagem que são influenciados diretamente pela taxa de resfriamento [11, 25].

2.8 TUBOS API 5L.

A API (*American Petroleum Institute*) foi fundada em 1919 com o intuito de padronizar especificações de engenharia referentes à perfuração e produção de petróleo e seus derivados. Foi criada a norma API Specification 5L, que relaciona e agrupa os aços usados na construção de dutos para transporte de petróleo e derivados, com ou sem costura, de acordo com os requisitos de composição química e propriedades mecânicas; e apresenta especificações quanto a dimensional, peso, dentre outros. Os tubos fabricados com aços ARBL são os mais largamente utilizados e estão relacionados nesta norma [1].

Os aços são divididos em PSL1 e PSL 2 (*Product Specification Level*). Os requisitos dos aços PSL 2 são mais rigorosos; os tubos devem ser fornecidos com indicação do método de fabricação. Algumas considerações sobre os dois grupos [1, 24]:

- PSL 1: apresenta os requisitos de composição química e propriedades mecânicas de tubos com e sem costura dos seguintes graus: A25, A25P, A, B, X42, X46, X52, X56, X60, X65 e X70. Os quatro primeiros graus não contêm

nenhuma referência quanto ao limite de escoamento do material, porém os demais apresentam uma representação numérica ligada a esse valor de escoamento mínimo em ksi. Exemplo: API 5L Grau X65 PSL 1 – 65 ksi de resistência mínima ao escoamento [1, 24].

- PSL 2: apresenta os requisitos de composição química e propriedades mecânicas (incluindo tenacidade) de tubos com e sem costura dos seguintes graus: BR, X42R, BN, X42N, X46N, X52N, X56N, X60N, BQ, X42Q, X46Q, X52Q, X56Q, X60Q, X65Q, X70Q, X80Q, X90Q, X100Q (sem costura); BM, X42M, X46M, X52M, X56M, X60M, X65M, X70M, X80M, X90M, X100M e X120M. Os graus B com suas diferentes condições de fornecimento não contêm nenhuma referência quanto ao limite de escoamento do material, porém os demais apresentam uma representação numérica ligada a esse valor de escoamento mínimo em ksi. Esse número é seguido por uma letra que identifica a condição de fornecimento do material. Exemplo: API 5L Grau X120M PSL 2 – 120 ksi de resistência mínima ao escoamento e laminação termomecânica controlada [1, 24].

A tabela 2.10 apresenta uma relação entre alguns tipos de aços API e suas respectivas aplicações na indústria.

Tabela 2.10 – Exemplos de aços API e sua respectiva aplicação [1].

Classe (Limite de Escoamento)	Graus API 5L	Aplicação
Mín. 217 MPa	A, B, X42, X46, X52, X56	Dutos não submetidos a pressão ou onde a economia em peso não é importante
Mín. 453 MPa	X60, X65	Dutos submetidos a média e alta pressão e onde a preocupação com economia em peso é considerada
Mín. 522 MPa	X70	Dutos submetidos a alta pressão onde a economia em peso é importante para o projeto
Mín. 551 MPa	X80	Dutos submetidos a alta pressão onde a economia em peso é muito importante para o projeto

Os aços API apresentam diversas condições de fornecimento. São elas: como laminado, laminado normalizado, laminação termomecânica controlada, conformado termomecanicamente, normalizado conformado, normalizado, normalizado e revenido ou temperado revenido [24].

Através da composição química, com a inclusão dos elementos de microliga, e o desenvolvimento de condições de fornecimento voltados à elevação de resistência mecânica e tenacidade, houve um desenvolvimento acelerado de fabricação desses tubos nos últimos anos, novas técnicas de aperfeiçoamento foram praticadas [26]. As figuras 2.16 e 2.17 esquematizam o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos aços API durante as últimas décadas em função do limite de escoamento e tecnologias de fabricação. A figura 2.18 apresenta a economia em peso resultante da utilização de classes de resistência cada vez maiores.

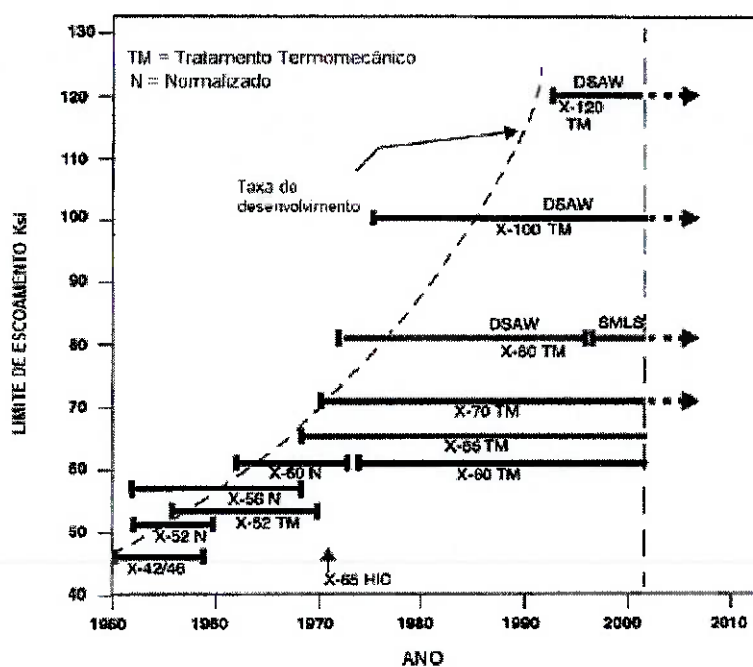


Figura 2.16 – Desenvolvimento dos aços API nos últimos anos em função do limite de escoamento [26, 27].

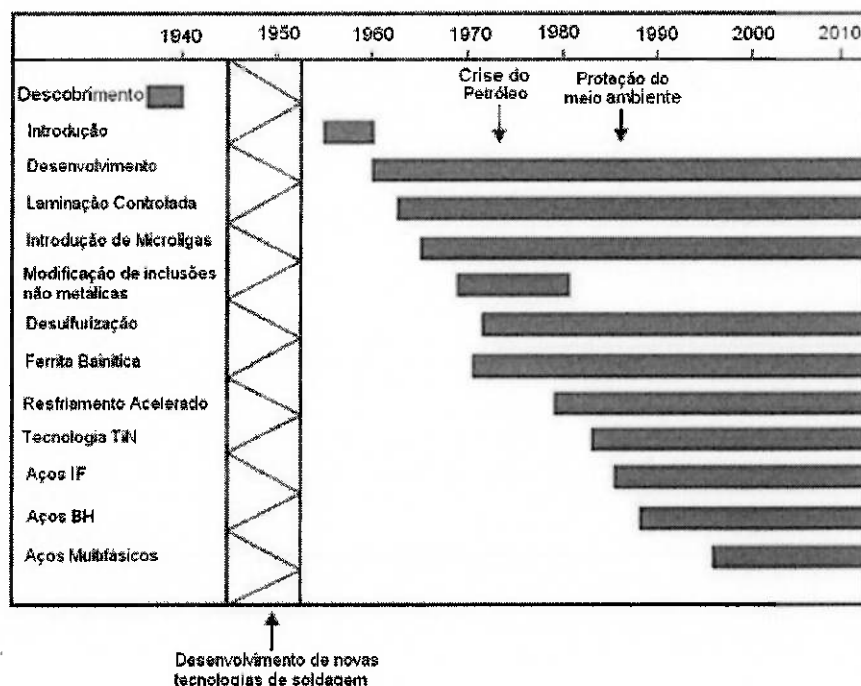


Figura 2.17 – Desenvolvimento dos aços API nos últimos anos em função da tecnologia de fabricação [26, 28].

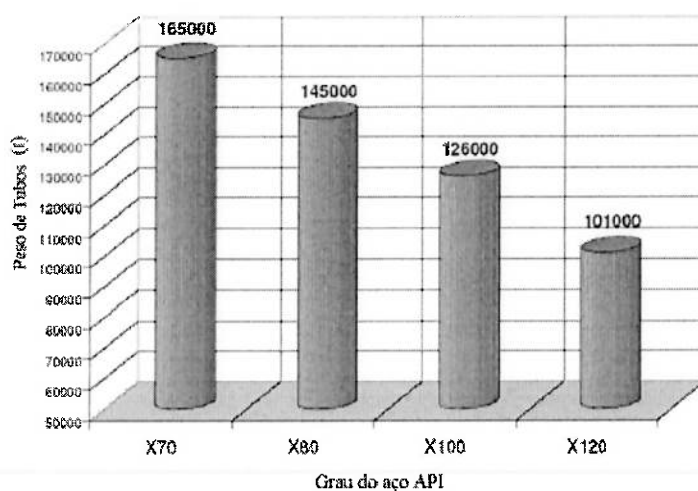


Figura 2.18 – Economia em peso na utilização de aços resistentes [26, 29].

2.9 TUBOS DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA (ARBL).

Os tubos de aço ARBL são tendência mundial na fabricação de dutos transportadores de petróleo, derivados e gás natural, pois apresentam características mecânicas e resistência à corrosão atmosférica que possibilitam ser projetados com menores espessuras, o que reduz a massa total da tubulação e conseqüentemente os custos de soldagem e mão-de-obra. A alta resistência desses materiais está relacionada com a inserção de elementos de liga na composição química, em pequenas proporções, que promovem um limite de escoamento mínimo de 275 MPa; além da concentração de carbono que pode ser reduzida, o que aumenta a soldabilidade em função da limitação do carbono equivalente (CE) em máximo 0,43% [1, 30, 31]. Os elementos de liga que podem ser utilizados, em qualquer combinação são: cromo (Cr), níquel (Ni), molibdênio (Mo), cobre (Cu), nitrogênio (N), vanádio (V), nióbio (Nb), titânio (Ti) e zircônio (Zr) [30 31].

2.9.1 ROTA DE PRODUÇÃO.

A rota de produção desses aços sofreu um grande desenvolvimento com o passar dos anos. Na década de 40 fabricou-se o primeiro aço microligado, endurecido pela adição de nióbio e vanádio na ordem de 0,10% [27, 32]. Até meados da década de 60 a rota de produção era realizada por laminação a quente seguida de normalização. A partir da década de 70 desenvolveu-se a rota de produção baseada na laminação termomecânica controlada (TMCR). Este processo possibilita a obtenção de uma microestrutura mais refinada, de baixo teor de carbono e melhores propriedades de tenacidade, soldabilidade e resistência [32].

No início da década de 80 melhorou-se o processo TMCR com a técnica do resfriamento acelerado que consiste em resfriar o material de 800°C a 500°C em um curto espaço de tempo logo após a última etapa de laminação. Após atingir 500°C, o material é resfriado ao ar. Essa rota é chamada de processo termomecânico controlado (TMCP) [32, 33]. A figura 2.19 apresenta o esquema da rota de fabricação TMCP.

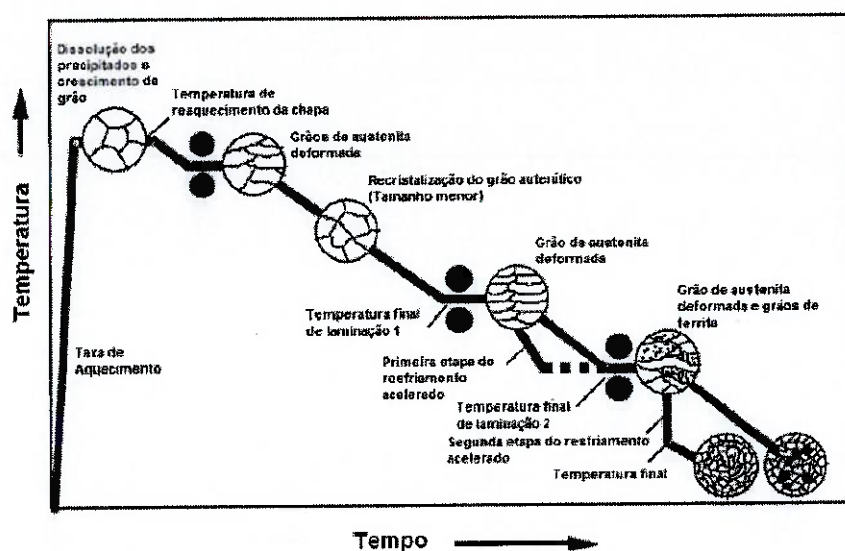


Figura 2.19 – Rota de fabricação de processo termomecânico controlado [23, 34].

Analisando-se a figura acima pode-se concluir que a rota TMPC começa com a elevação da temperatura das chapas até um valor no qual haja a dissolução dos precipitados e crescimento de grão austenítico. A temperatura começa a cair lentamente e a chapa é laminada, o que deforma os grãos austeníticos. A temperatura segue diminuindo, o que faz com que os grãos austeníticos sejam recristalizados em tamanho menor com relação aos grãos iniciais. Na "temperatura final de laminação 1" a chapa é laminada novamente, o que deforma os grãos austeníticos; e em seguida ocorre o primeiro resfriamento acelerado. Em seguida, na "temperatura final de laminação 2" a chapa é submetida a uma laminação controlada que determinará as dimensões finais do produto e onde ocorre a deformação dos grãos austeníticos e início da formação de grãos de ferrita. Posteriormente ocorre a última etapa do

resfriamento acelerado, o que transforma a microestrutura do aço até atingir a temperatura final do processo [23, 34].

Os resfriamentos acelerados podem ocorrer de duas maneiras: têmpera acelerada e revenimento ou resfriamento acelerado interrompido. A figura 2.20 apresenta os esquemas identificados como tipos 1 e 2 respectivamente. O método de resfriamento é crucial para a obtenção das propriedades finais desejadas do material após processo TMCP [23, 35].

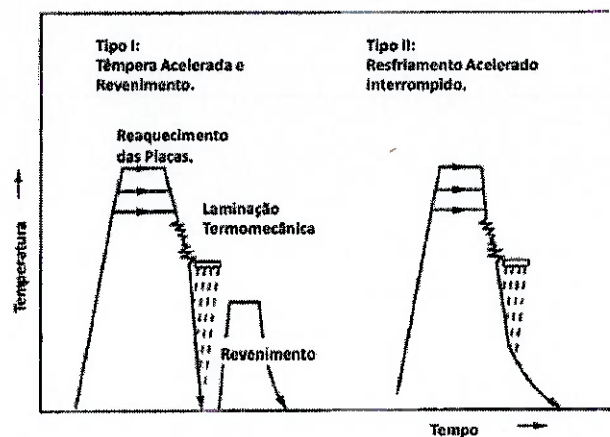


Figura 2.20 – Métodos de resfriamento acelerado no processo termomecânico controlado [23, 35].

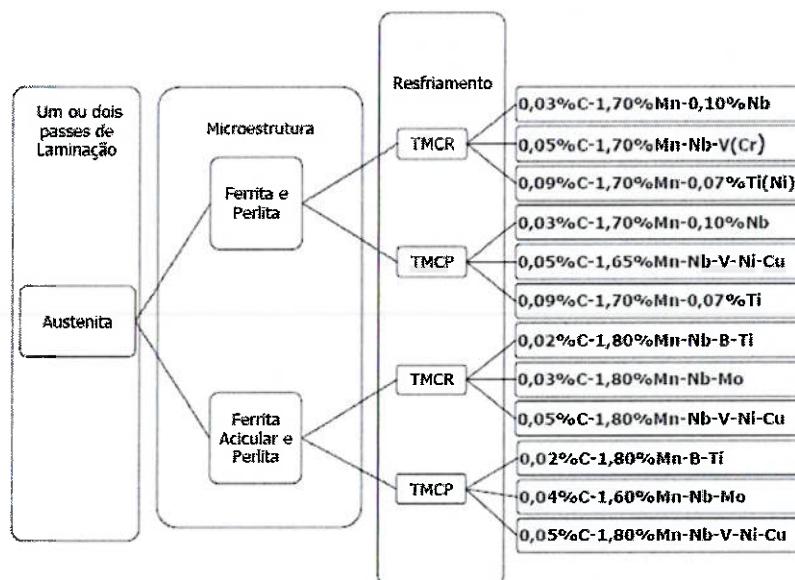


Figura 2.21 – Exemplos de composições químicas resultantes dos diferentes métodos de rota de produção [23, 36].

A figura 2.21 apresenta as diversas composições químicas que podem ser obtidas através dos diferentes tipos de microestruturas resultantes da decomposição da austenita em função do tipo de resfriamento.

Os tubos gerados a partir das chapas resultantes dos processos acima descritos são fabricados através da rota UOE, ou seja, são conformados a frio para o formato "U", posteriormente para o formato "O", a soldagem longitudinal de costura é realizada geralmente pelo processo de soldagem arco submerso para fechamento do tubo; e posteriormente são expandidos "E". Essa solda longitudinal apresenta controle de processo superiores às soldas de união na fabricação dos dutos, pois geralmente são realizadas com processos mecanizados ou automatizados.

Após processo de fabricação, faz-se os ensaios não destrutivos pertinentes para averiguação da integridade dos tubos [23, 37].

2.9.2 ELEMENTOS DE LIGA, MICROLIGA E DELETÉRIOS.

Os elementos químicos presentes na composição química dos aços ARBL podem ser divididos em 5 grupos [32, 33]:

- 1) Elementos químicos residuais silício ou alumínio, dependendo da técnica utilizada para acalmar o aço durante a sua produção;
- 2) Elementos de liga carbono (baixo carbono, máximo 0,10%) e manganês (alto manganês, máximo 2,0%);
- 3) Elementos de liga: Ni, Cu, Cr e Mo;
- 4) Elementos de microliga: Nb, V, Ti (Σ 0,15% máximo)
- 5) Elementos químicos residuais deletérios provenientes do minério de ferro, do carvão ou da técnica de refino do aço: P, S e N.

O objetivo da inserção, ou do controle de suas quantidades residuais, de elementos químicos na composição química desses aços é atribuir características específicas em função da aplicação final do material. Os elementos químicos Ni e Mn abaixam a temperatura de transformação da

austenita em ferrita, o que promove um refino de grão. Os elementos Nb, Ti, e V auxiliam na diminuição do tamanho de grão através da formação de precipitados no contorno de grão que acabam "ancorando" os grãos impedindo seu crescimento [32, 33].

Alguns elementos que fazem parte da composição química do aço podem prejudicar suas propriedades mecânicas e devem ter sua concentração controlada de maneira a evitar qualquer efeito deletério não desejado.

A seguir os elementos de liga, microliga e deletérios com suas respectivas funções básicas e efeitos sobre as características do aço:

a) Carbono: fornece ao aço características de resistência mecânica, sendo considerado o principal elemento de liga, porém, em concentrações muito altas, ele aumenta a temperabilidade e diminui a soldabilidade [32, 38].

b) Manganês: aumenta a resistência mecânica [27, 32].

c) Alumínio: atua como desoxidante e refinador de grãos; forma nitretos junto ao nitrogênio [32, 38].

d) Silício: desoxidante e estabilizador da ferrita. A concentração deste elemento está diretamente ligada à classificação do aço quanto a acalmado ou semi-acalmado [27, 32, 39].

e) Molibdênio: em associação ao nióbio facilita a precipitação de carbonetos, o que melhora a propriedade de refino de grãos e aumenta resistência mecânica devido à formação de ferrita acicular ou bainita [27, 32].

f) Cromo: aumenta resistência mecânica. Utilizado individualmente ou em conjunto com outros elementos. Favorece a formação de uma pequena porção de martensita-austenita [27, 32].

g) Níquel: aumenta a tenacidade e resistência mecânica; sendo mais eficaz com relação à tenacidade [27, 32].

h) Cobre: aumenta a tenacidade na ZAC em conjunto com o níquel. Sua concentração deve ser muito bem calculada, pois é um elemento que se concentra nos contornos de grãos da austenita e pode ocasionar nucleação de trincas [27, 32].

i) Nióbio: aumento da resistência mecânica e tenacidade devido ao refino de grão e precipitação de NbC no final da laminação. Em aços de baixo carbono

combinado com processo de laminação controlada, ajuda a formar ferrita poligonal, ferrita acicular ou bainita com elevada tenacidade [27, 32].

j) Vanádio: aumento da resistência mecânica através da precipitação de carbonetos e nitretos. Capacidade de precipitação é relativamente menor se comparado aos elementos nióbio e titânio [27, 32].

k) Titânio: aumento da resistência mecânica através da precipitação de nitretos e carbonetos. Sua concentração deve ser muito bem controlada, pois dependendo do tipo de nitreto ou carboneto formado, há uma grande susceptibilidade à nucleação de trincas [27, 32].

l) Fósforo: formação de linha de segregação e microestruturas bandeadas de ferrita-perlita e endurecimento das ilhas de martensita e austenita na ZAC após ciclo térmico da soldagem [27, 32].

m) Enxofre: combina-se com o Mn em MnS, o que reduz a tenacidade do aço. O composto MnS, devido sua morfologia, pode ocasionar fratura [27, 32].

n) Nitrogênio: redução da tenacidade na ZAC quando não associado ao Ti e precipitação preferencial com Nb, reduzindo sua eficácia no refino de grãos [27, 32].

2.10 API 5L GRAU X65.

O aço API 5L Grau X65 começou a ser fabricado em meados da década de 1970. O primeiro método de fabricação foi por lingotamento contínuo, seguido de laminação termomecânica controlada e resfriamento ao ar. Nos dias de hoje ele pode ser fornecido em diversas condições: Laminação controlada seguida de normalização, laminação termomecânica controlada, resfriamento acelerado após a laminação e tratamento de têmpera e revenimento após a laminação [20, 40]. O aço X65 pode ser microligado ao Nb, V e/ou Ti, individualmente ou em combinação, apresenta microestrutura refinada e elevada resistência mecânica [20, 24].

Segundo estudo efetuado por OGATA [20] a dureza do material aumenta em função do aumento da taxa de resfriamento, o que é decorrência da microestrutura ser gradualmente acicular, haver um aumento da fração volumétrica de agregados eutetóides e aumento da porcentagem do composto martensita-austenita.

2.10.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA.

De acordo com a tabela 4 da norma API Specification 5L [24], a composição química requerida para o aço API 5L Grau X65 PSL 1 com espessura menor que 25 mm é apresentada na tabela 2.11.

Tabela 2.11 - Critério de composição química para o aço API 5L Grau X65, [adapt., 24].

Concentração em massa dos elementos químicos (%) ^{1,2}				
C (máx.) ³	Mn (máx.) ³	P (máx.)	S (máx.)	V+Ti+Nb (máx.)
0,26	1,45	0,030	0,030	0,15

Nota 1: $Cr \leq 0,50\%$; $Ni \leq 0,50\%$; $Cr \leq 0,50\%$ e $Mo \leq 0,15\%$

Nota 2: $B \leq 0,001\%$

Nota 3: Para cada redução de 0,01% sobre o valor máximo especificado de C, um acréscimo de 0,05% sobre o valor máximo de Mn é permitido, até um máximo de 1,75%.

2.10.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS.

Como visto anteriormente, o aço ARBL com menor limite de resistência ao escoamento é fabricado para atingir 275 MPa. O tubo X65 é um material com resistência elevada, que atinge um mínimo especificado de resistência ao escoamento de 450 MPa.

De acordo com a tabela 6 da norma API Specification 5L [24], as propriedades mecânicas requeridas para o aço API 5L Grau X65 PSL 1 é representada na tabela 2.12. Nota-se, no cálculo do alongamento mínimo, que ele é função da área da seção transversal da peça de teste, já que as outras integrantes da fórmula são constantes para o mesmo tipo de aço. Quanto maior a área da seção transversal, maior é o requisito de alongamento mínimo.

Tabela 2.12 - Critério de propriedades mecânicas para o aço API 5L Grau X65 [adapt., 24].

Requisitos para os resultados do ensaio de tração		
Limite de escoamento MPa (ksi)	Limite de Resistência MPa (ksi)	Alongamento (em 50 mm) %
Mín. 450 (65,3)	Mín. 535 (77,6)	Nota 1

Nota 1: O valor mínimo especificado de alongamento (A_f) é calculado em função da seguinte equação:

$$A_f = C \frac{A_{xc}^{0,2}}{U^{0,9}}$$

Eq. (06)

Onde,

C = 1940 para cálculos usando unidades SI e 625.000 para cálculos usando unidades USC;

A_{xc} = área da seção transversal do corpo de prova submetida à tração, expressa em mm² (in²) como segue:

- para seções transversais circulares, 130 mm² (0,20 in²) para 12,7 mm (0,500 in) e 8,9 mm (0,350 in) de diâmetro da amostra de teste, e 65 mm² (0,10 in²) para 6,4 mm (0,250 in) de diâmetro da amostra de teste.

- para "full-section", a menor entre a) 485 mm² (0,75 in²) e b) a área da seção transversal calculada em função do diâmetro e espessura do tubo, com arredondamento de 10 mm² (0,01 in²)

- para seções retangulares, a menor entre a) 485 mm² (0,75 in²) e b) a área da seção transversal calculada em função da largura especificada e espessura do tubo, com arredondamento de 10 mm² (0,01 in²);

U = limite de resistência especificado em MPA (psi).

2.11 NORMATIZAÇÃO E PROCEDIMENTOS.

2.11.1 API 1104.

A norma API 1104 é utilizada por diversas normas de fabricação para a soldagem de dutos e qualificação de procedimentos de soldagem e de soldadores. O anexo B apresenta as práticas recomendadas de soldagem para reparos em operação. Esta norma define que duto em operação é aquele que contém petróleo, derivados de petróleo ou produtos inflamáveis que podem ou não estar pressurizados; e soldagem em operação é aquela que apresenta fusão direta na parede do duto em operação.

A qualificação de procedimento de soldagem em operação relaciona duas variáveis essenciais: carbono equivalente e sequência de soldagem. A figura 2.22 apresenta o esquema das juntas de teste para qualificação de procedimento de soldagem em todas as posições. Esse processo consiste em simular a soldagem em carga com fluxo de água no interior do duto. A água é considerada o produto com maior capacidade de extração de calor e, por este motivo, o teste é chamado de alta severidade; caso os ensaios sejam satisfatórios com água, o procedimento atende a qualquer produto. A recomendação é que as soldas longitudinais sejam feitas antes das circunferenciais e, uma circunferencial seja feita antes da outra [41].

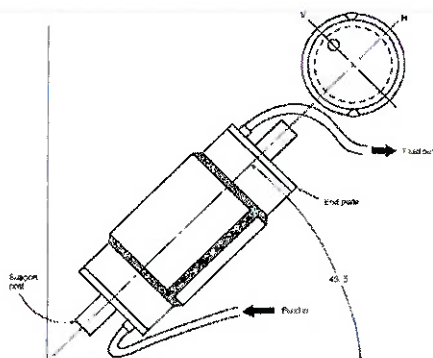


Figura 2.22 – Esquema de soldagem para qualificação de procedimento [41].

A qualificação de procedimento de soldagem consiste na execução dos seguintes ensaios: fratura ("nick-break"), dobramento, macrografia e dureza. A figura 2.23 ilustra a retirada de corpos de prova conforme API 1104 [41].

Caso os ensaios sejam aprovados conforme critério de aceitação da norma, faz-se a EPS (Especificação de Procedimento de Soldagem) e os demais documentos pertinentes a serem utilizados nos serviços específicos [41].

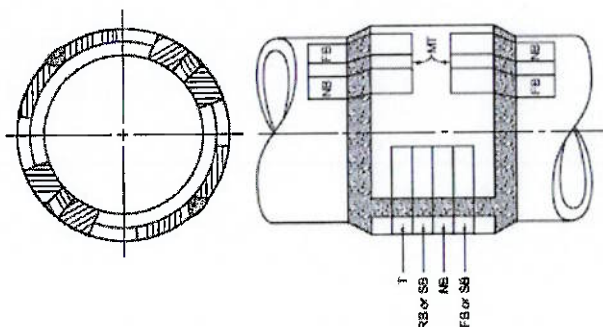


Figura 2.23 – Retirada de corpos de prova conforme API 1104 [41].

2.11.2 PETROBRÁS N-2163.

"Esta norma fixa as condições para a realização de trabalhos envolvendo a instalação de conexões e reparos estruturais, execução de soldagem e trepanação em equipamentos, tubulações industriais e dutos (terrestres ou submarinos), que estejam em operação (pressurizados com ou sem fluxo, com produto ou seus resíduos) [15]."

A norma Petrobrás N-2163 é referência nacional para trabalhos com dutos em operação, abrange somente os processos de soldagem a arco elétrico e relaciona particularidades desde o projeto até a execução, passando por inspeção e operação [15]. A tabela 2.13 mostra a influência da espessura do duto e as ações a serem tomadas para a soldagem com segurança [15].

Tabela 2.13 – Relação entre espessura do duto e requisitos normativos [adapt, 15].

Espessura mínima (t)	Fluxo	Requisito Complementar
$t \geq 12,7 \text{ mm}$	Sim ou não	Não há risco de perfuração
$6,35 < t < 12,7 \text{ mm}$	Sim	Não há risco de perfuração
$6,35 < t < 12,7 \text{ mm}$	Não	Avaliar risco de perfuração
$5 < t < 6,35 \text{ mm}$	Sim ou não	Avaliar risco de perfuração e condições operacionais
$3,2 < t < 5 \text{ mm}$	Sim ou não	Avaliar risco de perfuração, emprego de amanteigamento e passe de revenimento com eletrodo de diâmetro máximo de 2,5 mm objetivando o menor aporte de calor possível e avaliação das condições operacionais.
Nota 1: O risco de perfuração deve ser avaliado antes da soldagem, podendo ser utilizado para tanto um modelo de análise térmica. Nota 2: No caso de aplicação de soldagem diretamente sobre o corpo da tubulação e para espessuras inferiores a 12,7 mm deve ser verificado o risco de perfuração. Nota 3: A temperatura interna da parede não deve ultrapassar 980°C.		

A espessura do duto é de suma importância e deve ser avaliada criteriosamente para que a soldagem seja executada com segurança, sem colocar em perigo as pessoas envolvidas no serviço e o meio ambiente.

3. OBJETIVOS.

O objetivo deste trabalho é analisar os efeitos causados pela variação da energia de soldagem aplicada a reparo de dutos API 5L Grau X65 em operação pelo método dupla-calha quanto às propriedades mecânicas e metalúrgicas das regiões da junta soldada a fim de evitar os dois principais fatores problemáticos que podem ocorrer neste processo: trinca a frio induzida pelo hidrogênio e perfuração da parede do duto.

4. MATERIAIS E MÉTODOS.

4.1 METAL DE BASE.

O material de base utilizado no experimento é um aço ARBL, fabricado pela Confab cujos dados estão relacionados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Dados apresentados no certificado do tubo.

Número do certificado:	0097/02
Especificação do material:	API 5L-2000 – Grau X65 PSL1
Dimensões nominais:	Ø 18" x 0,460" (Ø 457,0 x 11,7 mm)
Condição de fornecimento:	Soldagem ERW (electric resistance welding) de costura*
	Normalizado após soldagem
Corrida:	474835
Identificação do tubo:	447502

*ERW: soldagem de tubos com costura por resistência elétrica, onde as faces a serem unidas são mecanicamente pressionadas uma contra a outra e o calor de soldagem é gerado pela resistência elétrica aplicada por indução ou condução. Para aços de grau igual ou superior ao X42, a junta soldada deve ser tratada termicamente de modo a simular um tratamento térmico de normalização.

Os dados do certificado foram complementados com ensaios realizados em laboratório conforme normas API e ASTM (American Society for Testing and Materials).

4.2 CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM.

Nesse experimento foi utilizado eletrodo revestido de diâmetro 3,2 mm. Os dados apresentados no certificado estão relacionados na tabela 4.2.

A classificação do eletrodo utilizado é E7018 H4, suas principais características para o estudo são revestimento básico e controle de hidrogênio difusível em no máximo 4 ml/100g de metal depositado. O eletrodo foi fornecido em embalagem à vácuo para aumentar a proteção contra absorção de umidade do ar.

O certificado apresenta o resultado dos ensaios exigidos pela norma de fabricação; todos aprovados conforme critério de aceitação ASME SFA5.1 [8]. Realizou-se um ensaio de composição química complementar em laboratório conforme preceitos da norma ASME SFA5.1 [8] a fim de conhecer as características reais do metal depositado, sem influência da diluição.

Tabela 4.2 - Dados apresentados no certificado do eletrodo.

Diâmetro do eletrodo:	3,2 mm
Número do certificado:	00448511
Especificação:	SFA5.1
Classificação:	E7018/7018-1 H4
Marca comercial:	FOX EV 50
Corrida:	1208047
Validade:	09 / 2014
Comprimento:	350 mm

4.3 EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.

Os instrumentos utilizados para acompanhamento de soldagem estão relacionados na tabela 4.3 e foram disponibilizados pelo Creduto.

Tabela 4.3 – Instrumentos utilizados no acompanhamento de soldagem.

Instrumento	Certificado de Calibração	Validade de Calibração	Órgão Emitente do Certificado	Identificação Creduto
Termo-higrômetro	10.760	12/2014	Waterc	TH-03
Termômetro laser	10.758	12/2014	Waterc	TER-14
Alicate-amperímetro	10.686	12/2014	Waterc	AL-03
Paquímetro analógico	10.606	11/2014	Waterc	PQ-09

Os equipamentos e instrumentos utilizados para ensaio dos corpos de prova estão listados na tabela 4.4. Todos os itens são de propriedade do laboratório Team Lab.

Nota-se que tanto os itens utilizados durante a soldagem quanto aqueles utilizados em laboratório estão devidamente calibrados e aprovados para utilização.

Tabela 4.4 – Equipamentos e instrumentos laboratoriais.

Instrumento / Equipamento	Certificado de Calibração	Validade de Calibração	Órgão Emitente do Certificado	Identificação Team Lab
Espectrômetro	46/13	10/2014	GNR Brasil	TL-088
Paquímetro digital	03013-14-DI/SP	01/2015	Calibratec	TL-007
Máquina de tração	DNTT 918c/14	09/2015	Dinateste	TL-017
Extensômetro	DNTT 416c/14	04/2015	Dinateste	TL-0117
Durômetro	137.339-101	04/2015	IPT	TL-022
Régua graduada	D14472/12	08/2016	Feinmess	TL-062

4.3.1 DISPOSITIVO DE CIRCULAÇÃO DE ÁGUA.

A soldagem foi realizada baseando-se nos preceitos e práticas recomendadas da norma API 1104 [41]. Conforme já visto, para qualificação de procedimento de soldagem pela norma API 1104 Anexo B [41], é necessária a instalação de um sistema que simule a soldagem em operação. A figura 4.1 ilustra o esquema utilizado nesse experimento.

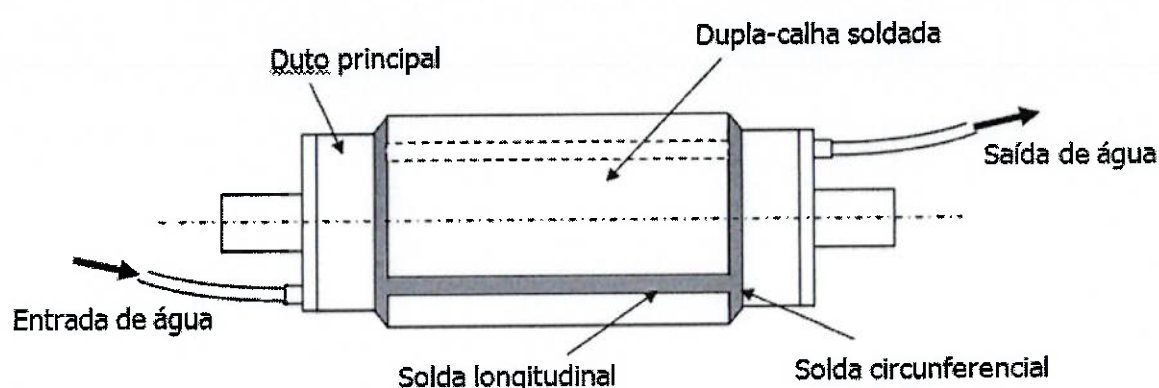


Figura 4.1 – Esquema da soldagem.

O material de base da calha é o mesmo do duto e suas especificações estão contidas neste capítulo. O comprimento do duto e da calha utilizados são respectivamente 800 e 300 mm, dimensões suficientes para simulação e retirada dos corpos de prova. O "gap" (distância entre a calha e o duto resultante do acoplamento) é de 0,5 mm ao longo da circunferência, na junta.

A sequência de soldagem foi: soldas longitudinais simultaneamente e, uma de cada vez, as soldas circunferenciais; todas as etapas com fluxo interno de água a temperatura ambiente. Nas juntas circunferenciais, realizou-se primeiro as soldagens na posição vertical a fim de restringir e tensionar a calha sobre o duto, e posteriormente, realizou-se as soldagens na posição plana. A posição do tubo foi com seu eixo horizontal paralelo ao solo; conforme nomenclatura API 1104 [41], tubo fixo na horizontal. Essa posição foi escolhida para que houvesse quatro regiões das soldas circunferenciais com soldagem o

mais similar possível, já que na posição fixo a 45° a variação pode ser considerada ligeiramente maior quanto à influência do soldador na deposição.

Nesse estudo, a fim de manter somente a energia de soldagem como variável, os corpos de prova analisados foram retirados das regiões da solda em operação (circunferenciais) em que a soldagem foi realizada na posição plana. As regiões que seriam na posição sobre-cabeça foram realizadas na plana, isso porque o equipamento foi girado 180°.

4.4 EXECUÇÃO DA SOLDAGEM.

4.4.1 PARÂMETROS DE SOLDAGEM FIXOS.

A tabela 4.5 apresenta todos os parâmetros e técnicas utilizados na soldagem em operação que não foram modificados durante todas as etapas.

Tabela 4.5 – Parâmetros fixos de soldagem.

Processo de soldagem:	Eletrodo revestido
Diâmetro do eletrodo:	3,2 mm
Retirada térmica (250 a 100°C):	Máx. 8 segundos
Temperatura da água:	Ambiente (20 – 25°C)
Vazão do fluido:	32 m ³ /h
"Gap" de montagem:	Máx. 0,5 mm
Posição de soldagem:	Tubo fixo na horizontal Análise: Regiões soldadas na plana
Temperatura de pré-aquecimento:	Ambiente (20 – 25°C)
Temperatura interpasse:	Máximo 150°C
Soldador:	Jackson Viegas da Silva
Condições ambientais:	Temperatura: 24°C / Umidade: 62%

4.4.2 PARÂMETROS DE SOLDAGEM VARIÁVEIS.

O objetivo deste estudo é avaliar as propriedades da junta soldada em função da utilização de baixa, média e alta energia de soldagem. A quantidade de calor imposta à soldagem é de suma importância e influencia diretamente nos aspectos e características do material.

A variação da energia de soldagem foi em função da velocidade de avanço. A tabela 4.6 mostra os parâmetros utilizados e a correspondência em energia de soldagem para cada velocidade utilizada. O valor de velocidade foi determinado em função do limite operacional do eletrodo no processo, de modo que não haja nenhuma descontinuidade ou defeito nas soldas.

Tabela 4.6 – Parâmetros variáveis de soldagem.

Identificação	Plana 1	Plana 2	Plana 3
Corrente (A)	135	135	135
Tensão (V)	26	26	26
Velocidade (mm/min)	100	150	250
Eficiência térmica do processo ER	75%	75%	75%
Energia de soldagem (kJ/mm)	1,58	1,05	0,63

4.5 ENSAIOS DAS JUNTAS SOLDADAS.

4.5.1 METODOLOGIA.

Os corpos de prova foram retirados da região do tubo onde a soldagem foi realizada na posição plana. A figura 4.2 mostra as regiões de interesse chamadas de plana 1, 2 e 3; e sua correspondência em valor de energia de soldagem encontra-se na tabela 4.6. Os ensaios realizados em cada solda plana

são relacionados na tabela 4.7. A quantidade de ensaios não corresponde ao exigido pela norma API 1104 [41] para qualificação de procedimento de soldagem, pois foram determinados em função da análise desse estudo em particular.

Tabela 4.7 – Tipo e quantidade de ensaios realizados e sua relação com o estudo da energia de soldagem.

Ensaio	Quantidade de corpos de prova em cada solda plana	Objetivo do ensaio
Visual (EVS)	-	Verificar, após no mínimo 12 horas do término da soldagem (conforme N-2163 [15]), a existência de trincas superficiais e descontinuidades ou defeitos de soldagem.
Líquido Penetrante (LP)	-	Verificar, após no mínimo 12 horas do término da soldagem (conforme N-2163 [15]), a existência de trincas superficiais.
“Nick-break” (NB)	2	Ensaio de sanidade da solda, verificar se há descontinuidades ou defeitos.
Dobramento (D)	2	
Macrografia (M)	3	Analisar distribuição dos passes, dimensionar penetração e pernas de solda, verificar se há descontinuidades ou defeitos. Avaliar relação com a variação da energia de soldagem.
Dureza (DZ)	1 perfil	Verificar dureza da solda e da ZAC e avaliar relação com a variação da energia de soldagem.
Micrografia – Microestrutura (MI)	3 em cada região (Solda e ZAC)	Verificar microestrutura da solda e da ZAC e avaliar relação com a variação da energia de soldagem.
Micrografia - Tamanho de Grão (TG)	3 (ZAC)	Verificar tamanho de grão da ZAC e avaliar relação com a variação da energia de soldagem.

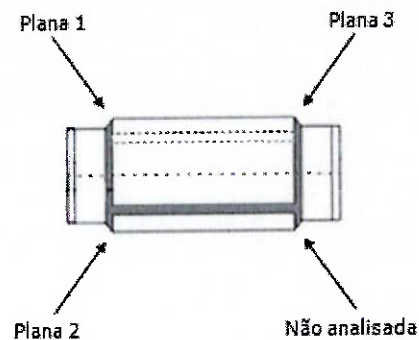


Figura 4.2 – Regiões de interesse para estudo da energia de soldagem.

4.5.2 VISUAL E LÍQUIDO PENETRANTE.

O ensaio visual e o ensaio por líquido penetrante foram realizados após 12 horas do término da soldagem a fim de verificar a existência de trinca em toda extensão das soldas realizadas. O líquido penetrante utilizado foi do tipo IIA (colorido removível a água), apropriado à situação. Os ensaios foram realizados por profissional qualificado no sistema nacional e identificação SNQC 15967 / IS11163N1.

4.5.3 "NICK-BREAK".

Os ensaios de "nick-break" foram realizados conforme norma API 1104 [41]. A figura 4.3 mostra o corpo de prova usinado para realização do ensaio em laboratório.

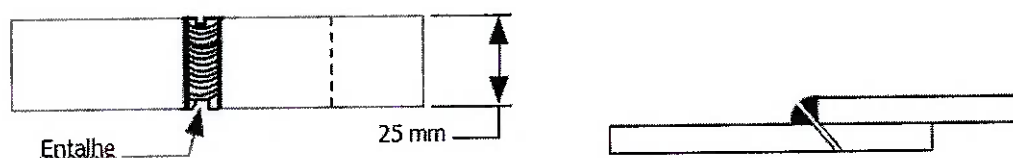


Figura 4.3 – Preparação de corpo de prova para ensaio de "nick-break".

O critério de aceitação conforme API 1104 [41] especifica que a superfície exposta de cada solda em ângulo deve apresentar fusão e penetração completas, a maior dimensão de qualquer bolha de gás não deve exceder 1,6 mm e a soma das áreas das bolhas de gás existentes seja no máximo 2% da área exposta do corpo de prova, inclusões de escória devem ter no máximo 0,8 mm de profundidade e 3 mm de comprimento e a distância entre elas deve ser no mínimo 13 mm. Qualquer situação em que o resultado não atenda ao especificado, o corpo de prova é considerado reprovado.

4.5.4 DOBRAMENTO.

Os ensaios de dobramento foram conduzidos conforme norma API 1104 Anexo B [41]. O tipo de dobramento especificado é o de face e, a figura 4.4 mostra o dimensional do corpo de prova utilizado para ensaio em laboratório.

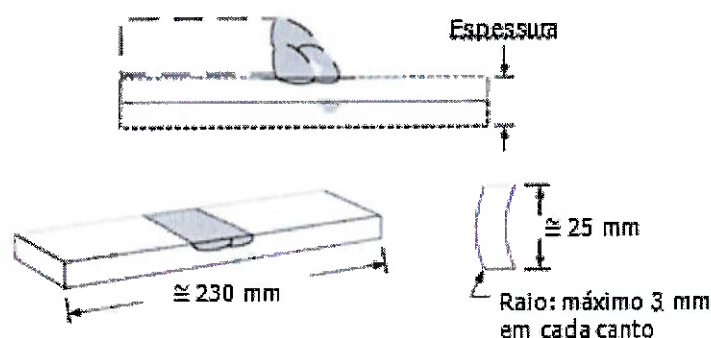


Figura 4.4 – Preparação de corpo de prova para ensaio de dobramento de face.

O critério de aceitação conforme API 1104 Anexo B [41] especifica que a face tracionada no dobramento deve ser considerada aprovada se não houver nenhuma trinca com comprimento superior a 3 mm em qualquer direção presente na solda ou na ZAC. Trincas abertas nas extremidades do corpo de prova, que não se originaram a partir de imperfeições e com comprimento menor que 6 mm, não devem ser consideradas na avaliação.

4.5.5 MACROGRAFIA.

Os ensaios de macrografia foram realizados de acordo com a norma API 1104 Anexo B [41]. A figura 4.5 mostra o dimensional especificado para o corpo de prova utilizado para ensaio em laboratório.

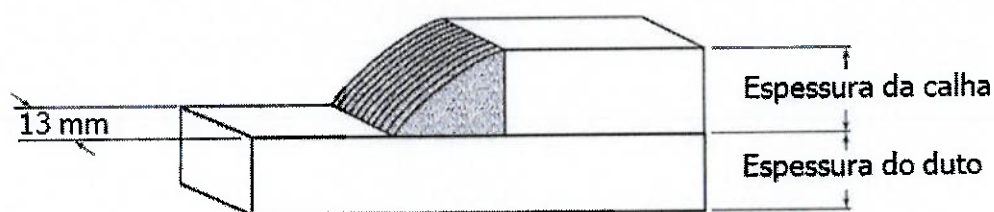


Figura 4.5 – Preparação de corpo de prova para ensaio de macrografia.

De acordo com o critério de aceitação da norma API 1104 Anexo B [41], após ataque químico da face preparada para ensaio, o exame visual deve evidenciar fusão completa na raiz e isenção de trincas. As pernas de solda devem ser no mínimo a espessura especificada no procedimento qualificado e a concavidade/convexidade não deve exceder 1,6 mm. A profundidade da mordedura não deve exceder 0,8 mm. A figura 4.6 mostra o método de medição das soldas em ângulo.

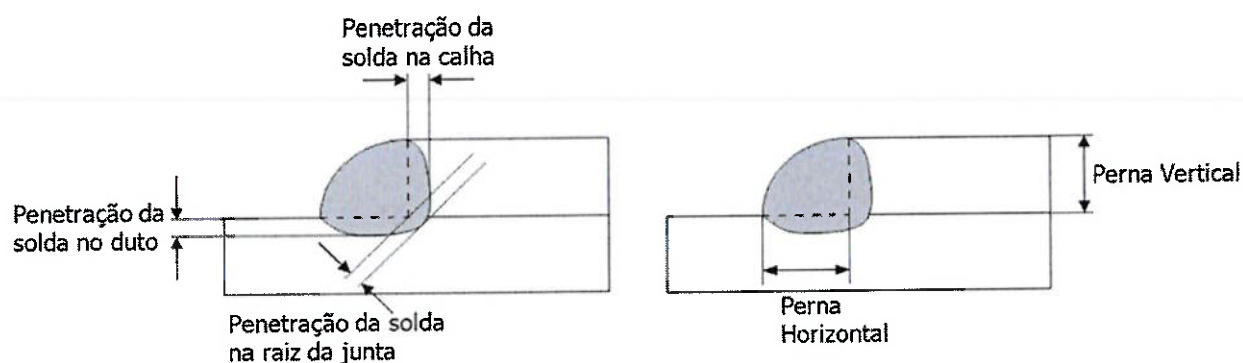


Figura 4.6 – Dimensional da solda para os ensaios de macrografia.

4.5.6 DUREZA.

Os perfis de dureza foram determinados em função desse estudo em específico. O ensaio decorreu conforme norma API 1104 Anexo B [41], na qual descreve que o ensaio deve ser realizado pelo método Vickers com 10 kgf de carga (HV10). Segundo esta norma, se a dureza medida na região da ZAC de granulação mais grosseira for maior que 350 HV, deve haver um estudo de viabilização do procedimento em função da probabilidade de ocorrência de trinca a frio induzida pelo hidrogênio. A figura 4.7 mostra o perfil de dureza utilizado para avaliação dos resultados e a sequência de passes durante a soldagem identificados com as letras A a F, ordenadamente.

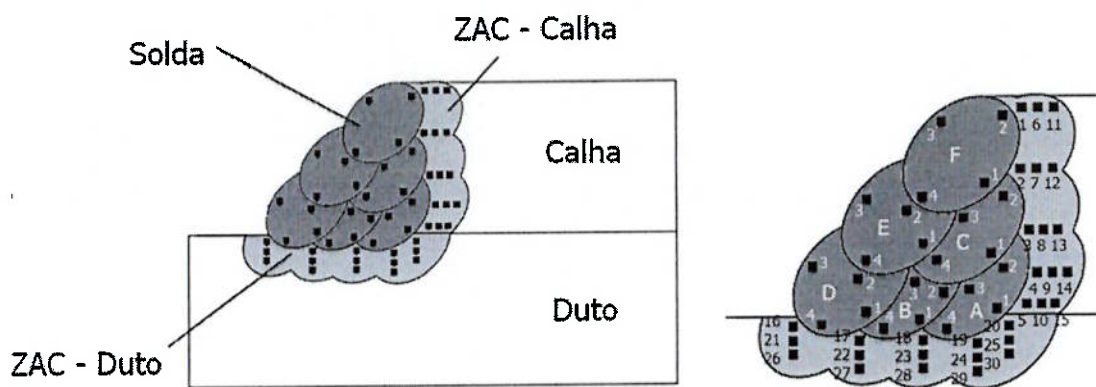


Figura 4.7 – Perfil de varredura da junta soldada por dureza.

Observações:

- 1 – A primeira impressão na ZAC deve ser realizada o mais próximo possível à linha de fusão e as demais espaçadas 0,5 mm entre si e 1,5 mm com relação à superfície do material de base;
- 2 – A distribuição das impressões na solda deve ser efetuada conforme croqui, em cada passe efetuado;
- 3 – As linhas de impressões na ZAC devem estar organizadas de maneira equidistante ao longo da região.

4.5.7 MICROGRAFIA.

O ensaio de micrografia para avaliação da microestrutura do material foi conduzido conforme norma ASTM E 7 – 03 [42] e, para tamanho de grão, utilizou-se a norma ASTM E 112 – 13 [43]. A preparação dos corpos de prova foi realizada conforme norma ASTM E 3 – 11 [44].

Não há um critério de aceitação normatizado para a característica microestrutural do material após soldagem.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

5.1 METAL DE BASE.

5.1.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA.

A composição química do metal de base é apresentada no certificado emitido pelo fabricante por amostragem do lote de tubos fornecido; por este motivo foi realizado ensaio de análise química em laboratório de ensaios credenciado pelo Inmetro a fim de ter maior conhecimento das condições reais do material.

Tabela 5.1 – Composição Química do metal de base.

Elementos Químicos (% de massa)	Certificado do fabricante (TB 447404)	Ensaio realizado em laboratório*	Critério de aceitação conforme API 5L
C	0,10	0,09	Máx. 0,26
Si	0,24	0,17	Não Requerido
Mn	1,45	1,40	Máx. 1,45
P	0,019	0,015	Máx. 0,030
S	0,003	0,003	Máx. 0,030
Cr	0,016	0,02	Máx. 0,50
Mo	0,006	0,00	Máx. 0,15
Ni	0,017	0,02	Máx. 0,50
Cu	0,009	0,01	Máx. 0,50
Al	0,031	0,02	Não Requerido
Nb	0,049	0,04	Não Requerido
Ti	0,023	0,02	Não Requerido
V	0,057	0,05	Não Requerido
B	Não Analisado	0,000	Máx. 0,001
CE _{Pcm}	0,19	0,18	Não Requerido
CE _{IW}	0,36	0,34	Não Requerido
Nb + V + Ti	0,129	0,11	Máx. 0,15

A tabela 5.1 apresenta, comparativamente, os dados apresentados no certificado, os dados encontrados no ensaio e o critério de aceitação da norma API 5L [24]. Os resultados obtidos em laboratório estão registrados no Relatório de Ensaio 4956/14 da Team Lab. O método de ensaio empregado foi conforme ASTM E 415-08 (Espectrometria) [45].

5.1.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS.

Com relação às propriedades mecânicas o método de apresentação dos dados no certificado é o mesmo da composição química; neste caso também foi necessário realizar ensaio de tração em laboratório para conhecimento das características reais do material utilizado no experimento. A tabela 5.2 apresenta, comparativamente, as propriedades mecânicas do material contidas no certificado, encontradas no ensaio e critério de aceitação da norma API 5L [24]. Os resultados obtidos em laboratório estão registrados no Relatório de Ensaio 4956/14 da Team Lab. O método de ensaio empregado foi conforme ASTM A 370-12a (tração) [47] e ASTM E 92-82 (dureza) [46].

Tabela 5.2 – Propriedades Mecânicas do metal de base.

Propriedade Mecânica	Certificado do fabricante (TB 447404)	Ensaio realizado em laboratório	Critério de aceitação conforme API 5L
Limite de Resistência (MPa)	693	704	Mín. 535
Limite de Escoamento (MPa)	561	586	Mín. 450
Alongamento (%)	30,5	28,5	Mín. 23
Dureza Vickers (HV)*	Não Analisado	230	Não Requerido

* O ensaio de dureza foi realizado a 1,5 mm da superfície do metal de base, na espessura.

A partir do apresentado na tabela 5.2 é possível perceber a alta resistência à tração e ao escoamento do material e simultaneamente alta porcentagem de alongamento. As propriedades mecânicas são muito superiores ao mínimo especificado pela norma e, analisando-se em conjunto com a tabela 5.1, conclui-se que isso é função dos refinadores de grão já que o teor de carbono é baixo, muito inferior ao máximo permitido por norma.

5.1.3 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL.

Foi realizado em laboratório o ensaio de micrografia para determinação da microestrutura do material e o tamanho de grão. Essas características são necessárias para comparação com o aspecto microestrutural dos três tipos de junta soldada estudados.

Conforme relatório da Team Lab nº 4956/14, a microestrutura do metal de base consiste em perlita e ferrita com característica de tratamento térmico de normalização, o que comprova a informação do certificado do tubo quanto à condição de fornecimento. O tamanho de grão evidenciado foi o nº 10 da ASTM. O método de ensaio utilizado para caracterização microestrutural foi conforme a norma ASTM E 7 – 03 [42]; e para tamanho de grão a norma ASTM E 112 – 13 [43]. A preparação de ambos os corpos de prova foi realizada conforme norma ASTM E 3 – 11 [44].

As figuras 5.1 e 5.2 mostram as imagens fornecidas pelo laboratório utilizadas para análise. Em função da pequena quantidade de carbono é possível perceber a grande predominância de ferrita na microestrutura. A presença de elementos refinadores de grão evidenciada no ensaio de composição química e a influência da rota de fabricação (TMCR), explicam o tamanho de grão determinado no ensaio.



Figura 5.1 – Ensaio de micrografia – microestrutura – Aumento 500 vezes – Avaliação: perlita e ferrita com característica de tratamento térmico de normalização.

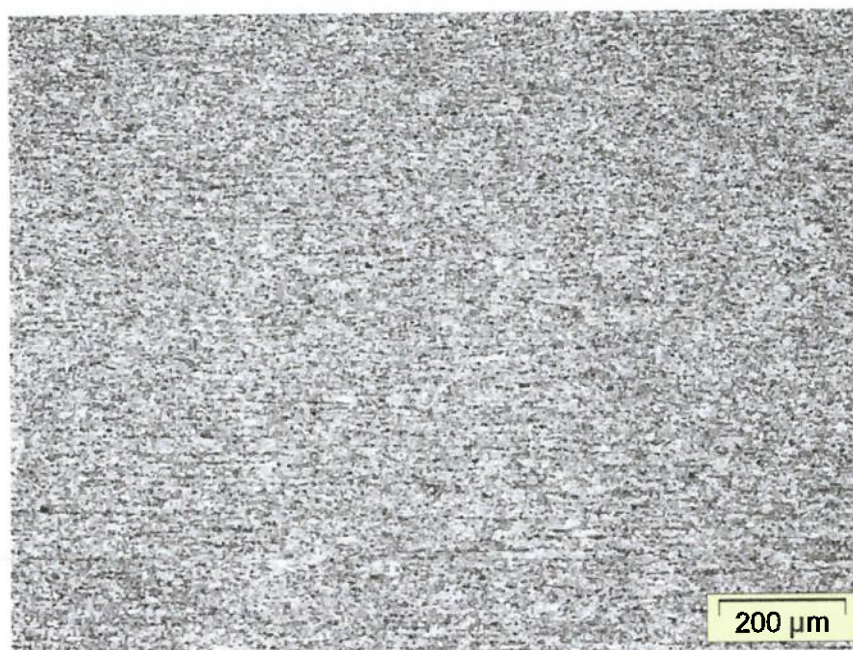


Figura 5.2 – Ensaio de micrografia – tamanho de grão - Aumento 100 vezes – Avaliação: tamanho de grão nº 10 da ASTM.

5.2 CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM.

5.2.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA.

O corpo de prova para ensaio em laboratório foi preparado conforme ASME SFA5.1 [8] como mostra a figura 5.3. A tabela 5.3 compara o resultado do ensaio, valores apresentados no certificado e critério de aceitação aplicável. Os resultados obtidos em laboratório estão registrados no Relatório de Ensaio 5073/14 da Team Lab. O método de ensaio empregado foi conforme ASTM E 415-08 (Espectrometria) [45].

Tabela 5.3 – Composição Química do metal depositado.

Elementos Químicos (% de massa)	Certificado do fornecedor	Ensaio realizado em laboratório	Critério de aceitação conforme API 5L
	Ø 3,2 mm	Ø 3,2 mm	
C	0,066	0,03	Máx. 0,15
Si	0,450	0,35	Máx. 0,75
Mn	1,080	1,14	Máx. 1,60
P	0,019	0,017	Máx. 0,035
S	0,011	0,007	Máx. 0,035
Cr	0,033	0,03	Máx. 0,20
Mo	0,013	0,00	Máx. 0,30
Ni	0,026	0,02	Máx. 0,30
Cu	NA*	0,06	Não Requerido
Al	NA*	0,00	Não Requerido
Nb	NA*	0,01	Não Requerido
Ti	NA*	0,02	Não Requerido
V	0,010	0,01	Máx. 0,08
B	NA*	0,000	Não Requerido
CE _{Pcm}	NA*	0,12	Não Requerido
CE _{ITW}	NA*	0,23	Não Requerido
Mn + Ni + Cr + Mo + V	1,16	1,20	Máx. 1,75

*NA = não analisado.



Figura 5.3 – Preparação do corpo de prova para ensaio de análise química do metal depositado.

5.3 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS.

5.3.1 VISUAL.

O ensaio visual foi realizado após 12 horas do término da soldagem. Não foram evidenciados descontinuidades nem defeitos em nenhuma das juntas estudadas, conforme tabela 5.4.

A utilização de um procedimento de soldagem qualificado como referência durante a soldagem associado ao uso de eletrodos embalados à vácuo influenciaram na obtenção de uma solda aparente e superficialmente sã.

Tabela 5.4 – Resultados: Ensaio Visual.

Junta	Energia de soldagem (kJ/mm)	Identificação e dimensão das descontinuidades e/ou defeitos detectados
Plana 1	1,58	Isento de descontinuidades/defeitos
Plana 2	1,05	Isento de descontinuidades/defeitos
Plana 3	0,63	Isento de descontinuidades/defeitos

O ensaio foi realizado de acordo com o procedimento PR.SACS.2105-018/PR.SACS-END-001 disponibilizado pelo Creduto.

5.3.2 LÍQUIDO PENETRANTE.

Conforme requisitado na norma N-2163 e, a fim de complementar o laudo do ensaio visual, realizou-se o ensaio de líquido penetrante também após 12 horas do término da soldagem. Não foram evidenciadas indicações relevantes em nenhuma das juntas estudadas, conforme tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Resultados: Ensaio por Líquido Penetrante.

Junta	Energia de soldagem (kJ/mm)	Identificação e dimensão das discontinuidades e/ou defeitos detectados
Plana 1	1,58	Isento de discontinuidades/defeitos
Plana 2	1,05	Isento de discontinuidades/defeitos
Plana 3	0,63	Isento de discontinuidades/defeitos

O ensaio foi realizado de acordo com o procedimento PR.SACS.2105-018/PR.SACS-END-003 disponibilizado pelo Creduto.

5.4 ENSAIOS MECÂNICOS QUALITATIVOS.

5.4.1 "NICK-BREAK".

Os resultados do ensaio estão apresentados na tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Resultados: Ensaio de Nick-Break.

Junta	Energia de soldagem (kJ/mm)	Teste	Identificação e dimensão das discontinuidades e/ou defeitos detectados
Plana 1	1,58	NB-1	Isento de discontinuidades/defeitos
		NB-2	Isento de discontinuidades/defeitos
Plana 2	1,05	NB-1	Isento de discontinuidades/defeitos
		NB-2	Isento de discontinuidades/defeitos
Plana 3	0,63	NB-1	Isento de discontinuidades/defeitos
		NB-2	Isento de discontinuidades/defeitos

A figura 5.4 mostra um corpo de prova de cada junta estudada, após ensaio.

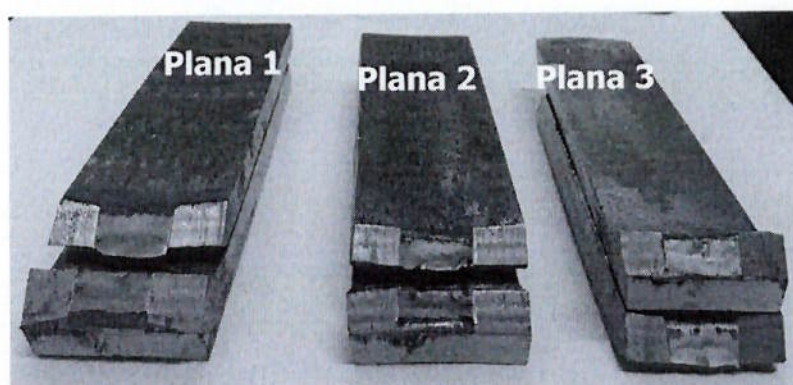


Figura 5.4 – Corpos de prova de nick-break após ensaio.

A variação da energia de soldagem não influenciou na qualidade da solda. Nenhum defeito macroscópico foi evidenciado na superfície fraturada. Os três valores de energia de soldagem utilizados não influenciaram quanto à incidência de poros, inclusões, falta de penetração e/ou falta de fusão.

5.4.2 DOBRAMENTO GUIADO DE FACE.

Os resultados do ensaio estão apresentados na tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Resultados: Ensaio de Dobramento*.

Junta	Energia de soldagem (kJ/mm)	Teste	Identificação e dimensão das discontinuidades e/ou defeitos detectados
Plana 1	1,58	DF-1	Isento de discontinuidades/defeitos
		DF-2	Isento de discontinuidades/defeitos
Plana 2	1,05	DF-1	Isento de discontinuidades/defeitos
		DF-2	Isento de discontinuidades/defeitos
Plana 3	0,63	DF-1	Isento de discontinuidades/defeitos
		DF-2	Isento de discontinuidades/defeitos

*Observação: Diâmetro do cutelo: 90 mm / distância entre os roletes: 120 mm

A figura 5.5 mostra um corpo de prova de cada junta estudada, após ensaio.

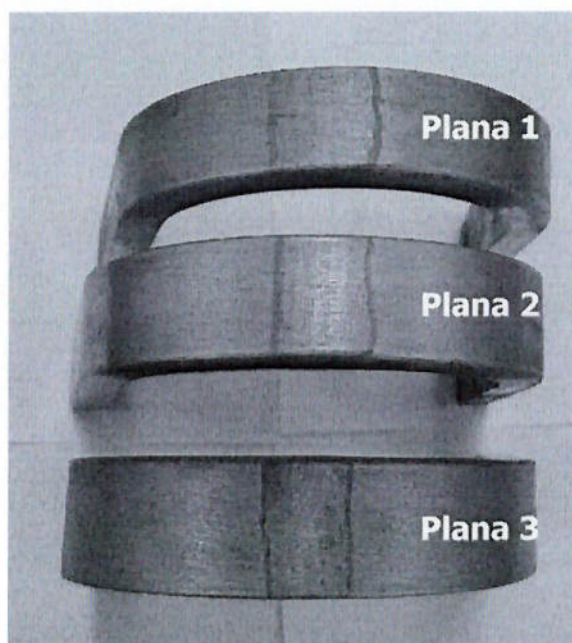


Figura 5.5 – Corpos de prova de dobramento após ensaio.

Assim como no ensaio de Nick-break, o ensaio de dobramento apresentou resultado satisfatório em relação ao critério de aceitação da norma API 1104 Anexo B. A variação da energia de soldagem nos três valores estudados não provocou nenhuma descontinuidade ou defeito que pudesse ser detectado no ensaio de dobramento. As superfícies tracionadas não apresentaram indícios de trincas ou aberturas.

5.5 ENSAIO MECÂNICO QUANTITATIVO.

5.5.1 PERFIL DE DUREZA VICKERS.

A figura 5.6 apresenta a disposição das impressões de dureza nos passes da soldagem efetuada e respectivas ZACs.

As tabelas 5.8, 5.9 e 5.10 apresentam os valores de dureza encontrados nas três juntas estudadas.

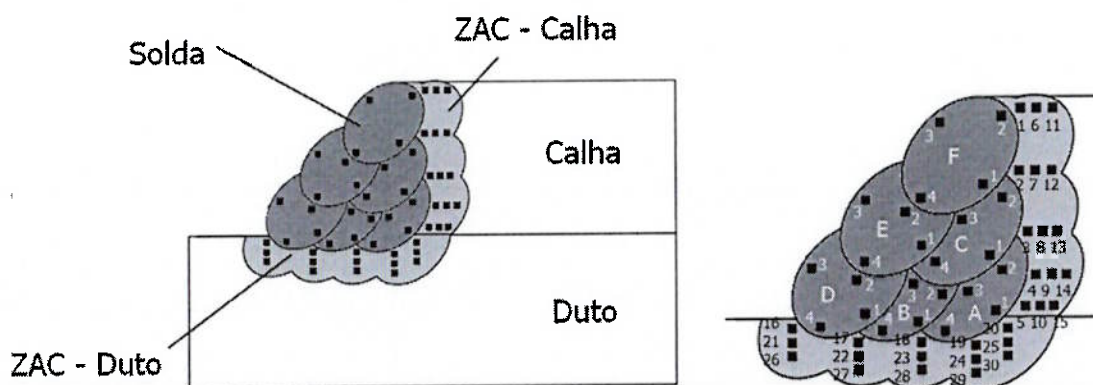


Figura 5.6 – Perfil de varredura da junta soldada por dureza.

Observações:

- 1 – A primeira impressão na ZAC foi realizada o mais próximo possível da linha de fusão, e as demais espaçadas 0,5 mm entre si e 1,5 mm com relação à superfície do material de base;
- 2 – A distribuição das impressões na solda foi realizada conforme a figura;
- 3 – As linhas de impressões na ZAC foram organizadas de maneira equidistante ao longo da região.

Tabela 5.8 – Resultados: Ensaio de Dureza – Amostra “Plana 1” (1,58 kJ/mm).

Região	Valor e identificação da impressão de dureza – HV 10				
	1	2	3	4	Média
Solda Passe A	228	199	206	213	212
Solda Passe B	193	206	206	213	205
Solda Passe C	199	193	187	199	195
Solda Passe D	221	199	206	254	220
Solda Passe E	206	199	221	228	214
Solda Passe F	221	221	228	213	221

Continuação - Tabela 5.8 – Resultados: Ensaio de Dureza – Amostra “Plana 1” (1,58 kJ/mm).

Região	Valor e identificação da impressão de dureza – HV 10					
ZAC Calha	1	2	3	4	5	Média
	285	274	236	236	236	253
	6	7	8	9	10	Média
	245	264	236	221	228	239
	11	12	13	14	15	Média
	221	228	206	236	228	224
ZAC Duto	16	17	18	19	20	Média
	274	245	236	228	264	249
	21	22	23	24	25	Média
	245	228	228	228	228	231
	26	27	28	29	30	Média
	245	228	206	228	213	224

Tabela 5.9 – Resultados: Ensaio de Dureza – Amostra “Plana 2” (1,05 kJ/mm).

Região	Valor e identificação da impressão de dureza – HV 10				
	1	2	3	4	Média
Solda Passe A	245	221	206	206	220
Solda Passe B	206	206	206	206	206
Solda Passe C	206	206	193	199	201
Solda Passe D	213	193	228	206	210
Solda Passe E	199	221	199	199	204
Solda Passe F	221	213	221	221	219

Continuação - Tabela 5.9 – Resultados: Ensaio de Dureza – Amostra “Plana 2” (1,05 kJ/mm).

Região	Valor e identificação da impressão de dureza – HV 10					
ZAC Calha	1	2	3	4	5	Média
	245	264	199	221	236	233
	6	7	8	9	10	Média
	236	254	245	228	236	240
	11	12	13	14	15	Média
	236	236	228	206	213	224
ZAC Duto	16	17	18	19	20	Média
	285	264	213	228	236	245
	21	22	23	24	25	Média
	264	264	199	236	236	240
	26	27	28	29	30	Média
	264	236	213	236	221	234

Tabela 5.10 – Resultados: Ensaio de Dureza – Amostra “Plana 3” (0,63 kJ/mm).

Região	Valor e identificação da impressão de dureza – HV 10				
	1	2	3	4	Média
Solda Passe A	228	221	221	228	224
Solda Passe B	221	221	206	206	214
Solda Passe C	236	206	206	206	214
Solda Passe D	228	254	236	236	238
Solda Passe E	245	213	245	245	237
Solda Passe F	245	254	254	254	252

Continuação - Tabela 5.10 – Resultados: Ensaio de Dureza – Amostra “Plana 3” (0,63 kJ/mm).

Região	Valor e identificação da impressão de dureza – HV 10					
ZAC Calha	1	2	3	4	5	Média
	245	245	236	236	254	243
	6	7	8	9	10	Média
	285	245	254	228	254	253
	11	12	13	14	15	Média
	264	236	199	228	221	230
ZAC Duto	16	17	18	19	20	Média
	264	297	254	228	199	248
	21	22	23	24	25	Média
	264	245	228	228	245	242
	26	27	28	29	30	Média
	236	228	228	228	264	237

Ao analisar cada tabela individualmente, pode-se perceber que as regiões da solda que não tiveram influência de um passe seguinte apresentaram valores de dureza mais elevados com relação àquelas que o tiveram. O primeiro passe (A), considerando a região afastada da atuação dos passes seguintes (1); e os três últimos (D, E e F), apresentaram dureza superior às demais regiões. O efeito do “revenimento” obtido pelo rea aquecimento do passe por outro subsequente é nitidamente evidenciado neste caso.

Na ZAC, percebe-se que quanto mais próximo da solda, maior o valor de dureza do material. A região transformada de granulação grosseira deve ter sido inibida pela presença de precipitados de Nb, V e Ti; os quais limitaram o crescimento de grão e impossibilitaram a perda de propriedades nessa região. Dessa maneira, obteve-se uma região transformada de granulação fina, o que explica o aumento da dureza. Da mesma maneira que ocorreu com os passes de solda, cada região da ZAC que sofreu rea aquecimento posterior foi

“revenida”, o que diminuiu um pouco mais a dureza. Em algumas regiões percebe-se uma dureza inferior à do metal de base, ou seja, regiões parcialmente transformadas ou com esferoidização de carbonetos. Essas regiões são evidenciadas na ZAC dos dois materiais de base, próximas ao material não afetado pelo calor durante a soldagem.

Ao se comparar a dureza na ZAC da calha com a do duto, pode-se perceber que a extensão da região transformada de granulação fina é maior no duto. Apesar dos pontos mais críticos dos dois materiais de base apresentarem durezas próximas, a calha apresenta dureza baixa (igual ou inferior ao metal de base) a uma distância menor tendo como referência a solda. A influência do produto no interior do duto (água) limitou ainda mais o crescimento de grãos da região devido a maior taxa de resfriamento, ou seja, menor tempo de exposição do material à temperatura de soldagem.

As figuras 5.7 a 5.18 apresentam, comparativamente, os resultados do ensaio de dureza nas juntas estudadas.

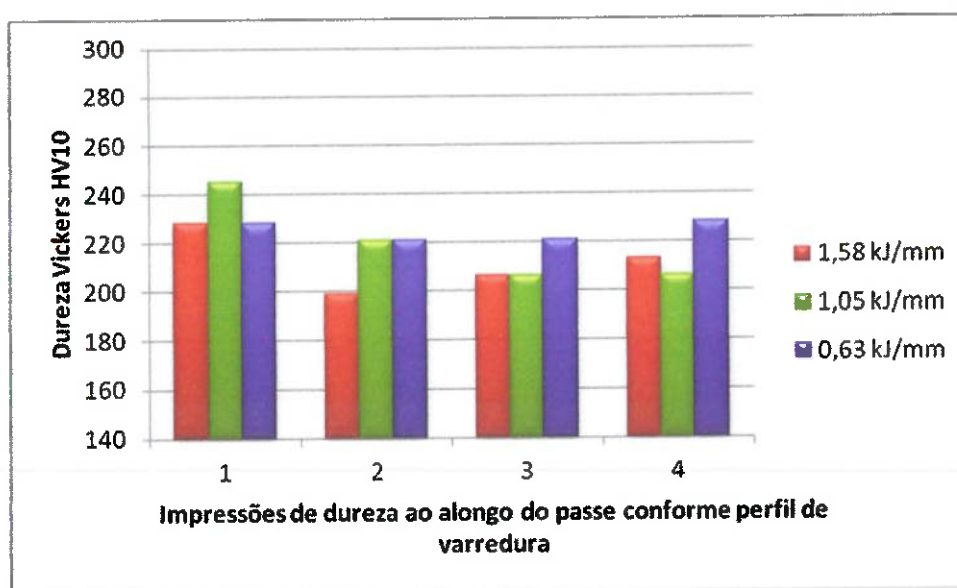


Figura 5.7 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – Solda: passe A.

Na primeira impressão realizada no passe A, mais afastada da influência dos passes seguintes, percebe-se um valor de dureza maior na energia de soldagem intermediária (1,05 kJ/mm) e equilíbrio entre as duas outras. Nas

demais impressões vê-se um equilíbrio, porém a dureza da energia mais baixa (0,63 kJ/mm) é ligeiramente maior.

Neste passe é possível verificar a pequena influência do "revenimento" na menor energia de soldagem, pois a dureza praticamente se manteve igual independentemente da região do passe analisada. Quanto menor a energia de soldagem aplicada, menor a eficácia da ação do calor do passe seguinte.

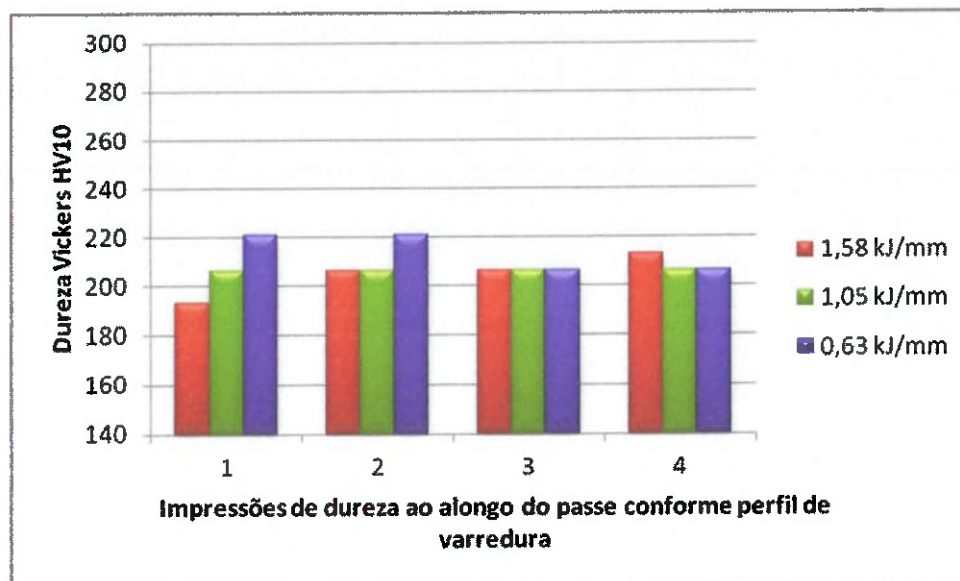


Figura 5.8 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – Solda: passe B.

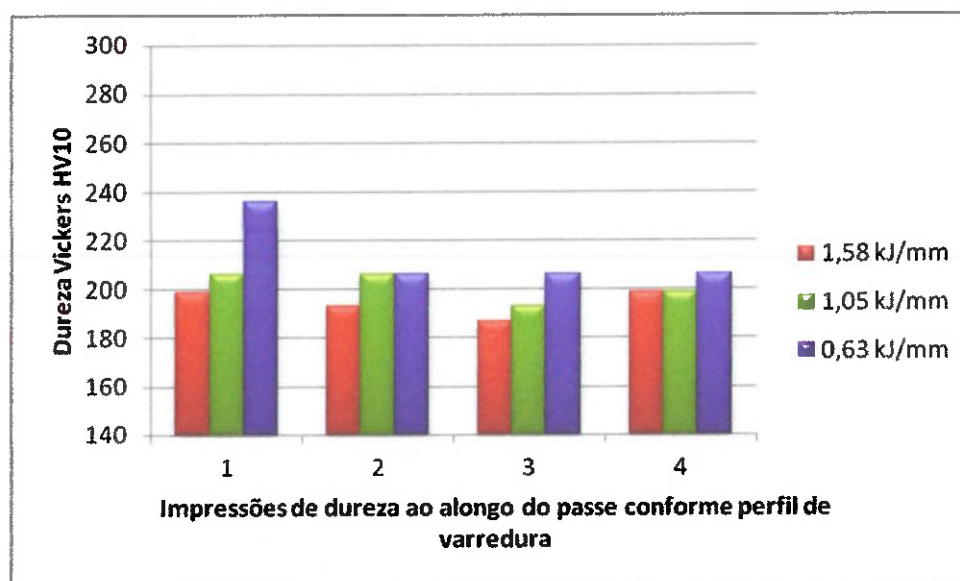


Figura 5.9 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – Solda: passe C.

Nos passes B e C (figuras 5.8 e 5.9) evidencia-se um equilíbrio entre as medições de dureza nas regiões, porém, principalmente no ponto 1, a menor energia de soldagem estudada apresenta maior dureza. Esses passes apresentam os menores valores de toda a solda, já que sofrem grande influência dos três passes seguintes que os “revine” em grande parte de sua área.

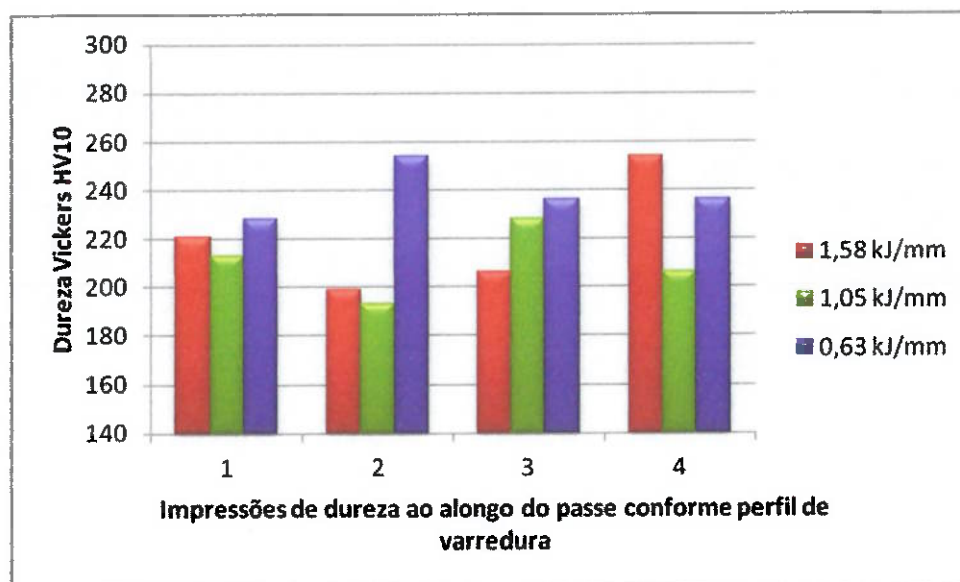


Figura 5.10 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – Solda: passe D.

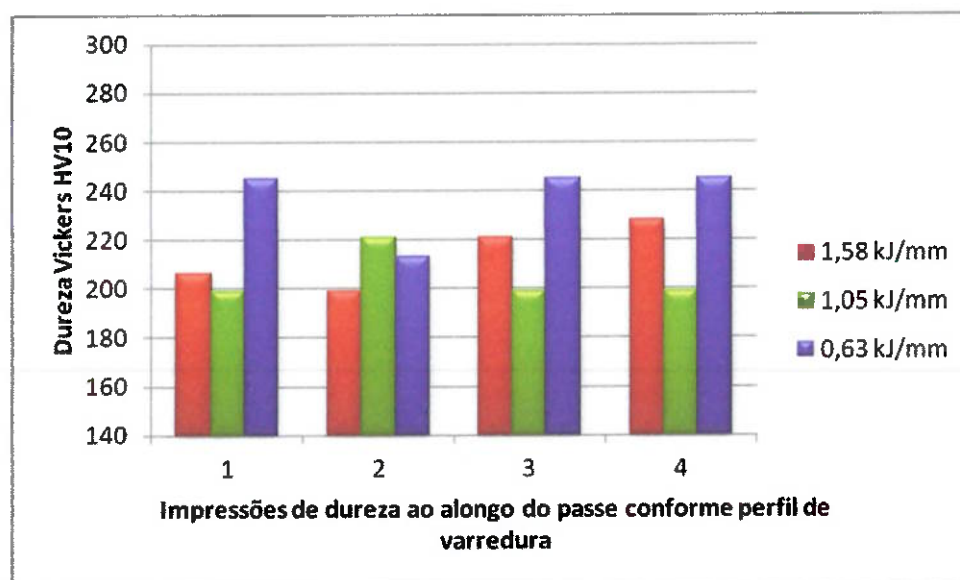


Figura 5.11 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – Solda: passe E.

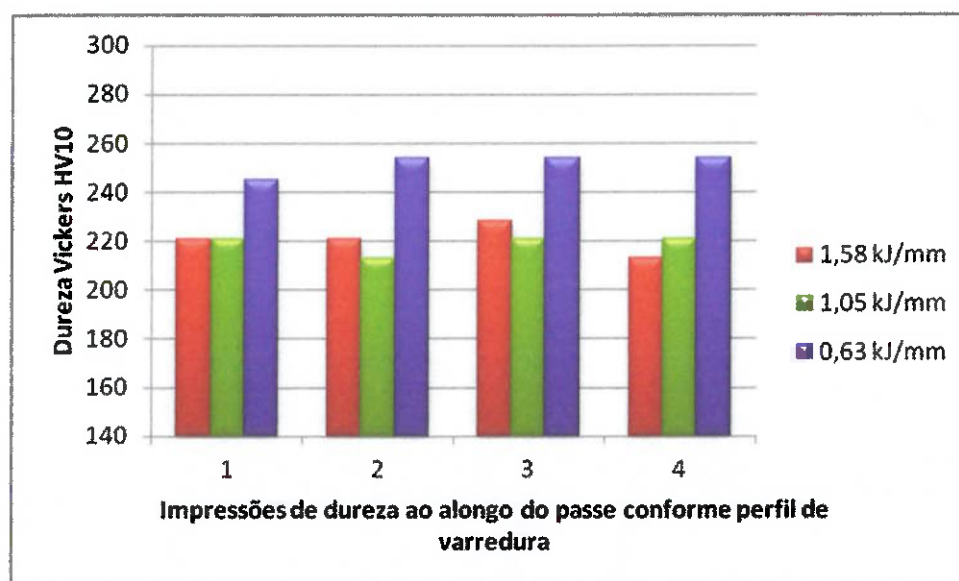


Figura 5.12 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – Solda: passe F.

Nos três últimos passes observa-se a grande diferença de dureza entre as amostras. A solda de menor energia apresenta os maiores valores; exceto no passe D, ponto 4, no qual a dureza da solda de maior energia é superior às demais. Nos demais passes, as energias intermediária e alta se alternam; sendo na maioria dos casos maior a dureza na solda de maior energia.

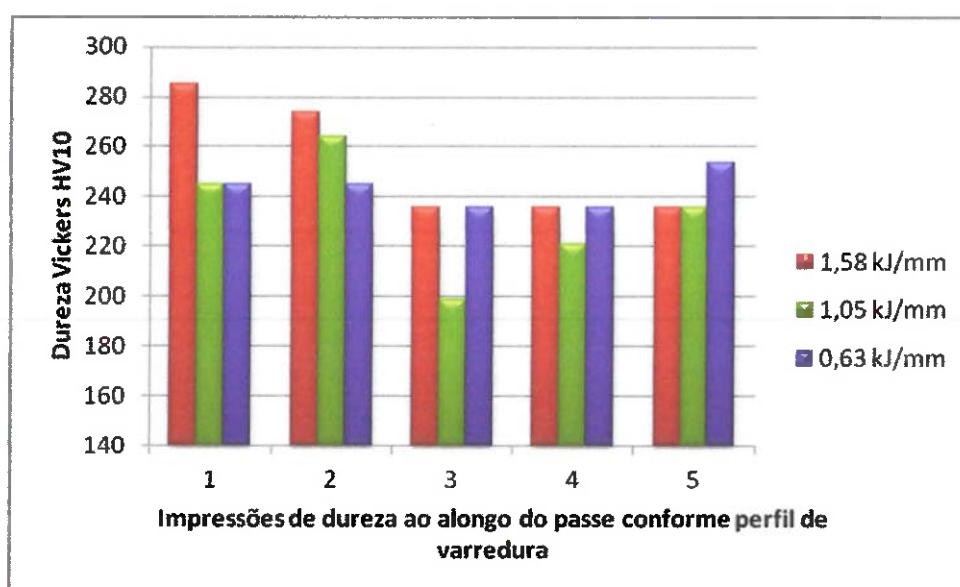


Figura 5.13 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – ZAC: Calha.

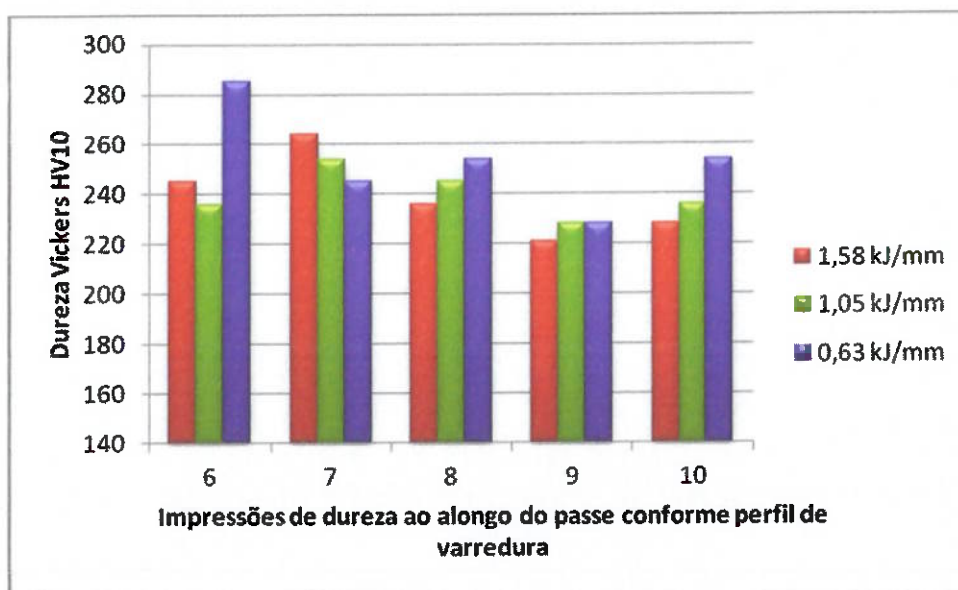


Figura 5.14 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – ZAC: Calha.

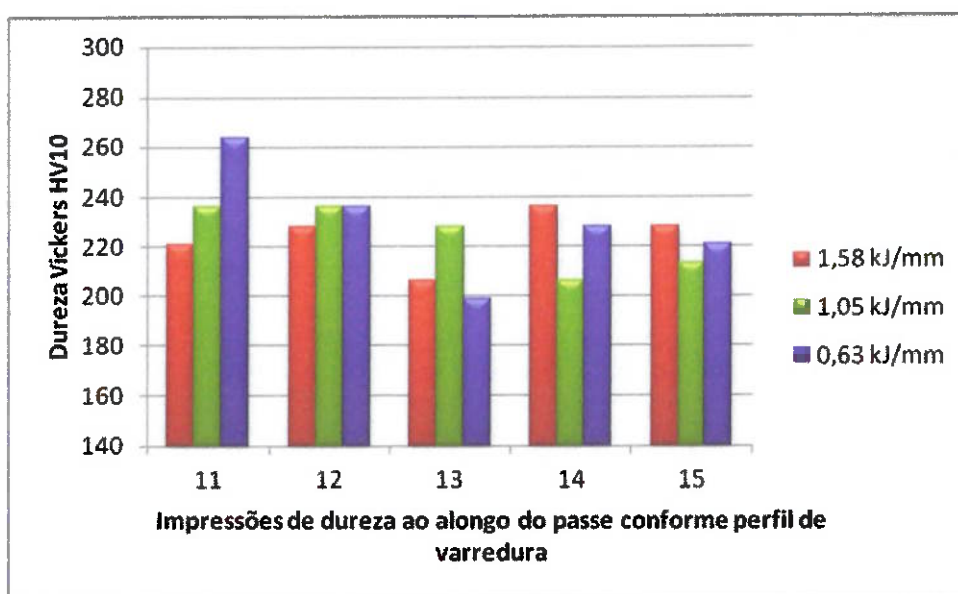


Figura 5.15 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – ZAC: Calha.

Ao analisar as durezas na ZAC da calha é possível perceber que há grande variação de resultados em função da energia de soldagem. Nas impressões mais próximas da linha de fusão, a maior energia de soldagem apresentou maior dureza principalmente nas regiões mais próximas à superfície externa da calha. À medida que se afasta da linha de fusão, pode-se visualizar um equilíbrio nos valores, com destaque a alguns pontos isolados de maior

dureza atingidos pela solda de menor aporte de calor.

O maior aporte de calor mantém a temperatura de soldagem elevada por mais tempo, o que induz crescimento de grão na região próxima à linha de fusão. Esse crescimento, por sua vez, é fortemente inibido pela ação dos precipitados, o que promove formação de granulação fina de alto tensionamento. Esse fator explica a alta dureza nessa região. Diferentemente, em baixos aportes térmicos, o tempo ao qual os grãos são expostos na temperatura de crescimento de grãos é menor; os precipitados agem de maneira menos intensa e o tensionamento é menor; resultando em uma dureza menor.

A solda de menor aporte de calor apresenta, após a região de crescimento de grãos, uma região transformada de granulação fina, a qual apresenta maiores propriedades mecânicas e maior dureza; já a junta de maior aporte de calor; após a região de granulação fina tensionada, apresenta granulação fina de tensionamento inferior, já que é uma região de exposição menor ao tempo e temperatura durante a soldagem; região similar àquela próxima da linha de fusão da solda de menor aporte de calor.

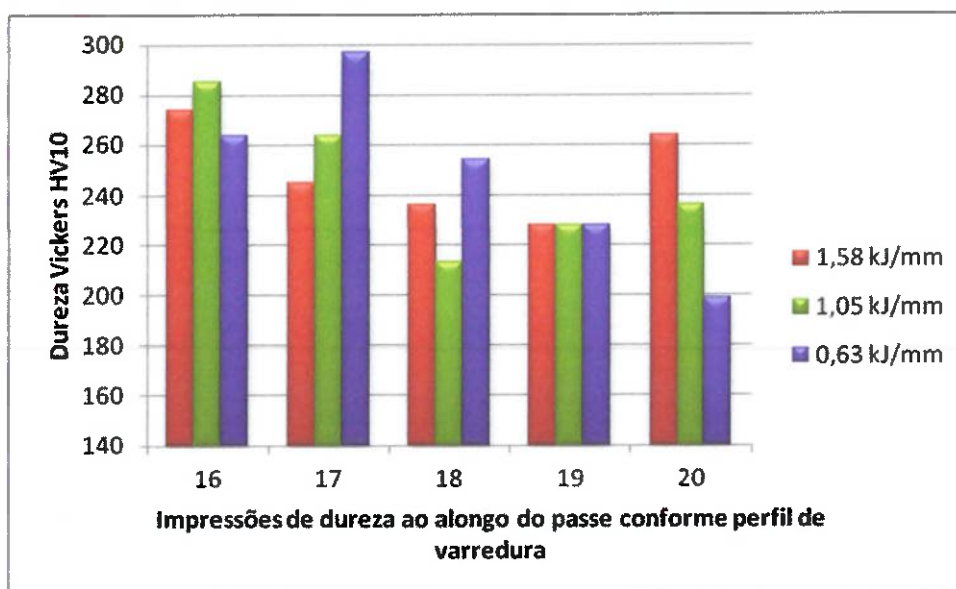


Figura 5.16 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – ZAC: Duto.

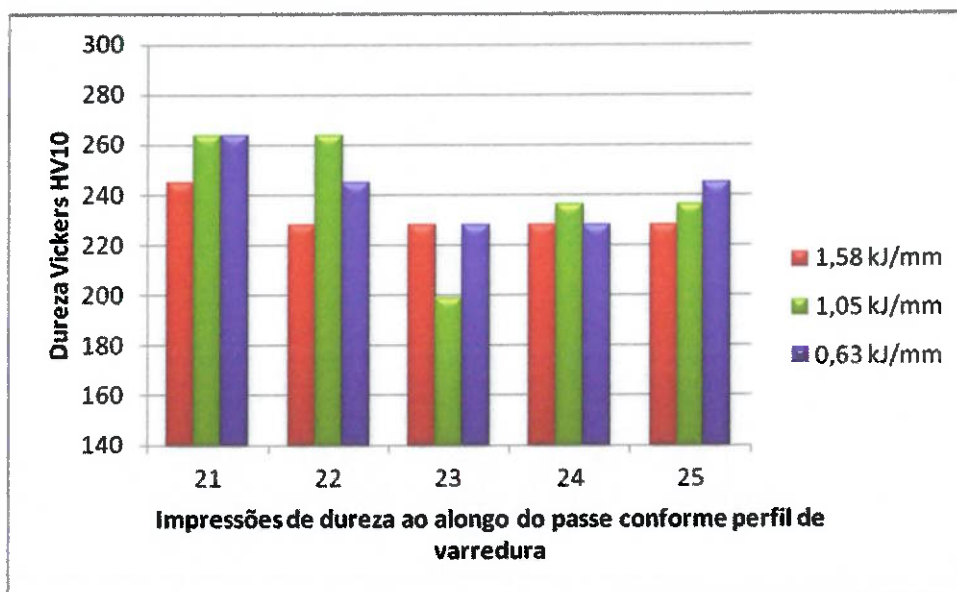


Figura 5.17 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – ZAC: Duto.

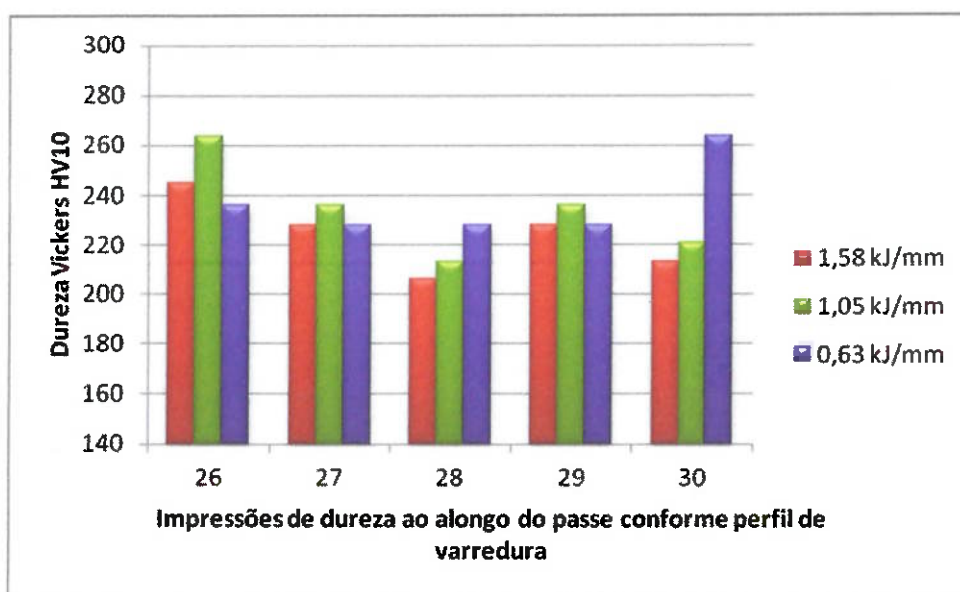


Figura 5.18 – Comparação entre os valores de dureza encontrados nas juntas estudadas – ZAC: Duto.

Como a calha não sofre a ação do fluxo de água interno com a mesma intensidade que o duto, algumas propriedades e características pós-soldagem podem ser distintas. Neste caso, percebe-se uma grande variação na dureza em relação aos três valores de aporte de calor estudados. Os pontos mais críticos podem ser observados próximos aos passes A e D (raiz e acabamento respectivamente). Em certas regiões onde as energias intermediária e alta

apresentam valores próximos, a energia baixa aparece como maior dureza. Nas três amostras estudadas, à medida que se afasta da solda, a dureza diminui; com exceção da ZAC próxima ao passe de raiz soldado com menor energia que aumenta.

5.6 CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA.

5.6.1 MACROGRAFIA.

As figuras 5.19, 5.20 e 5.21 mostram as macrografias realizadas em laboratório. Foram analisadas três seções de cada junta a fim de aumentar a confiabilidade dos resultados.

Os seguintes itens se aplicam a todas as macrografias apresentadas:

- Reagente utilizado para ataque químico: persulfato de amônia
- Inspeção visual: realizada com 10 vezes de aumento e lupa graduada

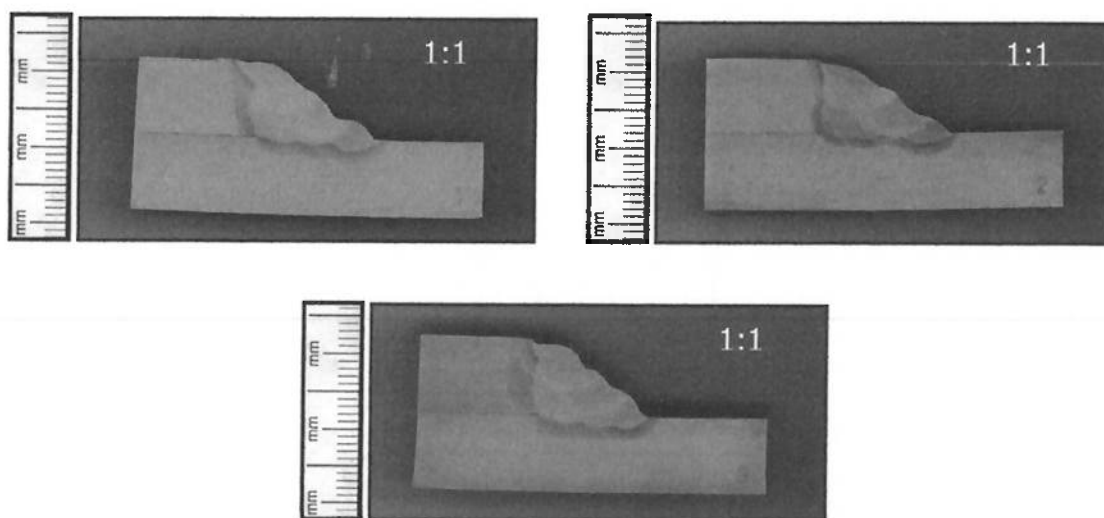


Figura 5.19 – Ensaios de macrografia da junta soldada com maior energia de soldagem (1,58 kJ/mm).

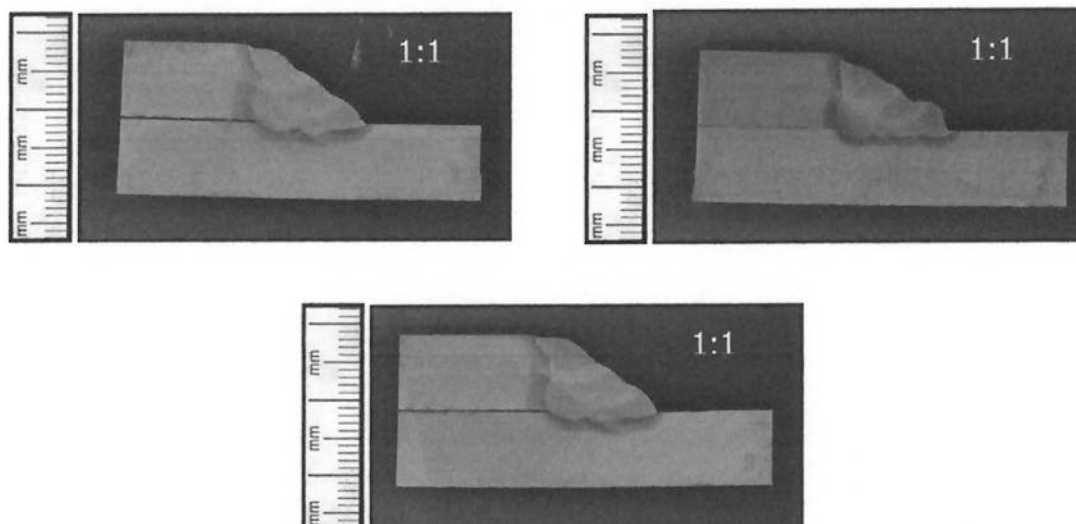


Figura 5.20 – Ensaio de macrografia da junta soldada com energia de soldagem intermediária (1,05 kJ/mm).

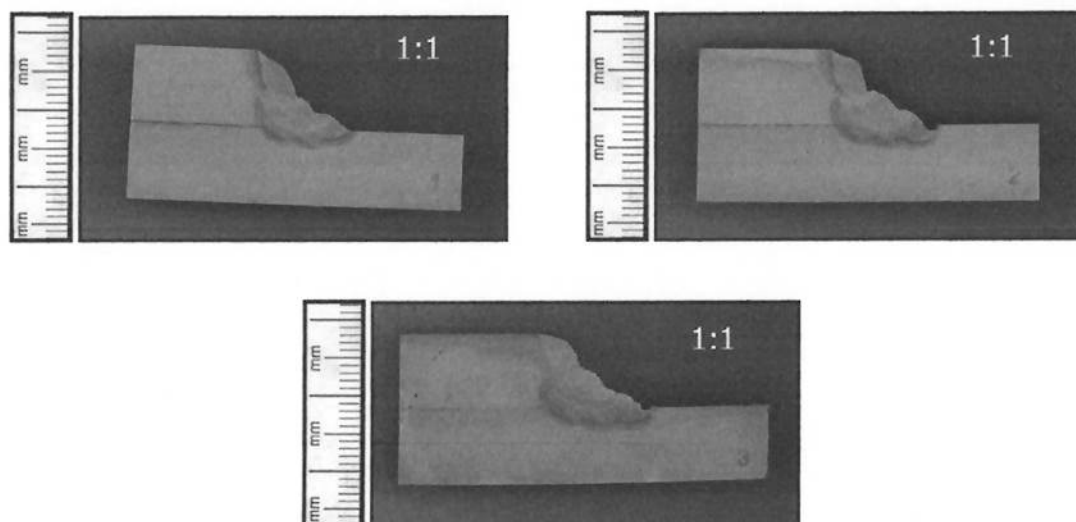


Figura 5.21 – Ensaio de macrografia da junta soldada com energia de soldagem intermediária (0,63 kJ/mm).

Somente com a visualização das imagens já é possível identificar algumas diferenças básicas entre as soldas em função da variação da velocidade de soldagem e, conseqüentemente, da energia de soldagem.

A figura 5.22 apresenta o método de dimensionamento das seções das soldas estudadas.

A tabela 5.11 relaciona, comparativamente, os valores encontrados nas medições realizadas conforme figura 5.17 nas seções das três juntas estudadas.

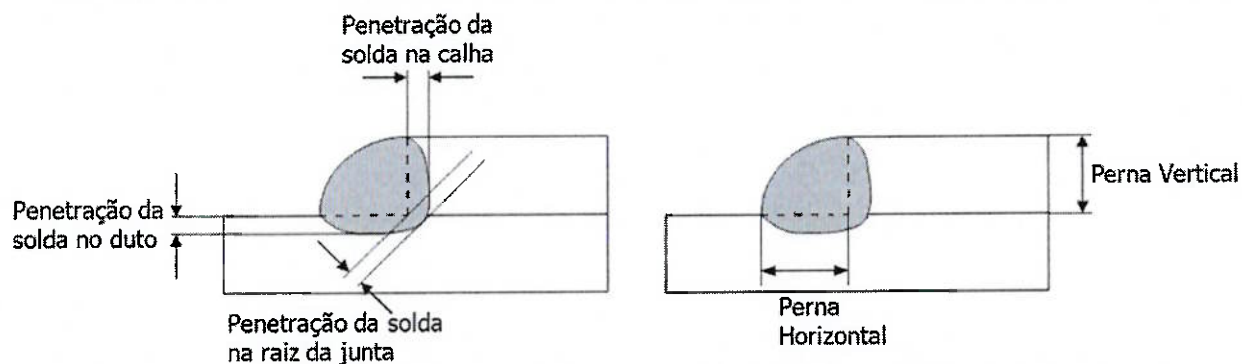


Figura 5.22 – Dimensional da solda para os ensaios de macrografia.

Tabela 5.11 – Resultados: Ensaios de macrografia.

ES (kJ/mm)	Id. amostra	PH x PV (mm)	Conc. / Conv. (mm)	Penetração (mm)			Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas
				Duto	Calha	Raiz	
1,58	M - 1	19 x 12	0 / 2	2	2	0,5	Isento de descontinuidades
	M - 2	19 x 11	0 / 2	1,5	1	0,5	Isento de descontinuidades
	M - 3	16 x 11	0 / 2	2	2	0,5	Isento de descontinuidades
1,05	M - 1	17 x 11	0 / 1	1,5	1	0,5	Isento de descontinuidades
	M - 2	17 x 11	0 / 2	1,5	1	0,5	Isento de descontinuidades
	M - 3	17 x 12	0 / 2	1,5	1	0,5	Isento de descontinuidades
0,63	M - 1	14 x 11	1 / 0,5	2	1	0,5	Isento de descontinuidades
	M - 2	12 x 11	1 / 0,5	2	1	0,5	Mordedura: 1 mm
	M - 3	13,5 x 10	1 / 1	2	1	0,5	Mordedura: 1 mm

Legenda:

ES: Energia de soldagem

Id. Amostra: Identificação da amostra

PH: Perna horizontal

PV: Perna vertical

Conc. / Conv.: Concavidade / Convexidade

Ao analisar a tabela 5.8, pode-se perceber a grande diferença entre as pernas horizontais dimensionadas. Com uma energia de soldagem maior, a taxa de deposição é maior, o que aumenta o tamanho do cordão. As pernas verticais estão limitadas pela espessura da calha.

As macrografias realizadas na junta de menor energia de soldagem apresentaram pequena concavidade e mordeduras no duto. O número de passes foi padronizado, por este motivo evidenciou-se a concavidade nesta amostra; em um caso de trabalho seriam efetuados mais alguns passes para preenchimento. As mordeduras podem ter sido causadas pela variação do ângulo de ataque dependente da habilidade do soldador ou algum fator que envolve a alta velocidade de soldagem e menor controle da poça de fusão.

As figuras 5.23, 5.24 e 5.25 apresentam, comparativamente, a penetração da solda nos materiais de base, considerando duto, calha e raiz.

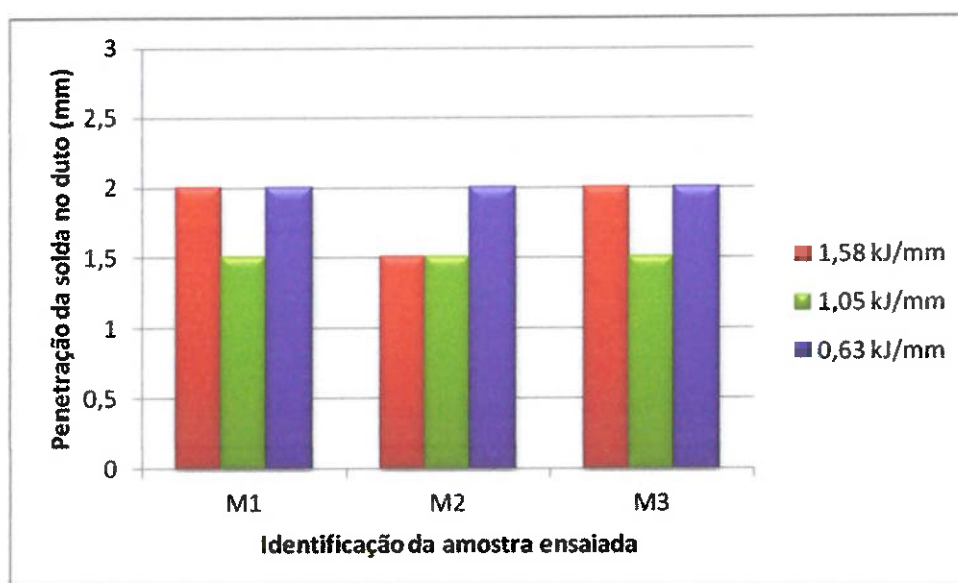


Figura 5.23 – Comparação entre os valores dimensionados nas juntas estudadas de penetração da solda no duto.

A penetração no duto, para os três valores de energia de soldagem utilizados, em média foi equivalente, com pequeno destaque à amostra de baixa energia de soldagem que apresentou 2 mm de penetração nas 3 seções analisadas. A diluição do duto, neste caso, foi praticamente a mesma nos três casos estudados.

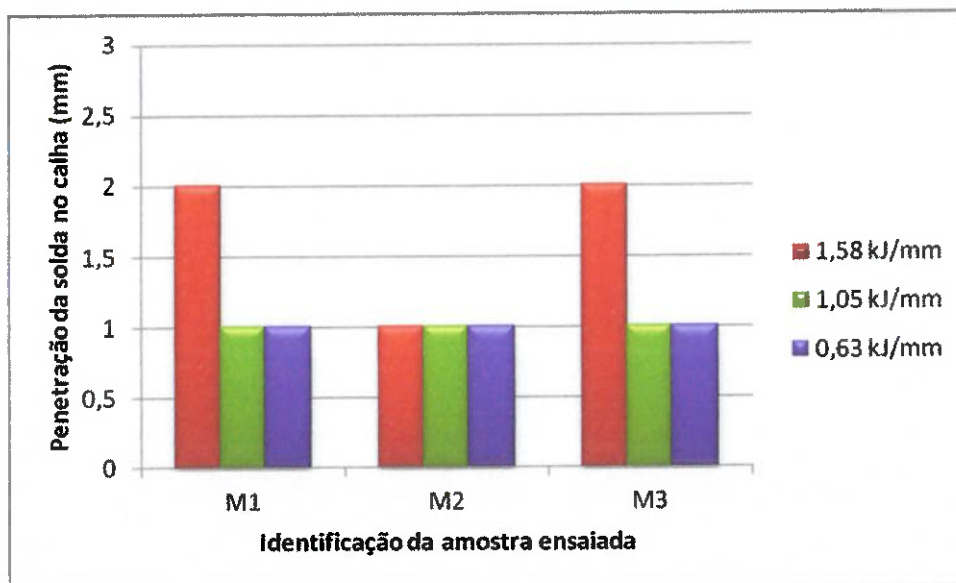


Figura 5.24 – Comparação entre os valores dimensionados nas juntas estudadas de penetração da solda na calha.

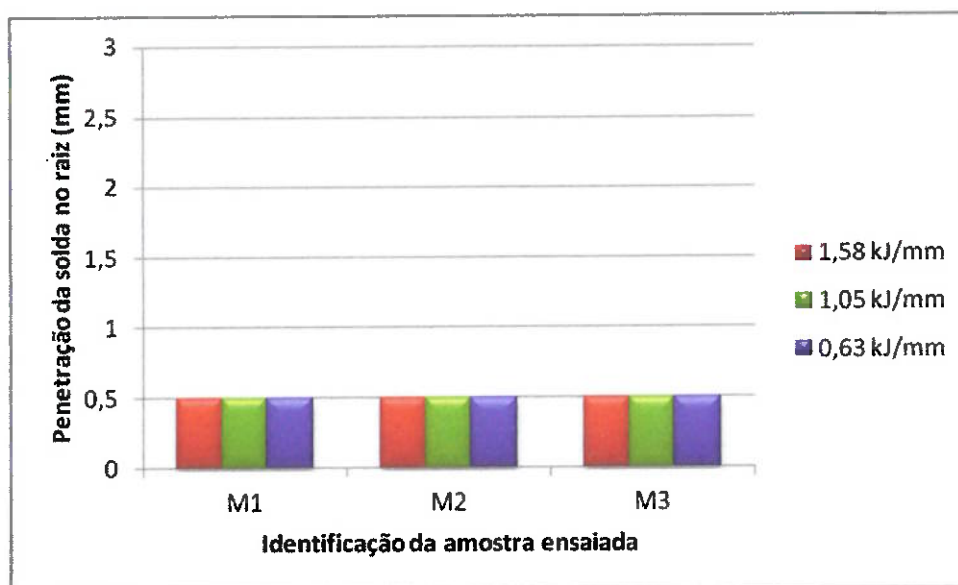


Figura 5.25 – Comparação entre os valores dimensionados nas juntas estudadas de penetração da solda na raiz.

A penetração na calha é maior na junta de maior energia de soldagem. O ângulo de ataque do eletrodo e a manipulação da poça de fusão influenciam diretamente nesse aspecto. A penetração na raiz da junta apresentou-se equivalente a todos os valores de aporte de calor estudados.

5.6.2 MICROGRAFIA.

5.6.2.1 MICROESTRUTURA.

As figuras 5.26 a 5.34 apresentam a microestrutura observada nas regiões: solda, ZAC da calha e ZAC do duto.

A tabela 5.12 apresenta os resultados obtidos na análise microestrutural das amostras ensaiadas.

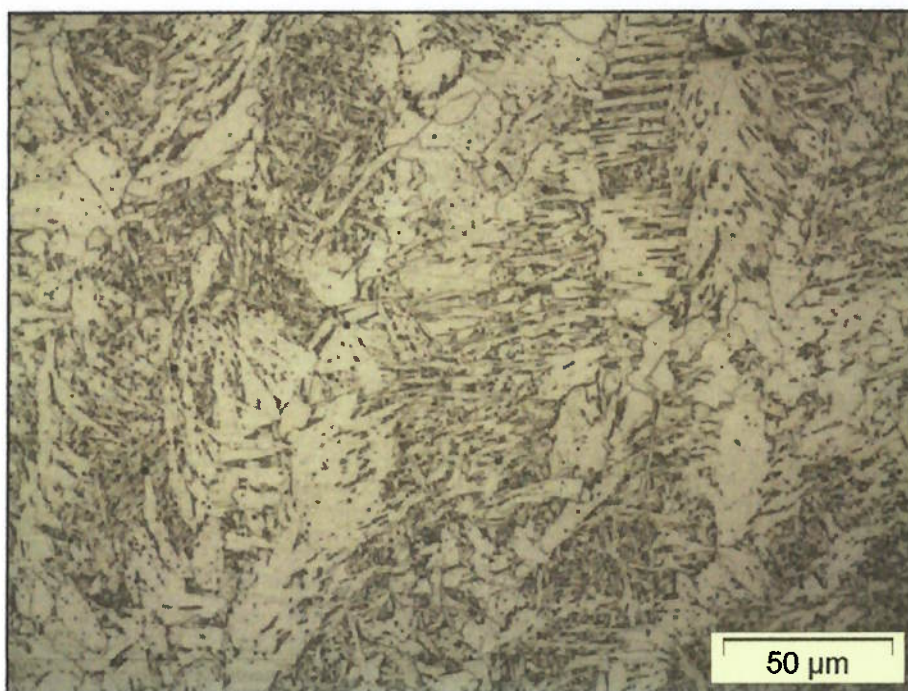


Figura 5.26 – Microestrutura – Solda: Energia de soldagem 1,58 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: longitudinal - Ampliação: 500 vezes – Avaliação: ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.



Figura 5.27 – Microestrutura – ZAC-calha: Energia de soldagem 1,58 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: longitudinal - Ampliação: 500 vezes – Avaliação: ferrita, ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos.

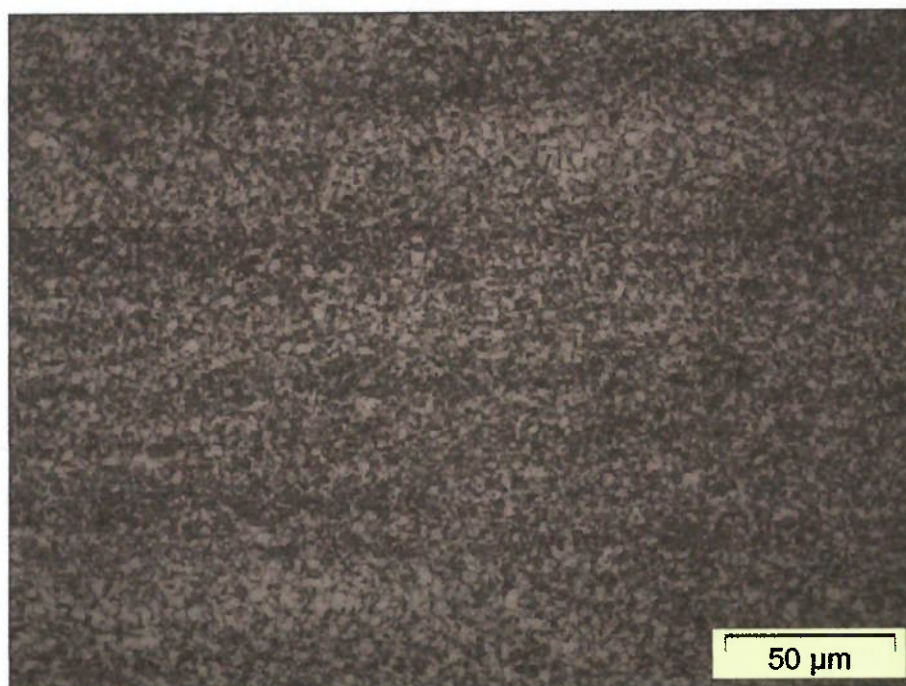


Figura 5.28 – Microestrutura – ZAC-duto: Energia de soldagem 1,58 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: longitudinal - Ampliação: 500 vezes – Avaliação: ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.

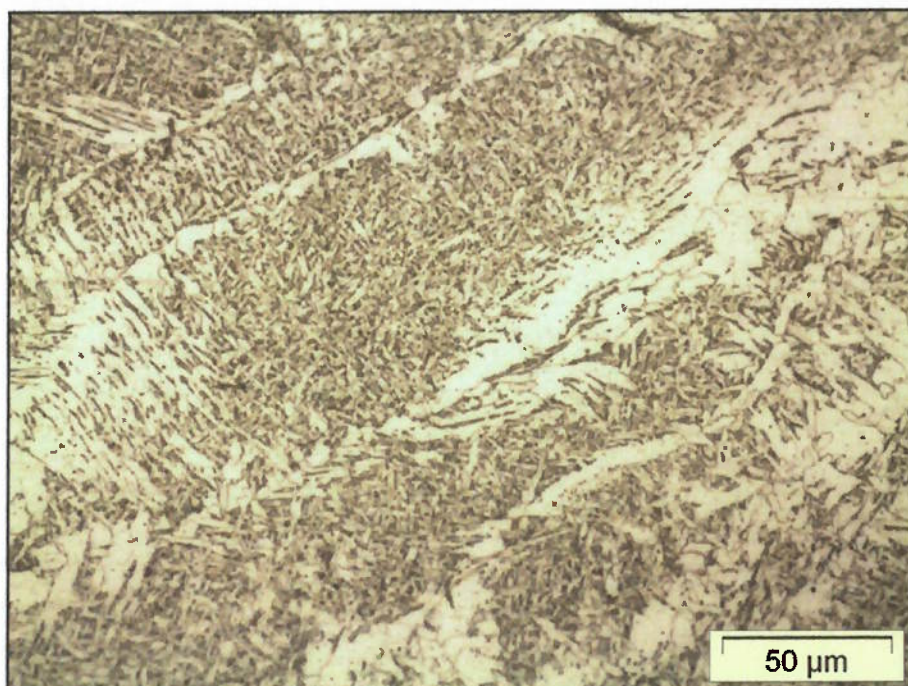


Figura 5.29 – Microestrutura – Solda: Energia de soldagem 1,05 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: longitudinal - Ampliação: 500 vezes – Avaliação: ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.

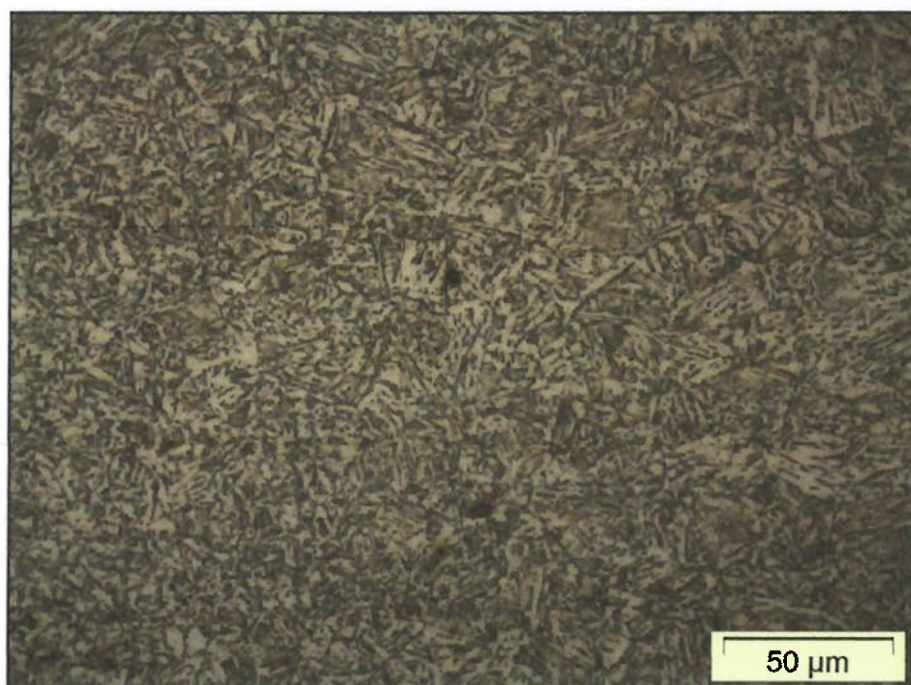


Figura 5.30 – Microestrutura – ZAC-calha: Energia de soldagem 1,05 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: longitudinal - Ampliação: 500 vezes – Avaliação: ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos.

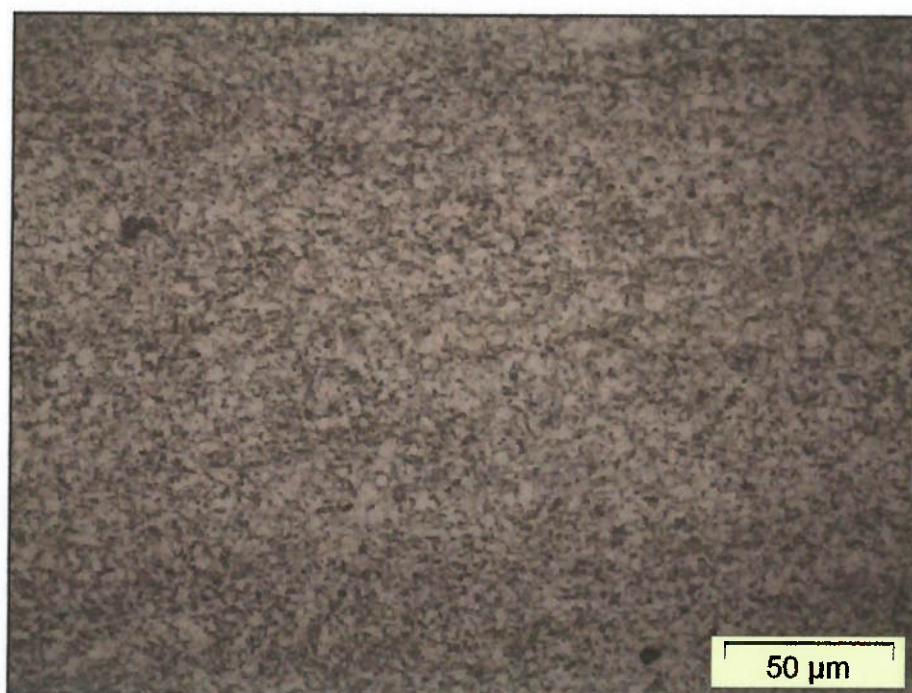


Figura 5.31 – Microestrutura – ZAC-duto: Energia de soldagem 1,05 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: longitudinal - Ampliação: 500 vezes – Avaliação: ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.

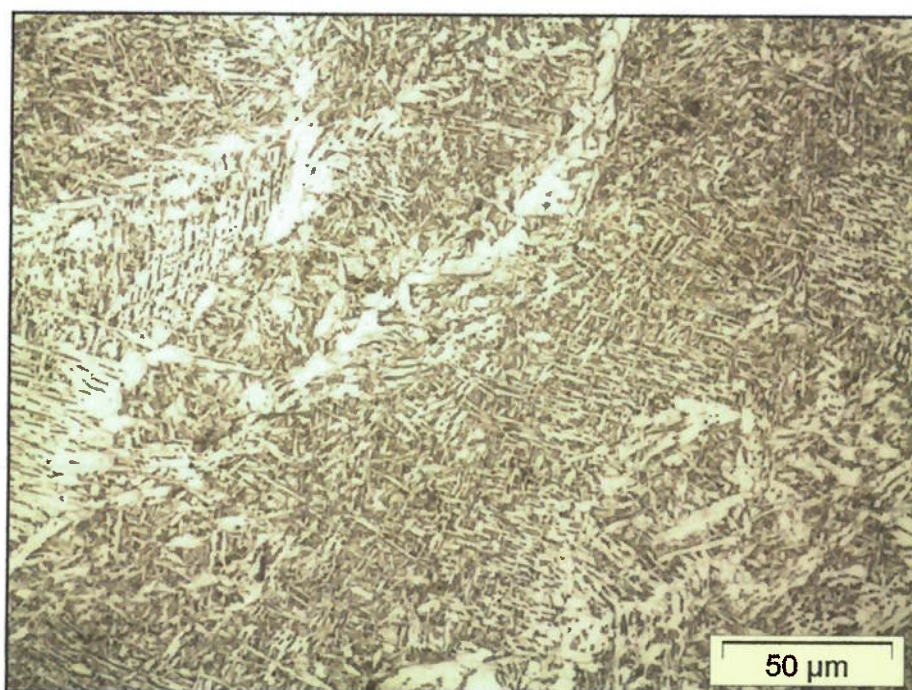


Figura 5.32 – Microestrutura – Solda: Energia de soldagem 0,63 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: longitudinal - Ampliação: 500 vezes – Avaliação: ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.

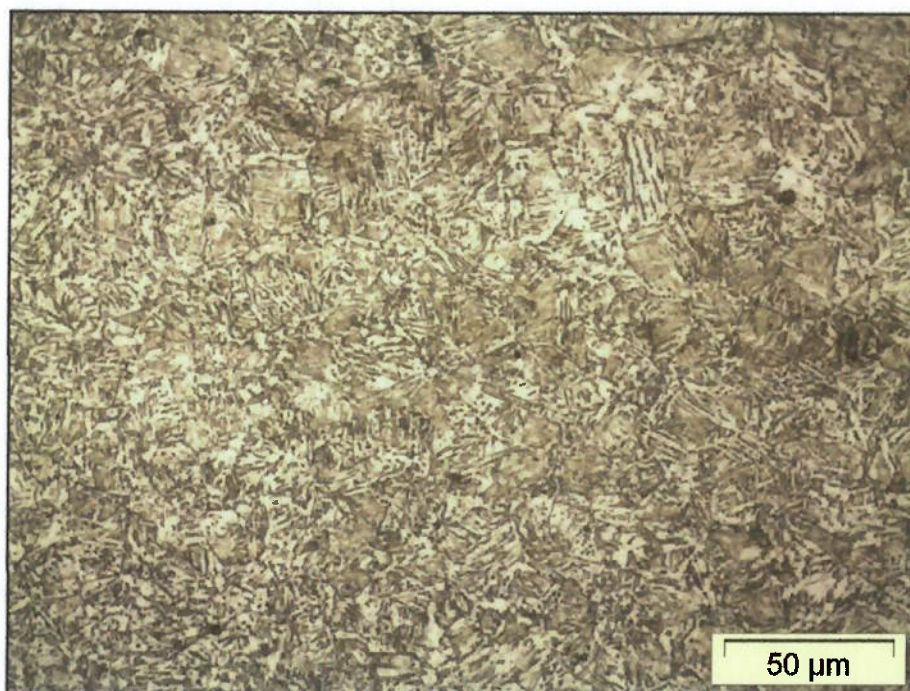


Figura 5.33 – Microestrutura – ZAC-calha: Energia de soldagem 0,63 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: longitudinal - Ampliação: 500 vezes – Avaliação: ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos.

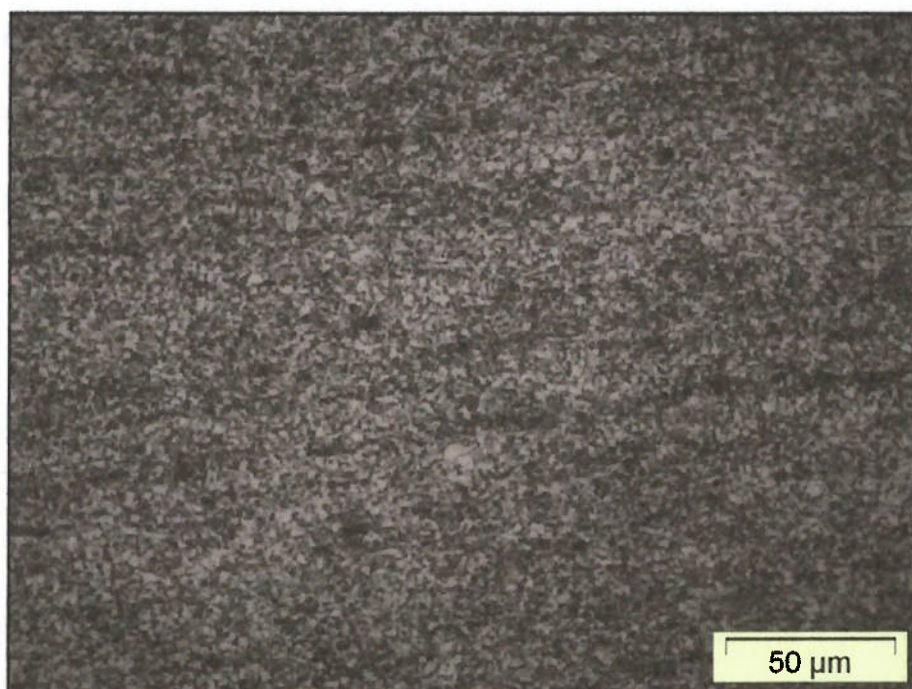


Figura 5.34 – Microestrutura – ZAC-duto: Energia de soldagem 0,63 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: longitudinal - Ampliação: 500 vezes – Avaliação: ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos.

Tabela 5.12 – Resultados: Ensaios de micrografia – microestrutura.

Amostra – Energia de soldagem (kJ/mm)	Avaliação por região da junta soldada		
	Solda	ZAC-Calha	ZAC-Duto
1,58	Consiste em ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.	Consiste em ferrita, ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos.	Consiste em ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
1,05	Consiste em ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.	Consiste em ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos.	Consiste em ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
0,63	Consiste em ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.	Consiste em ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos.	Consiste em ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos.

Independente da energia de soldagem aplicada, o resultado na microestrutura se apresenta muito próximo nas três juntas estudadas.

No caso da solda e da ZAC da calha, a diferença que se identifica nas figuras é a porcentagem de área da ferrita em suas diversas formas; à medida que a energia de soldagem aplicada é menor, maior é a quantidade de ferrita acicular presente na microestrutura. Já a ZAC do duto não apresentou diferenças notáveis possivelmente devido à alta taxa de resfriamento.

5.6.2.2 TAMANHO DE GRÃO.

As figuras 5.35 a 5.40 apresentam o tamanho de grão observado nas regiões: ZAC da calha e ZAC do duto. Essas regiões não apresentam homogeneidade de grãos por estarem sujeitas, ao longo de sua área, a diferentes ciclos térmicos.

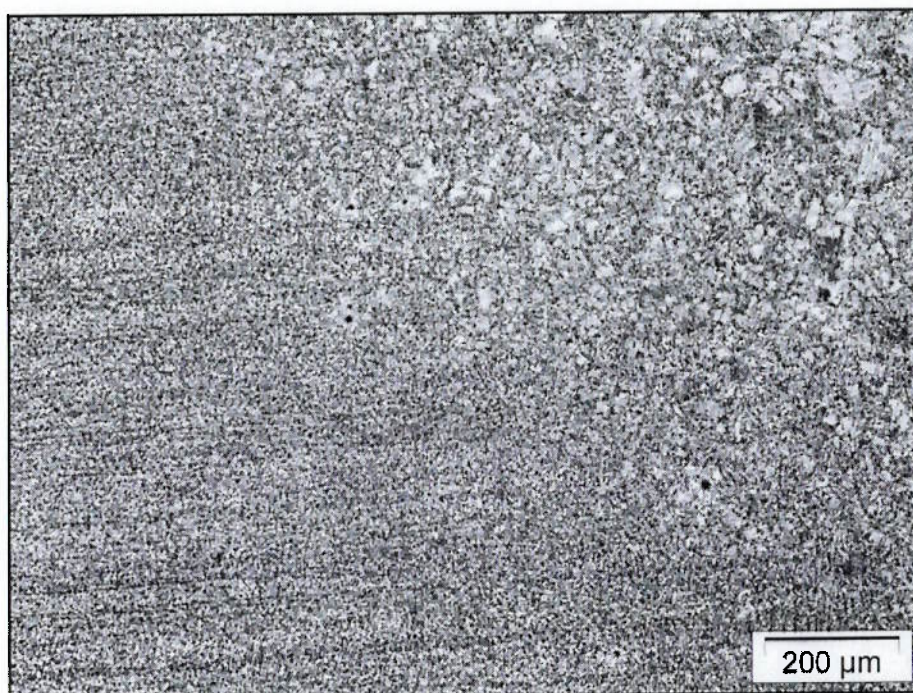


Figura 5.35 – Tamanho de grão – ZAC-calha: Energia de soldagem 1,58 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: transversal - Ampliação: 100 vezes - Variação granulométrica: 6,5 a 10.

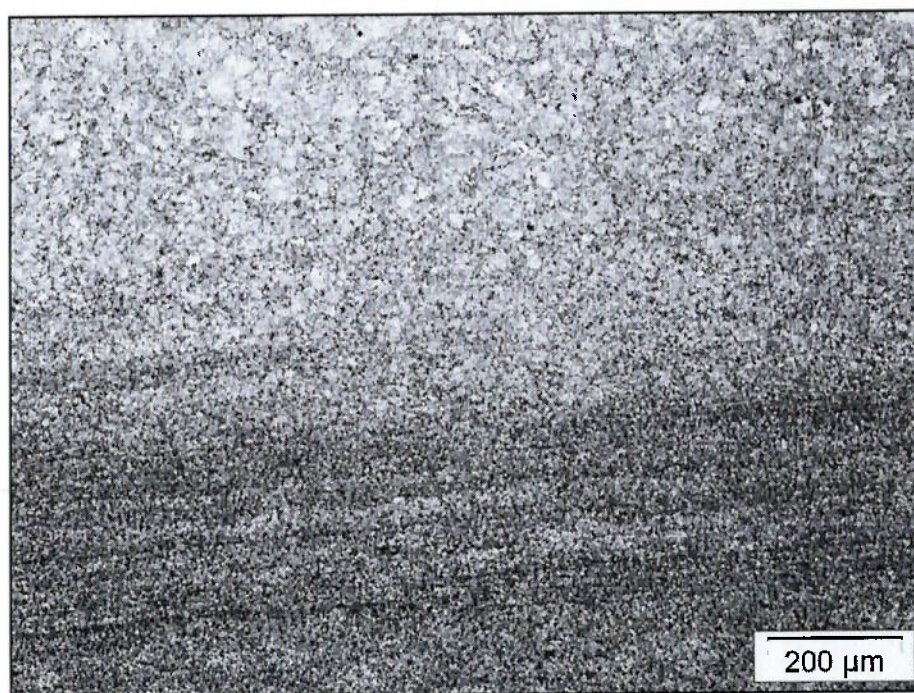


Figura 5.36 – Tamanho de grão – ZAC-duto: Energia de soldagem 1,58 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: transversal - Ampliação: 100 vezes - Variação granulométrica: 6,5 a 10.

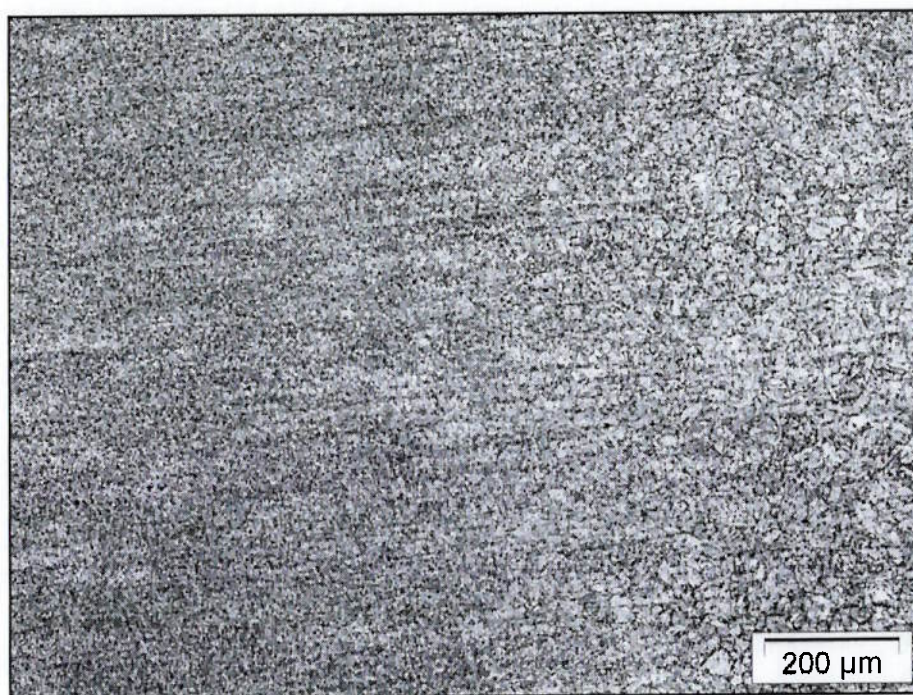


Figura 5.37 – Tamanho de grão – ZAC-calha: Energia de soldagem 1,05 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: transversal - Ampliação: 100 vezes - Variação granulométrica: 7,5 a 10.

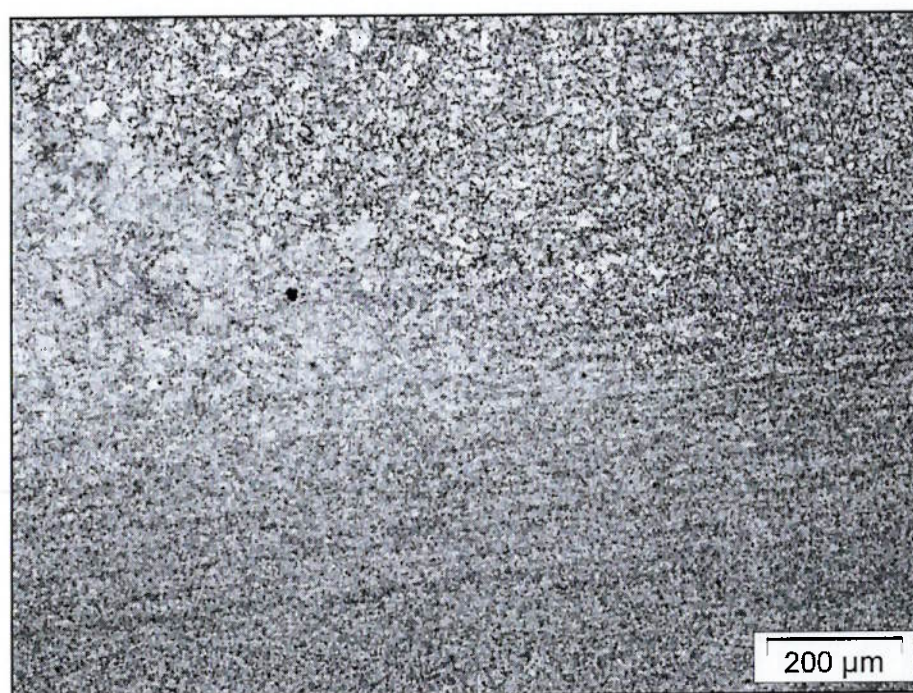


Figura 5.38 – Tamanho de grão – ZAC-duto: Energia de soldagem 1,05 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: transversal - Ampliação: 100 vezes - Variação granulométrica: 7 a 10.

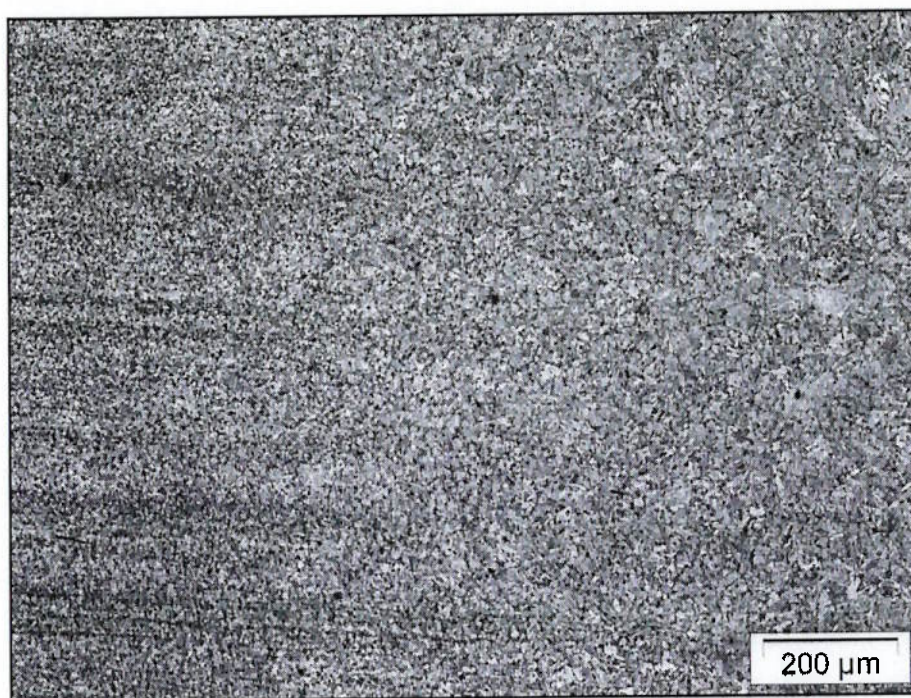


Figura 5.39 – Tamanho de grão – ZAC-calha: Energia de soldagem 0,63 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: transversal - Ampliação: 100 vezes - Variação granulométrica: 7 a 10.

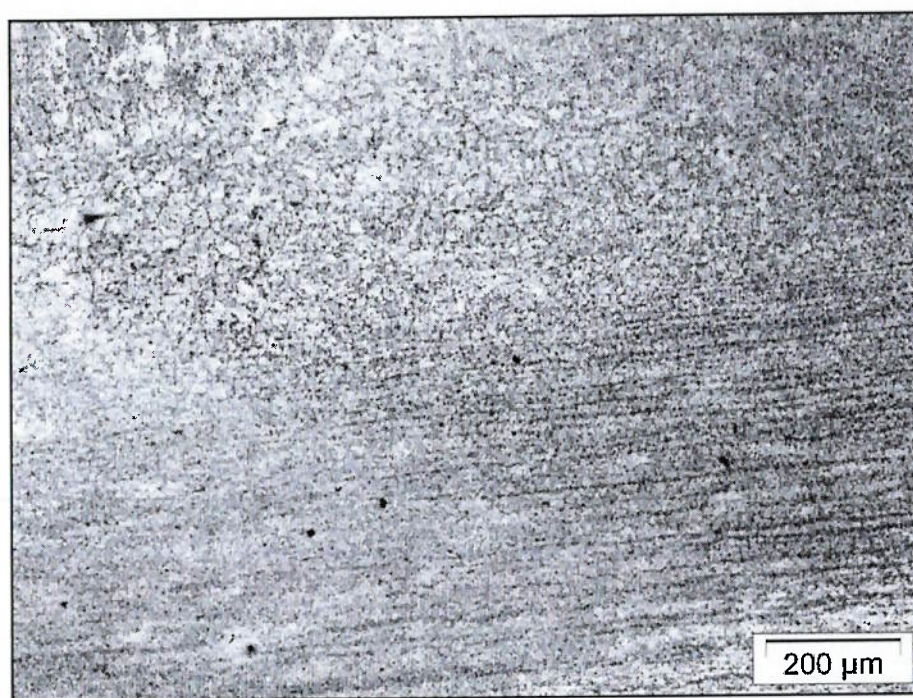


Figura 5.40 – Tamanho de grão – ZAC-duto: Energia de soldagem 0,63 kJ/mm - Reagente utilizado para ataque químico: nital 3% - Seção analisada: transversal - Ampliação: 100 vezes - Variação granulométrica: 6,5 a 10.

A tabela 5.13 apresenta os resultados obtidos na análise microestrutural das amostras ensaiadas.

Tabela 5.13 – Resultados: Ensaio de micrografia – tamanho de grão.

Amostra – Energia de soldagem (kJ/mm)	Avaliação por região da junta soldada	
	ZAC-Calha	ZAC-Duto
1,58	Variação granulométrica: 6,5 a 10	Variação granulométrica: 6,5 a 10
1,05	Variação granulométrica: 7,5 a 10	Variação granulométrica: 7 a 10
0,63	Variação granulométrica: 7 a 10	Variação granulométrica: 6,5 a 10

O tamanho de grão das três juntas estudadas apresentou-se equilibrado, ou seja, independente do aporte de calor empregado não houve grandes alterações na comparação dos resultados obtidos. Nota-se o crescimento de grão nas regiões da ZAC mais próximas da solda; o metal de base apresenta tamanho de grão ASTM igual a 10, o que significa que apesar da altíssima taxa de resfriamento na soldagem em carga, a energia de soldagem empregada foi capaz de fazer com que houvesse crescimento de grão.

Na ZAC da calha percebe-se a maior influência da energia de soldagem justamente pela capacidade do fluxo interno de produto retirar o calor não ser tão significativa como na parede do duto. Desta maneira, os grãos dessa ZAC transformada pelo aporte de calor de 1,58 kJ/mm apresentou-se com maior tamanho em relação às demais juntas estudadas.

6. CONCLUSÕES.

Baseando-se nas soldagens efetuadas e resultado de ensaios laboratoriais, conclui-se que:

1. De acordo com os ensaios destrutivos e não destrutivos qualitativos realizados (visual, líquido penetrante, "nick-break" e dobramento) é possível perceber que a variação de energia de soldagem não influencia na presença ou não de defeitos como poros, inclusões, falta de penetração, falta de fusão e similares.

2. O ensaio de dureza apresentou alternância de valores altos entre as energias de soldagem estudadas, principalmente entre as juntas de 1,58 e 0,63 kJ/mm. A amostra soldada com energia de soldagem intermediária apresentou maior homogeneidade de dureza ao longo das regiões ZACs e solda. Apesar disto, em geral, os maiores picos de dureza podem ser verificados na junta soldada com menor energia de soldagem. Devido ao menor fornecimento de calor puntual, a taxa de resfriamento neste caso é maior e o passe subsequente não atua como "revenimento" com tanta eficiência como em situações de maiores valores de energia de soldagem. Nas ZACs ocorre o mesmo, porém a maior causa da elevação da dureza é a alta taxa de resfriamento. Em todas as juntas não foram detectados pontos de dureza críticos considerados por norma; porém é evidente uma tendência de comportamento.

3. O ensaio de macrografia revela que a junta soldada com maior energia de soldagem apresenta maiores dimensões que as demais (pernas vertical e horizontal), já que a taxa de deposição é maior. O raciocínio é o mesmo para as demais juntas, proporcionalmente.

A penetração, nas três amostras, nos metais de base, é muito similar. Considerando que o fator que influencia diretamente no risco de perfuração seja a temperatura da parede interna do duto, pode-se concluir que, apesar da penetração da solda no duto ser igual, a inserção de energia puntual exercida pela maior energia de soldagem promove maior quantidade de calor conduzida pelo material e, conseqüentemente, maior temperatura atingida na parede

interna. Neste experimento, devido principalmente à espessura do metal de base, não foi possível detectar nenhuma alteração em função desse aspecto.

4. A microestrutura das três juntas apresentou a mesma característica. A grande diferença foi na microestrutura da solda com relação à porcentagem de área da ferrita acicular, onde a amostra soldada com menor energia de soldagem apresentou maior quantidade, o que explica os valores altos de dureza encontrados. Com relação ao tamanho de grão, a amostra de maior energia de soldagem apresentou, na região adjacente à solda, grãos ligeiramente maiores que as demais, isso pela grande quantidade de calor pontual fornecida durante a soldagem, os grãos ficaram em altas temperaturas por mais tempo. Devido a taxa de resfriamento ser altíssima, tanto em energias altas como baixas, a diferença microestrutural não é tão expressiva.

5. Ao soldar um tubo de aço API 5L grau X65 é necessário conhecer todos os requisitos e condições operacionais a fim de executar uma soldagem que proporcione as propriedades desejadas. Deve-se levar em consideração que energias de soldagem baixas causam um impacto na dureza, enquanto maiores energias aumentam o risco de perfuração e os grãos adjacentes à solda. Em todo caso há uma energia de soldagem ideal, que garanta as propriedades requeridas pelo projeto e não apresente risco de perfuração nem susceptibilidade a trincas causadas pelo hidrogênio.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.

1. Estudo das propriedades da junta soldada, em diferentes energias de soldagem, em materiais de base com menor espessura;
2. Estudo das propriedades da junta soldada, em diferentes energias de soldagem, em materiais de base com maior teor de carbono equivalente;
3. Avaliação das propriedades da junta soldada comparando-se diferentes processos de soldagem;
4. Estudo das propriedades da ZAC em função de maiores valores de energia de soldagem;
5. Análise da influência do produto e vazão no interior do duto nas propriedades da junta soldada;
6. Estudo dos efeitos causados pela energia de soldagem em dutos antigos, de alto teor de carbono e baixa soldabilidade;
7. Verificação dos dados fornecidos pelos softwares de simulação térmica, correlacionando-os com os resultados reais da soldagem;
8. Análise das propriedades da junta soldada em função da utilização ou não do passe de revenimento;
9. Comparação das propriedades da junta soldada pelo processo eletrodo revestido polaridade direta com a reversa;
10. Análise da importância de se efetuar pré-aquecimento na soldagem em carga mesmo em altíssimas taxas de resfriamento;
11. Análise das propriedades da junta soldada nas diferentes posições de soldagem obtidas na junta circumferencial;
12. Avaliação das fontes de hidrogênio e sua influência na formação da trinca à frio.
13. Estudo da influência da espessura da calha na taxa de resfriamento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PEREIRA, A. S. Soldagem em operação de tubos API de alta resistência e baixa espessura com ênfase na perfuração e trincas a frio, 2012, 177 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Mecânica. Florianópolis. 2012.
2. KUCHLER, M. M. Aplicação da técnica da dupla camada na soldagem de dutos em operação, 2009, 95 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Ciência e Tecnologia dos Materiais, Porto Alegre. 2009.
3. KIEFNER, J. F. et al. Development of guidelines for repair and hot tap welding on pressurized pipelines. Final Report, Phase 1, to Repair and Hot Tap Welding group. Battelle Columbus Division. Columbus, OH September 1981.
4. FRIEDRICH, J., SMITH, J. *Sleeve installations speed pipeline defect repair*. Pipeline & Gas Journal, p 36-38, December 1995.
5. WAINER, E.; BRANDI, S. D.; HOMEM DE MELLO, F.D. Soldagem – Processos e Metalurgia. São Paulo. Edgard Blucher, 1995.
6. ASM METAL HANDBOOK. Welding, brazing and soldering. Volume 6, 1993, 2873 p.
7. FORTES, C. Apostila ESAB Eletrodos revestidos OK, 2005, 66 p. Disponível em: www.esab.com.br/br/pt/education.
8. ASME II PARTE C. Specifications for welding rods, electrodes, and filler metals. Materials. SFA-5.1/SFA-5.1M. Carbon steel electrodes for shielded metal arc welding. 2010. 41 p.

9. MACHADO, I. G. Soldagem e técnicas conexas: Processos. Porto Alegre: editado pelo autor. 1996. 476p, pg 41-42
10. EASTERLING, K. Introduction to the Physical Metallurgy of Welding (second ed.). Butterworths (1983).
11. CHAVEZ, G. F. S. Simulação física e caracterização de zonas afetadas pelo calor de aços API 5L X80, 2011, 249 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo – Engenharia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo. 2011.
12. GRANJON, H. Fundamentals of Welding Metallurgy. Cambridge: Abington Publishing, 1991.
13. PÉREZ, G. E. G. – Estabelecimento de critérios para evitar a perfuração na soldagem de tubulações em operação de pequena espessura. Florianópolis, 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.
14. PAES, M. T. P. et al. Soldagem em operação de dutos e tubulações. I Encontro Técnico de Soldagem. Rio de Janeiro, Julho 2004.
15. SOLDAGEM e Trepanação em Equipamentos, Tubulações Industriais e Dutos em Operação: N-2163. Petrobrás – Petróleo Brasileiro. Rev. E. Brasil. 41 p. 2011.
16. BRUCE, W. A. Overview of in-service welding research at EWI. First International conference on Welding onto In-service Petroleum gas and Liquid pipelines. March 2000a, Wollongong – Australia.
17. GRANJON, H. Cracking and Fracture in Welds. Japan Welding Society, Tokyo, 1972, p. IB1.1.

18. WELDING HANDBOOK MATERIALS AND APLICATIONS. Part 1.v.3 – 8th edition. American Welding Society. Miami, Fl. 1998. 526 p.
19. COLPAERT, H. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns. Revisão técnica André Luiz V. da Costa Silva. 4^a ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.
20. OGATA, P. H. Caracterização microestrutural do aço para tubo API 5L X-65 em diferentes regiões da chapa como laminada e após austenitização e resfriamento sob diversas taxas de resfriamento, 2009, 122 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo – Engenharia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo. 2009.
21. ZHAO, M.; YANG, K.; XIAO, F.; SHAN, Y. Continuous cooling transformation of undeformed and deformed low carbon pipeline steels. Materials Science and Engineering A355 p. 126 – 136, 2003.
22. SÉFÉRIAN, D. The Metallurgy of Welding. London: Chapman and Hall, 162. 375p.
23. JUNIOR, J. C. S. Estudo da soldabilidade do tubo API 5L X80 utilizando os processos de soldagem eletrodo revestido e MAG com transferência controlada na raiz e enchimento com arame tubular autoprotetido, 2013, 234 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo – Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo. 2013.
24. SPECIFICATION for Line Pipe: API Specification 5L. American Petroleum Institute. 15^o Ed. Washington.180 p. 2012.
25. FOSCA, C. Metalurgia de la Soldadura. 7^a ed. Lima: PUCP, 2007. 123-182p.

26. RAMIREZ, M. F. G. Influência da microestrutura nas propriedades mecânicas e na fragilização por hidrogênio em um aço microligado, 2012, 182 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo – Engenharia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo. 2012.
27. MALCOLN, J.G. A Guide for Understanding & Specifying Chemical Composition of High Strength Linepipe Steels. Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, 2007. 37p. (Relatório Técnico).
28. HILLENBRAND, H. G., LIESSEM, A., BIERMANN, K., HECKMANN, C. J., SCHWINN, V. Development and production of linepipe steels in grade X100 and X120, in Seminar ok X120 grade high performance pipe steels, Technical Conference, 2005, pp. 1-11.
29. OZGOWICZ, W., OPIELA, M., GRAJCAR, A., KRUKIEWICZ, W. Metallurgical products of microalloy constructional steels, *Jornal of Achievments in Materials and Manufacturing Engineering. AMME*, vol. 44, no. 1, pp. 7-34, 2011.
30. ASM METAL HANDBOOK. Properties and selection: irons steels and high performance alloys. Volume 1, 1990, 2521 p.
31. L.F. Porter, High-Strength Low-Alloy Steels, in *Encyclopedia of Materials Science and Engineering*, MIT Press, 1986, p 2157-2162.
32. ROCHA, D. B. Estudo da soldabilidade do tubo API 5L X80 utilizando os processos de soldagem: MAG com transferência controlada e eletrodo tubular, 2010, 218 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo – Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo. 2010.

33. ORDOÑEZ, R. E. C. Soldagem Caracterização das Propriedades Mecânicas de dutos de Aço API 5L X80 com diferentes arames tubulares, 2004. 130 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2004.
34. HILLENBRAND, H. G.; GRAF, M.; KALWA, C. Development and production of high strength pipeline steels. Niobium 2001. Orlando, Florida, USA. Dezembro 2001. 29p.
35. TERADA, Y. et.Al. Development of API X100 UOE Line Pipe. Nippon Steel Technical Report nº 72. Janeiro 1997.
36. RAY, J.M.; PONTREMOLI, M. Metallurgical options for API grade X70 and X80 linepipe. In: International Conference Pipe Technology, Rome-Italy, Nov. 1987.
37. JENNEY, C. L. (Editor), O'BRIEN, A. (Editor) – "AWS Welding Handbook, Volume 1 – Welding Science and Technology", 9ª. Edição, American Welding Society, EUA, pg 573, 2001.
38. BOTT, I. S. et Al. High-Strength Steel Development for Pipelines: A Brazilian Perspective. Metallurgical and Materials Transactions A, Vol 36A, p. 443 – 454. 2005.
39. PALMER, A. C.; KING, R. A. Subsea Pipeline Engineering. 2º Ed. PennWell Books, 2008. 575 p.
40. SAMPATH, K. An understanding of HSLA-65 plate steels. Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 15, p. 32-40, February 2006.
41. WELDING of Pipelines and Related Facilities: API Standard 1104. American Petroleum Institute. 21º Ed. Washington. 118 p. 2013.

42. STANDARD Terminology Relating to Metallography: ASTM E 7. American Society for Testing and Materials. Estados Unidos. 33 p. 2003 (Reaprovada 2009).
43. STANDARD Test Method for Determining Average Grain Size: ASTM E 112. American Society for Testing and Materials. Estados Unidos. 28 p. 2013.
44. STANDARD Guide for Preparation of Metallographic Specimens: ASTM E 3. American Society for Testing and Materials. Estados Unidos. 13 p. 2011.
45. STANDARD Test Method for Atomic Emission Vacuum Spectrometric Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel: ASTM E 415. American Society for Testing and Materials. Estados Unidos. 13 p. 2008.
46. STANDARD Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials: ASTM E 92. American Society for Testing and Materials. Estados Unidos. 9 p. 1982 (Reaprovada 2003)^{e2}.
47. STANDARD Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products: ASTM A 370. American Society for Testing and Materials. Estados Unidos. 48 p. 2012.

ANEXO I – Certificado do metal de base

CERTIFICADO DE QUALIDADE DE TUBOS QUALITY CERTIFICATE OF PIPES CERTIFICADO DE CALIDAD DE TUBERIAS

Av Gastao Vidigal Neto, 475
(12414-900) Cidade Nova
Pindamonhangaba, SP, Brasil
(55) 12 244 9040 tel
(55) 12 244 9384 fax

PAIS DE ORIGEM:
COUNTRY OF OR
PAIS DE ORIGEN
DESTINO:
DESTINATION

BRASIL

PRODUTO: TUBOS DE AÇO CARBONO FABRICADOS PELO PROCESSO PRODUCT: CARBON STEEL PIPES MANUFACTURED BY THE PROCESS PRODUCTO: TUBERIAS DE ACERO AL CARBONO FABRICADOS POR EL PROCESO	PCN 845.52.0003/01 AFM 540.72.0332/01	22780 19 001	015
CERTIFICAMOS QUE TODOS OS TUBOS FABRICADOS PARA A OBRA. IT IS HEREBY CERTIFIED THAT ALL PIPES MADE TO MILL PRODUCTION NO. CERTIFICAMOS QUE TODOS LOS TUBOS FABRICADOS PARA LA OBRA N°	DT - 22.780	22780 19 001	015
COM DIÁMETRO EXTERNO WITH OUTSIDE DIAMETER CON DIÁMETRO EXTERNO	18"	22780 19 001	015
PERIFAZENDO UM TOTAL DE IN A TOTAL OF POR UN TOTAL DE	93	22780 19 001	015
ESPESSURA WALL THICKNESS ESPESOR	0,460"	22780 19 001	015
PEÇAS COM COMPRIMENTO TOTAL DE PIECES WITH TOTAL LENGTH UNIDADES PARA UNA LONGITUD TOTAL DE	1.089,975 m	22780 19 001	015
COMPRIMENTO INDIVIDUAL AND INDIVIDUAL LENGTH Y LONGITUD INDIVIDUAL	12,0 m (NOMINAL)	22780 19 001	015
PESO TOTAL DE AND TOTAL WEIGHT Y PESO TOTAL DE	140.043 kg	22780 19 001	015

FORAM FABRICADOS, INSPECIONADOS E APROVADOS CONFORME A ESPECIFICAÇÃO
WERE MANUFACTURED, INSPECTED AND APPROVED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATION
FUERON FABRICADOS, INSPECCIONADOS Y APROBADOS DE ACUERDO CON LA ESPECIFICACIÓN

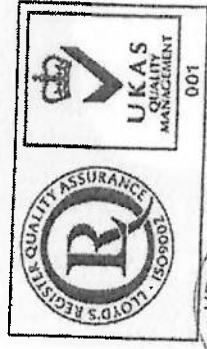
API 5L - 2000 - GRAU X65 PSL1

(MINIMO) 2.820 psi

TESTE (S) NÃO DESTRUTIVOS (S)
NON DESTRUCTIVE TEST (S)
TEST (S) NO DESTRUCTIVO (S)

ULTRA SOM - PADRÃO DE REFERÊNCIA
CHANFRO N10 E FURO Ø 3,2 mm

Temperatura Mínima 970 °C



OS RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS E ENSAIOS MECÂNICOS ENCONTRAM-SE
REPORTADOS NOS REGISTROS DE N° 110736 Rev.00

THE CHEMICAL ANALYSIS RESULTS AND THE MECHANICAL TEST RESULTS ARE
RECORDED ON THE REPORTS NO.

LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS QUÍMICOS Y LOS RESULTADOS DE PRUEBAS
MECÂNICAS SE ENCUENTRAN REGISTRADOS EN LOS REPORTES N°

CERTIFICADO N° CERTIFICATE N°	202 290 029 1/2 - 2/2 Rev.: 02	DATA E LOCAL DE EMISSÃO DATE AND SITE FECHA Y LOCAL DE EMISIÓN	REVISÃO REVISION REVISION	00997/02
Inspeção: Eng. João D. ... CREA: ... Inspeção: ...				
REVIEWED UNDER CONTRACTUAL CONDITIONS DATE 200302 B.V. REF: 01-0521-20 ISO 9002 VERITAS NO COMMENT				
REVIEWED UNDER CONTRACTUAL CONDITIONS DATE 200302 B.V. REF: 01-0521-20 ISO 9002 VERITAS NO COMMENT				



PAIS DE ORIGEM: COUNTRY OF ORIGIN PAIS DE ORIGEN	DESTINO: DESTINATION
BR/	

015

22780 19 001

DT - 22.780

APLICAÇÃO

— CERTIFICAMOS QUE TODOS OS TUBOS REVESTIDOS PARA A OBRA Nº
IT IS HEREBY CERTIFIED THAT ALL PIPES COATED TO MILL MANUFACTURING ORDER NO.
— CERTIFICAMOS QUE TODOS LOS TUBOS REVESTIDO PARA LA OBRA Nº

PCN 845 52 0003/01 AFM 540.72.0332/01

SOB O CONTRATO Nº _____
 UNDER THE CONTRACT NO

 SOB O CONTRATO Nº _____

DESTINADO(S) A _____
 PARA O FIM DE _____
 DESTINADO(S) A _____

0.450"

ESPESSURA
WALL THICKNESS
ESPESOR

18

COM DIÂMETRO EXTERNO
WITH OUTSIDE DIAMETER
COM DIÂMETRO EXTERNO

COMPRIMENTO INDIVIDUAL
E INDIVIDUAL LENGTH
Y LONGITUD INDIVIDUAL

12.0 m (NOMINAL)

PETROLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS

FT-FRUIT-REVESTIMENTO-002 REV.0 - REVESTIMENTO EXTERNO POLIETILENO EXTRUDADO TRIPLA CAMAI

FORAM REVESTIDOS, INSPECCIONADOS E APROVADOS CONFORME A ESPECIFICAÇÃO
WIERE COATED, INSPECTED AND APPROVED IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFICATION
FUERON REVESTIDOS, INSPECCIONADOS Y APROBADOS DE ACUERDO CON LA ESPECIFICACIÓN

水 火 土 金 木

PER-AZENIO UNITS TOTAL-DE
IN A TOTAL OF
FOR 1 IN TOTAL-DE

25

PEÇAS COM COMPRIMENTO TOTAL DE
PIECES WITH TOTAL LENGTH

1.089.925 m

Y ESPECIFICACIONES SUPLEMENTARIAS

RISER, ADO

TIPO DE EXTREMIDADE
TYPE OF PIPE ENDS

ALL THE PIPES CERTIFIED BY THIS DOCUMENT , AS WELL AS THEIR
TODOS OS TUBOS CERTIFICADOS POR ESTE DOCUMENTO.

ASSIM COMO SEUS CÓDIGOS E COMPRIMENTOS INDIVIDUAIS, INDIVIDUAL CODES AND LENGTHS, ARE RECORDED ON THE INDIVIDUALS. COMO SEUS CÓDIGOS Y LONGITUDES INDIVIDUALES.

ENCONTRAM-SE RELACIONADOS NOS AVISOS DE LIBERAÇÃO DE TUBOS REVESTIDOS.

PIPE COATING DELIVERY LIST / PACKING LIST NO.

Form 100-200 070 - 1/2 - 2/2 Rev.: 02

CERTIFICADO No. CERTIFICATE No.	REVISÃO REVISION	DATA E LOCAL DE EMISSÃO DATE AND SITE
------------------------------------	---------------------	--

INSPECTION • INSPECCIÓN

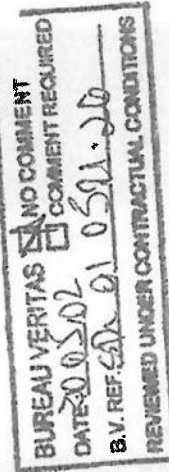
BUREAU VERITAS

GERENTE DE CONTROLE DE QUALIDADE
QUALITY CONTROL MANAGER

QUALITY CONTROL # 4000
GERENTE DE CONTROL DE CALIDAD
ALBA ROSA MATEO - matroja1311-1



QUALITY SYSTEM CERTIFIED
STANDARD ISO 9002



INVESTIGACION - BUREAU



REGISTRO DE ENSAIO DE TRAÇÃO E DOBRAMENTO GUIADO / GUIDED BEND TEST															DOBRAMENTO GUIADO / GUIDED BEND TEST									
IDENTIFICAÇÃO / IDENTIFICATION			TESTE DE TRAÇÃO / TENSILE TEST										LOTE 1 A 50 / LOT 1 TO 50				LOTE 51 A 100 / LOT 51 TO 100				LOTE 101 A 150 / LOT 101 TO 150			
			METAL DE BASE / BASE METAL					SOLDA / WELD					FACE		RAIZ		FACE		RAIZ		FACE		RAIZ	
LA8 Nr	CORRIDA Nº HEAT Nc.	TUBO Nº PIPE Nr.	LE / YS MPa	LR / UTS MPa	LELR - YU Ratio	AI / EI %	LR / UTS MPa	LE / YS psi	LR / UTS psi	LELR - YU Ratio	AI / EI %	LR / UTS psi	LR / UTS psi	FACE	RAIZ	FACE	RAIZ	FACE	RAIZ	FACE	RAIZ	FACE	RAIZ	
1	474835	01 1 447404	561	693	NR	30.5	688	NR	81,337	100,526	NR	30.5	99,799	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
2	470327	01 1 447804	523	664	NR	33.3	694	NR	75,828	96,251	NR	33.3	100,597	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	
REMARKS : 1) NR=NÃO REQUERIDO / NOT REQUIRED 2)TESTE CONFORME API 5L / ASTM A 370 (CP PRISMÁTICO)/TESTS ACCORDING TO API 5L / ASTM A 370 (FLAT SPECIMEN).DIREÇÃO: TRANSVERSAL / DIRECTION : TRANSVERSE 3)DOBRAMENTO GUIADO / GUIDED BEND TEST - DIÂMETRO DO MANDRIL / MANDREL DIAMETER : NR																								
															REGISTRO RECORD 110736 LOTE LOT A FOLHA SHEET 01/01 REVISÃO 00									



REGISTRO DE ANÁLISE QUÍMICA / CHEMICAL ANALYSIS RECORD (PRODUTO / PRODUCT)

ELEMENTOS / ELEMENTS

LAB	CORRIDA Nº HEAT Nr	TUBO Nº PIPE Nr	%C	%S	%Al	%Si	%P	%Ti	%V	%Cr	%Mn	%Ni	%Cu	%Nb	%Mo	%B	%Ca	%N	%O	(A)	Pcm	C.E.
1	474835	01 1 447404	0.10	0.003	0.031	0.24	0.019	0.023	0.057	0.016	1.45	0.017	0.009	0.049	0.006	NR	NR	NR	NR	0.13	NR	NR
2	470327	01 1 447804	0.10	0.003	0.034	0.32	0.018	0.017	0.055	0.024	1.50	0.020	0.013	0.056	0.006	NR	NR	NR	NR	0.13	NR	NR

Handwritten signature and stamp
CONFAB
110736
A
01/01
00

110736

REGISTRO / RECORD

LOTE / LOT

FOLHA / SHEET

REVISÃO / REVISION

Pcm = %C + %Si/30 + (%Mn + %Cr + %Cu)/20 + %Ni/60 + %Mo/15 + %V/10 + %B*5
CE = %C + %Mn/5 + (%Cr + %Mo + %V)/5 + (%Ni + %Cu)/15
(A) = %Nb + %V + %Ti

REMARKS:

1) Teste conforme ASTM A 751

Test according to ASTM A 751



REGISTRO DE ANÁLISE QUÍMICA / CHEMICAL ANALYSIS RECORD (PRODUCTO / PRODUCT)

LAB		CORRIDA Nº		TUBO Nº		ELEMENTOS / ELEMENTS																Pcm		C.E.	
Nr		HEAT Nr		PIPE Nr		%C	%S	%Al	%Si	%P	%Ti	%V	%Cr	%Mn	%Ni	%Cu	%Nb	%Mo	%B	%Ca	%N	%O	(A)		
1		474835		01 1 447405		0.11	0.002	0.033	0.25	0.017	0.021	0.055	0.015	1.46	0.016	0.010	0.047	0.005	NR	NR	NR	NR	0.12	NR	NR
2		470327		01 1 447805		0.10	0.003	0.032	0.30	0.017	0.018	0.052	0.022	1.48	0.019	0.011	0.054	0.005	NR	NR	NR	NR	0.12	NR	NR



DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE
REGISTRO DE TESTE DE LABORATÓRIO - MATÉRIA PRIMA

RECEBIMENTO DE MATÉRIA PRIMA

1) FBE PRIMER : GLASPÓ BASEPOX CINZA HGT - 0681-7179

MÉTODO DE TESTE: CAN/CSA - Z245.20-M92

FORNECEDOR	LOTE No.	TEOR DE UMIDADE %	GEL TIME 205°C (s)	DSC	
				TG 1 (°C)	TG 2 (°C)
BASF	357773	0,44	27	53,21	100,36

2) ADESIVO: EMB 206D FUSABOND

MÉTODO DE TESTE: ASTM D 1238 (190°C/ 2,16Kg)

FORNECEDOR	LOTE No.	ÍNDICE DE FLUIDEZ (g/10 min.)
DU PONT	NI 305	4,50

3) POLIETILENO: PEAD GM 5240 PR

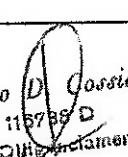
MÉTODO DE TESTE: ASTM D 1238 (190°C/ 2,16Kg)

FORNECEDOR	LOTE No.	ÍNDICE DE FLUIDEZ (g/10 min.)
IPIRANGA	395	0,25

OBSERVAÇÕES:


LUIZ CARLOS NEVES
Coordenador de C.Q.
Matr.: 19126-4
LABORATÓRIO

REPRESENTANTE DO CLIENTE


Eng.º João D. Cassia
CREA 118785/D
Inspeção e dimensionamento

REGISTRO: 290022
FOLHA: 02/02
REVISÃO: 00



DEP. DE CONTROLE DE QUALIDADE
LABORATÓRIO

FOLHA DE CAPA

REGISTRO DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO Nr.: 290022

CLIENTE: PETROLEO BRASILEIRO S.A - PETROBRAS

OBRA : 22780 19 001

DIMENSÕES: 18" X 0,460"

ESPECIFICAÇÃO DO CLIENTE: ET-EDUT-REVESTIMENTO-002 REV 0

SISTEMA DE REVESTIMENTO : TRIPLA CAMADA

CONTEUDO

REGISTRO DE ENSAIO DE LABORATÓRIO - PRODUÇÃO

FOLHA 01/02

REGISTRO DE ENSAIO DE LABORATÓRIO - MATÉRIA PRIMA

FOLHA 02/02

RFM. 540.72.0332/01-18-15.

CONTROLE DE REVISÃO

NÚMERO	DATA DE EMISSÃO	REVISÃO
00	16/01/02	Emissão original

APROVADO


LUIZ CARLOS NEVES
Coordenador de C.Q.
Matr.: 19126-4



DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE

REGISTRO DE TESTE DE LABORATÓRIO - PRODUÇÃO

RESULTADOS DOS TESTES

AMOSTRA TUBO N.º	DATA PRODUÇÃO	TURNO	POLIETILENO		DESCOLAMENTO CATÓDICO R (mm)	FLEXIBILIDADE 2,5° PD (0°C)	RESISTÊNCIA AO IMPACTO (5 J/mm)	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO (mm)	TRAÇÃO		DUREZA (shore D)
			FORNECEDOR	TIPO					ALONGAMENTO (%)	TENSÃO DE ESCOAMENTO (Mpa)	
01 1 447601	28/12/2001	2º	IPIRANGA	GM 5240 PR	9,1	OK	---	---	---	---	---
01 1 470803	28/12/2001	2º	IPIRANGA	GM 5240 PR	---	---	---	0,12	684	20,8	64

OBSERVAÇÕES :

LUIZ CARLOS NEVES
Coordenador de C.Q.
Matr.: 19126-4

LABORATÓRIO

LUIZ CARLOS NEVES
Coordenador de C.Q.
Matr.: 19126-4

REPRESENTANTE DO CLIENTE

REGISTRO: 290022
FOLHA: 01/02
REVISÃO: 00

**Fábrica I****CONFAB TUBOS - Pindamonhangaba****Departamento de Controle da Qualidade****Aviso de Liberação do Revestimento 4****Produto****Número: 202290029***** Casing * Tubo****Revisão: 2**

1/2

Cliente: PETROLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS**Identificador: PCM 845.52.0003/01 AFM 540.72.0332/01****Dimensões: 18,000 " X 0,460 " X 12.000 mm****Especificação: API 5L-2000 / X65 - PSL1****Processo de Fabricação: ERW****Aplicação: 22780 19 001****Destino: GUARULHOS****Extremidades: BISELADA****Subitem: 015****Material de Revestimento: POLIETILENO****ET-EDUT-REVESTIMENTO-002 REV.0****Quantidade de Tubos: 50 Peso Total: 74.135 (kg) Comprimento Total: 577.065 (mm) Peso Teórico Total: 74.143 (mm)****Inspeção: BUREAU VERITAS**

Nº Tubo Terceiro	Nº do Tubo	Corrida	Bobina	Peso	Compr	P./Q./Lote	Peso Teórico
	01 1 447402	474835 U	347087009 U	1.527	11.890		1.528
	01 1 447404	474835 U	347087009 U	1.567	12.200		1.567
	01 1 447405	474835 U	347087009 U	1.557	12.120		1.557
	01 1 447406	474835 U	347087009 U	1.562	12.160		1.562
	01 1 447407	474835 U	347087009 U	1.582	12.310		1.582
	01 1 447408	474835 U	347087009 U	1.582	12.320		1.583
	01 1 447502	474835 U	347085004 U	1.529	11.900		1.529
	01 1 447503	474835 U	347085004 U	1.493	11.620		1.493
	01 1 447504	474835 U	347085004 U	1.520	11.830		1.520
	01 1 447505	474835 U	347085004 U	1.449	11.280		1.449
	01 1 447506	474835 U	347085004 U	1.494	11.630		1.494
	01 1 447507	474835 U	347085004 U	1.505	11.720		1.506
	01 1 447508	474835 U	347085004 U	1.516	11.800		1.516
	01 1 447601	474835 U	347082002 U	1.341	10.440		1.341
	01 1 447602	474835 U	347082002 U	1.549	12.060		1.549
	01 1 447603	474835 U	347082002 U	1.579	12.290		1.579
	01 1 447605	474835 U	347082002 U	1.584	12.335		1.585
	01 1 447606	474835 U	347082002 U	1.578	12.280		1.578
	01 1 447609	474835 U	347082002 U	1.565	12.180		1.565
	01 1 447701	474835 U	347086001 U	1.429	11.120		1.429
	01 1 447702	474835 U	347086001 U	1.537	11.960		1.537
	01 1 447704	474835 U	347086001 U	1.376	10.710		1.376
	01 1 447705	474835 U	347086001 U	1.531	11.920		1.531
	01 1 447707	474835 U	347086001 U	1.146	8.920		1.146
	01 1 447802	470327 U	347083000 U	1.548	12.050		1.548
	01 1 447803	470327 U	347083000 U	1.553	12.095		1.554
	01 1 447804	470327 U	347083000 U	1.565	12.180		1.565
	01 1 447806	470327 U	347083000 U	1.568	12.205		1.568
	01 1 447808	470327 U	347083000 U	1.465	11.400		1.465
	01 1 447809	470327 U	347083000 U	1.411	10.980		1.411
	01 1 447810	470327 U	347083000 U	1.348	10.490		1.348
	01 1 447901	474835 U	348681008 U	1.372	10.680		1.372
	01 1 447902	474835 U	348681008 U	1.444	11.240		1.444
	01 1 447903	474835 U	348681008 U	1.443	11.230		1.443
	01 1 447904	474835 U	348681008 U	1.440	11.210		1.440
	01 1 447905	474835 U	348681008 U	1.404	10.930		1.404
	01 1 447906	474835 U	348681008 U	1.411	10.980		1.411
	01 1 447907	474835 U	348681008 U	1.415	11.010		1.415
	01 1 447908	474835 U	348681008 U	1.485	11.560		1.485
	01 1 447909	474835 U	348681008 U	1.469	11.430		1.469
	01 1 447910	474835 U	348681008 U	1.464	11.400		1.465
	01 1 447911	474835 U	348681008 U	1.538	11.970		1.538
	01 1 448001	470327 U	356156005 U	1.430	11.130		1.430
	01 1 448002	470327 U	356156005 U	1.485	11.560		1.485
	01 1 448003	470327 U	356156005 U	1.496	11.640		1.496
	01 1 448004	470327 U	356156005 U	1.461	11.370		1.461
	01 1 448005	470327 U	356156005 U	1.487	11.580		1.488
	01 1 448006	470327 U	356156005 U	1.477	11.500		1.478
	01 1 448007	470327 U	356156005 U	1.431	11.140		1.431
	01 1 448009	470327 U	356156005 U	1.427	11.110		1.427

Eng.º *[Assinatura]* D. Cassia
CREA 118738 D
Diligenciamento 431

Observações:**Revisão:****Inspeção por Holiday: 25.000 Volts****Data: 23/01/2002****Inspeção****Supervisor E.Q.****JOSE PATRICIO MONTEIRO JUNIOR****Joaquim Carlos Ferreira Paço****Técnico Controle da Qualidade****Matrícula: 15347-A**

**Fábrica I**

CONFAB TUBOS - Pindamonhangaba
Departamento de Controle da Qualidade
Aviso de Liberação do Revestimento 4

Produto **Número: 202290029**
*** Casing * Tubo** **Revisão: 2**

Cliente: PETROLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS
Edição: PCM 845.52.0003/01 AFM 540.72.0332/01

Dimensões: 18,000 " X 0,460 " X 12.000 mm

Especificação: API5L-2000 / X65 - PSL1

Processo de Fabricação: ERW

Aplicação: 22780 19 001

Destino: GUARULHOS

Extremidades: BISELADA

Subitem: 015

Tipo de Revestimento: POLIETILENO

ET-EDUT-REVESTIMENTO-002 REV.0

Nº de Tubos: 43

Peso Total: 65.908 (kg)

Comprimento Total: 512.860 (mm)

Peso Teórico Total: 65.894 (mm)

Inspeção: BUREAU VERITAS

Nº Tubo Terceiro	Nº do Tubo	Corrida	Bobina	Peso	Compr P./Q./Lote	Peso Teórico
	01 1 448010	470327 U	356156005 U	1.565	12.220	1.570
	01 1 448101	470327 U	347084007 U	1.403	10.920	1.403
	01 1 448102	470327 U	347084007 U	1.501	11.680	1.501
	01 1 448103	470327 U	347084007 U	1.553	12.090	1.553
	01 1 448104	470327 U	347084007 U	1.552	12.080	1.552
	01 1 448105	470327 U	347084007 U	1.544	12.020	1.544
	01 1 448106	470327 U	347084007 U	1.552	12.080	1.552
	01 1 448107	470327 U	347084007 U	1.538	11.970	1.538
	01 1 448108	470327 U	347084007 U	1.481	11.530	1.481
	01 1 448109	470327 U	347084007 U	1.501	11.680	1.501
	01 1 448110	470327 U	347084007 U	1.543	12.010	1.543
	01 1 448202	474835 U	347088006 U	1.442	11.220	1.442
	01 1 448203	474835 U	347088006 U	1.444	11.240	1.444
	01 1 448204	474835 U	347088006 U	1.474	11.470	1.474
	01 1 448205	474835 U	347088006 U	1.483	11.540	1.483
	01 1 448206	474835 U	347088006 U	1.478	11.500	1.478
	01 1 448207	474835 U	347088006 U	1.484	11.550	1.484
	01 1 448208	474835 U	347088006 U	1.536	11.960	1.536
	01 1 448301	474835 U	347080008 U	1.493	11.620	1.493
	01 1 448303	474835 U	347080008 U	1.554	12.100	1.554
	01 1 448304	474835 U	347080008 U	1.561	12.150	1.561
	01 1 448305	474835 U	347080008 U	1.555	12.100	1.555
	01 1 448306	474835 U	347080008 U	1.591	12.380	1.591
	01 1 448307	474835 U	347080008 U	1.567	12.200	1.567
	01 1 448308	474835 U	347080008 U	1.581	12.310	1.581
	01 1 448309	474835 U	347080008 U	1.558	12.130	1.558
	01 1 448310	474835 U	347080008 U	1.603	12.260	1.603
	01 1 448401	474835 U	347089003 U	1.453	11.315	1.453
	01 1 448402	474835 U	347089003 U	1.558	12.130	1.558
	01 1 448403	474835 U	347089003 U	1.555	12.100	1.555
	01 1 448404	474835 U	347089003 U	1.522	11.850	1.522
	01 1 448405	474835 U	347089003 U	1.562	12.160	1.562
	01 1 448406	474835 U	347089003 U	1.565	12.180	1.565
	01 1 448407	474835 U	347089003 U	1.583	12.320	1.583
	01 1 448408	474835 U	347089003 U	1.562	12.160	1.562
	01 1 448409	474835 U	347089003 U	1.576	12.270	1.576
	01 1 448501	474835 U	356155008 U	1.499	11.670	1.499
	01 1 448502	474835 U	356155008 U	1.553	12.090	1.553
	01 1 448504	474835 U	356155008 U	1.552	12.085	1.552
	01 1 448506	474835 U	356155008 U	1.555	12.110	1.555
	01 1 448507	474835 U	356155008 U	1.581	12.310	1.581
	01 1 448508	474835 U	356155008 U	1.554	12.100	1.554
	01 1 448510	474835 U	356155008 U	1.541	12.000	1.541

João D. Cossia
 13/03/02
 Encargado

Observações:

Revisão:

Inspeção por Holiday: 25.000 Volts

Inspeção

Supervisor E.Q.

JOSE PATRICIO MONTEIRO JUNIOR

Joaquim Carlos Ferreira
 Técnico Controle da Qualidade
 Matrícula: 15347-8

Data: 23/01/2002

ANEXO II – Certificado do eletrodo revestido

CERTIFICADO DA QUALIDADE WERKSZEUGNIS / WORKS CERTIFICATE

Certificado emitido por processamento de dados conforme EN 10.204-2.2

Certificado
Werkzeugnis
Certificate
00448511

Pedido No
Auftrag Nr
Order No.

Corrida
Charge
Heat No.
1208047

Empresa
Firma
Firm
ELETROSOLDA-COMERCIO E

Material
Werkstoff
Material
FOX EV 50 3,2

ASME 5.1/5.1M:2010 - A2011 E 7018-1/7018H4
AWS A5.1/5.1M:2004 E 7018-1/7018H4
DIN 1913 E51-55 B10: E51-55 B10

Fatura / NF
Rechnungs - Nr
Invoice No.
00067934

Qtde
60,000

Análise Química %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	-
0,066	0,450	1,080	0,019	0,011	0,033	0,013	0,026	0,010	-

Ensaio Mecânicos

Limite Elástico
Streckgrenze
Yield Strength

531 MPA

Resistencia à Tração
Zugfestigkeit
Tensile Strength

619 MPA

Alongamento
Dehnung
Elongation

Resistencia ao Impacto
Kerbschlagarbeit
Impact

Dureza
Härte
Hardness

São Paulo, 6 de setembro de 2012

Fabricado e inspecionado em: agosto / 2012

RADIOGRAFIA E TESTE DE FILETE: ATENDEM AOS REQUISITOS DA NORMA.

RESISTENCIA AO IMPACTO: VALOR MINIMO INDIVIDUAL > QUE 27J A -45 GRAUS CELSIUS

VALIDADE: 24 MESES APOS FABRICACAO OU 10 HORAS DE RESSECAGEM

HIDOGENIO DIFUSIVEL ATENDE H4 (menor que 4ml/100g metal depositado)

Impresso por computador, válido sem assinatura

CQ-063 / REV.04-09/2007

Böhler Técnica de Soldagem Ltda.

Böhler Técnica de Soldagem Ltda.
Consultoria Técnica: 0800 119002

Site: www.btwbr.com.br

Sistema de garantia da qualidade certificado para ISO 9001 - 2000 pelo BRTUV

CEP 04591-060 - São Paulo - SP
Tel: +55 (11) 5694-6377 - Fax: (11) 5631-4682
E-mail: info@btwbr.com.br

Rio de Janeiro +55 (21) 2270-3934
Belo Horizonte +55 (31) 3413-4050
Porto Alegre +55 (51) 3337-4646
Florianópolis +55 (41) 3085-9977

Salvador 0800 72 66 120
Belém 0800 08 11 766
Ribeirão Preto 0800 77 28 702

FULFILLING HIGH DEMANDS



**ANEXO III – Certificados de instrumentos utilizados para
acompanhamento de soldagem**



Instrumentos de Medição Ltda.

EMPRESA CERTIFICADA ISO-9001:2008

AL-03

Folha
1/4

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N°. 10.686/13

Solicitante : PETROLEO BRASILEIRO S/A – PETROBRAS
Endereço : Avenida Orlando Bérnago, S/N° -Guarulhos / SP

Instrumento : Alicete Amperímetro Digital

Referência : ET-3860

Ordem de Serviço : 17.454/25

Série : ET386004518

Local da Calibração :

Fabricante : Minipa

Identif. : AL-03

Watec ☒ Solicitante ☐

1. Procedimento de Calibração :

VGTMIE-001 Revisão: 02 (A calibração foi realizada por comparação direta)

2. Padrão de Referência Utilizado :

2.1	Padrão : Calibrador Multifunção	N° Certificado : 1132/2013	Próxima Calibração : jul/2014
	Órgão Calibrador : VEGTRON		
2.2	Padrão : Década Resistiva	N° Certificado : 0214/2013	Próxima Calibração : fev/2014
	Órgão Calibrador : VEGTRON		
2.3	Padrão : Década Resistiva	N° Certificado : LIT06-LIT00-CC-7326	Próxima Calibração : agos/2014
	Órgão Calibrador : INPE (RBC)		
2.4	Padrão : Gerador de Funções	N° Certificado : 0005/2013	Próxima Calibração : jan/2014
	Órgão Calibrador : VEGTRON		
2.5	Padrão : Multímetro Digital	N° Certificado : LIT06-LIT00-CC-7207	Próxima Calibração : jan/2014
	Órgão Calibrador : INPE (RBC)		
2.6	Padrão : Resistor Padrão	N° Certificado : LIT06-LIT00-CC-7057	Próxima Calibração : jun/2014
	Órgão Calibrador : INPE (RBC)		

3. Registros das Medições:

Faixa de Medição: 0 a 4 V CC

Exatidão: $\pm$ (1% do valor de leitura $\pm$ 3 dígito(s))

Valores Encontrados

Instrumento Volt	Padrão Volt	Erro Volt	Incerteza Volt	K
1,000	1,00002	-0,00002	0,00058	2,00
2,001	2,00004	0,00096	0,00058	2,00
3,002	2,99998	0,00202	0,00058	2,00
3,902	3,89998	0,00202	0,00058	2,00

Faixa de Medição: 0 a 40 V CC

Exatidão: $\pm$ (1% do valor de leitura $\pm$ 3 dígito(s))

Valores Encontrados

Instrumento Volt	Padrão Volt	Erro Volt	Incerteza Volt	K
9,99	9,9999	-0,0099	0,0058	2,00

Faixa de Medição: 0 a 400 V CC

Exatidão: $\pm$ (1% do valor de leitura $\pm$ 3 dígito(s))

Valores Encontrados

Instrumento Volt	Padrão Volt	Erro Volt	Incerteza Volt	K
99,6	99,999	-0,399	0,058	2,00

Faixa de Medição: 0 a 1000 V CC

Exatidão: $\pm$ (1% do valor de leitura $\pm$ 3 dígito(s))

Valores Encontrados

Instrumento Volt	Padrão Volt	Erro Volt	Incerteza Volt	K
503	499,99	3,01	0,58	2,00

Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido a calibração nas condições especificadas, não sendo exclusivo a qualquer lote. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS

WATEC - Instrumentos de Medição Ltda - Rua Antônio de Couros, 178 CEP 02726-000 - Vila Palmeiras
São Paulo - SP - Fones/Fax: (11) 3931-3124 / 3931-9082 / 3932-3987 / 3932-6900

E-mail: vendas@watec.com.br

Home Page: www.watec.com.br



Instrumentos de Medição Ltda.

EMPRESA CERTIFICADA ISO-9001:2008

Folha
2/4

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N°. 10.686/13

Faixa de Medição: 0 a 4 V CA

Exatidão: $\pm (1,5\% \text{ do valor de leitura} \pm 5 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento Volt	Padrão Volt	Erro Volt	Incerteza Volt	K
1,006	1,0000	0,0060	0,0012	2,00
2,009	2,0000	0,0090	0,0049	2,00
3,010	3,0000	0,0100	0,0056	2,00
3,906	3,9000	0,0060	0,0062	2,00

Faixa de Medição: 0 a 40 V CA

Exatidão: $\pm (1,5\% \text{ do valor de leitura} \pm 5 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento Volt	Padrão Volt	Erro Volt	Incerteza Volt	K
10,05	10,000	0,050	0,012	2,00

Faixa de Medição: 0 a 400 V CA

Exatidão: $\pm (1,5\% \text{ do valor de leitura} \pm 5 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento Volt	Padrão Volt	Erro Volt	Incerteza Volt	K
100,2	100,00	0,20	0,12	2,00

Faixa de Medição: 0 a 750 V CA

Exatidão: $\pm (1,5\% \text{ do valor de leitura} \pm 5 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento Volt	Padrão Volt	Erro Volt	Incerteza Volt	K
503	500,00	3,00	0,84	2,00

Faixa de Medição: 0 a 400 A CC

Exatidão: $\pm (2\% \text{ do valor de leitura} \pm 5 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento A	Padrão A	Erro A	Incerteza A	K
99,0	100,18	-1,18	0,10	2,00
199,0	200,24	-1,24	0,18	2,00
298,9	300,09	-1,19	0,26	2,00
388,2	390,05	-1,85	0,34	2,00

Faixa de Medição: 0 a 1000 A CC

Exatidão: $\pm (2,5\% \text{ do valor de leitura} \pm 5 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento A	Padrão A	Erro A	Incerteza A	K
496	499,92	-3,92	0,72	2,00

Faixa de Medição: 0 a 400 A CA

Exatidão: $\pm (2\% \text{ do valor de leitura} \pm 5 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento A	Padrão A	Erro A	Incerteza A	K
100,1	99,99	0,11	0,12	2,00
200,4	200,22	0,18	0,20	2,00
300,6	300,21	0,39	0,29	2,00
389,9	390,00	-0,10	0,37	2,00

Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido a calibração nas condições especificadas, não sendo exclusivo a qualquer lote. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS

WATEC - Instrumentos de Medição Ltda - Rua Antônio de Couros, 178 CEP 02726-000 - Vila Palmeiras
São Paulo - SP - Fones/Fax: (11) 3931-3124 / 3931-9082 / 3932-3987 / 3932-6900

E-mail: vendas@watec.com.br

Home Page: www.watec.com.br



Instrumentos de Medição Ltda.

EMPRESA CERTIFICADA ISO-9001:2008

Folha
3/4

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N°. 10.686/13

Faixa de Medição: 0 a 1000 A CA

Exatidão: $\pm (2,5\% \text{ do valor de leitura} \pm 5 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento A	Padrão A	Erro A	Incerteza A	K
500	499,99	0,01	0,75	2,00

Faixa de Medição: 0 a 400 Ohms

Exatidão: $\pm (1\% \text{ do valor de leitura} \pm 3 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento Ohms	Padrão Ohms	Erro Ohms	Incerteza Ohms	K
99,6	100,023	-0,423	0,058	2,00
199,3	200,036	-0,736	0,061	2,00
299,2	300,048	-0,848	0,061	2,00
388,9	390,079	-1,179	0,061	2,00

Faixa de Medição: 0 a 4 kOhms

Exatidão: $\pm (1\% \text{ do valor de leitura} \pm 3 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento kOhms	Padrão kOhms	Erro kOhms	Incerteza kOhms	K
0,997	1,00067	-0,00367	0,00058	2,00

Faixa de Medição: 0 a 40 kOhms

Exatidão: $\pm (1\% \text{ do valor de leitura} \pm 3 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento kOhms	Padrão kOhms	Erro kOhms	Incerteza kOhms	K
9,98	10,0024	-0,0224	0,0058	2,00

Faixa de Medição: 0 a 400 kOhms

Exatidão: $\pm (1\% \text{ do valor de leitura} \pm 3 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento kOhms	Padrão kOhms	Erro kOhms	Incerteza kOhms	K
99,6	99,989	-0,389	0,058	2,00

Faixa de Medição: 0 a 4 MOhms

Exatidão: $\pm (1,2\% \text{ do valor de leitura} \pm 3 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento MOhms	Padrão MOhms	Erro MOhms	Incerteza MOhms	K
0,994	1,00005	-0,00605	0,00058	2,00

Faixa de Medição: 0 a 40 MOhms

Exatidão: $\pm (1,5\% \text{ do valor de leitura} \pm 3 \text{ digito(s)})$

Valores Encontrados

Instrumento MOhms	Padrão MOhms	Erro MOhms	Incerteza MOhms	K
9,97	9,9998	-0,0298	0,0090	2,00

Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido a calibração nas condições especificadas, não sendo exclusivo a qualquer lote. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS

WATEC - Instrumentos de Medição Ltda - Rua Antônio de Couros, 178 CEP 02726-000 - Vila Palmeiras

São Paulo - SP - Fones/Fax: (11) 3931-3124 / 3931-9082 / 3932-3987 / 3932-6900

E-mail: vendas@watec.com.br

Home Page: www.watec.com.br



Instrumentos de Medição Ltda.

EMPRESA CERTIFICADA ISO-9001:2008

Folha
4/4

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N°. 10.686/13

Faixa de Medição: 0 a 100 Hz

Exatidão: $\pm$ (1% do valor de leitura $\pm$ 3 dígito(s))

Valores Encontrados

Instrumento Hz	Padrão Hz	Erro Hz	Incerteza Hz	K
24,99	25,0000	-0,0100	0,0058	2,00
49,99	50,0001	-0,0101	0,0058	2,00
74,99	75,0002	-0,0102	0,0058	2,00
89,99	90,0003	-0,0103	0,0058	2,00

Faixa de Medição: 0 a 1 kHz

Exatidão: $\pm$ (1% do valor de leitura $\pm$ 3 dígito(s))

Valores Encontrados

Instrumento kHz	Padrão kHz	Erro kHz	Incerteza kHz	K
0,4998	0,500002	-0,000202	0,0000058	2,00

Faixa de Medição: 0 a 10 kHz

Exatidão: $\pm$ (1% do valor de leitura $\pm$ 3 dígito(s))

Valores Encontrados

Instrumento kHz	Padrão kHz	Erro kHz	Incerteza kHz	K
4,998	5,00000	-0,00200	0,00058	2,00

Faixa de Medição: 0 a 100 kHz

Exatidão: $\pm$ (1% do valor de leitura $\pm$ 3 dígito(s))

Valores Encontrados

Instrumento kHz	Padrão kHz	Erro kHz	Incerteza kHz	K
49,98	50,0001	-0,0201	0,0058	2,00

Faixa de Medição: 0 a 1 MHz

Exatidão: $\pm$ (1% do valor de leitura $\pm$ 3 dígito(s))

Valores Encontrados

Instrumento MHz	Padrão MHz	Erro MHz	Incerteza MHz	K
0,4998	0,500001	-0,000201	0,000058	2,00

4. Obs.:

Foram realizadas 3 (três) medidas em cada ponto de calibração e os valores apresentados correspondem ao valor médio.

A Incerteza expandida declarada é baseada em uma incerteza padronizada combinada, multiplicada pelos fatores de abrangência "k" informados nas tabelas, para um nível de confiança de aproximadamente 95,45%

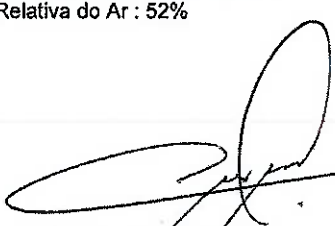
Temperatura Ambiente : 26,1 °C / Umidade Relativa do Ar : 52%

Data do Recebimento do Material: 18/11/2.013

Data da Calibração : 09/12/2.013

São Paulo, 09 de Dezembro de 2.013

Yara Kamila Trindade
Técnico Executor


Wagner Luiz Duzzi
Diretor Técnico

Certificado Válido Até: 12/2.014

Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido a calibração nas condições especificadas, não sendo exclusivo a qualquer lote. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS



PQ-09

Folha
1/1**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N° 10.606/13**

Instrumentos de Medição Ltda.

EMPRESA CERTIFICADA ISO-9001:2008

Interessado : PETROLEO BRASILEIRO S.A - PETROBRAS
Endereço : Avenida Orlando Bérnago, S/N° - Guarulhos / SP

Instrumento : Paquímetro
Capacidade : 0 - 300,00mm
Referência : 530-119
Ordem de Serviço : 17.454/07

Local da Calibração :

Fabricante : Mitutoyo
Valor de 1 divisão : 0,02mm
Identif. : PQ 09

Watec ☒Solicitante ☐**1. Procedimento de Calibração :**

ITW - 012

Revisão: 05

2. Padrão de Referência Utilizado :

- 2.1 Padrão : **Jogo de Blocos Padrão**
N° Certificado : 12865/12 Data da Calibração : 09/2012
Órgão Calibrador : Mitutoyo Sul Americana Ltda
- 2.2 Padrão : **Padrão Micrométrico Escalonado**
N° Certificado : 10274/10 Data da Calibração : 08/2010
Órgão Calibrador : Mitutoyo Sul Americana Ltda

Identificação : WBP-007
Próxima Calibração : set/2015
Credenciado pelo INMETRO n° : 031

Identificação : WPA-001
Próxima Calibração : agos/2015
Credenciado pelo INMETRO n° : 031

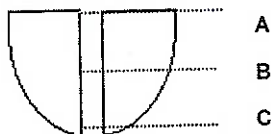
3. Referências Normativas : NBR NM 216**4. Resultados :**

Valor Real (mm)	Valor Verdadeiro Convencional V.V.C. (mm)	
Padrão	Bicos	Desvio
0,000	0,00	0,00
25,000	25,00	0,00
50,000	50,00	0,00
100,000	100,00	0,00
150,000	150,00	0,00
200,000	200,00	0,00
250,000	250,00	0,00
300,000	300,00	0,00

Valor Verdadeiro Convencional V.V.C. (mm)	
Orelhas	Desvio
25,00	0,00
100,00	0,00

Valor Verdadeiro Convencional V.V.C. (mm)	
Haste	Desvio
0,00	0,00
100,00	0,00

Valor Verdadeiro Convencional V.V.C. (mm)	
Ressalto	Desvio
50,00	0,00

5. Paralelismo dos Bicos (mm):

Valor Real [PADRÃO] (mm) = 10,000 A = 10,00 B = 10,00 C = 9,98

6. Incerteza de Medição $\pm$ (mm) : 0,020**7. Obs. :**

Incert. de Med.: Refere-se a um fator de abrang. $k=2$ para um nível de confiança de aprox. 95%
Os resultados apresentados são médias de três medições
Temperatura Ambiente : $20 \pm 2^\circ\text{C}$ / Umidade Relativa do Ar : $54 \pm 5\%$
Data do Recebimento do Material: 18/11/2.013
Data da Calibração : 26/11/2.013

Rogério Duzzi
Técnico Responsável

Wagner Luiz Duzzi
Diretor Técnico

São Paulo, 26 de Novembro de 2.013

Certificado Válido Até: 11/2.014

Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido a calibração nas condições especificadas, não sendo exclusivo a qualquer lote. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DOCUMENTO

WATEC - Instrumentos de Medição Ltda - Rua Antônio de Couros, 178 CEP 02726-000 - Vila Palmeiras
São Paulo - SP - Fones/Fax: (11) 3931-3124 / 3931-9082 / 3932-3987 / 3932-6900
E-mail: vendas@watec.com.br Home Page: www.watec.com.br



Instrumentos de Medição Ltda.

EMPRESA CERTIFICADA ISO-9001:2008

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N°. 10.758/13

Folha
1/1

Interessado : PETROBRÁS TRANSPORTE S/A. TRANSPETRO

Endereço : Av. Orlando Bérnago, S/N° - Guarulhos / SP

Instrumento : Pirômetro Infravermelho

Faixa de Medição : -30...550°C

Resolução Ótica (D:S) : 10:1

Ordem de Serviço : 17.454/27

Local da Calibração :

Watec ☒

Fabricante : Minipa / MT-350

Resolução : 0,5 / 1°C

Identif. : TER-14

Solicitante ☐

1. Procedimento de Calibração :

POT-10

Revisão: 00

2. Padrão de Referência Utilizado :

2.1 Padrão : Termorresistência PT-100 n° TRT-07 N° Certificado : CR-04152/13

Próxima Calibração : março/2014

Órgão Calibrador : RBC/INMETRO

2.2 Padrão : Multímetro Digital 34970A n° EME-03 N° Certificado : 121481-101

Próxima Calibração : dezembro/2013

Órgão Calibrador : RBC/INMETRO

3. Referências Normativas :

ASTM E 1256 - 95 Standard Test Methods for Radiation Thermometers

Pontos de Temperatura baseada na Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90)

4. Resultados :

Valor Verdadeiro Convencional (°C)	Medias das Medições do Objetivo (°C)	Tendência do Objetivo (°C)	Incerteza de Medição ± (°C)
50,0	50,0	0,5	4,0
100,0	99,0	-1,0	4,0
150,0	148,5	-1,5	4,0

Obs: A Emissividade do termômetro utilizada durante a calibração foi de 0.95.

A distância do termômetro ao alvo foi de 300mm

Fator k de abrangência (95,45%) = 2,00

5. Obs. :

A Incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrang. k=2, que para distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02

Os resultados acima apresentados referem-se a uma média de quatro medições subseqüentes

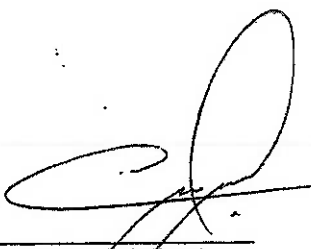
Temperatura Ambiente : 23 ± 5°C

Umidade Relativa: 35 a 75% UR

Data do Recebimento do Material: 18/11/2.013

Data da Calibração : 12/12/2.013

José Carlos Silva Virgolino
Técnico Responsável


Wagner Luiz Duzzi
Diretor Técnico

São Paulo, 12 de Dezembro de 2.013

Certificado Válido Até: 12/2.014

Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido a calibração nas condições especificadas, não sendo exclusivo a qualquer lote. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS



TH-3

Folha
1/1**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N.º 10.760/13**

Instrumentos de Medição Ltda.

EMPRESA CERTIFICADA ISO-9001:2008

Interessado : PETROLEO BRASILEIRO S/A. - PETROBRAS
Endereço : Avenida Orlando Bérnago, S/Nº Guarulhos / SP

Instrumento : Termohigrômetro Digital

Fabricante : Kiltler / Modelo 986-H

Faixa de Medição : 15...95% u.r

Ordem de Serviço : 17.454/20

Local da Calibração :

Resolução : 1% u.r.

Identif. : TH-03

Watec ☒Solicitante ☐**1. Procedimento de Calibração :**

POT-013

Revisão: 00

2. Padrão de Referência Utilizado :

2.2 Padrão : Termohigrometro UR.-01 N° UR.-01 N° Certificado : LV-1761/11

Próxima Calibração : jan/2014 Órgão Calibrador : (RBC) INMETRO

3. Referências Normativas :

ANSI/ASHRAE 41.6/94 - Standard Method for Measurement of Moist Air Properties

Pontos de Temperatura baseada na Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90)

4. Resultados :**Umidade Relativa**

Valor Verdadeiro Convencional	Média das Medições do Objeto	Tendência do Objeto	Incerteza de Medição ±
(%)	(%)	(%)	(%)
40,7	42	1,3	3,0
50,4	52	1,6	3,0
60,5	62	1,5	3,0

5. Obs. :

A Incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrang. $k=2$, que para distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02

Os resultados acima apresentados referem-se a uma média de quatro medições subseqüentes.

Temperatura Ambiente : $23 \pm 5^\circ\text{C}$ / Umidade Relativa: 35 a 75% u.r

Data do Recebimento do Material: 18/11/2.013

Data da Calibração : 12/12/2.013

São Paulo, 12 de Dezembro de 2.013

José Carlos Silva Virgulino
Técnico Responsável

Wagner Luiz Duzzi
Diretor Técnico

Certificado Válido Até: 12/2.014

Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido a calibração nas condições especificadas, não sendo exclusivo a qualquer lote. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N°. 10.761/13

Instrumentos de Medição Ltda.

EMPRESA CERTIFICADA ISO-9001:2008

Interessado : PETROLEO BRASILEIRO S/A. - PETROBRAS
Endereço : Avenida Orlando Bérgamo, S/N° Guarulhos / SP

Instrumento : Termômetro digital com sensor resistivo
Faixa de Medição : OUT: -50...70°C / IN: 0...50°C
Dimensões : não aplicado Referência : 986-H
Ordem de Serviço : 17.454/20 Local da Calibração :

Fabricante : Kitler
Resolução : 0,1°C
Identif. : TH-03
Watec ☒ Solicitante ☐

1. Procedimento de Calibração :

PO-03

Revisão: 02

2. Padrão de Referência Utilizado :

- 2.1 Padrão : Termorresistência PT-100 n° TRT-10 N° Certificado : CR-13358/13
Próxima Calibração : novembro/2014 Órgão Calibrador : RBC/INMETRO
2.2 Padrão : Multímetro Digital HP 34401A n° EME-01 N° Certificado : 118950-101
Próxima Calibração : agosto/2014 Órgão Calibrador : RBC/INMETRO

3. Referências Normativas :

NBR 14610 OUT 2000 – Indicador de temperatura com sensor – Calibração por comparação com instrumento padrão
Pontos de Temperatura baseada na Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90)

4. Resultados :

Sensor Externo "OUT"

Profundidade de Imersão (mm)	Valor Verdadeiro Convencional (°C)	Média das Medições do Objeto (°C)	Tendência do Objeto (°C)	Incerteza de Medição ± (°C)
157	10,02	10,0	-0,02	0,14
157	20,01	20,5	0,49	0,14
157	30,02	30,6	0,58	0,14

Sensor Interno "IN"

Valor Verdadeiro Convencional (°C)	Média das Medições do Objeto (°C)	Tendência do Objeto (°C)	Incerteza de Medição ± (°C)
9,99	9,2	-0,79	0,35
20,00	19,3	-0,70	0,35
30,03	29,2	-0,83	0,35

Obs: Fator k de abrangência (95,45%) = 2,00

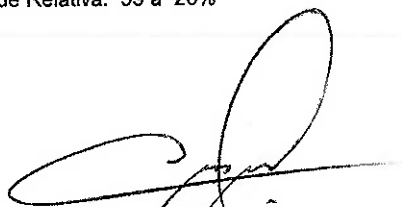
5. Obs. :

A Incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrang. k=2, que para distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02
EA-4/02 janeiro de 1999 – Expressão de Incerteza de Medição na Calibração.
Os resultados acima apresentados referem-se a média de 4 medições subseqüentes
Temperatura Ambiente : 23 ± 5°C / Umidade Relativa: 55 a 20%

Data do Recebimento do Material: 18/11/2.013

Data da Calibração : 12/12/2.013

Jose Carlos Virgulino
Técnico Responsável


Wagner Luiz Duzzi
Diretor Técnico

São Paulo, 12 de Dezembro de 2.013

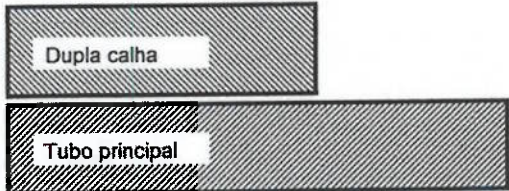
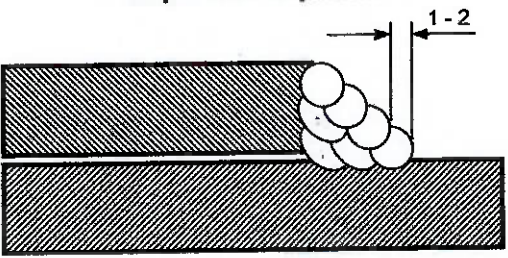
Certificado Válido Até: 12/2.014

Os resultados deste certificado referem-se exclusivamente ao instrumento submetido a calibração nas condições especificadas, não sendo exclusivo a qualquer lote. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTES DOCUMENTOS

ANEXO IV – EPS de referência

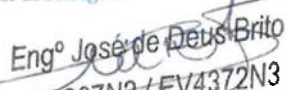
 CREDUTO Centro Nacional de Projeto de Dados			EPS Nº	
			034C - CREDUTO	
	ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM		REVISÃO	0
			DATA	
		13/8/2010		
		Folha	1 de 2	

Norma referência: API 1104: 2005, Ap B / N-2163 D	Baseado na RQPS Nº: 034C - CREDUTO
Processo soldagem: Eletrodo Revestido (SMAW)	Tipo: Manual

Croqui da junta 	Sequência de passes 
---	--

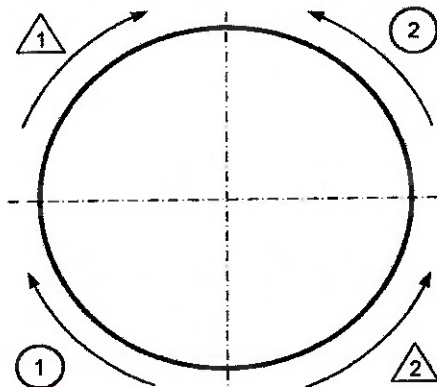
METAL BASE		POSIÇÃO	
Especificação: API 5L Grau X65		Posição de soldagem testada: Figura B-2	
Faixa qualificada: Todas		Faixa qualificada: Todas	
Faixa de Carbono equivalente (CE): Máx. 0,39		Progressão: Ascendente	
Tempo de resfriamento (250°C a 100°C) : 6 segundos		Obs: -	
Diâmetro testado: 457,2 mm	Faixa: Todas	TÉCNICA DE SOLDAGEM Sequência de deposição: Passe de revenimento Tipo de cordão: Retilíneo Largura do cordão: máx. 3 x o Ø do eletrodo Tempo entre passes: imediato Obs: -	
Espessura testada: 14,3 mm	Faixa: Todas		
Obs: -			
PRÉ / PÓS AQUECIMENTO		TRATAMENTO TÉRMICO PÓS SOLDAGEM	
Temperatura de pré-aquecimento: ≥ 50°C (obs.: 1)		Obs: NA	
Temperatura de interpasse: ≤ 150°C			
Temperatura de pós-aquecimento: NA			
Técnica: Maçarico tipo chuveiro (obs 1)			
Obs: (1) Utilizar p/ pré-aquecimento 2 aparelhos de maçarico			
GLP + O ₂ (Chama levemente oxidante)			

METAL DE ADIÇÃO						
Passes	Classe (AWS)	Especif. SFA	Grupo	Diâmetro	Marca comercial	Fabricante
Qualquer	E7018-1 H4	5.1	3	2,5	FOX EV 50	Boehler
Qualquer	E7018-1 H4	5.1	3	3.2	FOX EV 50	Boehler

Inspetor de soldagem:  Engº José de Deus Brito ISO207N2 / EV4372N3	Coordenador da qualidade:  Eng.º José Pedro da Silva Braga Gerente da Obra IMC Saste Construções, Serviços e Comércio Ltda	Fiscalização:  SIDNEY B. DA SILVA BRAGA Téc. de Projetos Const. e Montagens II Matrícula: 016040-4
--	--	---

 CREDUTO Centro Nacional de Registro de Dados		EPS Nº	
		034C CREDUTO	
		REVISÃO	0
		DATA	
ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM		13/8/2010	
		Folha	2 de 2

SEQUÊNCIA DE SOLDAGEM



Nota: A soldagem deverá ser executado pelos soldadores 1 e 2. Todos os passes deverão seguir a mesma sequência.

Limpeza inicial: **Escovamento**

Limpeza interpasse: **Escovamento e esmerilhamento**

Acoplamento externo: **Corrente e macaco hidráulico**

PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Passe	Ø Eletrodo	Polaridade Corrente	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade soldagem (mm / min).	Energia de soldagem (KJ/mm)	Temperatura de interpasse (°C)
Qualquer	2,5	CC +	70 - 110	22 - 25	≥ 74	Máx. 2,24	≤ 150
Qualquer	3,2	CC +	105 - 155	23 - 27	≥ 113	Máx. 2,24	≤ 150

OBSERVAÇÕES

- 1) Utilizar somente eletrodos homologados pela FBTS. Eletrodos embalados à vácuo, após a abertura da embalagem, deverão ser mantidos em estufas portáteis.
- 2) Antes da montagem da dupla-calha, inspecionar com ultra-som e partículas magnéticas em uma largura de 150 mm para cada lado da solda circunferencial a ser realizada.
- 3) A soldagem sobre soldas "ERW" só deve ser executada após avaliação metalográfica de campo.
- 4) Avaliar risco de perfuração durante a soldagem, de acordo com os requisitos da N-2163 D (tabela 1).
- 5) Caso seja necessário, rebaixar a solda longitudinal do tubo condutor para facilitar o acoplamento da dupla calha. A uma distância de, no mínimo, 50 mm além da dupla-calha a ser instalada, deverá ser realizada a inspeção com ultra-som na solda antes do esmerilhamento.
- 6) A soldagem deverá ser executada por 02 (dois) soldadores, simultaneamente. Deverá ser iniciada pela junta longitudinal, ao término desta serão executadas as soldas circunferenciais.
- 7) Recomenda-se que os ensaios não-destrutivos sejam realizados, no mínimo, 12 horas após o término da soldagem.

Inspetor de soldagem:

Eng.º José de Deus Brito
IS0207N2 / EV4372N3

Coordenador de qualidade:

Eng.º José Pedro da Silva Braga
Gerente da Obra
IMC Siste
Construções, Serviços e Comércio Ltda.

Fiscalização:

SIDNEY B. DA SILVA BRAGA
Téc. de Projetos Const.
e Montagens II
Matrícula: 016048-4

ANEXO V – Relação de soldadores qualificados

RELAÇÃO DE SOLDADORES QUALIFICADOS / CREDUTO
NORMA: API 1104 Ap. B

[illegible]

1) RQS 028 / 029 / 001-2104.
2) Metal de Adição: E7015, E7016, E7018, E 8015, E8016, E8018 e E9018.
3) Condições Térmicas: Qualquer condição de soldagem em serviço.
4) Qualificação múltipla (conf. item 6.3 da norma API 1104).
5) Sequência de deposição de soldagem: Passe de Revestimento e Aporte T
6) Sequência de deposição: Passe de Revestimento.

Elaboração

Engº José de Deus Brito
ISO207N2/EV4372N3

Aprovação

~~José Pedro da Silva Braga~~
~~Gerente da Obra~~
~~SACS - Construção~~
~~à Montagem Ltda~~

Fiscalização

RODNEY B. DA SILVA FOGA
C. de Projetos Co.
e Montagens II

ANEXO VI – Registro de acompanhamento de soldagem

DESCRIÇÃO: Estudo da influência da energia de soldagem

PROCEDIMENTO N°: 001C - Creduto (modificado)

METODOLOGIA APLICADA: Solda circunferencial - junta em ângulo

NORMAS DE REFERÊNCIA: API 1104 Anexo B ed. 2013

PROCESSO DE SOLDAGEM: ELETRODO REVESTIDO

TIPO: MANUAL

METAL BASE

Metal base (tubo): API 5L Grau X65

CE %: 0,34

% C: -

Espessura: 11,7 mm

Ø: 18"

Identificação: TB 447502

Metal base (dupla-calha): API 5L Grau X65

CE %: 0,34

% C: -

Espessura: 11,7 mm

Ø: 18"

Identificação: TB 447502

METAL DE ADIÇÃO

Classificação AWS: E7018/E7018-1 H4 (embalado à vácuo)

Marca comercial: FOX EV 50

Diâmetro: 3,2 mm

Lote: 1208047

CE%: 0,23

SOLDADORES

Jackson Viegas da Silva (S-09)

TÉCNICA DE SOLDAGEM

Técnica: -

Progressão: Ascendente

Posição de soldagem: Tubo Fixo Horizontal

Retirada térmica (resfriamento entre 250°C-100°C): 8 s

Vazão de água do sistema (m³/h): 32

Velocidade do fluido(m/s): -

Temperatura da água: Ambiente (20 - 25°C)

PRÉ/PÓS AQUECIMENTO

Temperatura de pré-aquecimento: Ambiente (20 - 25°C)

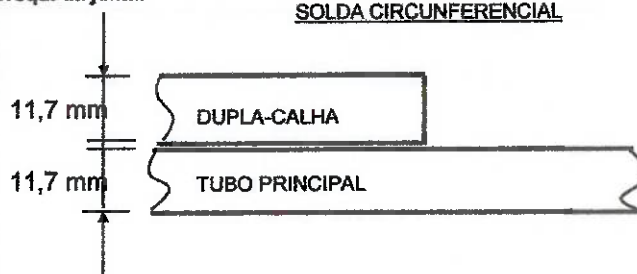
Temperatura de interpasso: ≤ 150°C

Temperatura de pós-aquecimento: N/A

DETALHE DA JUNTA

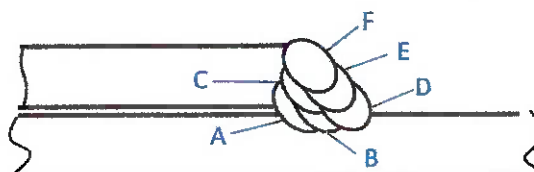
Croqui da junta:

SOLDA CIRCUNFERENCIAL



Sequência de passos:

SOLDA CIRCUNFERENCIAL



PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Passe	Ø eletrodo	Corrente/Polaridade	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade de soldagem (mm/min)	Energia de Soldagem (kJ/mm)	Temp. de interpasso (°C)
A	3,2	CC+	135	26	100	1,58	Ambiente
B	3,2	CC+	135	26	100	1,58	Ambiente
C	3,2	CC+	135	26	100	1,58	Ambiente
D	3,2	CC+	135	26	100	1,58	Ambiente
E	3,2	CC+	135	26	100	1,58	Ambiente
F	3,2	CC+	135	26	100	1,58	Ambiente

Observações:

Responsável:

Cesar Ribeiro
Inspetor de Soldagem - IS11163 N1
Inspetor de LP-N2-G
US-N1-ME-SNQC 15967

Aprovação:

Engº José Pedro da Silva Braga
Gerente da Obra
SACS - Construção e Montagem Ltda

Fiscalização:

Sidney B. da Silva Braga
CREDUTO - Centro Especial de Reparo de Dutos
Consultor Técnico
Matrícula: 016848-4

DESCRIÇÃO: Estudo da influência da energia de soldagem

PROCEDIMENTO Nº: 001C - Creduto (modificado)

METODOLOGIA APLICADA: Solda circunferencial - junta em ângulo

NORMAS DE REFERÊNCIA: API 1104 Anexo B ed. 2013

PROCESSO DE SOLDAGEM: ELETRODO REVESTIDO

TIPO: MANUAL

METAL BASE

Metal base (tubo): API 5L Grau X65

CE %: 0,34

% C: -

Espessura: 11,7 mm

Ø: 18"

Identificação: TB 447502

Metal base (dupla-calha): API 5L Grau X65

CE %: 0,34

% C: -

Espessura: 11,7 mm

Ø: 18"

Identificação: TB 447502

METAL DE ADIÇÃO

Classificação AWS: E7018/E7018-1 H4 (embalado à vácuo)

Marca comercial: FOX EV 50

Diâmetro: 3,2 mm

Lote: 1208047

CE%: 0,23

SOLDADORES

Jackson Viegas da Silva (S-09)

TÉCNICA DE SOLDAGEM

Técnica: -

Progressão: Ascendente

Posição de soldagem: Tubo Fixo Horizontal

Retirada térmica (resfriamento entre 250°C-100°C): 8 s

Vazão de água do sistema (m³/h): 32

Velocidade do fluido(m/s): -

Temperatura da água: Ambiente (20 - 25°C)

PRÉ/PÓS AQUECIMENTO

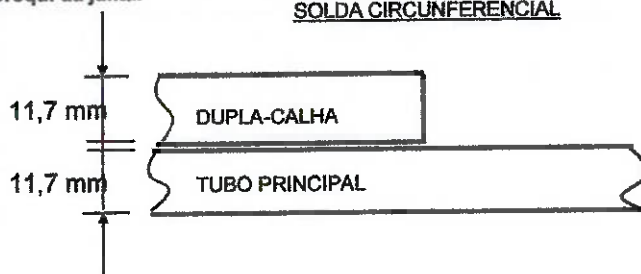
Temperatura de pré-aquecimento: Ambiente (20 - 25°C)

Temperatura de interpasse: ≤ 150°C

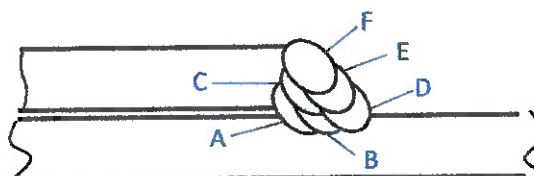
Temperatura de pós-aquecimento: N/A

DETALHE DA JUNTA

Croqui da junta:

SOLDA CIRCUNFERENCIAL


Sequência de passes:

SOLDA CIRCUNFERENCIAL

PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Passe	Ø eletrodo	Corrente/Polaridade	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade de soldagem (mm/min)	Energia de Soldagem (kJ/mm)	Temp. de Interpasse (°C)
A	3,2	CC+	135	26	150	1,05	Ambiente
B	3,2	CC+	135	26	150	1,05	Ambiente
C	3,2	CC+	135	26	150	1,05	Ambiente
D	3,2	CC+	135	26	150	1,05	Ambiente
E	3,2	CC+	135	26	150	1,05	Ambiente
F	3,2	CC+	135	26	150	1,05	Ambiente

Observações:

Responsável:

Cesar Ribeiro
Inspetor de LP N2-G
US N1-ME-SNQC 15967

Aprovação:

Engº José Pedro da Silva Braga
Gerente da Obra
SACS - Construção
e Montagem Ltda

Fiscalização:

Sidney B. da Silva Braga
CREDUTO - Centro Especializado de Reparo de Dutos
Consultor Técnico
Matrícula: 016848-4

DESCRIÇÃO: Estudo da influência da energia de soldagem PROCEDIMENTO Nº: 001C - Creduto (modificado)

METODOLOGIA APLICADA: Solda circunferencial - junta em ângulo

NORMAS DE REFERÊNCIA: API 1104 Anexo B ed. 2013

PROCESSO DE SOLDAGEM: ELETRODO REVESTIDO

TIPO: MANUAL

METAL BASE

Metal base (tubo): API 5L Grau X65

CE %: 0,34

% C: -

Espessura: 11,7 mm

Ø: 18"

Identificação: TB 447502

Metal base (dupla-calha): API 5L Grau X65

CE %: 0,34

% C: -

Espessura: 11,7 mm

Ø: 18"

Identificação: TB 447502

METAL DE ADIÇÃO

Classificação AWS: E7018/E7018-1 H4 (embalado à vácuo)

Marca comercial: FOX EV 50

Diâmetro: 3,2 mm

Lote: 1208047

CE%: 0,23

SOLDADORES

Jackson Viegas da Silva (S-09)

TÉCNICA DE SOLDAGEM

Técnica: -

Progressão: Ascendente

Posição de soldagem: Tubo Fixo Horizontal

Retirada térmica (resfriamento entre 250°C-100°C): 8 s

Vazão de água do sistema (m³/h): 32

Velocidade do fluido(m/s): -

Temperatura da água: Ambiente (20 - 25°C)

PRÉ/PÓS AQUECIMENTO

Temperatura de pré-aquecimento: Ambiente (20 - 25°C)

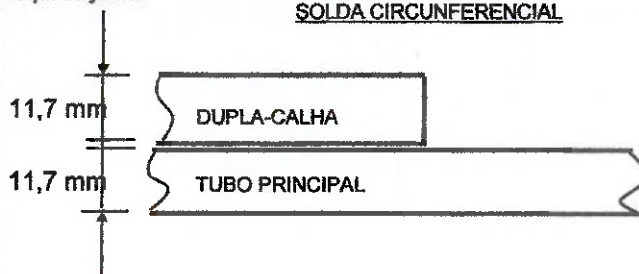
Temperatura de interpasse: ≤ 150°C

Temperatura de pós-aquecimento: N/A

DETALHE DA JUNTA

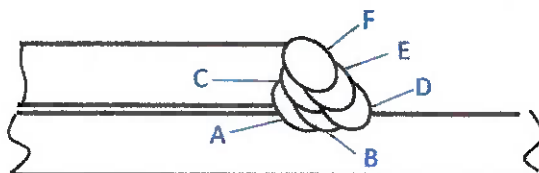
Croqui da junta:

SOLDA CIRCUNFERENCIAL



Sequência de passes:

SOLDA CIRCUNFERENCIAL



PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Passe	Ø eletrodo	Corrente/Polaridade	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade de soldagem (mm/min)	Energia de Soldagem (kJ/mm)	Temp. de interpasse (°C)
A	3,2	CC+	135	26	250	0,63	Ambiente
B	3,2	CC+	135	26	250	0,63	Ambiente
C	3,2	CC+	135	26	250	0,63	Ambiente
D	3,2	CC+	135	26	250	0,63	Ambiente
E	3,2	CC+	135	26	250	0,63	Ambiente
F	3,2	CC+	135	26	250	0,63	Ambiente

Observações:

Responsável:

Engº Carlos Ribeiro
Inspetor de Soldagem - IS11163 N1
Inspeção de LP-N2-G
US-N1-ME-SNQC 15967

Aprovação:

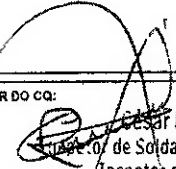
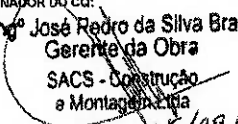
Engº José Pedro da Silva Braga
Gerente da Obra
SACS - Construção
e Montagem Ltda

Fiscalização:

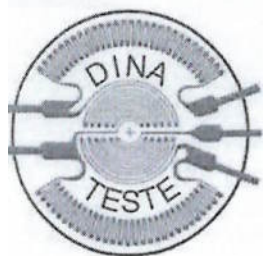
Sidney B. da Silva Braga
CREDUTO - Centro Emergencial de Reparo de Dutos
Consultor Técnico
Matrícula: 016848-4

ANEXO VII – Ensaios não destrutivos pós soldagem

[illegible]

		RELATÓRIO		Nº: RL-4250.01-6510-211-PMP-021		REV.: 0		
		CLIENTE: PETROBRAS TRANSPORTE S/A-TRANSPORTE					FOLHA: 1 de 1	
		TÍTULO: RELATÓRIO DE LÍQUIDO PENETRANTE						
		PROGRAMA:					CONTRATO	
ÁREA: CREDUTO - ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ENERGIA DE SOLDAGEM					4600011079			
NORMAS DE REFERÊNCIA		Nº SACS	PROCEDIMENTO	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO	LOCAL	KM	DATA	
ASME V Ed.2007		RL-SACS.006-2101	SACS-END-003	API 1104 ed.2013	Creduto-SP	-	15/09/2014	
METAL DE BASE	CONDIÇÕES SUPERFICIAIS	ESPESSURA	METAL DE ADIÇÃO	MÉTODO DE ENSAIO	EQUIPAMENTO	ILUMINAÇÃO(LUX)		
API 5L Grau X65 PSL 1	Escovada	11,7 mm	E7018 H4	II-A	-	1000 lux		
SOLVENTE		PENETRANTE		REMOVEDOR		REVELADOR		
FABRICANTE: AUDI		FABRICANTE: METAL CHEK		FABRICANTE:-		FABRICANTE:METAL CHEK		
REF. COMERCIAL: AUDI 2800		REF. COMERCIAL: VP 30		REF. COMERCIAL:-		REF. COMERCIAL: D-70		
No LOTE: 020		No LOTE: 14259		No LOTE:-		No LOTE: 14338		
DATA VALIDADE: 04/2015		DATA VALIDADE: 10/2014		DATA VALIDADE: -		DATA VALIDADE: 11/2014		
COMPONENTE		No JUNTA	DESCONTINUIDADE				OBSERVAÇÕES	
			TIPO	COTA	COMPR. Mm	LAUDO		
Soldas circunferenciais, posição plana, realizadas para estudo da energia de soldagem		Plana 1	-	-	-	A	Ensaio realizado após 12 horas do término das soldagens.	
		Plana 2	-	-	-	A		
		Plana 3	-	-	-	A		
LEGENDA								
A - APROVADO		TL - TRINCA LONGITUDINAL		FP - FALTA DE PENETRAÇÃO				
R - REPROVADO		TR - TRINCA TRANSVERSAL		MO - MORDEDURA				
REC - RECOMENDAÇÃO DE EXAME COMPLEMENTAR		TR - TRINCA RAMIFICADA		SP - SOBREPOSIÇÃO				
		FF - FALTA DE FUSÃO		PO - PORO OU POROSIDADE				
CROQUI / FOTOS								
OBSERVAÇÕES								
INSPEÇÃO DO CO:		COORDENADOR DO CO:		FISCALIZAÇÃO:				
 Cesar Ribeiro Inspetor de Soldagem - IS11163 N1 Inspetor de LP-N2-G US-N1-ME-SNQC 15967		 Engº José Pedro da Silva Braga Gerente da Obra SACS - Construção e Montagem Ltda		Sidney B. da Silva Braga CREDUTO - Centro Emergencial de Reparo de Dutos Consultor Técnico Matrícula: 016848-4				
DATA: 15/09/14		DATA: 15/09/14		DATA: 15/09/14				

**ANEXO VIII – Certificados de instrumentos e equipamentos
utilizados para ensaio das amostras**



DINATEST E INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.
ASSISTÊNCIA TÉCNICA DE MÁQUINAS DE ENSAIOS E MEDIDORES DE DUREZA



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DNTT/ 416c/14.

1/2.

A
Team-Lab Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais Ltda-ME
Rua Doutor Pelágio Marques, 51
03512-010 - São Paulo - SP.

Extensômetro,
Marca Dinatense, modelo 102,
Nº. 121602, n.º.pat. n/c, ano n/c,
Curso: 2 mm,
Identif.: TL 0117

- Módulo Condicionador de Sinal, marca Dinatense,
Mod. Dynaview, n.º. 100.408B,
Faixa(s) nominal(is) de 0,2 a 4,0 % - 0,05 a 1,00 mm - Le = 25 mm,
0,1 a 2,0 % - 0,05 a 1,00 mm - Le = 50 mm,
Identif.: n/c.

RESULTADOS

Valor nominal do comprimento de referência (Le) = 25 mm.
Valor verdadeiro convencional do comprimento de referência (Le') = 24,93 mm.
Erro relativo de indicação do comprimento (qLe) = 0,28 %.

Faixa nominal de 0,2 a 4 %, valor de uma divisão 0,002 %.											
Indicação no Extensômetro		Valores Médios Indicados pelo Padrão		Resolução		Desvio		Classificação	Incerteza Expandida	k	v _{eff}
(%)	(mm)	(%)	(mm)	Percentual Indicação	Valor Absoluto	Erro relativo	Erro absoluto				
				r/li (%)	r (µm)	q (%)	li-lt (µm)		U (%)		
0,000	0,00000	0,000	0,00000	-	-	-	-	1	3,1E+00	2,03	100
0,200	0,05000	0,197	0,04925	1,0E+00	5,0E-01	1,5E+00	7,6E-01	1	1,7E+00	2,11	25
0,400	0,10000	0,395	0,09875	5,0E-01	5,0E-01	1,2E+00	1,2E+00	1	8,7E-01	2,11	25
0,800	0,20000	0,797	0,19925	2,5E-01	5,0E-01	3,4E-01	6,8E-01	1	6,3E-01	2,16	18
1,200	0,30000	1,197	0,29925	1,7E-01	5,0E-01	2,9E-01	8,6E-01	1	5,2E-01	2,25	12
1,600	0,40000	1,601	0,40025	1,3E-01	5,0E-01	-4,0E-02	-1,6E-01	1	3,8E-01	2,16	18
2,000	0,50000	2,003	0,50075	1,0E-01	5,0E-01	-1,4E-01	-6,8E-01	1	4,2E-01	2,43	7
2,400	0,60000	2,407	0,60175	8,3E-02	5,0E-01	-3,1E-01	-1,9E+00	1	4,3E-01	2,65	5
2,800	0,70000	2,811	0,70275	7,1E-02	5,0E-01	-3,9E-01	-2,7E+00	1	3,8E-01	2,65	5
3,200	0,80000	3,216	0,80400	6,3E-02	5,0E-01	-5,1E-01	-4,1E+00	1	2,8E-01	2,52	6
4,000	1,00000	4,027	1,00675	5,0E-02	5,0E-01	-6,7E-01	-6,7E+00	1			

Valor nominal do comprimento de referência (Le) = 50 mm.
Valor verdadeiro convencional do comprimento de referência (Le') = 49,95 mm.
Erro relativo de indicação do comprimento (qLe) = 0,11 %.

Faixa nominal de 0,1 a 2 %, valor de uma divisão 0,001 %.											
Indicação no Extensômetro		Valores Médios Indicados pelo Padrão		Resolução		Desvio		Classificação	Incerteza Expandida	k	v _{eff}
(%)	(mm)	(%)	(mm)	Percentual Indicação	Valor Absoluto	Erro relativo	Erro absoluto				
				r/li (%)	r (µm)	q (%)	li-lt (µm)		U (%)		
0,000	0,00000	0,000	0,00000	-	-	-	-	0,5	4,1E+00	2,01	300
0,100	0,05000	0,099	0,04925	1,0E+00	5,0E-01	1,7E+00	8,4E-01	0,5	2,2E+00	2,04	70
0,200	0,10000	0,198	0,09875	5,0E-01	5,0E-01	1,3E+00	1,3E+00	0,5	1,1E+00	2,04	70
0,400	0,20000	0,398	0,19900	2,5E-01	5,0E-01	5,2E-01	1,0E+00	0,5	7,5E-01	2,06	50
0,600	0,30000	0,597	0,29850	1,7E-01	5,0E-01	4,6E-01	1,4E+00	0,5	6,0E-01	2,10	30
0,800	0,40000	0,799	0,39950	1,3E-01	5,0E-01	1,3E-01	5,3E-01	0,5	4,6E-01	2,06	50
1,000	0,50000	1,000	0,49975	1,0E-01	5,0E-01	3,6E-02	1,8E-01	0,5	4,5E-01	2,17	16
1,200	0,60000	1,202	0,60075	8,3E-02	5,0E-01	-1,4E-01	-8,3E-01	0,5	4,3E-01	2,28	10
1,400	0,70000	1,403	0,70150	7,1E-02	5,0E-01	-2,2E-01	-1,5E+00	0,5	3,8E-01	2,25	12
1,600	0,80000	1,606	0,80275	6,3E-02	5,0E-01	-3,4E-01	-2,7E+00	0,5	2,9E-01	2,21	14
2,000	1,00000	2,010	1,00500	5,0E-02	5,0E-01	-5,0E-01	-5,0E+00	0,5			

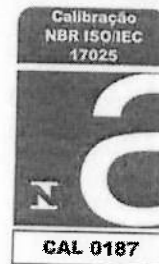
- O ajuste não faz parte do escopo de acreditação deste laboratório.

- Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela Cgcre que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- A reprodução do presente documento somente poderá ser efetuada desde que integralmente, sem quaisquer alterações

AVENIDA CORIFEU DE AZEVEDO MARQUES, 1.468 - CEP 05582-001- BUTANTÃ - SÃO PAULO - SP - BRASIL
TEL.: (11) 3726-4899 - E-mail: dinatense@dinatense.com.br - Site: www.dinatense.com.br - FAX: (11) 3726-5611



DINATESTE INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.
ASSISTÊNCIA TÉCNICA DE MÁQUINAS DE ENSAIOS E MEDIDORES DE DUREZA



CONTINUAÇÃO DO CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DNTT/416c/14.

2/2.

Informações gerais:

- Ambiente com ar condicionado.
- Temperatura ambiente durante a calibração: 21,8 °C; (Incerteza das indicações: $\pm 1,3$ °C)
- Data da última calibração: 18/04/2013.
- Equipamento instalado na MÁQUINA DE ENSAIOS, marca Wolpert, n°. 1263, identif.: TL-0017.
- Calibração efetuada conforme IT-016, baseada na norma ABNT NBR 14480-mar/00.
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com v_{eff} graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- Obs.(1): A calibração foi efetuada no sentido de abertura das garras.
- Obs.(2): A calibração foi efetuada sem a realização de ajuste no equipamento.

Data desta calibração: 09/04/2014.

Padrão(ões) utilizado(s):

- CA N°. 192 280-3 (CA-02), Cert. RBC (Feinmess - CAL 0133) n°. D3499/13 de 28/02/13 - calib. válida até 28/02/15.
- LE N°. 1309GA (CA-02), Relatório de medição RBC (Feinmess - CAL 0133) n°. D3501/13 de 27/02/13 - calib. válida até 27/02/15.
- LE N°. 1310GA (CA-02), Relatório de medição RBC (Feinmess - CAL 0133) n°. D3500/13 de 27/02/13 - calib. válida até 27/02/15.

São Paulo, 15 de abril de 2014.

Dinateste Indústria e Comércio Ltda.

Ricardo Luiz Zanetti
Gerente Técnico

CA = Calibrador de deslocamento; LE = Dispositivo de medição de Le

- O ajuste não faz parte do escopo da acreditação deste laboratório.

- Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela Cgcre que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.

- A reprodução do presente documento somente poderá ser efetuada desde que integralmente, sem quaisquer alterações

AVENIDA CORIFEU DE AZEVEDO MARQUES, 1.468 - CEP 05582-001- BUTANTÃ - SÃO PAULO - SP - BRASIL
TEL.: (11) 3726-4899 - E-mail: dinateste@dinateste.com.br - Site: www.dinateste.com.br - FAX: (11) 3726-5611


Laboratório de Metrologia Dimensional

Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre/Inmetro de acordo com a Norma NBR ISO/IEC 17025 sob nº 114

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 03013-14-DI/SP

1. **Contratante:** TEAM LAB - TECNOLOGIA EM ENSAIOS E ANÁLISES DE MATERIAIS LTDA
Rua Dr. Pelagio Marques, 51 - São Paulo /SP

1.1 **Solicitante:** O mesmo

2. Descrição
Paquímetro Digital

Identificação: TL-007

Série: 026648

Marca: Mitutoyo

Faixa de Indicação: 0 à 150 mm

Valor de uma Divisão: 0,01 mm

3. Método Utilizado
3.1 Procedimentos:

Conforme solicitação, nosso Laboratório realizou calibração no instrumento acima, com base em nosso procedimento de confirmação metrológica PGQ-005 revisão 16, e instrução de processo IPR-001 revisão 07, onde foram utilizados o jogo de blocos padrão e o padrão escalonado para obtenção das medidas da escala principal do paquímetro. Os pontos de medição pré-determinados foram referenciados pelo instrumento, executando-se 03 (três) ciclos de medição. Para verificação do paralelismo dos bicos foram efetuadas medições em tres posições equidistantes ao longo dos bicos.

3.2 Norma de referência: NBR NM 216

4. Padrão Utilizado / Periodicidade
Padrão Escalonado

Marca: Mitutoyo

certificado nº 8252/10

Próxima calibração de nosso padrão:

nº de série s/nº

calibrado por Mitutoyo

junho-14

nosso nº PE-02

em 25/06/2010

Jogo de Blocos Padrão (76 Blocos)

Marca: Tesa

certificado nº 0858/11

Próxima calibração de nosso padrão:

nº de série 1396

calibrado por Starrett

março-14

nosso nº JBP-06

em 28/03/2011

Desempeno de Granito

Marca: Mitutoyo

certificado nº 00683-14-DI/SP

Próxima calibração de nosso padrão:

nº de série s/nº

calibrado por Calibratec

janeiro-15

nosso nº DG-02

em 13/01/2014

5. Incerteza das Medições

U = Incerteza de medição.

A incerteza expandida relatada, é baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada por um fator de abrangência k para um nível de confiança de aproximadamente 95%, de acordo com EA 4/02, conforme nosso procedimento PGQ-018 revisão 15

6. Condições Ambientais Iniciais

Temperatura: 20,5° C / Umidade: 58%

Condições Ambientais Finais

Temperatura: 20,6° C / Umidade: 57%

Data do Recebimento: 20/01/2014 Data da Calibração: 28/01/2014 Data da Emissão: 29/01/2014

Rubens Dias
Técnico Signatário

CALIBRATEC - Comércio e Assistência Técnica de Instrumentos de Medição Ltda.

Rua Tenente Pena, 71/73 - Bom Retiro - CEP 01127-020 - São Paulo - SP

Fone: (11) 3133-0700 - Fax: (11) 3338-2595

O.S.: 00219/14-01

**CALIBRATEC®****Laboratório de Metrologia Dimensional**

Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre/Inmetro de acordo com a Norma NBR ISO/IEC 17025 sob nº 114

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 03013-14-DI/SP**7. Resultados da Calibração****MEDIÇÃO EXTERNA**

INDICAÇÃO NO PADRÃO	MÉDIA NO INSTRUMENTO	ERRO SISTEMÁTICO	U	k
mm	mm	mm	mm	
0,00	0,00	0,00	0,01	2,00
8,00	7,99	-0,01	0,01	2,00
30,00	29,99	-0,01	0,01	2,00
60,00	59,97	-0,03	0,01	2,00
90,00	89,98	-0,02	0,01	2,00
120,00	119,97	-0,03	0,01	2,00
150,00	149,98	-0,02	0,01	2,00

MEDIÇÃO INTERNA

INDICAÇÃO NO PADRÃO	MÉDIA NO INSTRUMENTO	ERRO SISTEMÁTICO	U	k
mm	mm	mm	mm	
75,00	75,03	0,03	0,02	2,23

MEDIÇÃO DE RESSALTO

INDICAÇÃO NO PADRÃO	MÉDIA NO INSTRUMENTO	ERRO SISTEMÁTICO	U	k
mm	mm	mm	mm	
15,00	15,00	0,00	0,01	2,00

MEDIÇÃO DE PROFUNDIDADE

INDICAÇÃO NO PADRÃO	MÉDIA NO INSTRUMENTO	ERRO SISTEMÁTICO	U	k
mm	mm	mm	mm	
15,00	14,98	-0,02	0,02	2,23

CALIBRATEC - Comércio e Assistência Técnica de Instrumentos de Medição Ltda.

Rua Tenente Pena, 71/73 - Bom Retiro - CEP 01127-020 - São Paulo - SP

Fone: (11) 3133-0700 - Fax: (11) 3338-2595

E-mail: calibratec@calibratec.com.br

O.S.: 00219/14-01

**CALIBRATEC®****Laboratório de Metrologia Dimensional**

Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre/Inmetro de acordo com a Norma NBR ISO/IEC 17025 sob nº 114

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 03013-14-DI/SP**MEDICÃO DO PARALELISMO DOS BICOS**

INDICAÇÃO NO PADRÃO	MÉDIA NO INSTRUMENTO	ERRO SISTEMÁTICO	U	k
mm	mm	mm	mm	
0,00	0,02	0,02	0,01	2,00

O Inmetro é signatário do acordo de reconhecimento mútuo da ILAC-International Laboratory Accreditation Cooperation.

O Inmetro é signatário do acordo bilateral de reconhecimento mútuo com a EA-European Co-operation for Accreditation.

Este certificado atende aos requisitos da acreditação Cgcre/Inmetro, o qual avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade à padrões nacionais de medida.

Os resultados deste certificado são válidos exclusivamente para o instrumento calibrado descrito, nas condições especificadas, não sendo extensivo a quaisquer outros, mesmo que similares.

Não é permitida a reprodução parcial deste certificado.

Esta calibração não isenta o instrumento do controle metrológico estabelecido na Regulamentação Metrológica, no caso de instrumento regulamentado.

ICJL/



CALIBRATEC - Comércio e Assistência Técnica de Instrumentos de Medição Ltda.

Rua Tenente Pena, 71/73 - Bom Retiro - CEP 01127-020 - São Paulo - SP

Fone: (11) 3133-0700 - Fax: (11) 3338-2595



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Feinmess Tecnologia e Treinamento Ltda
R. Eng. Mesquita Sampaio, 289 - S. Paulo - SP
(11) 5181-6420/3562-8970 gertec@feinmess.com.br

D14472

12

pag. 01/01
20/08/2012



1. DADOS: SOLICITANTE: TEAM LAB TECNOLOGIA EM ENSAIOS E ANÁLISES DE MATERIAIS LTDA
RUA DR. PELÁGIO MARQUES, 51 - SÃO PAULO - SP
INTERESSADO: O mesmo
OS: 1207153
Data de calibração: 16/08/12

2. MATERIAL: RÉGUA GRADUADA DE VIDRO
Faixa de medição: 1 mm
Marca: OLYMPUS Modelo: AX011
Identificação: TL-062 Número de série: NÃO CONSTA

3. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO:

A escala da régua foi medida em máquina universal de medição, com auxílio de uma lupa, conforme procedimento interno PC-045-D

4. EQUIPAMENTOS / PADRÕES UTILIZADOS E RASTREABILIDADE:

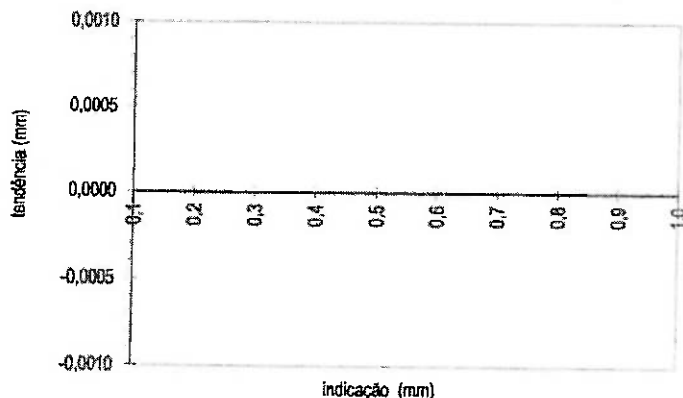
Máquina de medição universal

Identificação: LMD-139
Última calibração: 17/02/12
Nº do certificado: D2357/12 Feinmess CAL 0133
Próxima calibração: 02/2014

5. RESULTADOS:

indicação mm	valor convencional mm	tendência mm	incerteza U mm
0,1	0,100	0,000	0,001
0,2	0,200	0,000	0,001
0,3	0,300	0,000	0,001
0,4	0,400	0,000	0,001
0,5	0,500	0,000	0,001
0,6	0,600	0,000	0,001
0,7	0,700	0,000	0,001
0,8	0,800	0,000	0,001
0,9	0,900	0,000	0,001
1,0	1,000	0,000	0,001

TENDÊNCIAS DA RÉGUA



6. INCERTEZA DOS RESULTADOS U =

vide tabela

A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão da medição multiplicada pelo fator de abrangência $k=2$, que para uma distribuição normal corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

7. OBSERVAÇÕES:

Os valores expressos são médias de três medições.

Tendência = indicação - valor convencional

Temperatura: $20^\circ \pm 1^\circ\text{C}$

Eng. M. Cristina R. D. Zemik

Gerente Técnico

CREA Nº118.716/D - SP

RCZ

Este certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório.
Este certificado é válido exclusivamente para o objeto verificado, não sendo extensivo a quaisquer lotes, mesmo que similares

A REPRODUÇÃO DESTA CERTIFICADO SÓ PODERÁ SER TOTAL

Laboratório de Metrologia Mecânica / CME / IPT

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 137 339 - 101

Cliente: Team Lab. Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais
R. Dr. Pelágio Marques, 51
03512 - 010 - São Paulo - SP

Item: Máquina de medir dureza HV
Referência: pedido nº 10387/13 de 14/11/2013

DESCRIÇÃO DO ITEM

Máquina
Fabricante: Heckert WPM
Modelo: 308/110
Nº de série: 13866514
Identificação: TL 0022
Faixa nominal: (0 a 10) kgf

INFORMAÇÕES PERTINENTES À CALIBRAÇÃO

- No item resultados deste documento, a incerteza expandida de medição relatada U é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com graus de liberdade efetivos v_{eff} , corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- Calibração efetuada conforme procedimento interno CME-LMM-PC-F-15/04 baseado na norma NM ISO 6507-2.
- As calibrações da força (item 1), do sistema indicador de profundidade (item 3) e a calibração indireta (item 4) foram efetuadas no local de instalação; a calibração do penetrador (item 2) foi efetuada no Laboratório de Metrologia Mecânica/ CME/ IPT.
- Padrões utilizados: Cel. G91644; Cert. IPT 122 970 - 101; Valid. 12/03/2015
Medidor de perfis 83067; Cert. IPT 136 615 - 101; Valid. 31/03/2016
Comp. eletrônico nº 3; Cert. IPT 123 338 - 101; Valid. 31/05/2014
Bloco nº EP10120461; Cert. UKAS 165212; Valid. 28/01/2015
Bloco nº EP10120472; Cert. UKAS 165244; Valid. 28/01/2015
Bloco nº EP10120492; Cert. UKAS 165256; Valid. 29/01/2015
- Este certificado atende os requisitos de acreditação pela Cgcre que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades - SI.
- Local de instalação: Laboratório Dureza
- Data da calibração: **15/04/2014 (máquina) e 10/04/2014 (penetradores)**
- Temperatura ambiente : (27,3 ± 1,0) °C (itens 1, 3 e 4) e (20,3 ± 0,5) °C (item 2).
- Fator de conversão: 1 N = 0,101972 kgf

São Paulo, 16 de abril de 2014.

CENTRO DE METROLOGIA MECÂNICA E ELÉTRICA
Laboratório de Metrologia Mecânica

Téc. Mec. Mauro Luiz Braz
Supervisor da Calibração
RE nº 8121.6

CENTRO DE METROLOGIA MECÂNICA E ELÉTRICA
Laboratório de Metrologia Mecânica

Téc.º Mec. Dr. Manuel Antonio Pires Castanho
Responsável pelo Laboratório
CREA nº 186.075/D - RE nº 7502.8

Os resultados apresentados neste documento se aplicam somente ao item descrito na calibração.
Este documento não é objeto de uso do nome ou da marca IPT para quaisquer fins, sob pena de indenização.
A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Certificado de Calibração n° 137 339 - 101

Laboratório de Metrologia Mecânica / CME / IPT

Laboratório de calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 003.

RESULTADOS

1) Força

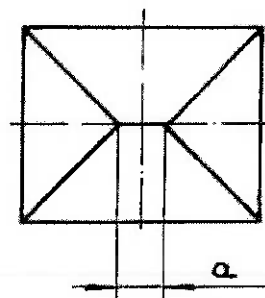
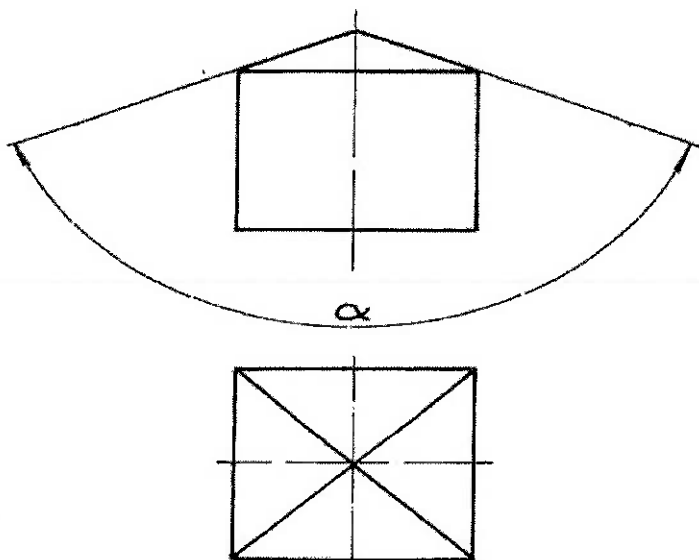
Força aplicada pela máquina	Valor medido		Erro	Rep.	U		k	V _{eff}
			Exat.					
(kgf)	(N)	(kgf)	(%)	(%)	(N)	(kgf)		
10,0	98,29	(10,023)	-0,2	0,0	0,05	(0,005)	2,01	∞

2) Penetrador HV

Fabricante: C6K

Identificação: 2811

Cota	Valor nominal	Valor medido	U	k	V _{eff}
α	$136^{\circ} 00' \pm 30'$	$136^{\circ} 11'$	$03'$	2,00	∞
a	$\leq 0,002 \text{ mm}$	$0,0007 \text{ mm}$	$0,0011 \text{ mm}$	2,00	∞



Certificado de Calibração nº 137 339 - 101

Laboratório de Metrologia Mecânica / CME / IPT

Laboratório de calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 003.

3) Sistema de medição de impressão

O sistema é composto por uma ocular com ampliação de 20 X, uma escala fixa, uma móvel e um tambor micrométrico.

3.1) Escala fixa

Faixa nominal: 0,4 mm

Valor de uma divisão: 0,05 mm

Indicação	Valor medido	U	k	V _{eff}
(mm)	(mm)	(mm)		
0,00	0,000	---		
0,05	0,047	0,004	2,05	53
0,10	0,095	0,004	2,00	∞
0,15	0,145	0,004	2,00	∞
0,20	0,195	0,004	2,00	∞
0,25	0,246	0,004	2,00	∞
0,30	0,295	0,004	2,00	∞
0,35	0,345	0,004	2,11	24
0,40	0,397	0,005	2,15	18

3.2) Escala móvel

Faixa nominal: 0,4 mm

Valor de uma divisão: 0,05 mm

Indicação	Valor medido	U	k	V _{eff}
(mm)	(mm)	(mm)		
0,00	0,000	---		
0,05	0,046	0,004	2,00	∞
0,10	0,094	0,005	2,00	∞
0,15	0,143	0,004	2,00	∞
0,20	0,195	0,008	2,43	7
0,25	0,243	0,005	2,01	238
0,30	0,292	0,005	2,00	∞
0,35	0,342	0,005	2,01	230
0,40	0,391	0,005	2,00	∞

Certificado de Calibração nº 137 339 - 101

Laboratório de Metrologia Mecânica / CME / IPT

Laboratório de calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 003.

3.3) Tambor micrométrico

Faixa nominal: não consta

Valor de uma divisão: 0,005 mm

Indicação	Valor medido	U	k	V _{eff}
(mm)	(mm)	(mm)		
0,000	0,0000	—		
0,005	0,0045	0,0053	2,00	∞
0,010	0,0092	0,0053	2,00	∞
0,015	0,0135	0,0053	2,00	∞
0,020	0,0185	0,0053	2,00	∞
0,025	0,0232	0,0053	2,00	∞
0,030	0,0274	0,0054	2,00	∞
0,035	0,0330	0,0053	2,00	∞
0,040	0,0372	0,0053	2,00	∞
0,045	0,0414	0,0054	2,00	∞
0,050	0,0469	0,0053	2,00	∞

4) Calibração indireta

4.1) Escala HV 10

Dureza do padrão	Erro		U		k	V _{eff}
	Exat.	Repet.				
(HV 10)	(%)	(%)	(HV 10)			
192,7	2,6	1,0	7,0		2,00	∞
395,8	1,4	1,2	7,0		2,01	299
701,9	1,5	1,6	9,7		2,02	158



GNR Brasil - Comércio e Representações Ltda
 Rua Cipriana Martinez Zonta, 101 A - SL 01
 Cep: 03189-160 - Vila Oratório - São Paulo - SP
 Fone:(0**11) 2028-7941 - Fax:(0**11) 2965-6423
 E - mail: gnrbrasil @ gnrbrasil.net



Certificado n. 046/13

Cliente: Team Lab – Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais
 Rua Dr. Pelágio Marques, 51 - Vila Matilde - São Paulo - SP - 03512-010

Solicitante: Team Lab – Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais

Equipamento: Espectrômetro de Emissão Óptica
Fabricante: GNR Group S.r.l.
Modelo: SOLARIS CCD PLUS
Num. de serie: 10.031 SCP 03
Identificação: TL- 088
Aplicação: Análise da composição química dos metais ferrosos e não ferrosos

PADRÕES UTILIZADOS NA CALIBRAÇÃO:

PADRÃO 55x G02D6
FABRICANTE: MBH ANALYTICAL LTD
CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM JUNHO DE 2003
PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: ALUMINIO ORIENTATIVO
RESULTADOS OBTIDOS:

El	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn
C	0.487	0.336	12.3	1.27	0.65	0.027	0.083	0.46	< 0.005
V/S	0.480	0.331	12.1	1.24	0.66	0.025	0.080	0.47	0.004
J ±	0.007	0.005	0.2	0.03	0.01	0.002	0.003	0.01	<0.005

El	Ti	Cr	Co	Sb
C	0.34	0.035	0.018	< 0.005
V/S	0.32	0.037	0.019	0.003
J ±	0.02	0.002	0.001	<0.005

PADRÃO 51X G00H2
FABRICANTE: MBH ANALYTICAL LTD
CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM ABRIL DE 2005
PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: ALUMINIO ORIENTATIVO
RESULTADOS OBTIDOS:

El	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn
C	0.111	0.093	0.350	0.356	0.154	0.119	0.113	0.114	0.0065
V/S	0.113	0.090	0.359	0.353	0.156	0.114	0.111	0.112	0.0066
J ±	0.002	0.003	0.009	0.003	0.002	0.005	0.002	0.002	0.0001

El	Ti	Cr	V	Zr	Bi	Sb	Cd	Ga
C	0.128	0.0174	0.0148	0.0150	0.011	0.0265	0.0031	0.011
V/S	0.125	0.0170	0.0145	0.0156	0.012	0.0260	0.0030	0.010
J ±	0.003	0.0004	0.0003	0.0006	0.001	0.0005	0.0001	0.001

GNR Brasil - Comércio e Representações Ltda
 Rua Cipriana Martinez Zonta, 101 A - SL 01
 Cep: 03189-160 - Vila Oratório - São Paulo - SP
 Fone:(0**11) 2028-7941 - Fax:(0**11) 2965-6423
 E - mail: gnrbrasil @ gnrbrasil.net



PADRÃO 55x G02D9

FABRICANTE: MBH ANALYTICAL LTD

CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM JULHO DE 2003

PROGRAMA ANALÍTICO CALIBRADO: ALUMINIO ORIENTATIVO

RESULTADOS OBTIDOS:

El	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn
C	3.42	0.206	8.61	0.81	0.114	0.62	2.46	0.106	0.177
V/S	3.44	0.210	8.66	0.82	0.110	0.63	2.49	0.109	0.183
J ±	0.02	0.004	0.05	0.01	0.004	0.01	0.03	0.003	0.006

El	Ti	Cr	V	Co	Ga	Be
C	0.091	0.109	0.0059	0.053	0.009	0.0010
V/S	0.093	0.111	0.0055	0.050	0.008	0.0007
J ±	0.002	0.002	0.0004	0.003	0.001	0.0003

PADRÃO L 3

FABRICANTE: CENTRE DE DEVELOPPEMENT DES INDUSTRIES DE MISE EM FORME DES MATERIAUX

CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM ABRIL DE 1991

PROGRAMA ANALÍTICO CALIBRADO: COBRE ORIENTATIVO

RESULTADOS OBTIDOS:

El	Sn	Pb	Zn	Fe	Ni	Mn	Al	Si
C	1.50	1.02	32.70	0.360	0.90	0.205	0.91	0.034
V/S	1.52	1.01	32.78	0.365	0.89	0.201	0.93	0.037
J ±	0.02	0.01	0.08	0.005	0.01	0.004	0.02	0.003

PADRÃO CA 30

FABRICANTE: CENTRE DE DEVELOPPEMENT DES INDUSTRIES DE MISE EM FORME DES MATERIAUX

CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM OUTUBRO DE 2003

PROGRAMA ANALÍTICO CALIBRADO: COBRE ORIENTATIVO

RESULTADOS OBTIDOS:

El	Sn	Pb	Zn	Fe	Ni	Mn	Al	Si
C	0.099	0.142	0.066	5.20	3.10	2.05	7.55	0.15
V/S	0.097	0.141	0.068	5.22	3.09	2.04	7.51	0.14
J ±	0.002	0.001	0.002	0.02	0.01	0.01	0.04	0.01

GNR Brasil - Comércio e Representações Ltda
 Rua Cipriana Martinez Zonta, 101 A - SL 01
 Cep: 03189-160 - Vila Oratório - São Paulo - SP
 Fone:(0**11) 2028-7941 - Fax:(0**11) 2965-6423
 E - mail: gnrbrasil@gnrbrasil.net



PADRÃO B 4

FABRICANTE: CENTRE DE DEVELOPPEMENT DES INDUSTRIES DE MISE EN FORME DES MATERIAUX
 CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM OUTUBRO DE 1993
 PROGRAMA ANALÍTICO CALIBRADO: COBRE ORIENTATIVO
 RESULTADOS OBTIDOS:

El	Sn	Pb	Zn	Fe	Ni	S	P	As
C	11.10	2.54	1.360	0.022	0.57	0.019	0.53	0.100
V/S	11.08	2.56	1.365	0.021	0.56	0.020	0.52	0.103
J ±	0.02	0.02	0.005	0.001	0.01	0.001	0.01	0.003

El	Si
C	0.020
V/S	0.021
J ±	0.001

PADRÃO 403/2

FABRICANTE: BAS BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD.
 CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM ABRIL DE 1992
 PROGRAMA ANALÍTICO CALIBRADO: AÇO CARBONO
 RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
C	0.750	0.209	1.677	0.055	0.0381	0.463	0.088	0.223	0.0485
V/S	0.745	0.206	1.671	0.056	0.0377	0.457	0.090	0.220	0.0479
J ±	0.005	0.003	0.006	0.001	0.004	0.006	0.002	0.003	0.0006

El	Cu	V
C	0.221	0.341
V/S	0.224	0.339
J ±	0.003	0.002

PADRÃO 401/2

FABRICANTE: BAS BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD.
 CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM ABRIL DE 1992
 PROGRAMA ANALÍTICO CALIBRADO: AÇO CARBONO
 RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
C	0.935	0.602	1.197	0.0265	0.0078	0.138	0.495	0.019	0.074
V/S	0.930	0.609	1.194	0.0260	0.0075	0.135	0.490	0.021	0.070
J ±	0.005	0.007	0.003	0.0005	0.0003	0.003	0.005	0.002	0.004

El	Cu	V	Co
C	0.101	0.496	0.0042
V/S	0.104	0.490	0.0041
J ±	0.003	0.006	0.0001

GNR Brasil - Comércio e Representações Ltda
 Rua Cipriana Martinez Zonta, 101 A - Sl. 01
 Cep: 03189-160 - Vila Oratório - São Paulo - SP
 Fone:(0**11) 2028-7941 - Fax:(0**11) 2965-6423
 E - mail: gnrbrasil@gnrbrasil.net



PADRÃO 406/2

FABRICANTE: BAS BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD.
 CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM FEVEREIRO DE 2006
 PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: AÇO CARBONO
 RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
C	0.173	0.342	0.447	0.0102	0.043	2.001	0.98	1.62	0.013
V/S	0.170	0.340	0.443	0.0105	0.042	2.006	0.96	1.61	0.012
J ±	0.003	0.002	0.004	0.0003	0.001	0.005	0.02	0.01	0.001

El	Cu	V	Pb
C	0.289	0.010	0.0002
V/S	0.286	0.011	0.0002
J ±	0.003	0.001	-0-

PADRÃO 410/2

FABRICANTE: BAS BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD.
 CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM FEVEREIRO DE 2006
 PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: AÇO CARBONO N
 RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
C	0.428	1.10	0.419	0.074	0.041	1.684	0.432	2.07	0.046
V/S	0.426	1.11	0.415	0.071	0.042	1.680	0.438	2.06	0.043
J ±	0.002	0.01	0.004	0.003	0.001	0.004	0.006	0.01	0.003

El	Cu	V	N	Co
C	0.436	0.44	0.0155	0.0248
V/S	0.434	0.45	0.0150	0.0246
J ±	0.002	0.01	0.0005	0.0002

PADRÃO 408/2

FABRICANTE: BAS BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD.
 CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM FEVEREIRO DE 2006
 PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: AÇO CARBONO N
 RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
C	0.289	0.237	0.557	0.056	0.030	0.111	0.098	4.13	0.154
V/S	0.286	0.241	0.555	0.057	0.030	0.114	0.094	4.15	0.150
J ±	0.003	0.004	0.002	0.001	-0-	0.003	0.004	0.02	0.004

El	Cu	N	Pb	V
C	0.694	0.0075	0.0006	0.067
V/S	0.690	0.0081	0.0006	0.069
J ±	0.004	0.0006	-0-	0.002

GNR Brasil - Comércio e Representações Ltda
 Rua Cipriana Martinez Zonta, 101 A - Sl. 01
 Cep: 03189-160 - Vila Oratório - São Paulo - SP
 Fone:(0**11) 2028-7941 - Fax:(0**11) 2965-6423
 E - mail: gnrbrasil @ gnrbrasil.net



PADRÃO 409/2

FABRICANTE: BAS BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD.
CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM FEVEREIRO DE 2006
PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: AÇO CARBONO N
RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
C	0.086	1.18	0.559	0.0141	0.0179	1.318	0.599	3.02	0.094
V/S	0.083	1.19	0.557	0.0144	0.0176	1.322	0.597	3.01	0.090
J ±	0.003	0.01	0.002	0.0003	0.0003	0.004	0.002	0.01	0.004

El	Cu	N	V
C	0.205	0.0108	0.008
V/S	0.207	0.0102	0.010
J ±	0.002	0.0006	0.002

PADRÃO 464/1

FABRICANTE: BAS BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD.
CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM JULHO DE 1990
PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: AÇO INOXIDAVEL
RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Co
C	0.086	0.57	0.791	0.020	0.028	25.39	20.05	0.054
V/S	0.084	0.58	0.795	0.021	0.027	25.34	20.04	0.050
J ±	0.002	0.01	0.004	0.001	0.001	0.05	0.01	0.004

PADRÃO 461/1

FABRICANTE: BAS BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD.
CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM JULHO DE 1996
PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: AÇO INOXIDAVEL
RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
C	0.0103	0.374	0.686	0.0053	0.0051	14.727	0.0138	6.124
V/S	0.0106	0.376	0.681	0.0052	0.0054	14.720	0.0141	6.120
J ±	0.0003	0.002	0.005	0.0001	0.0003	0.007	0.0003	0.004

El	Cu
C	0.0091
V/S	0.0096
J ±	0.0005

GNR Brasil - Comércio e Representações Ltda
 Rua Cipriana Martinez Zonta, 101 A - Sl. 01
 Cep: 03189-160 - Vila Oratório - São Paulo - SP
 Fone:(0**11) 2028-7941 - Fax:(0**11) 2965-6423
 E - mail: gnrbrasil@gnrbrasil.net



PADRÃO 467/1

FABRICANTE: BAS BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD.
CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM JULHO DE 1990
PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: AÇO INOXIDAVEL
RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb
C	0.082	0.52	0.788	0.018	0.019	18.09	9.21	0.99
V/S	0.080	0.51	0.785	0.017	0.018	18.05	9.23	0.98
J ±	0.002	0.01	0.003	0.001	0.001	0.04	0.02	0.01

PADRÃO 463/1

FABRICANTE: BAS BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD.
CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM JULHO DE 1993
PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: AÇO INOXIDAVEL N
RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B
C	0.019	0.270	1.400	0.025	0.019	18.46	0.265	10.20	0.0022
V/S	0.020	0.275	1.408	0.027	0.020	18.42	0.261	10.25	0.0021
J ±	0.001	0.005	0.008	0.002	0.001	0.04	0.004	0.05	0.0001

El	Co	Cu	N
C	0.116	0.276	0.063
V/S	0.113	0.279	0.062
J ±	0.003	0.003	0.001

PADRÃO 465/1

FABRICANTE: BAS BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD.
CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM JULHO DE 1993
PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: AÇO INOXIDAVEL N
RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
C	0.066	0.405	1.380	0.021	0.012	17.31	0.092	9.24	0.026
V/S	0.068	0.409	1.388	0.023	0.013	17.35	0.097	9.21	0.025
J ±	0.002	0.004	0.008	0.002	0.001	0.04	0.005	0.03	0.001

El	B	Co	Cu	N	Ti	V
C	0.0006	0.053	0.098	0.010	0.40	0.102
V/S	0.0006	0.051	0.097	0.011	0.42	0.107
J ±	-0-	0.002	0.001	0.001	0.02	0.005

GNR Brasil - Comércio e Representações Ltda
 Rua Cipriana Martinez Zonta, 101 A - Sl. 01
 Cep: 03189-160 - Vila Oratório - São Paulo - SP
 Fone:(0**11) 2028-7941 - Fax:(0**11) 2965-6423
 E - mail: gnrbrasil@gnrbrasil.net



PADRÃO 466/2

FABRICANTE: BAS BUREAU OF ANALYSED SAMPLES LTD.
CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM FEVEREIRO DE 2003
PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: AÇO INOXIDAVEL N
RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B
C	0.0141	0.480	1.311	0.0105	0.0069	17.84	2.776	10.20	0.0039
V/S	0.0146	0.483	1.319	0.0101	0.0066	17.80	2.780	10.23	0.0036
J ±	0.0005	0.003	0.008	0.0004	0.0003	0.04	0.004	0.03	0.0003

El	Cu	N	V
C	0.0278	0.0508	0.0346
V/S	0.0282	0.0500	0.0341
J ±	0.0004	0.0008	0.0005

PADRÃO 28X 6253

FABRICANTE: MBH ANALYTICAL LTD
CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM JANEIRO DE 2010
PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: INCONEL
RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	S	P	Mn	Cu	Fe	Nb	Cr
C	0.126	1.13	0.0211	0.013	0.677	0.299	5.230	4.202	21.66
V/S	0.123	1.123	0.021	0.014	0.676	0.298	5.242	4.209	21.590
J ±	0.003	0.007	0.0001	0.001	0.001	0.001	0.012	0.007	0.07

El	Mo	Co	Ti	Al	N
C	7.69	0.417	0.360	0.21	0.093
V/S	7.702	0.419	0.358	0.212	0.091
J ±	0.012	0.002	0.002	0.002	0.002

PADRÃO 28X 6254

FABRICANTE: MBH ANALYTICAL LTD
CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM OUTUBRO DE 2007
PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: INCONEL
RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	S	P	Mn	Cu	Fe	Nb	Cr
C	0.047	0.79	0.0160	0.0097	0.457	0.044	3.33	3.60	22.71
V/S	0.046	0.801	0.017	0.009	0.469	0.045	3.305	3.588	22.685
J ±	0.001	0.011	0.001	0.0007	0.012	0.001	0.025	0.012	0.025

El	Mo	Co	Ti	Al	B	N
C	8.92	0.195	0.179	0.05	0.005	0.0364
V/S	8.94	0.193	0.177	0.046	0.006	0.036
J ±	0.02	0.002	0.002	0.004	0.001	0.0004

GNR Brasil - Comércio e Representações Ltda
Rua Cipriana Martinez Zonta, 101 A - Sl. 01
Cep: 03189-160 - Vila Oratório - São Paulo - SP
Fone:(0**11) 2028-7941 - Fax:(0**11) 2965-6423
E - mail: gnrbrasil@gnrbrasil.net



PADRÃO 28X 6256

FABRICANTE: MBH ANALYTICAL LTD

CERTIFICADO DO PADRÃO EMITIDO EM NOVEMBRO DE 2008

PROGRAMA ANALITICO CALIBRADO: INCONEL

RESULTADOS OBTIDOS:

El	C	Si	S	P	Mn	Cr	Nb	Fe
C	0.0173	0.041	0.0016	0.0033	0.0004	21.29	3.75	0.034
V/S	0.017	0.042	0.001	0.003	0.001	21.335	3.765	0.033
J ±	0.0003	0.001	0.0006	0.0003	0.0006	0.045	0.015	0.001

El	Cu	Mo	Ti	Al	N
C	0.018	8.81	0.266	0.301	0.007
V/S	0.017	8.820	0.269	0.302	0.006
J ±	0.001	0.010	0.003	0.001	0.001

C = Valor do Certificado

V/S = Valor da Analise

J = Diferença entre o valor da analise e do certificado

e das amostras

$$\begin{aligned} & \text{III} \quad \{ \alpha, \beta \} \\ & \text{IV} \quad \{ \alpha \} \\ & \text{V} \quad \{ \alpha \} \\ & \text{VI} \quad \{ \alpha \} \\ & \text{VII} \quad \{ \alpha \} \\ & \text{VIII} \quad \{ \alpha \} \end{aligned}$$

- diabetes e
sintomas de exopneumotórax
que simulates

[illegible]

a
 b
 c



DINATESTE INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.
ASSISTÊNCIA TÉCNICA EM MÁQUINAS DE ENSAIOS DE COMPRESSÃO, TRAÇÃO
E INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE FORÇA DE USO GERAL (DINAMÔMETROS)



CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DNTT/ 918c/14.

1/1.

A
TEAM - LAB Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais Ltda.
Rua Doutor Pelagio Marques, 51
03512-010 - São Paulo - SP.

Máquina Universal de Ensaios,
Marca Wolpert, modelo n/c, tipo eletro-hidráulica,
Nº. 1263MQ, n.º pat. n/c, ano n/c,
Cap. Máx.: 60.000 kgf,
Faixa(s) nominal(is) de 60.000 kgf,
Identif.: TL 0017.

- Módulo condicionador de sinal, marca Dinateste
Mod. Dynaview, n.º. 100.408, n.º pat. 067031,
Identif.: n/c.

RESULTADOS

Faixa nominal de 60000 kgf, resolução 2 kgf.									
Indicação na Máquina	Valores Médios Indicados pelo Padrão		Erros Relativos de Indicação		Resolução Relativa	Classificação	Incerteza Expandida	k	v _{eff}
(kgf)	(kN)	(kgf)	q (%)	b (%)	a (%)	-	U (%)	-	-
0	0,00	0	-	-	-	-	-	-	-
1200	11,73	1198	3,5E-01	1,4E-01	1,7E-01	1	2,1E-01	2,03	90
1800	17,57	1792	4,7E-01	3,0E-01	1,1E-01	1	3,1E-01	2,65	6
2400	23,44	2390	4,3E-01	2,1E-01	8,3E-02	1	2,1E-01	2,37	9
3600	35,08	3575	7,0E-01	3,4E-01	5,6E-02	1	3,7E-01	3,31	4
4800	46,64	4756	9,3E-01	1,9E-01	4,2E-02	1	1,8E-01	2,52	7
6000	58,28	5943	9,6E-01	2,9E-01	3,3E-02	1	3,3E-01	3,31	4
9000	87,49	8922	8,8E-01	7,9E-02	2,2E-02	1	9,5E-02	2,09	30
12000	116,88	11919	6,8E-01	1,3E-01	1,7E-02	1	1,3E-01	2,43	8
24000	234,9	23950	1,9E-01	1,7E-01	8,3E-03	0,5	1,8E-01	2,37	9
36000	352,7	35960	1,0E-01	3,3E-02	5,6E-03	0,5	9,7E-02	2,00	∞
48000	471,2	48050	-9,5E-02	4,9E-02	4,2E-03	0,5	9,2E-02	2,01	200
56000	550,3	56120	-2,1E-01	3,6E-02	3,6E-03	0,5	8,6E-02	2,01	500
10 (%)	1,1E-02								
resolução, r (kgf)	2								

.Temperatura ambiente durante a calibração: 19,6 °C; (Incerteza das indicações: ± 1,3 °C)

Informações gerais:

.Ambiente com ar condicionado.

.Equipamento instalado no LABORATÓRIO MECÂNICO.

.Calibração efetuada em uma só posição do pistão, por impossibilidade de montagem dos equipamentos em outra posição.

.Data da última calibração: 03/09/2013.

.Calibração efetuada conforme T-003, baseada na norma ABNT NBR NM-ISO 7500-1:2004.

.A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com v_{eff} graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

.Fator de Conversão: 1 kgf = 9,80665E-3 kN

.Obs.(1): A calibração foi efetuada sem a realização de ajuste no equipamento.

.Obs.(2): Esta máquina não atinge forças superiores a 56.300 kgf.

Data desta calibração: 29/08/2014.

.Padrão(ões) utilizado(s):

CC Identif.: CO 01, n.º. M63272, cap. máx.

1MN, Cert. RBC (IPT - CAL 0003) n.º 125939-101 de 05/08/13 - calib. válida até 05/10/15.

CC Identif.: CO 02, n.º. M35045, cap. máx.

200 kN, Cert. RBC (IPT - CAL 0003) n.º 125854-101 de 30/07/13 - calib. válida até 30/09/15.

São Paulo, 02 de setembro de 2014.

Dinateste Indústria e Comércio Ltda.

Ricardo Luiz Zanetti
Gerente Técnico

CC = Célula de Carga

- O ajuste não faz parte do escopo da acreditação deste laboratório.

- Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela Cgcre que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades - SI.

- A reprodução do presente documento somente poderá ser efetuada desde que integralmente, sem quaisquer alterações.

AVENIDA CORIFEU DE AZEVEDO MARQUES, 1.468 - CEP 05582-001- BUTANTÃ - SÃO PAULO - SP - BRASIL
TEL.: (11) 3723-2710 / 3726-4899 - E-mail: dinateste@dinateste.com.br - Site: www.dinateste.com.br

ANEXO IX – Relatórios de ensaio dos materiais

LABORATÓRIO DE ENSAIO PERTENCENTE À REDE BRASILEIRA DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS - RBLE

Solicitante: **CESAR RIBEIRO**
Endereço: Telefone: (11) 94133-1975 / E-mail: cesar_engsold@hotmail.com
Interessado: **USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**
Endereço: -

Informações fornecidas pelo solicitante:

Pedido do Solicitante / Interessado

Aplicação Determinação das propriedades do metal de base

Norma(s) de Referência API Specification 5L: 2012

Metal de Base API 5L Grau L450 (X65) PSL 1

Dimensões da Peça de Teste DN 18" x 0,460" (Ø 457,2 x 11,7 mm)

Informações Adicionais Identificação Creduto: Lote 13 / Identificação do tubo: TB-447502 / Corrida: 474835

1 - TRACÇÃO (Transversal ao eixo do tubo)

Identificação	Espessura (mm)	Largura (mm)	Área (mm²)	Carga de Escoamento		Carga Máxima		L ₀ (mm)	L _f (mm)	D _f (mm)
				(kgf)	(N)	(kgf)	(N)			
T	11,2	38,1	426,7	25.478	249.850	30.620	300.280	50,0	64,2	-

Identificação	Limite de Escoamento R _{0,5} (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)	Laudo		
					Escoamento	Resistência	Alongamento
T	586	704	28,5	-	Aprovado	Aprovado	Aprovado

• Incerteza de Medição (U) = +/- 0,5%

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação ASTM A 370-12a, Figura A2.5

Método de Ensaio ASTM A 370-12a

Critério de Aceitação API 5L Tabela 6

Limite de Resistência Especificado Min. 535 MPa

Limite de Escoamento Especificado Min. 450 MPa

Alongamento Min. 23%

Máquina de Ensaio

Identificação TL-017

Certificado de Calibração DNTT 918c/14

Data de Validade 30 / 08 / 15

Entidade Emissora Dinateste

Extensômetro

Identificação TL-0117

Certificado de Calibração DNTT 416c-14

Data de Validade 10 / 04 / 15

Entidade Emissora Dinateste

2 - ANÁLISE QUÍMICA

AQ	Concentração dos elementos na amostra (%).								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb
Especificado	Máx. 0,28	-	Máx. 1,40	Máx. 0,030	Máx. 0,030	Máx. 0,50	Máx. 0,15	Máx. 0,50	-
Encontrado	0,09	0,17	1,40	0,015	0,003	0,02	0,00	0,02	0,04
Desvio Padrão	0,00	0,01	0,03	0,002	0,000	0,00	0,00	0,00	0,01

AQ	Concentração dos elementos na amostra (%).								
	Al	Cu	B	Ti	V	Nb+V+Ti	CE _{PCM}	CE _{EW}	Laudo
Especificado	-	Máx. 0,50	Máx. 0,001	-	-	≤ 0,15	-	-	Aprovado
Encontrado	0,02	0,01	0,000	0,02	0,05	0,11	0,18	0,34	
Desvio Padrão	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	-	-	-	

• A incerteza dos resultados de cada amostra analisada é dada pela expressão: (U = +/- 1,359. S), onde: U = Incerteza dos resultados e S = Desvio padrão de cada amostra.

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação API 5L, Item 9.2

Método de Ensaio ASTM E 415-08 (Espectrometria)

Critério de Aceitação API 5L, Tabela 4

Máquina de Ensaio

Identificação TL-088

Certificado de Calibração 046/13

Data de Validade 21 / 10 / 14

Entidade Emissora GNR Brasil

TEAM LAB – Tecnologia em Ensaio e Análises de Materiais

Rua Dr. Pelágio Marques, 51 – CEP: 03512-010 – Vila Matilde – São Paulo – SP

www.teamlab.com.br - Telefone: (11) 2537-9007 / 2537-9009 / 2082-3408 / 2082-3399

Assinatura
José de Deus Brito
Signatário Autorizado

3 - DUREZA HV10

- A 1,5 mm da superfície do material, na espessura

Identificação	1ª Impressão	2ª Impressão	3ª Impressão	4ª Impressão	5ª Impressão	Média
DZ	221	236	236	228	228	230

• Incerteza de Medição (U) = +/- 14 HV10

PreparaçãoASTM E 3 - 11
Método do EnsaioASTM E 92 - 82 (Reaprovada 2003)
Critério de Aceitação.....Informativo

Durômetro
Identificação.....TL-0022
Certificado de Calibração137 337 - 101 / 137 338 - 101 / 137 339 - 101
Data de Validade.....16 / 04 / 15
Entidade Emitente.....IPT

4 - MICROGRAFIA: MICROESTRUTURA E TAMANHO DE GRÃO



Figura 1 - Microestrutura (MI)

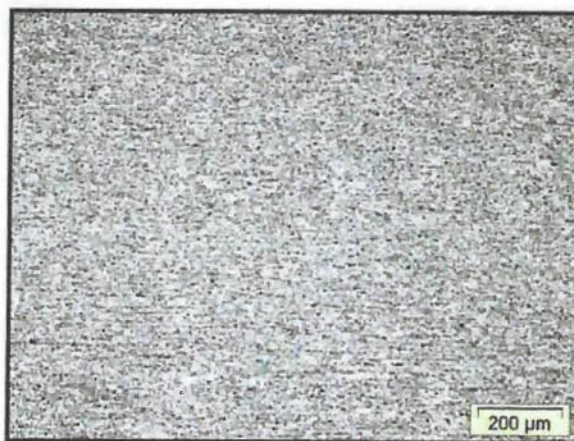


Figura 2 - Tamanho de Grão (TG)

Reagente UtilizadoNital 3%
Sentido.....Longitudinal (MI) e Transversal (TG)
AmpliaçãoAumento de 100 (MI) e 500 (TG) vezes
Máquina de EnsaioMicroscópio Gx 41

Identificação	Análise Micrográfica e Tamanho de Grão
MI	Consiste em ferrita e perlita. Material com característica de tratamento térmico de normalização.
TG	Nº 10

PreparaçãoASTM E 3 - 11
Método de EnsaioMI: ASTM E 7 - 03 (Reaprovada 2009) / TG: ASTM E 112 - 13
Critério de Aceitação.....Informativo

Microscópio
Régua Graduada.....TL-062
Certificado de CalibraçãoD14472/12
Data de Validade.....19 / 08 / 16
Entidade Emitente.....Feinmess

- ✓ Este relatório atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- ✓ Os ensaios foram realizados nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C.
- ✓ A incerteza expandida declarada é baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência k=2, fornecendo um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- ✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaios realizados em 09 de Setembro de 2014.

Emissão de relatório em 09 de Setembro de 2014.


José de Deus Brito
Signatário Autorizado

LABORATÓRIO DE ENSAIO PERTENCENTE À REDE BRASILEIRA DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS - RBLE

Solicitante: **CESAR RIBEIRO**
Endereço: Telefone: (11) 94133-1975 / E-mail: cesar_engsold@hotmail.com
Interessado: **USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**
Endereço: -


Informações fornecidas pelo solicitante:

Pedido do Solicitante / Interessado

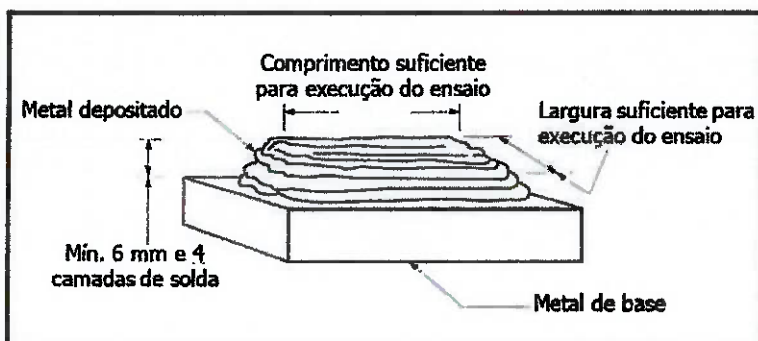
Aplicação Determinação da composição química do metal depositado

Norma(s) de Referência ASME II Parte C – SFA5.1/SFA5.1M: 2010

Metal de Adição E7018/7018-1 H4

Diâmetro dos Eletrodos Ø 3,25 mm

Informações Adicionais Ø 3,25 mm - corrida: 1208047

1 - ANÁLISE QUÍMICA


- Altura da análise em relação à superfície do metal de base: 9 mm

AQ Ø 3,25 mm	Concentração dos elementos na amostra (%).								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb
Especificado	Máx. 0,15	Máx. 0,75	Máx. 1,60	Máx. 0,035	Máx. 0,035	Máx. 0,20	Máx. 0,30	Máx. 0,30	-
Encontrado	0,03	0,35	1,14	0,017	0,007	0,03	0,00	0,02	0,01
Desvio Padrão	0,00	0,02	0,03	0,002	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00

AQ Ø 3,25 mm	Concentração dos elementos na amostra (%).							Laudo
	Al	Cu	B	V	Mn + Ni + Cr + Mo + V	CE _{PCM}	CE _{IRW}	
Especificado	-	-	-	Máx. 0,08	Máx. 1,75	-	-	Aprovado
Encontrado	0,00	0,06	0,000	0,01	1,20	0,12	0,23	
Desvio Padrão	0,00	0,00	0,000	0,00	-	-	-	

- A incerteza dos resultados de cada amostra analisada é dada pela expressão: (U = +/- 1,359. S), onde: U = Incerteza dos resultados e S = Desvio padrão de cada amostra.

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação ASME II Parte C – SFA5.1/SFA5.1M: 2010, Figura 1 e Croqui

Método de Ensaio ASTM E 415-08 (Espectrometria)

Critério de Aceitação SFA5 1, Tabela 7

Máquina de Ensaio

Identificação TL-088

Certificado de Calibração 046/13

Data de Validade 21 / 10 / 14

Entidade Emitente GNR Brasil

- ✓ Este relatório atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- ✓ O ensaio foi realizado nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C.
- ✓ A incerteza expandida declarada é baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência k=2, fornecendo um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- ✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaio realizado em 12 de Setembro de 2014.

Emissão de relatório em 12 de Setembro de 2014.



José de Deus Brito
Signatário Autorizado

LABORATÓRIO DE ENSAIO PERTENCENTE À REDE BRASILEIRA DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS - RBLE

Solicitante: **CESAR RIBEIRO**
Endereço: Telefone: (11) 94133-1975 / E-mail: cesar_engsold@hotmail.com
Interessado: **USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**
Endereço: -


Informações fornecidas pelo solicitante:

Pedido do Solicitante / Interessado

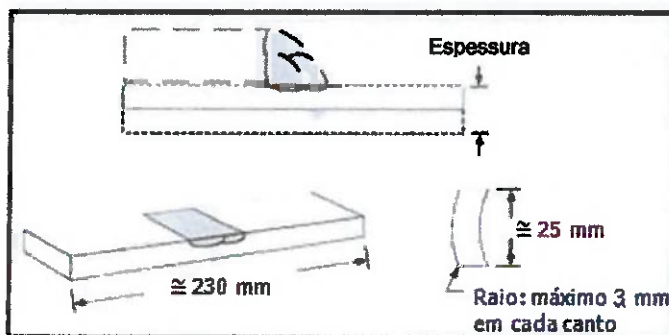
Aplicação Verificação das propriedades da junta soldada – Amostra 1

Norma(s) de Referência API 1104 – 2013 e Anexo B

Metal de Base API 5L Grau L450 (X65) PSL 1

Dimensões da Peça de Teste DN 18" x 0,460" (Ø 457,2 x 11,7 mm)

Informações Adicionais Posição de Soldagem: Plana / Identificação: Plana 1 / Energia de soldagem: 1,58 kJ/mm

1 - DOBRAMENTO GUIADO


Diâmetro do Cutelo 90 mm

Distância Entre Roletes 120 mm

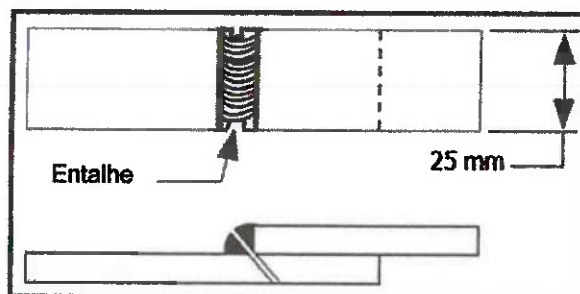
Identificação	Dimensões (mm)	Ângulo	Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas	Laudo
DF - 1	11,7 x 25 x 250	180°	Isento de descontinuidades	Aprovado
DF - 2	11,7 x 25 x 250	180°	Isento de descontinuidades	Aprovado

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação API 1104 Anexo B, item B.2.5.5.1 e figura B.6

Método do Ensaio API 1104 Anexo B, item B.2.5.5.2

Critério de Aceitação API 1104 Anexo B, item B.2.5.5.3 / Comprimento da trinca ou imperfeição: Máx. 3 mm

2 - TESTE DE FRATURA - (NICK-BREAK)


Identificação	Dimensões (mm)	Área Exposta (mm²)	Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas	Área dos poros (mm²)	Laudo
NB - 1	11,7 x 25 x 250	188,2	Isento de descontinuidades	0	Aprovado
NB - 2	11,7 x 25 x 250	201,8	Isento de descontinuidades	0	Aprovado

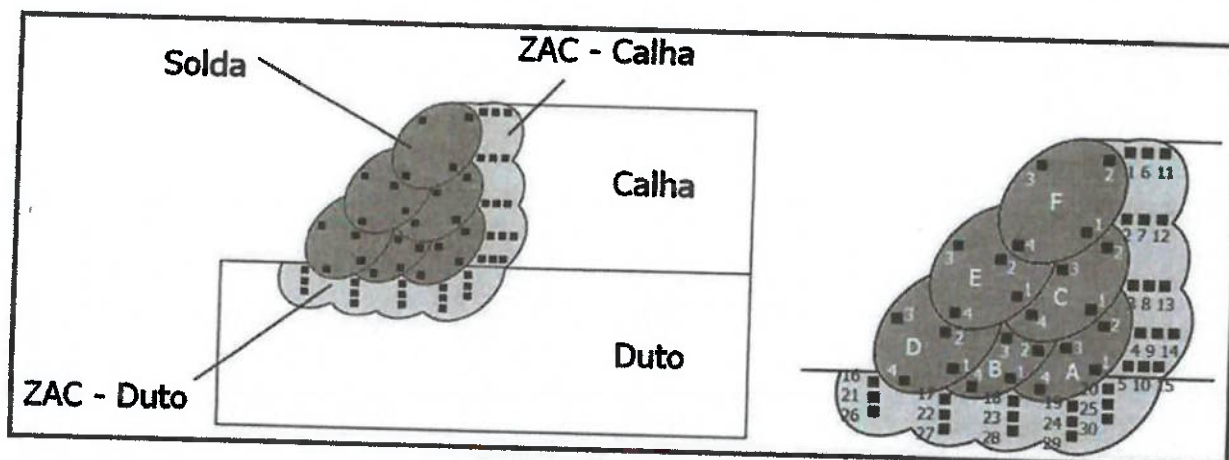
- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação API 1104, item 5.8.1 e figura 11

Método do Ensaio API 1104, item 5.8.2

Critério de Aceitação API 1104, item 5.8.3 / - Penetração e fusão completas; - Poro: Ø máx.: 1,6 mm; - Σ área de poros: máx. 2% da área da superfície exposta; - Inclusão de escória: profundidade máx. 0,8 mm / comprimento máx. 3 mm / distância entre inclusões mín. 13 mm

3 - DUREZA HV10



Distribuição das impressões na junta

Observações:

- 1 - A primeira impressão na ZAC deve ser realizada o mais próximo possível à linha de fusão e as demais espaçadas 0,5 mm entre si e 1,5 mm com relação à superfície do material de base;
- 2 - A distribuição das impressões na solda deve ser efetuada conforme croqui, em cada passe efetuado;
- 3 - As linhas de impressões na ZAC devem estar organizadas de maneira equidistante ao longo da região.

Solda			
A - 1ª Impressão	A - 2ª Impressão	A - 3ª Impressão	A - 4ª Impressão
228	199	206	213
B - 1ª Impressão	B - 2ª Impressão	B - 3ª Impressão	B - 4ª Impressão
193	206	206	213
C - 1ª Impressão	C - 2ª Impressão	C - 3ª Impressão	C - 4ª Impressão
199	193	187	199
D - 1ª Impressão	D - 2ª Impressão	D - 3ª Impressão	D - 4ª Impressão
221	199	206	254
E - 1ª Impressão	E - 2ª Impressão	E - 3ª Impressão	E - 4ª Impressão
206	199	221	228
F - 1ª Impressão	F - 2ª Impressão	F - 3ª Impressão	F - 4ª Impressão
221	221	228	213

ZAC - Calha														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
285	274	236	236	236	245	264	236	221	228	221	228	206	236	228

ZAC - Duto														
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
274	245	236	228	264	245	228	228	228	228	245	228	206	228	213

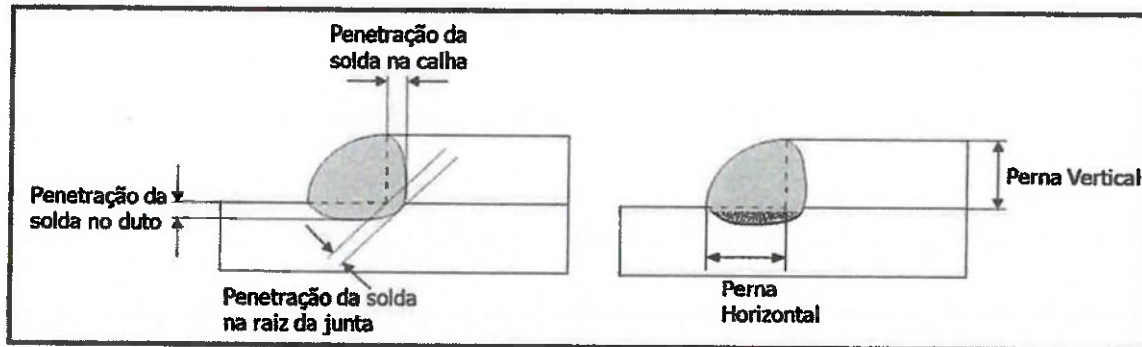
• Incerteza de Medição (U) = +/- 14 HV10

Preparação API 1104 Anexo B, item B.2.5.4.3 / ASTM E 3 - 11
Método do Ensaio ASTM E 92 - 82 (Reaprovada 2003)
Critério de Aceitação Informativo

Durômetro

Identificação TL-0022
Certificado de Calibração 137 337 - 101 / 137 338 - 101 / 137 339 - 101
Data de Validade 16 / 04 / 15
Entidade Emitente IPT

4 - MACROGRAFIA



Reagente utilizadoPersulfato de Amônia
 Inspeção visualAumento de 10 vezes
 Ampliação1:1

Identificação	Perna Horizontal (mm)	Perna Vertical (mm)	Concavidade (mm)	Convexidade (mm)	Penetração			Identificação e dimensões das discontinuidades detectadas
					Duto	Raiz	Calha	
M - 1	19	12	0	2	2	0,5	2	Isento de discontinuidades
M - 2	19	11	0	2	1,5	0,5	1	Isento de discontinuidades
M - 3	16	11	0	2	2	0,5	2	Isento de discontinuidades

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

PreparaçãoAPI 1104 Anexo B, item B.2.5.4.1 / ASTM E 3 - 11

Método de EnsaioAPI 1104 Anexo B, item B.2.5.4.1 / B.2.5.4.2

Critério de aceitaçãoAPI 1104 Anexo B, item B.2.5.4.4 / - Fusão completa na raiz; - Isento de trincas; - Concavidade e Convexidade: Máx. 1,6 mm; - Mordedura: Máx. 0,8 mm; - Dimensionamento.

5 - MICROGRAFIA: MICROESTRUTURA E TAMANHO DE GRÃO

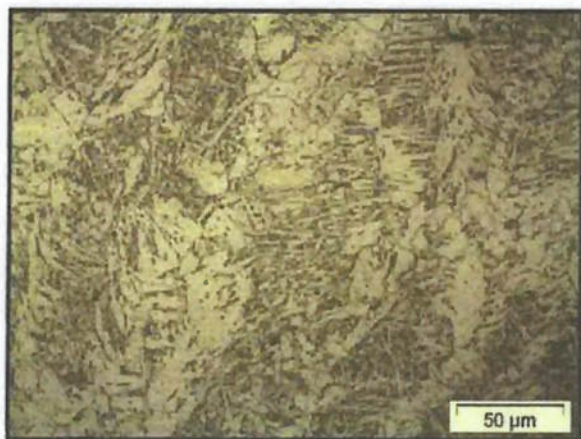


Figura 1 - MI - 1 (Solda)



Figura 2 - MI - 2 (Solda)

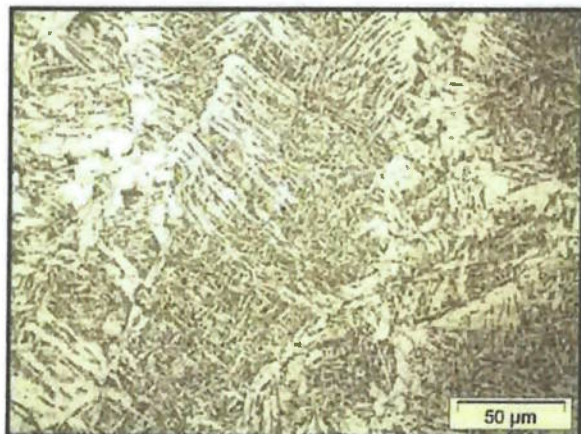


Figura 3 - MI - 3 (Solda)

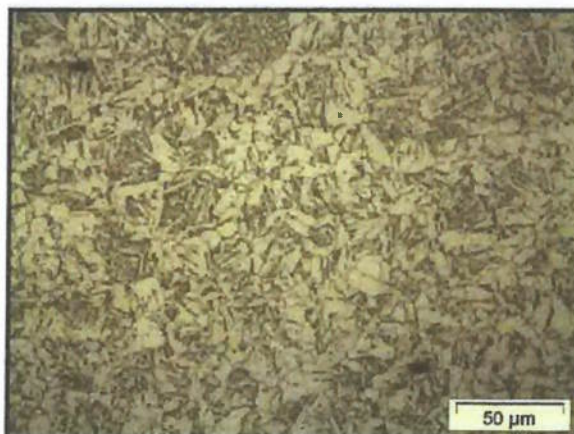


Figura 4 - MI - 4 (ZAC-Calha)

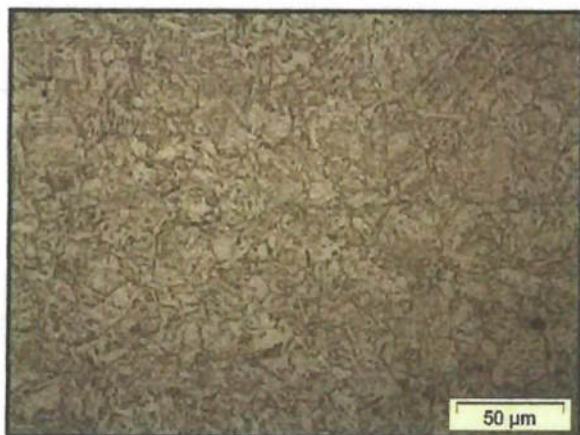


Figura 5 - MI - 5 (ZAC-Calha)

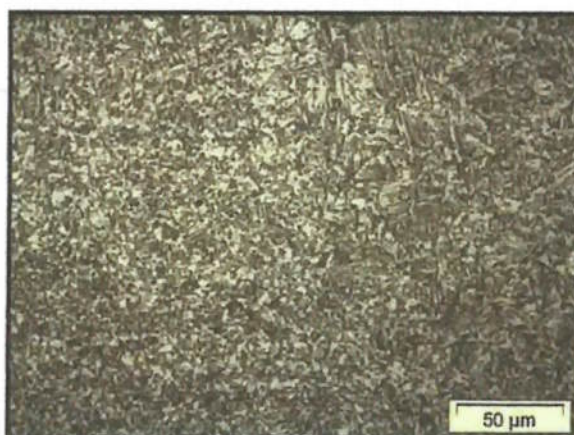


Figura 6 - MI - 6 (ZAC-Calha)



Figura 7 - MI - 7 (ZAC-Duto)

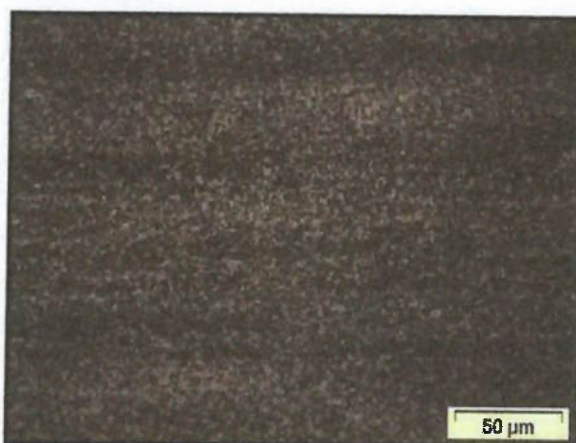


Figura 8 - MI - 8 (ZAC-Duto)



Figura 9 - MI - 9 (ZAC-Duto)

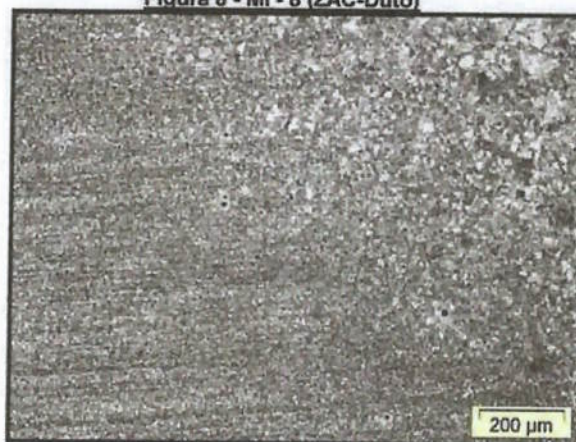


Figura 10 - TG - 1 (ZAC-Calha)



Figura 11 - TG - 2 (ZAC-Calha)

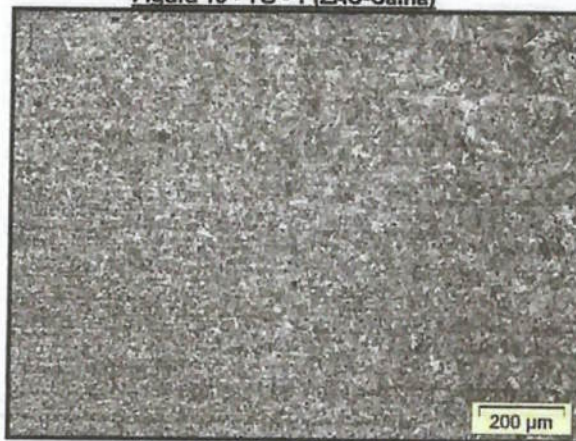


Figura 12 - TG - 3 (ZAC-Calha)

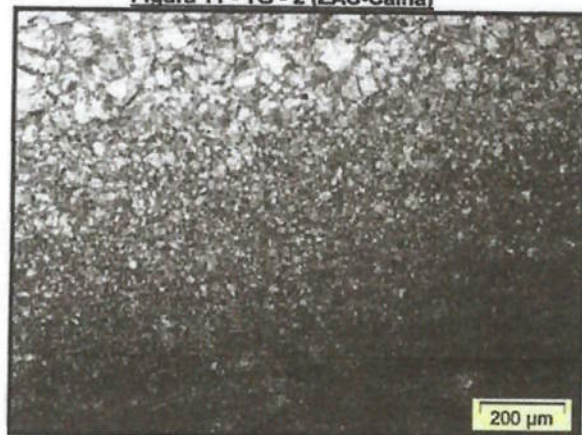


Figura 13 - TG - 4 (ZAC-Duto)



Figura 14 - TG - 5 (ZAC-Duto)

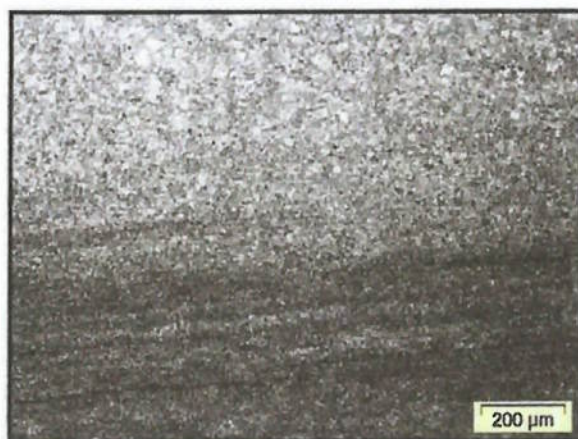


Figura 15 - TG - 6 (ZAC-Duto)

Reagente Utilizado Nital 3%
 Sentido Longitudinal (MI) e Transversal (TG)
 Ampliação Aumento de 100 (TG) e 500 (MI) vezes
 Máquina de Ensaio Microscópio Gx 41

Identificação	Análise Micrográfica e Tamanho de Grão
MI - 1 (Solda)	Consiste em ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.
MI - 2 (Solda)	Consiste em ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.
MI - 3 (Solda)	Consiste em ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.
MI - 4 (ZAC-Calha)	Consiste em ferrita, ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos.
MI - 5 (ZAC-Calha)	Consiste em ferrita, ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos.
MI - 6 (ZAC-Calha)	Consiste em ferrita, ferrita acicular e perlita esferoidizada, com carbonetos dispersos e possivelmente bainita.
MI - 7 (ZAC-Duto)	Consiste em ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
MI - 8 (ZAC-Duto)	Consiste em ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
MI - 9 (ZAC-Duto)	Consiste em ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
TG - 10 (ZAC-Calha)	Variação granulométrica, com grãos variando de 6,5 para 10.
TG - 11 (ZAC-Calha)	Variação granulométrica, com grãos variando de 7,5 para 10.
TG - 12 (ZAC-Calha)	Variação granulométrica, com grãos variando de 5 para 10.
TG - 13 (ZAC-Duto)	Variação granulométrica, com grãos variando de 4 para 10.
TG - 14 (ZAC-Duto)	Variação granulométrica, com grãos variando de 6,5 para 10.
TG - 15 (ZAC-Duto)	Variação granulométrica, com grãos variando de 6,5 para 10.

Preparação ASTM E 3 - 11
 Método de Ensaio MI: ASTM E 7 - 03 (Reaprovada 2009) / TG: ASTM E 112 - 13
 Critério de Aceitação Informativo

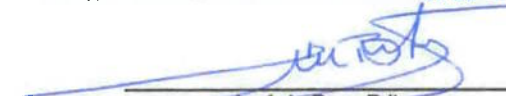
Microscópio

Régua Graduada TL-062
 Certificado de Calibração D14472/12
 Data de Validade 19 / 08 / 16
 Entidade Emitente Feinmess

- ✓ Este relatório atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- ✓ Os ensaios foram realizados nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C.
- ✓ A incerteza expandida declarada é baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência k=2, fornecendo um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- ✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaio realizado em 01 de Outubro de 2014.

Emissão de relatório em 01 de Outubro de 2014.


 José de Deus Brito
 Signatário Autorizado

LABORATÓRIO DE ENSAIO PERTENCENTE À REDE BRASILEIRA DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS - RBLE

Solicitante: **CESAR RIBEIRO**
Endereço: Telefone: (11) 94133-1975 / E-mail: cesar_engsold@hotmail.com
Interessado: **USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**
Endereço: -


Informações fornecidas pelo solicitante:

Pedido do Solicitante / Interessado

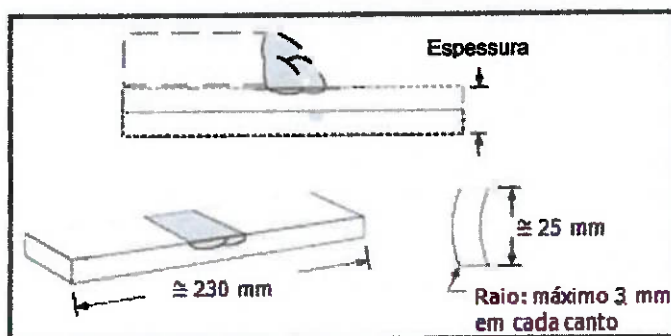
Aplicação Verificação das propriedades da junta soldada – Amostra 2

Norma(s) de Referência API 1104 – 2013 e Anexo B

Metal de Base API 5L Grau L450 (X65) PSL 1

Dimensões da Peça de Teste DN 18" x 0,460" (Ø 457,2 x 11,7 mm)

Informações Adicionais Posição de Soldagem: Plana / Identificação: Plana 2 / Energia de soldagem: 1,05 kJ/mm

1 - DOBRAMENTO GUIADO


Diâmetro do Cutelo 90 mm

Distância Entre Roletes 120 mm

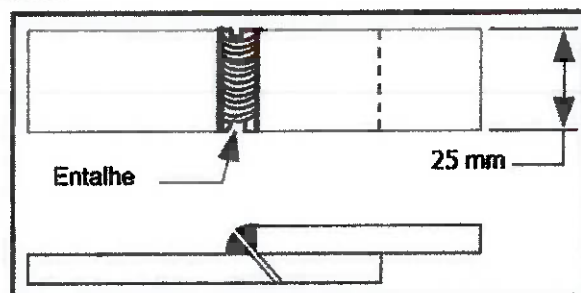
Identificação	Dimensões (mm)	Ângulo	Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas	Laudo
DF - 1	11,7 x 25 x 250	180°	Isento de descontinuidades	Aprovado
DF - 2	11,7 x 25 x 250	180°	Isento de descontinuidades	Aprovado

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação API 1104 Anexo B, item B.2.5.5.1 e figura B.6

Método do Ensaio API 1104 Anexo B, item B.2.5.5.2

Critério de Aceitação API 1104 Anexo B, item B.2.5.5.3 / Comprimento da trinca ou imperfeição: Máx. 3 mm

2 - TESTE DE FRATURA - (NICK-BREAK)


Identificação	Dimensões (mm)	Área Exposta (mm²)	Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas	Área dos poros (mm²)	Laudo
NB - 1	11,7 x 25 x 250	212,6	Isento de descontinuidades	0	Aprovado
NB - 2	11,7 x 25 x 250	216,1	Isento de descontinuidades	0	Aprovado

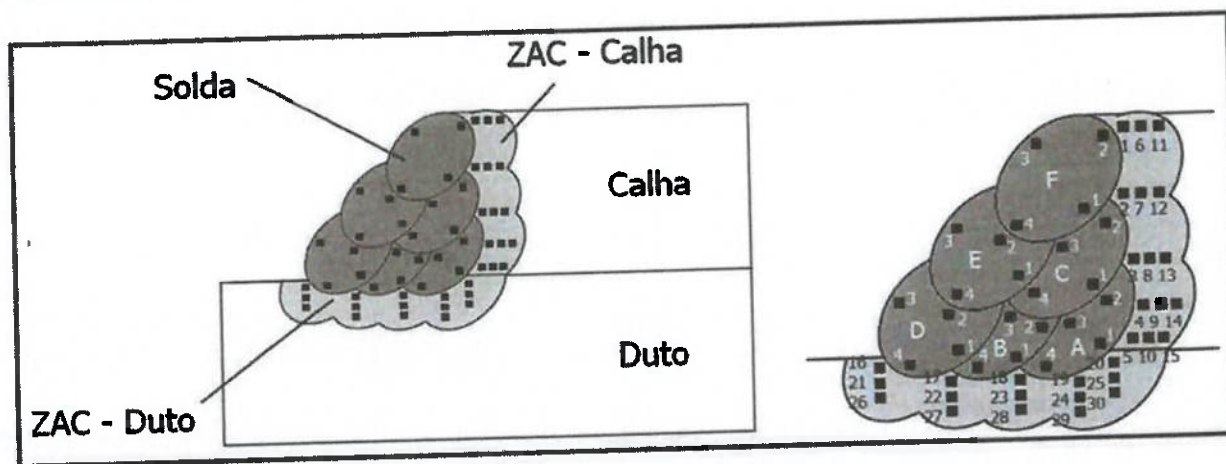
- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação API 1104, item 5.8.1 e figura 11

Método do Ensaio API 1104, item 5.8.2

Critério de Aceitação API 1104, item 5.8.3 / - Penetração e fusão completas; - Poro: Ø máx.: 1,6 mm; - Σ área de poros: máx. 2% da área da superfície exposta; - Inclusão de escória: profundidade máx. 0,8 mm / comprimento máx. 3 mm / distância entre inclusões mín. 13 mm

3 - DUREZA HV10



Distribuição das impressões na junta

Observações:

- 1 - A primeira impressão na ZAC deve ser realizada o mais próximo possível à linha de fusão e as demais espaçadas 0,5 mm entre si e 1,5 mm com relação à superfície do material de base;
- 2 - A distribuição das impressões na solda deve ser efetuada conforme croqui, em cada passe efetuado;
- 3 - As linhas de impressões na ZAC devem estar organizadas de maneira equidistante ao longo da região.

Solda			
A - 1ª Impressão	A - 2ª Impressão	A - 3ª Impressão	A - 4ª Impressão
245	221	206	206
B - 1ª Impressão	B - 2ª Impressão	B - 3ª Impressão	B - 4ª Impressão
206	206	206	206
C - 1ª Impressão	C - 2ª Impressão	C - 3ª Impressão	C - 4ª Impressão
206	206	193	199
D - 1ª Impressão	D - 2ª Impressão	D - 3ª Impressão	D - 4ª Impressão
213	193	228	206
E - 1ª Impressão	E - 2ª Impressão	E - 3ª Impressão	E - 4ª Impressão
199	221	199	199
F - 1ª Impressão	F - 2ª Impressão	F - 3ª Impressão	F - 4ª Impressão
221	213	221	221

ZAC - Calha														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
245	264	199	221	236	236	254	245	228	236	236	236	228	206	213
ZAC - Duto														
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
285	264	213	228	236	264	264	199	236	236	264	236	213	236	221

• Incerteza de Medição (U) = +/- 14 HV10

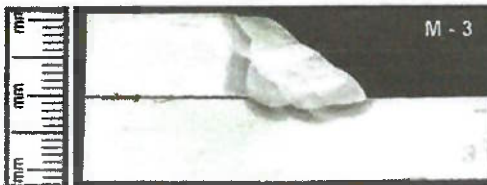
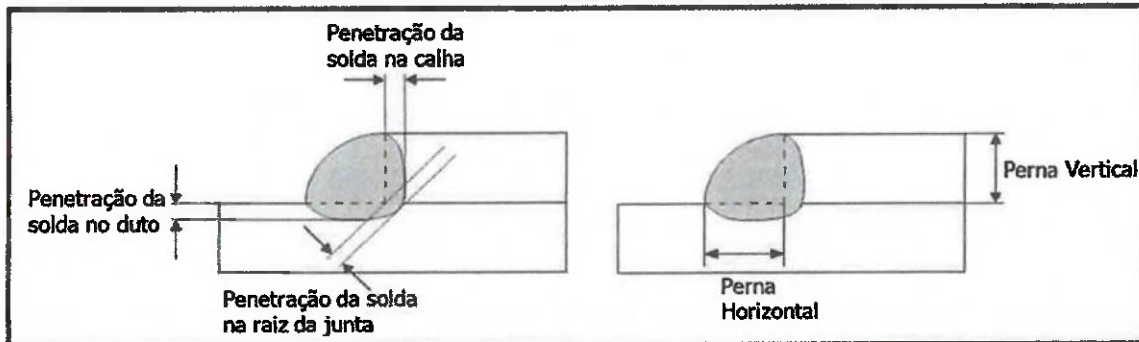
Preparação API 1104 Anexo B, item B.2 5.4.3 / ASTM E 3 - 11
Método do Ensaio ASTM E 92 - 82 (Reaprovada 2003)
Critério de Aceitação Informativo

Durômetro TL-0022
Identificação 137 337 - 101 / 137 338 - 101 / 137 339 - 101
Certificado de Calibração 16 / 04 / 15
Data de Validade IPT
Entidade Emitente IPT

TEAM LAB – Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais
Rua Dr. Pelágio Marques, 51 – CEP: 03512-010 – Vila Matilde – São Paulo – SP
www.teamlab.com.br - Telefone: (11) 2537-8007 / 2537-9009 / 2082-3406 / 2082-3399

José de Deus Brito
Signatário Autorizado

4 - MACROGRAFIA



Reagente utilizado Persulfato de Amônia
 Inspeção visual Aumento de 10 vezes
 Ampliação 1:1

Identificação	Perna Horizontal (mm)	Perna Vertical (mm)	Concavidade (mm)	Convexidade (mm)	Penetração			Identificação e dimensões das discontinuidades detectadas
					Duto	Raiz	Calha	
M - 1	17	11	0	1	1,5	0,5	1	Isento de discontinuidades
M - 2	17	11	0	2	1,5	0,5	1	Isento de discontinuidades
M - 3	17	12	0	2	1,5	0,5	1	Isento de discontinuidades

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação API 1104 Anexo B, item B.2.5.4.1 / ASTM E 3 - 11

Método de Ensaio API 1104 Anexo B, item B.2.5.4.1 / B.2.5.4.2

Critério de aceitação API 1104 Anexo B, item B.2.5.4.4 / - Fusão completa na raiz; - Isento de trincas; - Concavidade e Convexidade: Máx. 1,6 mm; - Mordedura: Máx. 0,8 mm; - Dimensionamento.

5 – MICROGRAFIA: MICROESTRUTURA E TAMANHO DE GRÃO

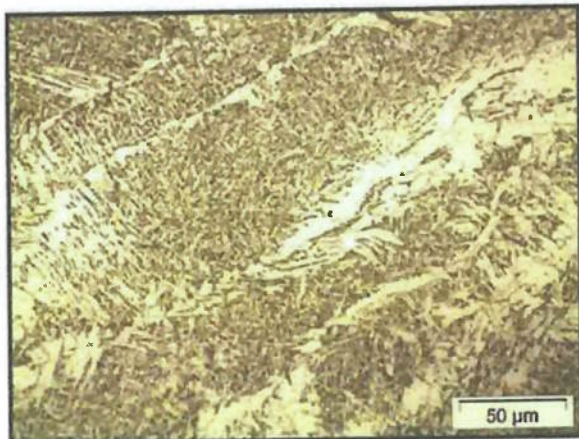


Figura 1 - MI - 1 (Solda)



Figura 2 - MI - 2 (Solda)

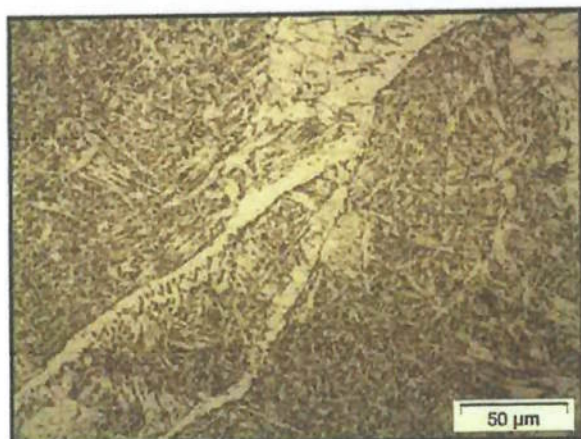


Figura 3 - MI - 3 (Solda)



Figura 4 - MI - 4 (ZAC-Calha)



Figura 5 - MI - 5 (ZAC-Calha)



Figura 6 - MI - 6 (ZAC-Calha)



Figura 7 - MI - 7 (ZAC-Duto)



Figura 8 - MI - 8 (ZAC-Duto)

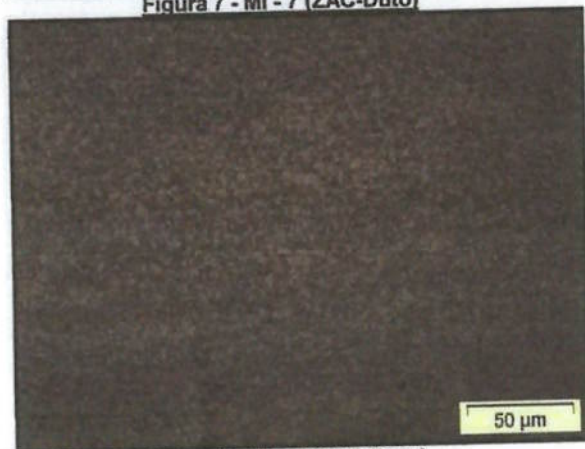


Figura 9 - MI - 9 (ZAC-Duto)

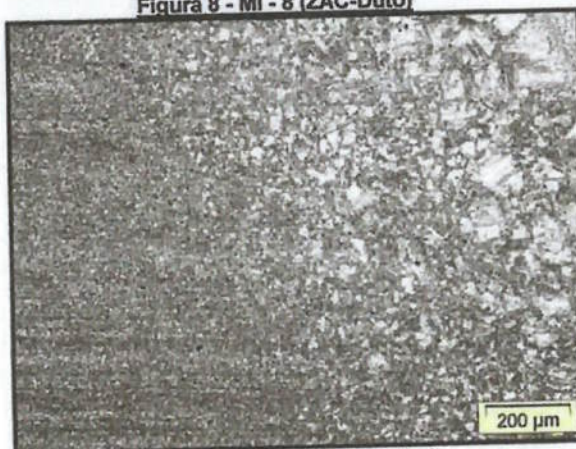


Figura 10 - TG - 1 (ZAC-Calha)



Figura 11 - TG - 2 (ZAC-Calha)



Figura 12 - TG - 3 (ZAC-Calha)



Figura 13 - TG - 4 (ZAC-Duto)



Figura 14 - TG - 5 (ZAC-Duto)

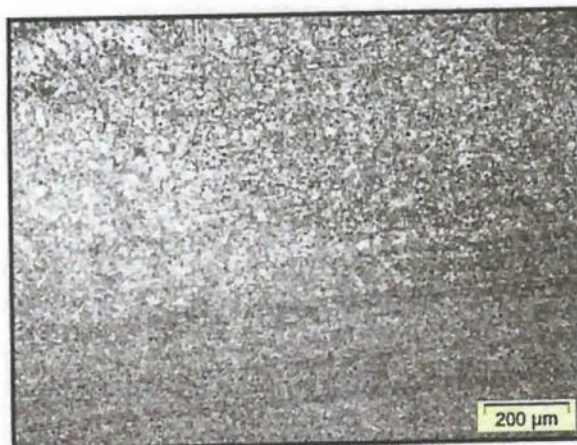


Figura 15 - TG - 6 (ZAC-Duto)

Reagente Utilizado Nital 3%
Sentido Longitudinal (MI) e Transversal (TG)
Ampliação Aumento de 100 (TG) e 500 (MI) vezes
Máquina de Ensaio Microscópio Gx 41

Identificação	Análise Micrográfica e Tamanho de Grão
MI - 1 (Solda)	Consiste em ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.
MI - 2 (Solda)	Consiste em ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.
MI - 3 (Solda)	Consiste em ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.
MI - 4 (ZAC-Calha)	Consiste em ferrita acicular com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
MI - 5 (ZAC-Calha)	Consiste em ferrita acicular com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
MI - 6 (ZAC-Calha)	Consiste em ferrita acicular com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
MI - 7 (ZAC-Duto)	Consiste em ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
MI - 8 (ZAC-Duto)	Consiste em ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
MI - 9 (ZAC-Duto)	Consiste em ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
TG - 10 (ZAC-Calha)	Varição granulométrica, com grãos variando de 3 para 10.
TG - 11 (ZAC-Calha)	Varição granulométrica, com grãos variando de 7,5 para 10.
TG - 12 (ZAC-Calha)	Varição granulométrica, com grãos variando de 6,5 para 10.
TG - 13 (ZAC-Duto)	Varição granulométrica, com grãos variando de 3 para 10.
TG - 14 (ZAC-Duto)	Varição granulométrica, com grãos variando de 7 para 10.
TG - 15 (ZAC-Duto)	Varição granulométrica, com grãos variando de 7,5 para 10.

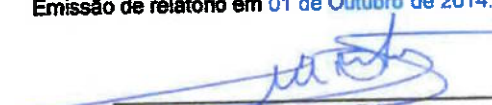
Preparação ASTM E 3 - 11
Método de Ensaio MI: ASTM E 7 - 03 (Reaprovada 2009) / TG: ASTM E 112 - 13
Critério de Aceitação Informativo

Microscópio
Régua Graduada TL-062
Certificado de Calibração D14472/12
Data de Validade 19 / 08 / 16
Entidade Emitente Feinmess

- ✓ Este relatório atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- ✓ Os ensaios foram realizados nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C.
- ✓ A incerteza expandida declarada é baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência k=2, fornecendo um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- ✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaio realizado em 01 de Outubro de 2014.

Emissão de relatório em 01 de Outubro de 2014.


José de Deus Brito
Signatário Autorizado

LABORATÓRIO DE ENSAIO PERTENCENTE À REDE BRASILEIRA DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS - RBLE

Solicitante: **CESAR RIBEIRO**
Endereço: Telefone: (11) 94133-1975 / E-mail: cesar_engsold@hotmail.com
Interessado: **USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**
Endereço: -


Informações fornecidas pelo solicitante:

Pedido do Solicitante / Interessado

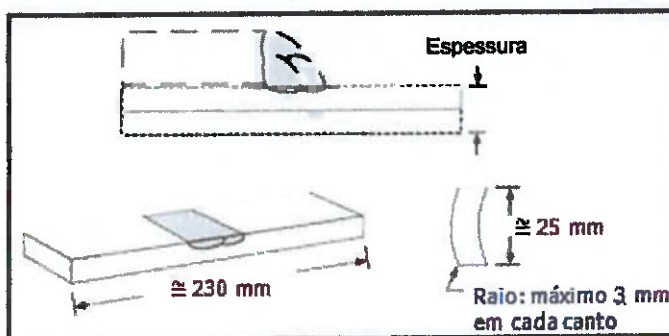
Aplicação Verificação das propriedades da junta soldada – Amostra 3

Norma(s) de Referência API 1104 – 2013 e Anexo B

Metal de Base API 5L Grau L450 (X65) PSL 1

Dimensões da Peça de Teste DN 18" x 0,460" (Ø 457,2 x 11,7 mm)

Informações Adicionais Posição de Soldagem: Plana / Identificação: Plana 3 / Energia de soldagem: 0,63 kJ/mm

1 - DOBRAMENTO GUIADO


Diâmetro do Cutelo 90 mm

Distância Entre Roletes 120 mm

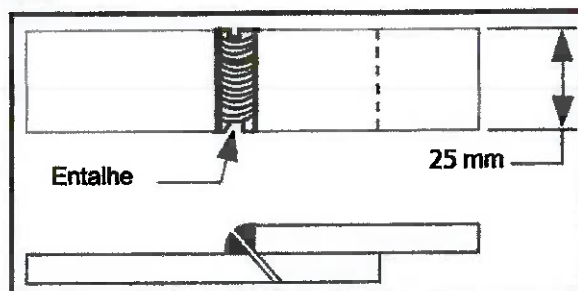
Identificação	Dimensões (mm)	Ângulo	Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas	Laudo
DF - 1	11,7 x 25 x 250	180°	Isento de descontinuidades	Aprovado
DF - 2	11,7 x 25 x 250	180°	Isento de descontinuidades	Aprovado

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação API 1104 Anexo B, item B.2.5.5.1 e figura B.6

Método do Ensaio API 1104 Anexo B, item B.2.5.5.2

Critério de Aceitação API 1104 Anexo B, item B.2.5.5.3 / Comprimento da trinca ou imperfeição: Máx. 3 mm

2 - TESTE DE FRATURA - (NICK-BREAK)


Identificação	Dimensões (mm)	Área Exposta (mm²)	Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas	Área dos poros (mm²)	Laudo
NB - 1	11,7 x 25 x 250	224	Isento de descontinuidades	0	Aprovado
NB - 2	11,7 x 25 x 250	197	Isento de descontinuidades	0	Aprovado

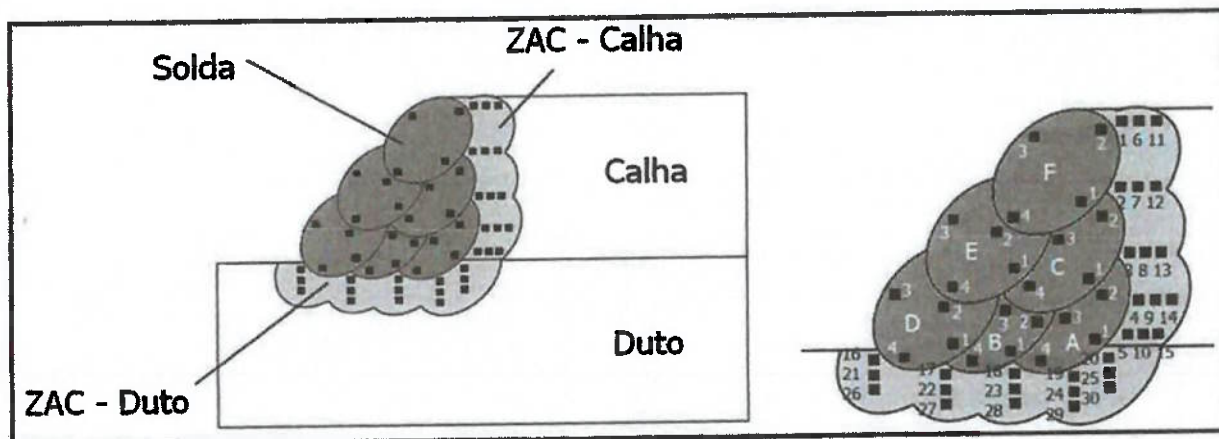
- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação API 1104, item 5.8.1 e figura 11

Método do Ensaio API 1104, item 5.8.2

Critério de Aceitação API 1104, item 5.8.3 / - Penetração e fusão completas; - Poro: Ø máx.: 1,6 mm; - Σ área de poros: máx. 2% da área da superfície exposta; - Inclusão de escória: profundidade máx. 0,8 mm / comprimento máx. 3 mm / distância entre inclusões mín. 13 mm

3 - DUREZA HV10



Distribuição das impressões na junta

Observações:

- 1 - A primeira impressão na ZAC deve ser realizada o mais próximo possível à linha de fusão e as demais espaçadas 0,5 mm entre si e 1,5 mm com relação à superfície do material de base;
- 2 - A distribuição das impressões na solda deve ser efetuada conforme croqui, em cada passe efetuado;
- 3 - As linhas de impressões na ZAC devem estar organizadas de maneira equidistante ao longo da região.

Solda			
A - 1ª Impressão	A - 2ª Impressão	A - 3ª Impressão	A - 4ª Impressão
228	221	221	228
B - 1ª Impressão	B - 2ª Impressão	B - 3ª Impressão	B - 4ª Impressão
221	221	206	206
C - 1ª Impressão	C - 2ª Impressão	C - 3ª Impressão	C - 4ª Impressão
236	206	206	206
D - 1ª Impressão	D - 2ª Impressão	D - 3ª Impressão	D - 4ª Impressão
228	254	236	236
E - 1ª Impressão	E - 2ª Impressão	E - 3ª Impressão	E - 4ª Impressão
245	213	245	245
F - 1ª Impressão	F - 2ª Impressão	F - 3ª Impressão	F - 4ª Impressão
245	254	254	254

ZAC - Calha														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
245	245	236	236	254	285	245	254	228	254	264	236	199	228	221
ZAC - Duto														
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
264	297	254	228	199	264	245	228	228	245	236	228	228	228	264

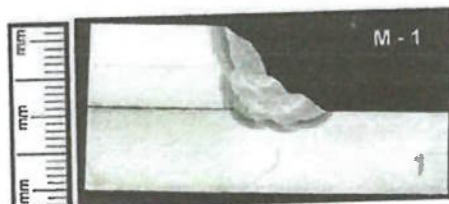
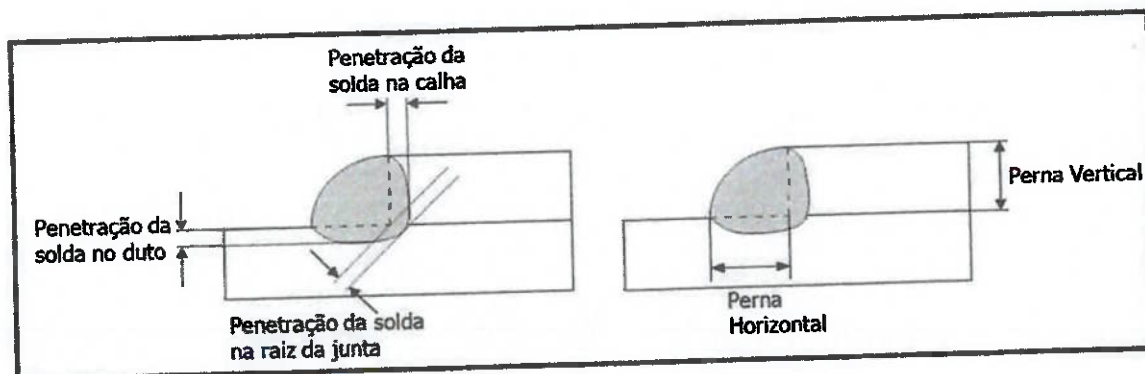
• Incerteza de Medição (U) = +/- 14 HV10

Preparação API 1104 Anexo B, item B.2.5.4.3 / ASTM E 3 - 11
Método do Ensaio ASTM E 92 - 82 (Reaprovada 2003)
Critério de Aceitação Informativo

Durômetro
Identificação TL-0022
Certificado de Calibração 137 337 - 101 / 137 338 - 101 / 137 339 - 101
Data de Validade 16 / 04 / 15
Entidade Emitente IPT

José de Deus Brito
Signatário Autorizado

4 - MACROGRAFIA



Reagente utilizado Persulfato de Amônia
 Inspeção visual Aumento de 10 vezes.
 Ampliação 1:1

Identificação	Perna Horizontal (mm)	Perna Vertical (mm)	Concavidade (mm)	Convexidade (mm)	Penetração			Identificação e dimensões das discontinuidades detectadas
					Duto	Raiz	Calha	
M - 1	14	11	1	0,5	2	0,5	1	Isento de discontinuidades
M - 2	12	11	1	0,5	2	0,5	1	Isento de discontinuidades. Mordedura de 1 mm
M - 3	13,5	10	1	1	2	0,5	1	Isento de discontinuidades. Mordedura de 1 mm

- O campo laudo não faz parte do escopo de acreditação pela CGCRE.

Preparação API 1104 Anexo B, item B.2.5.4.1 / ASTM E 3 - 11

Método de Ensaio API 1104 Anexo B, item B.2.5.4.1 / B.2.5.4.2

Critério de aceitação API 1104 Anexo B, item B.2.5.4.4 / - Fusão completa na raiz; - Isento de trincas; - Concavidade e

5 - MICROGRAFIA: MICROESTRUTURA E TAMANHO DE GRÃO

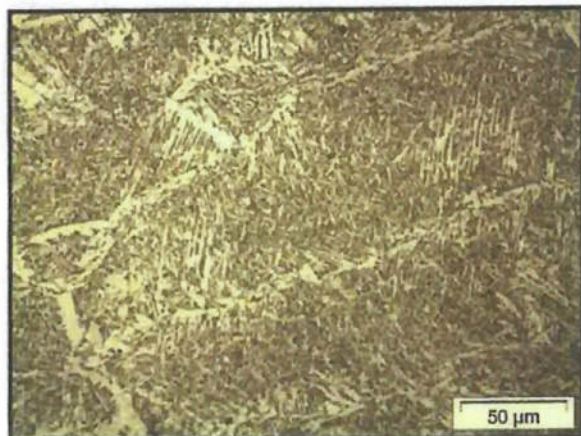


Figura 1 - MI - 1 (Solda)

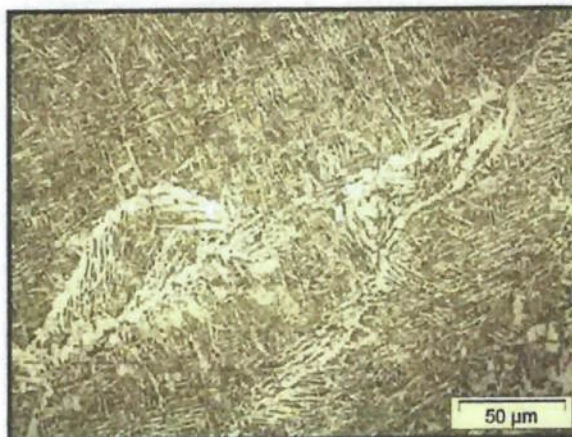


Figura 2 - MI - 2 (Solda)

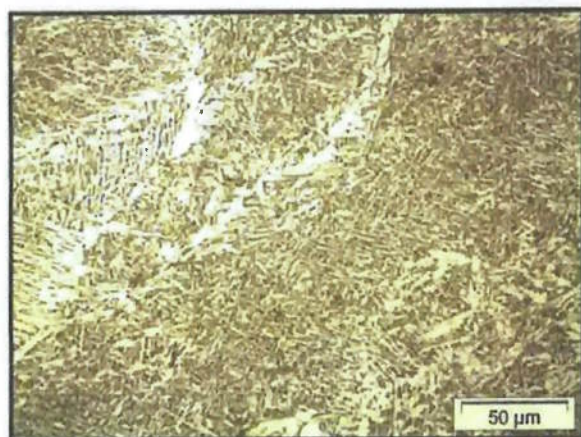


Figura 3 - MI - 3 (Solda)

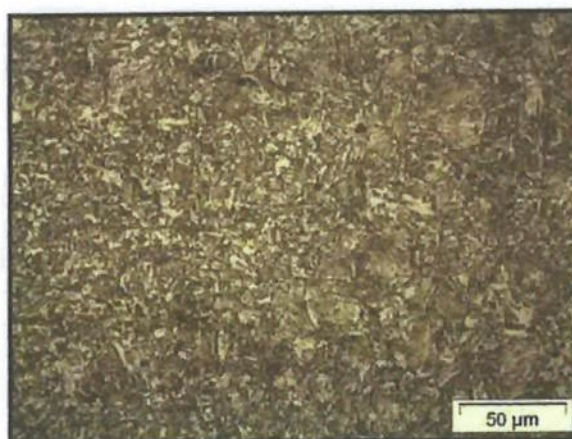


Figura 4 - MI - 4 (ZAC-Calha)



Figura 5 - MI - 5 (ZAC-Calha)

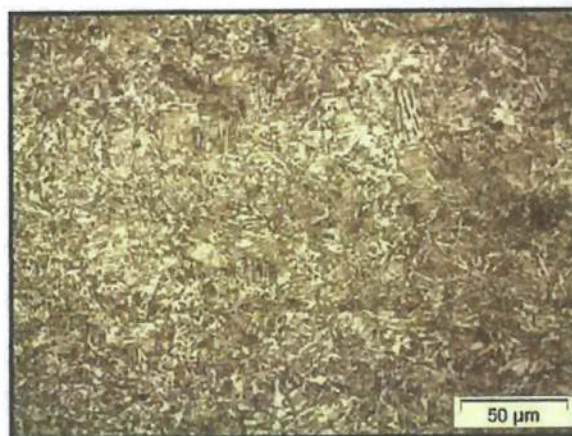


Figura 6 - MI - 6 (ZAC-Calha)



Figura 7 - MI - 7 (ZAC-Duto)

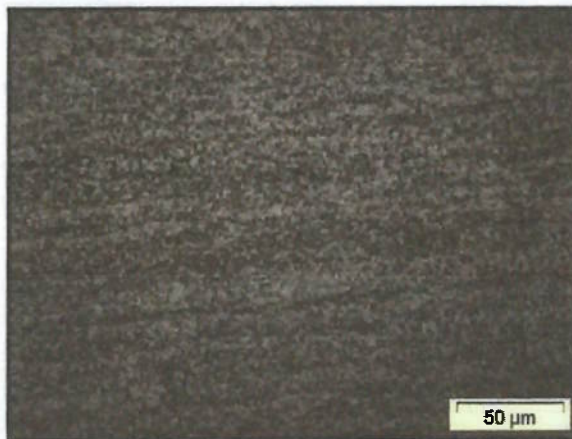


Figura 8 - MI - 8 (ZAC-Duto)



Figura 9 - MI - 9 (ZAC-Duto)

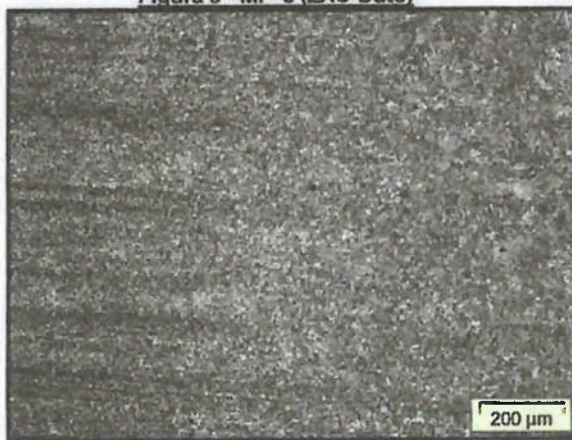


Figura 10 - TG - 1 (ZAC-Calha)



Figura 11 - TG - 2 (ZAC-Calha)

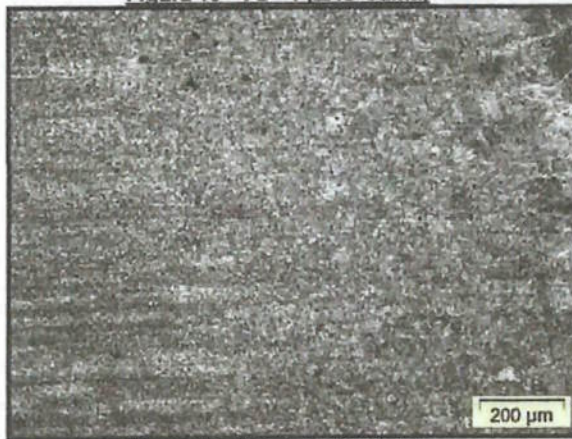


Figura 12 - TG - 3 (ZAC-Calha)

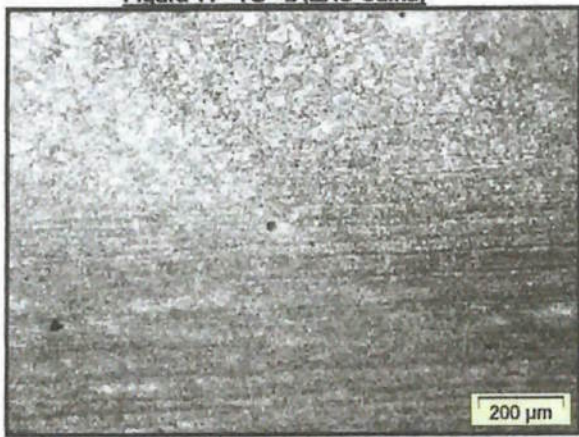


Figura 13 - TG - 4 (ZAC-Duto)

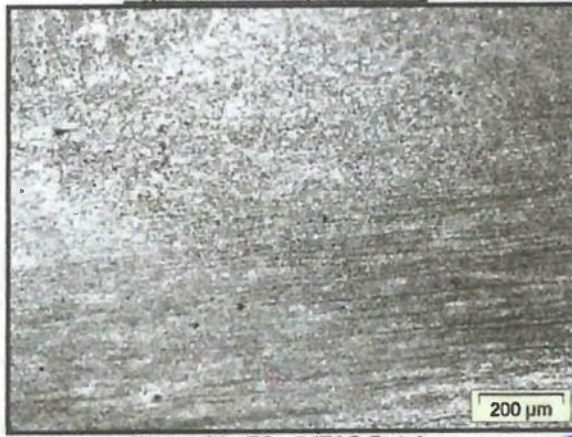


Figura 14 - TG - 5 (ZAC-Duto)

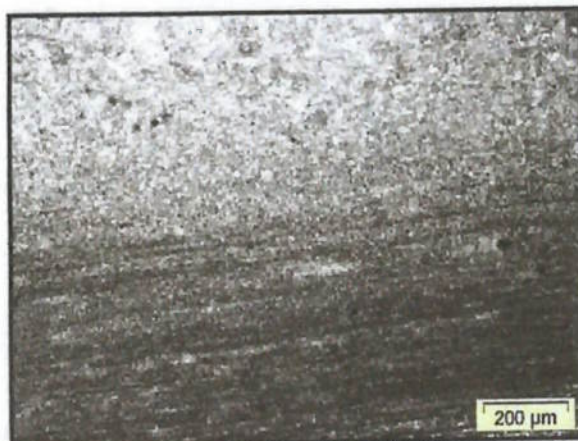


Figura 15 - TG - 6 (ZAC-Duto)

Reagente Utilizado Nital 3%
Sentido Longitudinal (MI) e Transversal (TG)
Ampliação Aumento de 100 (TG) e 500 (MI) vezes
Máquina de Ensaio Microscópio Gx 41

Identificação	Análise Micrográfica e Tamanho de Grão
MI - 1 (Solda)	Consiste em ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.
MI - 2 (Solda)	Consiste em ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.
MI - 3 (Solda)	Consiste em ferrita em veios e ferrita acicular com carbonetos.
MI - 4 (ZAC-Calha)	Consiste em ferrita acicular com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
MI - 5 (ZAC-Calha)	Consiste em ferrita acicular com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
MI - 6 (ZAC-Calha)	Consiste em ferrita acicular com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
MI - 7 (ZAC-Duto)	Consiste em ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
MI - 8 (ZAC-Duto)	Consiste em ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
MI - 9 (ZAC-Duto)	Consiste em ferrita com perlita esferoidizada e carbonetos dispersos.
TG - 10 (ZAC-Calha)	Variação granulométrica, com grãos variando de 7 para 10.
TG - 11 (ZAC-Calha)	Variação granulométrica, com grãos variando de 4,5 para 10.
TG - 12 (ZAC-Calha)	Variação granulométrica, com grãos variando de 6 para 10.
TG - 13 (ZAC-Duto)	Variação granulométrica, com grãos variando de 6 para 10.
TG - 14 (ZAC-Duto)	Variação granulométrica, com grãos variando de 6,5 para 10.
TG - 15 (ZAC-Duto)	Variação granulométrica, com grãos variando de 5,5 para 10.

Preparação ASTM E 3 - 11
Método de Ensaio MI: ASTM E 7 - 03 (Reaprovada 2009) / TG: ASTM E 112 - 13
Critério de Aceitação Informativo

Microscópio

Régua Graduada TL-062
Certificado de Calibração D14472/12
Data de Validade 19 / 08 / 16
Entidade Emissora Feinmess

- ✓ Este relatório atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- ✓ Os ensaios foram realizados nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C.
- ✓ A incerteza expandida declarada é baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência k=2, fornecendo um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- ✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaio realizado em 01 de Outubro de 2014.

Emissão de relatório em 01 de Outubro de 2014.


José de Deus Brito
Signatário Autorizado