

Alfredo Mello de Moura

**SOLDAGEM CIRCUNFERENCIAL DE
TUBOS API 5L X65 REVESTIDOS COM LIGA NÍQUEL
INCONEL® 625**

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

São Paulo

Março/2014

Alfredo Mello de Moura

(Engenheiro Civil)

**SOLDAGEM CIRCUNFERENCIAL DE
TUBOS API 5L X65 REVESTIDOS COM LIGA NÍQUEL
INCONEL® 625**

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: Prof. Dr. Sérgio Duarte Brandi

Co-Orientador: Me. Jaime Casanova Soeiro Junior

São Paulo

Março/2014

"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim".

Chico Xavier

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho
À Angélica (esposa), à minha família e aos verdadeiros amigos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por permitir este caminho e por me acompanhar no decorrer desta jornada.

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Sérgio Duarte Brandi e Jaime Casanova Soeiro Jr. por toda ajuda recebida e por seus ensinamentos, os quais me levaram a chegar ao final de mais uma etapa.

Agradeço todos os professores, do curso de Engenharia e Especialização de Soldagem, por toda paciência e ensino, durante todo o ensino.

Agradeço a minha esposa, Angélica Romano, por todo apoio oferecido durante esses dois anos, sendo minha motivação a continuar por acreditar fielmente em meu potencial.

Agradeço aos meus filhos, Ernani Romano Moura, Carla Romano Moura e Fernanda Isidoro Moura, por toda ajuda emocional, sendo as primeiras pessoas a me apoiarem nesta jornada de dois anos.

Agradeço a meus pais "*no meu coração*"

Agradeço aos meus netos Maria Eduarda e Davi

Agradeço aos meus irmãos, que apesar estarem longe, sempre me motivaram a buscar por mais.

Agradeço a todos os grandes colegas que conheci nestes anos, Carlos Palermo, Renato Aguiar, André Vicente e a aqueles que contribuíram, diretamente neste trabalho, Mariana Rodrigues Romano, Luciana Infante Romano Moura, Luiz Fernando, Jucélia Batista Bezerra, Francisco de Souza Matos, Mauro Amaro, João Henrique Machado, Sandra Cristina Testa, Angelo Giusepe Benedetti, Eustaquio Pereira Godinho, Eraldo Ferraz de Oliveira, Sergio Manuel Patrício, Marcos Mota, Pablo Prudente, Willians Rodrigues Lourenço, Nereu Frizzi, Dani (USP), Antonio Carlos Leite, Aldo Magri Afonso, Paulo Cesar Araujo da Silva, Washington Luiz Garrute Dias, Francklin Machado, Valdir Alves da Silva, Rogerio Wilcon, João Moreira, Adolfo Thiago de Heitor Gouveia Mendonça, Ciriaco Pereira de Souza Faria, Ivo Leonardo Mello Alves, Carlos Eduardo Loza dos Santos (cadu), Silvio Teixeira (Almoxarifado), Carlos Roberto da Rocha (cacau), Carlos Roberto Silva Muniz (delfin), Nilton do Prado Cabral

(N2), Vinicius A. Pimentel (N1), Aislan Gomes dos Santos, (Soldador raiz e reforço processo GTAW), Jose de Ribamar O. Filho, (Soldador enchimento e acabamento processo GMAW), Eduardo Menezes (Cladtek).

Agradeço as empresas TOMÉ ENGENHARIA S.A., Consórcio CTF – Maceió Al, CLADTEK, SOS- Inspeção e Solda Ltda, Qualins Assessoria e Inspeção industrial Ltda, Laboratório de Soldagem e Junção da USP, por toda ajuda fornecida ao andamento do trabalho.

CURRICULUM VITAE

ESCOLARIDADE

- Engenheiro Civil

OUTROS CURSOS

- Participação no II seminário nacional de tecnologia e mercado da soldagem Centro Empresarial do RIO / RJ 2012
- Course in Welding and Product Process / " IV brasilian welding tech week " large scale projects new welding technologies and automation, held at corporate headquarters / the Lincoln Eletrical company – Cleveland,Ohio,USA . 2011
- Course in Welding and Product Process Training /Miller Training Systems – Appleton - Wisconsin,USA / 2011
- Course in Filler Metals Product & Process Welding Training / Hobart Brothers Company- Appleton - Wisconsin,USA / 2011
- Course in Filler Metals Product & Process Welding Training / Hobart Brothers Company- Appleton- Wisconsin,USA / 2011
- Auditor Interno da Qualidade ISO 9001:2008 / SG4 Soluções Integradas / 2011
- Auditor Interno da Qualidade ISO-14001:2007 / SG4 Soluções Integradas / 2011
- Auditor Interno da Qualidade OHSAS-18001:2007 / SG4 Soluções Integradas / 2011
- Auditor Interno da Qualidade SA-8000:2008 / SG4 Soluções Integradas / 2011
- Partículas Magnéticas / ABENDE-SP / 1987
- Soldagem / SENAI-RJ / 1986
- Controle Dimensional Caldeiraria Nível 2 / SENAI-Osasco - SP / 1989
- Treinamento Gerencial sobre Liderança e Motivação / JP Constr. e Montagens / 1999
- Auditor Interno da Qualidade ISO-9004 / 1998 JP Constr. e Montagens / 1998
- Auditor Interno da Qualidade ISO 9001:2000 / ABS / 2005

EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL

2004 – Atual TOMÉ ENGENHARIA S.A.

Gerente da Qualidade

- Responsável pela implementação do Sistema de Gestão da Qualidade e gerenciamento das atividades de Gestão da Qualidade na Matriz, e nos empreendimentos da Divisão de Engenharia - Indústria; elaboração de planos da qualidade e procedimentos de Gestão e Controle da Qualidade; aplicação de treinamentos na área da qualidade; planejamento e execução de auditorias internas da

qualidade; acompanhamento das auditorias externas de 2ª e/ou 3ª parte; diligenciamento de ações corretivas e preventivas; aplicação de técnicas estatísticas e manutenção de registros da qualidade.

RESUMO

O principal tipo de aço utilizado na fabricação de tubulações para transporte de produtos derivados de petróleo são aços API revestidos com ligas de níquel. Essa configuração de tipos de materiais, aço de alta resistência e baixa liga e ligas de níquel, oferecem grande resistência mecânica e excelente resistência à corrosão. O objetivo deste trabalho é realizar a qualificação de um procedimento de soldagem de juntas circunferenciais de tubos API 5L X65 revestidos internamente com a liga de níquel Inconel® 625 pelo processo TIG. A soldagem desse material foi executada com o processo TIG na raiz e MIG nos passes de enchimento e acabamento. Foram realizados ensaios de análise da composição química do cordão de solda, análise macrográfica da junta soldada, caracterização microestrutural da junta soldada, avaliação de resistência à corrosão e ensaios mecânicos de tração, de dobramento e de dureza. Dentre os resultados encontrados, pode-se destacar que o procedimento de soldagem e as condições adotadas na soldagem do aço API 5L X65, revestido internamente com a liga Inconel® 625, foi qualificado de acordo com os requisitos das normas ASME B31.1 e ASME IX.

ABSTRACT

The most widely used material in the manufacturing of pipelines for transport of oil products is the combination of API steel internally coated with nickel alloys. This combination of materials provides, for the set of high strength low alloy steel with nickel alloys, high mechanical strength with excellent resistance to corrosion. The purpose of this work is to make the qualification for a welding procedure of a circumferential joint in an API 5L X65 steel pipe, internally coated with Inconel® 625 nickel alloy by GTAW. The welding was carried using GTAW process in the root pass and GMAW process in the filling and finish passes. The welded joint were characterized by chemical composition analysis, macrographic analysis, optical microscopic microstructural characterization, resistance to corrosion and mechanical tests to evaluate the tensile, bending and hardness properties. Analyzing the results, it was concluded that the welding procedure and the conditions described when welding API 5L X65 steel, internally coated with Inconel® 625 alloy, was qualified according to the requirements of ASME B31.1 and ASME IX.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Desenvolvimento dos aços API 5L em função do limite de escoamento, do tipo de rota de fabricação e da composição química. Adaptado na ref. [6].	7
Figura 3.2 – Principais processos de fabricação de tubos [10].	9
Figura 3.3 – Esquema da linha de produção de tubos via rota UOE [13].	10
Figura 3.4 – Etapas do processo de fabricação Mannesmann [9].	11
Figura 3.5 – Evolução da capacidade de resistência à fluência das superligas a elevadas temperaturas a partir da década de 1940. Adaptado da ref. [15].	13
Figura 3.6 – Ilustração do princípio de junção por laminação [18].	17
Figura 3.7 – Arranjo típico dos componentes para revestimento por explosão. Adaptado da ref. [20].	18
Figura 3.8 – Detalhe da colisão entre duas peças [20].	19
Figura 3.9 – Revestimento industrial pelo processo TIG.	21
Figura 4.1 – Imagem do anel do aço API 5L X65 utilizado para a execução dos experimentos.	23
Figura 4.2 – Configuração da junta soldada em função da heterogeneidade dos materiais utilizados.	23
Figura 4.3 – Corpo de prova de aço API 5L X65 com a junta parcialmente preenchida.	28
Figura 4.4 – Controle da corrente e da tensão durante a soldagem do corpo de prova.	30
Figura 4.5 – Localização dos corpos de prova segundo a norma ASME IX [26].	32
Figura 4.6 – Dimensão dos corpos de prova do ensaio de tração segundo a norma ASME IX [26].	33
Figura 4.7 – Dimensão dos corpos de prova do ensaio de dobramento segundo a norma ASME IX [26].	35
Figura 4.8 – Localização dos pontos de dureza baseado na Norma N133 Rev.K [27].	36
Figura 4.9 – Região na junta soldada onde foi feita a medição.	37
Figura 4.10 – Microscópio óptico utilizado na caracterização metalográfica.	38
Figura 5.1 – Resultado do valor obtido do limite de resistência do ensaio de tração da junta soldada.	41
Figura 5.2 – Resultado do ensaio de dureza em função da localização na junta soldada.	42
Figura 5.3 – Superfície das amostras após o ensaio de perda de massa por imersão por cloreto férrico.	43
Figura 5.4 – Análise química no cordão de solda e o especificado no certificado de fabricação do consumível.	44
Figura 5.5 – Análise química no cordão de solda e o especificado no certificado de fabricação do consumível.	45
Figura 5.6 – Macrografia da junta soldada.	46
Figura 5.7 – Extensão da ZAC média da junta soldada.	47

Figura 5.8 – Montagem da macrografia da junta soldada mostrando.....50

Figura 5.9 – Micrografia do metal de base do tubo API 5L X65. Ataque Nital 2%. Perlita (P) e Ferrita (F). Aumento 500X.51

Figura 5.10 – Micrografia do Inconel® 625 utilizado para o revestimento interno do tubo API 5L X65. Matriz austenítica e segregações do último líquido a solidificar na cor preta. Ataque ácido Crômico 10%. Aumento 200X.51

Figura 5.11 – Micrografia da região de transição do Inconel® 625 utilizado para o revestimento interno, a ZAC do tubo e o metal de base do tubo API 5L X65. Ataque Nital 2% (API 5L X65) e o ataque ácido Crômico 10% (Inconel® 625). Aumento 500X.52

Figura 5.12 – Micrografia da ZAC do tubo API 5L X65 causada pela soldagem circumferencial. Região com ferrita (F), perlita (P) e segunda fase alinhada (SFA). Ataque Nital 2%. Aumento 500X..... 52

Figura 5.13 – Micrografia da ZAC do tubo API 5L X65 causada pela soldagem circumferencial. Região com ferrita (F) e perlita (P). Ataque Nital 2%. Aumento 500X.53

Figura 5.14 – Micrografia da ZAC do tubo API 5L X65 causada pela soldagem circumferencial. Região com ferrita (F) e perlita (P). Ataque Nital 2%. Aumento 500X.53

Figura 5.15 – Micrografia da região de transição da ZAC do tubo API 5L X65 e do metal de solda circumferencial. Ataque Nital 2% (API 5L X65) e o ataque ácido Crômico 10% (Inconel® 625).54

Figura 5.16 – Micrografia da região de transição da ZAC do tubo API 5L X65 e do metal de solda circumferencial. Ataque Nital 2% (API 5L X65) e o ataque ácido Crômico 10% (Inconel® 625). 54

Figura 5.17 – Micrografia do Inconel® 625 no metal de solda circumferencial. Ataque ácido Crômico 10%. Matriz austenítica e segregações do último líquido a solidificar na cor preta.....55

Figura 5.18 – Micrografia do Inconel® 625 no metal de solda circumferencial mostrando o metal de solda como soldado e o metal de solda afetado pelo passe subsequente. Matriz austenítica e segregações do último líquido a solidificar na cor preta. Ataque ácido Crômico 10%.....55

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 3.1</u> – Propriedades mecânicas requeridas para tubos PSL 1 [1].....	5
<u>Tabela 3.2</u> : Propriedades mecânicas requeridas para tubos PSL 2 [1].	6
<u>Tabela 3.3</u> – Composição química do Inconel® 625 [17].	14
<u>Tabela 3.4</u> – Propriedades Mecânicas do Inconel® 625 [17].	15
<u>Tabela 3.5</u> – Principais tipos de processos de soldagem utilizados para revestimento de aços API.....	20
<u>Tabela 3.6</u> – Vantagens, limitações e aplicações da soldagem TIG [24].....	22
<u>Tabela 4.1</u> – Composição química do tubo API 5L X65 comparando com os valores especificados pela norma API 5L [1].	24
<u>Tabela 4.2</u> – Composição química da vareta ER NiCrMo-3 (Inconel® 625) utilizada no revestimento interno do tubo API 5L X65 com os valores especificados pela norma AWS A 5.14 [25].	25
<u>Tabela 4.3</u> – Comparação entre as propriedades mecânicas do consumível utilizado e a especificação AWS 5.14 [25].....	26
<u>Tabela 4.4</u> – composição química do metal de solda como depositado a partir da vareta ERNiCrMO-3 de acordo com a AWS 5.14 [25].....	26
<u>Tabela 4.5</u> – Propriedades mecânicas dos consumíveis utilizado no processo MIG especificação AWS 5.14 [25].	27
<u>Tabela 4.6</u> – Composição química do metal de solda como depositado especificado pela norma AWS 5.14 [25].	27
<u>Tabela 4.7</u> – Descrição do processo utilizado na soldagem da raiz.	28
<u>Tabela 4.8</u> – Descrição do processo utilizado no enchimento e acabamento.....	29
<u>Tabela 4.9</u> – Critério de Aceitação para Junta Soldada.	31
<u>Tabela 4.10</u> – Quantidade de corpos de prova necessários para a qualificação de um procedimento de soldagem conforme a norma ASME IX. [27].	32
<u>Tabela 5.1</u> – Resultado do ensaio de dobramento lateral.....	39
<u>Tabela 5.2</u> – Resultado do ensaio de tração na junta soldada.	40
<u>Tabela 5.3</u> – Resultado do ensaio de dureza.	41
<u>Tabela 5.4</u> – Resultado do ensaio de resistência à corrosão.	43
<u>Tabela 5.5</u> – Resultado da análise química no cordão de solda.	44
<u>Tabela 5.6</u> – Resultado da extensão da ZAC na junta soldada.	47

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

A Ampere [A]

API American Petroleum Institute

CC- Corrente contínua com polaridade direta

CC+ Corrente contínua com polaridade inversa

CP Corpo de prova

D Diâmetro interno da tubulação [m]

E Espessura da parede

ES Energia de Soldagem

HV Dureza Vickers

IIW International Institute of Welding

m Metro

MB Metal base

min Minuto

mm Milímetro

" polegada

MS Metal de solda

s Segundo

V Volt

VS Velocidade de soldagem

ZAC Zona afetada pelo calor

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS	iii
CURRICULUM VITAE.....	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS	xii
SUMÁRIO.....	xiii
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA:.....	1
2. OBJETIVO	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 TUBOS API 5L	4
3.2 AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA	6
3.3 TUBOS API 5L X 65	9
3.3.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO TUBO	9
3.3.2 FABRICAÇÃO DE TUBOS VIA ROTA UOE	10
3.3.3 FABRICAÇÃO DE TUBOS SEM COSTURA.....	10
3.4 NÍQUEL	12
3.4.1 EVOLUÇÃO DAS LIGAS DE NÍQUEL	12
3.4.2 INCONEL® 625	13
3.5 REVESTIMENTOS	15
3.5.1. REVESTIMENTO POR PROCESSOS MECÂNICOS	16
3.5.2 REVESTIMENTO POR CO-LAMINAÇÃO.....	16
3.5.3 REVESTIMENTO POR EXPLOSÃO	17
3.5.4 REVESTIMENTO POR SOLDAGEM	19
3.6 SOLDABILIDADE	20
3.6.1 SOLDAGEM PELO PROCESSO TIG	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 TUBO API 5L X65 REVESTIDO COM INCONEL® 625.....	23
4.2 CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM.....	25
4.2.1 CONSUMÍVEL UTILIZADO NO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG	25
4.2.2 CONSUMÍVEL UTILIZADO NO PROCESSO DE SOLDAGEM MIG.....	27
4.3 EXECUÇÃO DA SOLDAGEM.....	28
4.3.1 EXPERIMENTOS	28
4.3.2 SOLDAGEM DO PASSE DE RAIZ	28
4.3.3 SOLDAGEM DOS PASSES DE ENCHIMENTO E ACABAMENTO	29
4.3.4 MEDIDA DE TEMPERATURAS.....	29
4.3.5 CONTROLE DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM.....	30
4.4 ENSAIOS REALIZADOS	30
4.4.1 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS.....	30
4.4.2 ENSAIOS MECÂNICOS	31
4.4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO	36
4.4.4 ANÁLISE QUÍMICA.....	37

4.4.5 CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1 ENSAIOS MECÂNICOS	39
5.1.1 ENSAIO DE DOBRAMENTO LATERAL.....	39
5.1.2 ENSAIO DE TRAÇÃO	40
5.1.3 ENSAIO DE DUREZA	41
5.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A CORROSÃO.....	43
5.3 ANÁLISE QUÍMICA	43
5.4 CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA.....	45
5.4.1 ANÁLISE MACROGRÁFICA	45
5.4.2 ANÁLISE MICROGRÁFICA	47
6. CONCLUSÕES.....	56
SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	57
7. Referências bibliográficas	58

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A aplicação de tubos API revestidos por uma camada resistente à corrosão é comum na indústria do petróleo. Neste seguimento, os sistemas de exploração e prospecção de plataformas de petróleo, requerem materiais com propriedades mecânicas capazes de suportar o movimento das correntes em águas profundas.

Nestas condições, a seleção do tipo de revestimento também deve atender aos requisitos de resistência à corrosão gerada pelo processo de extração de petróleo. As características da mistura óleo-gás-água encontrada nos poços, aliada as altas temperaturas necessárias para escoar esses fluidos, são responsáveis pela utilização de materiais específicos [01].

Dentre os diversos materiais que o homem moderno conhece, a liga de níquel Inconel® 625 é vastamente aplicada no revestimento interno de tubulações, pois tem boas propriedades mecânicas a tração, boa resistência a elementos corrosivos e boa propriedades criogênicas. O revestimento de Inconel® 625 aplicado nos aços API por processos de soldagem (*welding overlay*) são amplamente utilizados [02].

A junção desses materiais cria uma interface com características metalúrgicas diferentes dos materiais de origem. Essas características exigem uma necessidade de conhecimento detalhado das propriedades dessa região, visando atenuar possíveis problemas que possam ser causados durante a vida útil do componente revestido [02].

Este trabalho apresenta a soldagem de junta circumferencial de tubo API 5L X65 revestido internamente com a liga de níquel Inconel® 625 e a qualificação de um procedimento de soldagem, pelo processo TIG e gás de proteção argônio (Ar), utilizando o consumível NiCrMo-3 no revestimento interno, raiz, enchimento e acabamento. Os passes de enchimento e acabamento da junta foram executados com o processo de soldagem MIG.

Realizado através de análise da composição química do cordão de solda e do metal de base, análise da macrografia da junta soldada, caracterização microestrutural da junta soldada, análise de resistência à corrosão e ensaios mecânicos de tração, de dobramento e de dureza.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar a qualificação de um procedimento de soldagem de juntas circunferências de tubos API 5L X65 revestidos internamente com a liga de níquel Inconel® 625, pelo processo TIG e gás de proteção argônio (Ar), no revestimento interno e raiz, e nos passes de enchimento e acabamento o processo de soldagem MIG, utilizando o consumível NiCrMo-3.

Realizado através de análise da composição química do cordão de solda e do metal de base, análise da macrografia da junta soldada, caracterização microestrutural da junta soldada, avaliação de resistência à corrosão e ensaios mecânicos de tração, de dobramento e de dureza.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TUBOS API 5L

A principal norma que especifica requerimentos para fabricação de tubos para uso em transportes de petróleo e gás natural é a API 5L (American Petroleum Institute) [1], cobrindo os tubos com e sem costura. A classificação chamado Product Specification Level (PSL), divide os tubos por dois principais níveis de qualidade PSL 1 e PSL 2. Os níveis de qualidade se diferem, basicamente, pela composição química e pelas propriedades mecânicas os tubos PSL 2 determina critérios obrigatórios diferentes, e que não são aplicáveis na avaliação dos tubos PSL 1, como por exemplo: limites específicos de Carbono Equivalente (CE), tenacidade, limite de escoamento e limite de resistência à tração [1].

Tubos que se enquadram entre os graus A25 e X70 são classificados como PSL 1 e tubos que se enquadram entre os graus B até X80 são classificados como PSL 2. Os compostos pelas letras A ou X relaciona com o limite mínimo de escoamento, dado pelos dois últimos dígitos em unidades americanas costumeiras. Os PSL1 pode ser fornecidos com diâmetro externo entre 11,4 mm até 2000 mm, e os tubos PSL2 com diâmetro externo entre 115 mm até 2000 mm, com comprimento por volta de 6 ou 12 m [1].

Tubos sem costura sofrem um processo de conformação a quente e um posterior trabalho a frio que lhes dá a forma e dimensão requeridas sem a necessidade de junção. Tubos com costura são confeccionados a partir de produtos planos que são unidos por solda [2].

Os critérios para análise do aço utilizado para a confecção do tubo são composição química e propriedades mecânicas. Para tubos PSL 2 exige-se também o cálculo do carbono equivalente (CE). Para teores de carbono menores ou iguais a 0,12% o CE deve ser calculado pela Equação 1. Pode-se também ter um CE definido em contrato pelo comparador [3].

$$CE(Pcm) = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad \text{Equação 1}$$

Quando o teor de carbono é maior do que 0,12% o CE é calculado pela Equação 2.

$$CE(IIW) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr+Mo+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} \quad \text{Equação 2}$$

A tabela 3.1 esclarece as propriedades mecânicas mínimas para tubos PSL 1 e a Tabela 3.2 para tubos PSL 2.

Tabela 3.1 – Propriedades mecânicas requeridas para tubos PSL 1 [1].

Grau	Tensão de Ruptura (mínimo)		Resistencia a Tração ($\geq$)		Alongamento 50,8 mm (mínimo) %
	psi	Mpa	psi	Mpa	
A 25	25,000	(172)	45,000	(310)	a
A	30,000	(207)	48,000	(331)	a
B	35,000	(241)	60,000	(414)	a
X42	42,000	(290)	60,000	(414)	a
X46	46,000	(317)	63,000	(434)	a
X52	52,000	(359)	66,000	(455)	a
X56	56,000	(386)	71,000	(490)	a
X60	60,000	(414)	75,000	(517)	a
X65	65,000	(448)	77,000	(531)	a
X70	70,000	(483)	82,000	(565)	a

Tabela 3.2: Propriedades mecânicas requeridas para tubos PSL 2 [1].

Grau	Tensão de Ruptura (Mín)		Tensão de Ruptura (Máx)		Resistencia a Tração (Mín)		Resistencia a Tração (Máx)	
	psi	Mpa	psi	Mpa	psi	Mpa	psi	Mpa
B	35,000	(241)	65,000	(448)	60,000	(414)	110,000	(758)
X42	42,000	(290)	72,000	(496)	60,000	(414)	110,000	(758)
X46	46,000	(317)	76,000	(524)	63,000	(434)	110,000	(758)
X52	52,000	(359)	77,000	(531)	66,000	(455)	110,000	(758)
X56	56,000	(386)	79,000	(544)	71,000	(490)	110,000	(758)
X60	60,000	(414)	82,000	(465)	75,000	(517)	110,000	(758)
X65	65,000	(448)	87,000	(600)	77,000	(531)	110,000	(758)
X70	70,000	(483)	90,000	(621)	82,000	(565)	110,000	(758)
X80	80,000	(552)	100,000	(690)	90,000	(621)	120,000	(827)

Os aços utilizados na fabricação de tubos API5L, a partir do X 42 são do tipo ARBL. Antes os eram produzidos com aços endurecidos pela adição de carbono e manganês, possuindo péssima soldabilidade e tenacidade [4].

3.2 AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA

Os aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) surgiram com o intuito de ter propriedades mecânicas superiores aos dos aços carbono. Os aços ARBL tem limite de escoamento mínimo a partir de 275 MPa (40 ksi) obtidos por laminação ou tratamento térmico. Possui baixo teor de carbono, composição química baseada no sistema Fe-C-Nb-Ti-V, em alguns casos pode-se utilizar na fabricação destes aços os elementos químicos boro, molibdênio, níquel, silício, e cobre [5].

Pode-se atribuir a evolução desse material ao desenvolvimento do conhecimento da influência dos elementos de liga e microliga, juntamente com a evolução dos processos de fabricação e dos mecanismos de aumento de

resistência mecânica. A sinergia desses itens vem impulsionando o aprimoramento desse material [5].

3.2.1 ROTAS DE FABRICAÇÃO DOS AÇOS ARBL

Os aços ARBL têm suas características relacionadas também ao tipo de processo pelo qual é produzido [5].

De acordo com a figura 3.1, os aços ARBL, entre os anos de 1965 e 1970 eram produzidos por laminação a quente e posteriormente submetidos a um tratamento térmico, com redução do teor de carbono do aço observada ao longo do tempo, juntamente com a duplicação da resistência mecânica decorrente da substituição do tratamento térmico de normalização por tratamento termomecânico seguido de resfriamento acelerado [6].

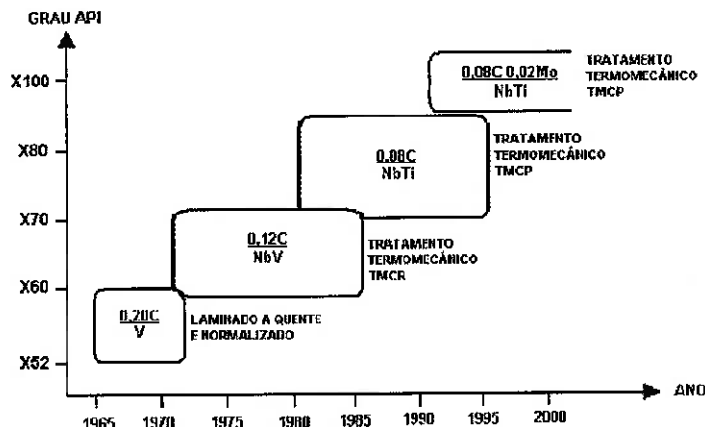


Figura 3.1 – Desenvolvimento dos aços API 5L em função do limite de escoamento, do tipo de rota de fabricação e da composição química. Adaptado na ref. [6].

Os processos termomecânicos (PTM) tiveram início na década de 70, onde se passou a utilizar uma nova rota de fabricação para os aços ARBL, que é

conhecida como laminação controlada ou TMCR (em inglês, Thermo-mechanical Controlled Rolling) [6].

Antes de sua implantação, o maior grau de resistência era o X56 que utilizava como elementos de liga o C e o Mn. Este material tinha como característica soldabilidade restrita e baixa resistência a fratura.

A rota TMCR consiste em vários passes de laminação, tendo um controle especial nas temperaturas de laminação e na temperatura final. Essa rota de fabricação permite uma redução da quantidade de carbono e, conseqüentemente, do carbono equivalente, que melhora a soldabilidade, tenacidade e a conformabilidade dos aços [5].

A rota TMCR pode ser dividida em três etapas. A primeira começa com alguns passes para gerar uma grande redução da espessura e a obtenção no formato de placa [5]. Em seguida a placa é reaquecida até a temperatura de solubilização dos carbonitretos de nióbio e vanádio, até se atingir níveis aceitáveis de solubilização dos carbonitretos primários [7].

A segunda etapa de laminação, conhecida como de desbaste, é utilizada para alcançar a geometria final do produto. Ela é executada com uma pequena quantidade de passes de laminação. Ao final desse processo é feita uma limpeza superficial, utilizando jatos de água, para retirar a carepa da superfície das chapas [7].

A última etapa de laminação é executada com temperaturas abaixo da temperatura de recristalização, gerando grande deformação, e produzindo microestrutura com tamanho de grão refinado. Isto resulta em boa resistência mecânica e boa tenacidade do aço [7].

Em 1979 foi desenvolvida etapas de resfriamento introduzidas durante o processo de laminação controlada. Com essa inclusão de etapas de resfriamento na rota TMCR surgiu uma nova rota de fabricação, conhecida como TMCP (Thermomechanical Control Process) [6,8].

A rota TMCP possibilitou o desenvolvimento de aços de grau X80, X100 e X120 com melhor relação entre resistência à tração e tenacidade, melhorando a soldabilidade, pois reduziu os teores de carbono em uma média de trinta por cento (30%), indo de 0,12 %C para 0,08 %C nos aços ARBL.

3.3 TUBOS API5L X 65

Os tubos API5L X 65 são fabricados com ou sem costura e sendo classificados como aços ARBL.

3.3.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO TUBO

Os tubos podem ser fabricados com ou sem costura obtida por diversos processos de fabricação. Neste sentido, pode-se classificar os tipos de tubos em função dos seus processos de fabricação, como apresenta a figura 3.2 [9].

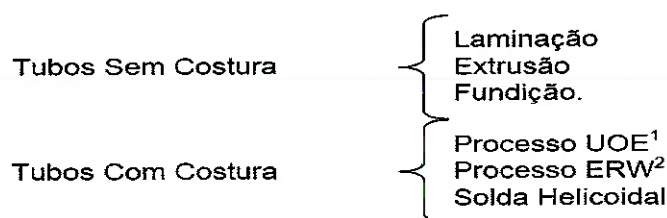


Figura 3.2 – Principais processos de fabricação de tubos [10].

3.3.2 FABRICAÇÃO DE TUBOS VIA ROTA UOE

O principal processo de fabricação de tubos é a rota UOE. Esta começa com a conformação de chapas planas para o formato "U". Depois que a chapa está no formato "U" ela é conformada em "O". O próximo passo é a soldagem longitudinal para manter a forma "O", sendo esta realizada pelo processo arco submerso ou variação Tandem (operação de soldagem a arco submerso que usa arames ligados a duas ou mais fontes de energia diferentes), com até cinco arames. Em seguida, há a etapa de expansão "E" e por último os ensaios não destrutivos. Na figura 3.3, é mostrada toda a rota de fabricação UOE com mais detalhes [11,12].

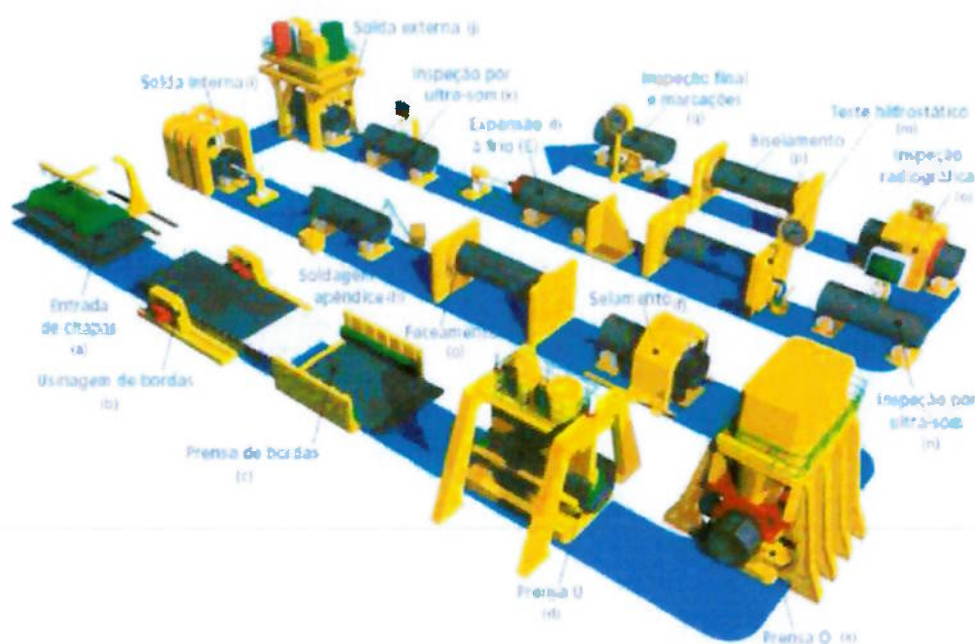


Figura 3.3 – Esquema da linha de produção de tubos via rota UOE [13].

3.3.3 FABRICAÇÃO DE TUBOS SEM COSTURA

Existem vários processos de fabricação de tubos sem costura, o mais conhecido e utilizado na indústria é o processo Mannesmann, que utiliza um

lingote cilíndrico de aço, com o diâmetro externo aproximado ao do tubo que se vai fabricar que é aquecido por volta de 1.200°C e levado ao “laminador oblíquo”, apresentado na figura 3.4.

Este laminador tem dois rolos de cone duplo, cujos eixos fazem entre si um pequeno ângulo. O lingote é colocado entre os dois rolos, que o prensam fortemente, e lhe imprimem ao mesmo tempo um movimento de helicoidal de rotação e translação. Como consequência do movimento de translação, o lingote é pressionado contra um mandril cônico que se encontra entre os rolos e abre um furo no centro do lingote transformando-o em tubo [9].

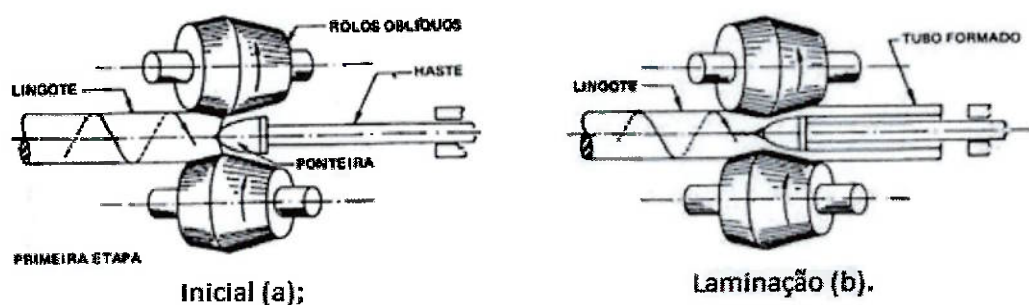


Figura 3.4 – Etapas do processo de fabricação Mannesmann [9].

O tubo formado nessa primeira operação tem paredes muito grossas. A ponteira é então retirada e o tubo ainda quente é levado para um segundo laminador oblíquo, com um mandril de diâmetro um pouco maior, que reduz as paredes do tubo, aumentando o comprimento e ajustando o diâmetro externo.

Depois das duas passagens pelos laminadores oblíquos o tubo está bastante empenado. Passa então em uma ou duas máquinas desempenadeiras de rolos. O tubo é submetido a uma série de operações de calibragem dos diâmetros externo e interno e de alisamento das superfícies externa e interna [9].

As linhas de fabricação de tubos obtidos por laminação automática contam com instalações para tratamentos térmicos dos tubos [9].

3.4 NÍQUEL

O níquel e suas ligas são extremamente importantes na indústria em virtude da habilidade de resistirem a uma variedade de condições extremas de operação, as quais envolvem meios corrosivos, elevadas temperaturas e ou elevadas propriedades mecânicas [14].

É também um dos mais versáteis e importantes metais industriais, sendo um elemento de liga indispensável para aços inoxidáveis.

3.4.1 EVOLUÇÃO DAS LIGAS DE NÍQUEL

Em 1905, foi desenvolvida a primeira liga de níquel, com aproximadamente dois terços de níquel e um terço de cobre, equivalente ao atual Monel 400® [14,15].

Esta liga permanece muito utilizada, devido à sua alta resistência à corrosão. Com o advento das turbinas a gás, durante a segunda guerra mundial, houve a necessidade de ligas mais resistentes e mais duráveis, capazes de serem utilizadas em altas temperaturas [14,15].

A utilização de ligas de níquel para aplicação em altas temperaturas impulsionou diversas pesquisas, essas geraram uma grande gama de novas ligas e todas com grande resistência à fluência [14,15].

O resultado desses avanços é a criação de inúmeras ligas com resistência à fluência em temperaturas cada vez maiores. A figura 3.5 ilustra a evolução da

capacidade de resistência à fluência das superligas a elevadas temperaturas a partir da década de 1940 [15].

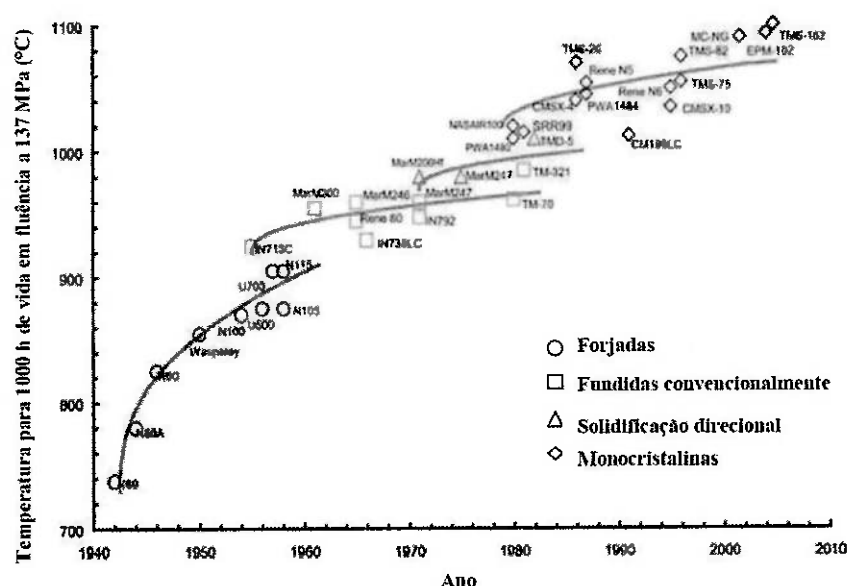


Figura 3.5 – Evolução da capacidade de resistência à fluência das superligas a elevadas temperaturas a partir da década de 1940. Adaptado da ref. [15].

3.4.2 INCONEL® 625

O Inconel® é o nome comercial (Special Metals Corporation) de uma série de ligas austeníticas de níquel que possuem porcentagens de níquel, e às vezes também de cromo, maiores que as de aço inoxidáveis, além de muitos outros elementos em pequenas quantidades, onde essas adições têm como função, entre outras, o endurecimento da solução sólida [16].

O Inconel® 625 é uma liga de níquel com estrutura CFC, (cúbica de face centrada) muito usado por sua elevada resistência mecânica e resistência à corrosão. A temperatura de trabalho deste material pode atingir quase 1000 °C. A composição química típica do Inconel® 625 está apresentada na tabela 3.3 [17].

Tabela 3.3 – Composição química do Inconel® 625 [17].

Carbono	0,010 max
Manganês	0,50 max
Fósforo	0,015 max
Enxofre	0,015 max
Silício	0,50 max
Cromo	20,0 – 23,0
Níquel	Balance
Molibdênio	8,0 – 10,0
Ferro	5,00 max
Titânio	0,40 max
Alumínio	0,40 max
Tântalo	0,05 max

A resistência mecânica do Inconel® 625 provém do efeito endurecedor do molibdênio e do nióbio na matriz de níquel-cromo, que conferem resistência sem necessidade de tratamento térmico. Esta combinação de elementos é responsável também pela resistência a uma ampla gama de meios corrosivos de severidade incomum, assim como a resistência a efeitos de altas temperaturas tais como oxidação e carburização [17].

As propriedades que fazem desta liga uma excelente escolha para aplicações submarinas são boa resistência a corrosão por pits e corrosão em frestas, vida a fadiga elevada inclusive a alta temperatura, e elevada resistência à tração [17].

Este material é empregado para revestimentos de dutos, cabos, transdutores de controle submarino, motores de propulsão, elementos de fixação, molas e dispositivo de flexão, entre outras aplicações. As propriedades mecânicas do Inconel® 625 estão resumidas nas tabelas 3.4.

Tabela 3.4 – Propriedades Mecânicas do Inconel[®] 625 [17].

Temperatura		Limite de Escoamento		Limite de Resistência a Tração		Alongamento
°F	°C	psi	MPa	psi	MPa	Porcentagem
1920	1065	63,000	430	136,000	940	51.5

O Inconel[®] 625 pode ser soldado com processos convencionais de soldagem, sendo o mais usado o processo TIG. Para tal, usa-se como metal de adição o *Inconel Filler Metal 625* que é um produto de Níquel-Cromo-Molibdênio especialmente desenvolvido para soldar o próprio Inconel[®] 625 bem como outros materiais [17].

3.5 REVESTIMENTOS

O revestimento, em inglês *overlay* ou *cladding*, é a deposição de um material de composição química diferente na superfície de um outro material base chamado de substrato. Os dois materiais assim unidos têm suas propriedades mecânicas diferentes [18].

O material de composição química diferente depositado tem o papel de revestimento e confere algumas características ao componente que não seriam possíveis utilizando somente o material base [18].

Dentre as aplicações mais comuns do revestimento na indústria estão os recobrimentos para aumentar a dureza superficial das peças e aqueles para aumentar a resistência à corrosão dos componentes [18].

Existem várias formas de se obter um material revestido. Os métodos podem ser divididos em dois grandes grupos: os métodos com união mecânica e com união metalúrgica [18].

3.5.1. REVESTIMENTO POR PROCESSOS MECÂNICOS

São processos durante os quais não ocorre fusão entre o substrato e o material de revestimento de forma a não se ocorrer mudanças metalúrgicas nas peças. Há uma simples aderência mecânica entre os dois materiais. Entre estes processos, podemos ressaltar os processos “pipe-in-pipe” [18].

3.5.2 REVESTIMENTO COM UNIÃO METALÚRGICA

3.5.2.1 REVESTIMENTO POR CO-LAMINAÇÃO

O revestimento por laminação ou co-laminação é um processo realizado no estado sólido e produz uma união de peças por aquecimento e deformação superficial pela aplicação de pressão através de rolos laminadores.

As peças envolvidas no processo devem apresentar uma ductilidade adequada para permitir uma deformação plástica localizada sem apresentar fratura. A laminação pode ser feita a quente ou a frio, sendo a técnica a frio executada à temperatura ambiente [18]. A figura 3.6 a seguir mostra um esquema de junção por laminação.

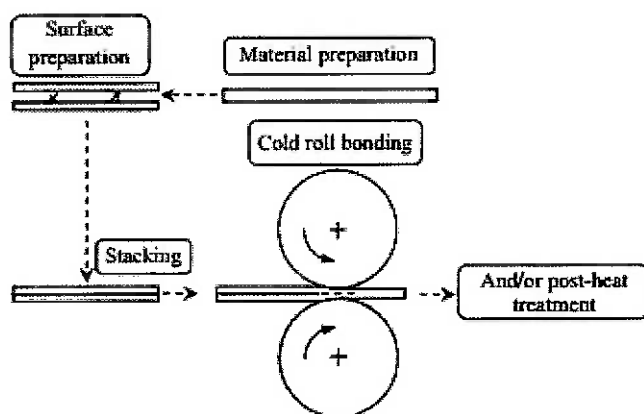


Figura 3.6 – Ilustração do princípio de junção por laminação [18].

Os parâmetros que afetam a força de adesão são: A preparação das superfícies e condição de deformação; O tempo decorrido entre a preparação da superfície e a laminação; O tempo durante o qual tem a pressão normal está aplicado a pressão exercida pelos rolos laminadores; A espessura das peças a serem juntadas [19].

Durante a laminação, a espessura dos materiais é bastante reduzida podendo ir até 50% de redução após o primeiro passe nos rolos laminadores. Esta redução gera uma grande quantidade de calor. A junção entre os materiais se dá graças afinidade mecânica e atômica da interface destes. Geralmente, para aumentar a força de adesão entre os materiais é feito logo depois da laminação um tratamento térmico, para promover uma ligação metalúrgica por difusão [19].

3.5.2.2 REVESTIMENTO POR EXPLOSÃO

O revestimento por explosão é um processo de junção no estado sólido que produz uma junção pelo impacto em alta velocidade entre chapas do metal de base e do recobrimento, como resultado de uma detonação controlada [20].

A explosão acelera o material de revestimento a uma velocidade que produz uma adesão metálica entre ambos os materiais após a colisão. A junção é produzida em uma fração de segundo e sem adição de metal. É essencialmente um processo a temperatura ambiente em que não ocorre um grande aquecimento das peças em trabalho.

A junção é executada progressivamente junto com a explosão e as forças criadas avançam de uma extremidade da junta a outra. Este procedimento é normalmente executado ao ar livre, mas também pode ser executada em outras atmosferas ou a vácuo quando as circunstancias o exigirem. Ele é muito executado em seções relativamente grandes em área, porém existem aplicações com pequenas superfícies [20]. Um arranjo típico dos componentes para revestimento por explosão é mostrado na figura 3.7.

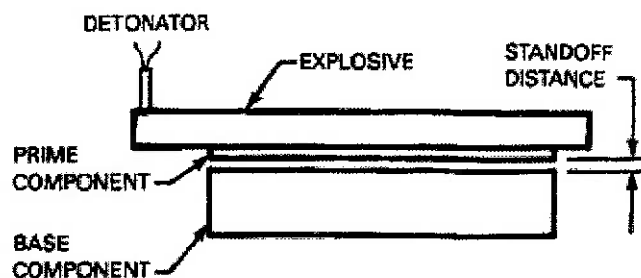


Figura 3.7 – Arranjo típico dos componentes para revestimento por explosão. Adaptado da ref. [20].

Existem basicamente três componentes: o material base, o material de revestimento e o explosivo. O material base permanece estacionário enquanto o de revestimento é forçado contra o metal de base.

A detonação é feita progressivamente e de forma uniforme através da superfície do material de revestimento. A junção se dá pela intensa pressão da

peça de revestimento sobre o substrato, oriunda da explosão em cada ponto de colisão. A figura 3.12 a seguir ilustra como ocorre a colisão entre as 2 peças.

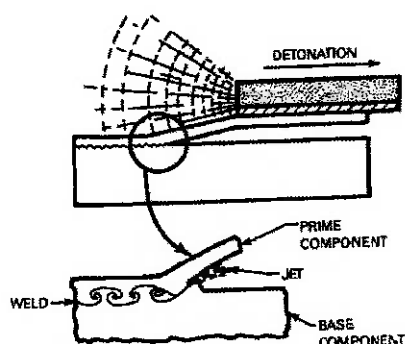


Figura 3.8 – Detalhe da colisão entre duas peças [20].

Os parâmetros que entram em linha de conta são a velocidade de detonação, a taxa de detonação, e o ângulo de impacto. Apesar da alta temperatura gerada pela explosão, não há tempo suficiente para ocorrer transferência de calor entre os materiais.

O resultado é uma junção peça-peça sem fusão nem difusão. A resistência da interface é geralmente maior do que a do material menos resistente [21].

3.5.2.3 REVESTIMENTO POR SOLDAGEM

No que diz respeito aos processos por soldagem, o revestimento é feito pela fusão do material de revestimento sobre o substrato, levando à mudança das propriedades mecânicas das regiões ao redor da junção.

A interface é constituída de um material diferente do ponto de vista de propriedades tanto do material de revestimento quanto do material base. A alta temperatura aplicada, que permite a fusão dos materiais, também ocasionando a chamada ZAC - Zona Afetada pelo calor, que altera as propriedades

mecânicas nos dois materiais que foram unidos. A tabela a seguir apresenta os principais tipos de soldagem de aços API com Inconel [21].

Tabela 3.5 – Principais tipos de processos de soldagem utilizados para revestimento de aços API.

Processo	Fonte de calor	Agente protetor	Características
Soldagem com Eletrodos Revestidos	Arco elétrico	Escória e gases gerados	Manual. Vareta metálica recoberta por camada de fluxo
Soldagem com Arco Submerso	Arco Elétrico	Escória	Mecanizado ou semiautomático. O arame é sólido.
Soldagem MIG/MAG	Arco elétrico	Argônio, Hélio, Argônio+O ₂ ou Argônio+CO ₂	Automática/mecânica, ou semi-automática. O arame é sólido.
Soldagem TIG	Arco elétrico	Argônio, Hélio ou mistura deles	Manual ou automática. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arame é adicionado separadamente.

3.6 SOLDABILIDADE

Por soldabilidade entende-se a facilidade com que uma junta soldada é fabricada de tal maneira que preencha os requisitos de um projeto bem executado, envolve aquecimento, fusão, solidificação e resfriamento, dependendo da aplicação do componente soldado. Assim, as transformações que ocorrem no aquecimento, as fases formadas durante a fusão, a solidificação e as transformações que ocorrem no resfriamento determinam o desempenho da junta soldada. [22].

3.5.1 SOLDAGEM PELO PROCESSO TIG

O processo de soldagem TIG - *Tungsten Inert Gas*, é um processo de soldagem a arco protegido por gás inerte. O arco elétrico é formado entre a

peça metálica e um eletrodo de Tungstênio não consumível. A soldagem pode ser feita com ou sem metal de adição. O processo TIG é mais usado para soldar ligas especiais como ligas de titânio e ligas de níquel, sendo muito utilizado para processos de revestimento [23].

Este processo tem a vantagem de não precisar de limpeza após a soldagem, por não ter escória gerada normalmente pelos revestimentos. Ele produz soldas de alta qualidade e excelente acabamento [23].

O processo TIG é considerado o mais controlável dos processos de soldagem a arco. O equipamento básico do processo consiste de fonte de energia (de CC para a maioria das ligas metálicas), tocha com eletrodo de tungstênio, fonte de gás de proteção (Ar ou He) e um sistema para a abertura do arco (geralmente um ignitor de alta frequência) [23].

Na figura 3.9 nota-se o revestimento de tubos pelo processo de soldagem TIG e a tabela 3.6 observa-se as vantagens, limitações e aplicações deste processo de soldagem [23].



Figura 3.9 – Revestimento industrial pelo processo TIG.

Tabela 3.6 – Vantagens, limitações e aplicações da soldagem TIG [23].

Vantagens e limitações	Aplicações
Excelente controle da poça de fusão.	Soldagem de precisão ou de elevada qualidade.
Permite soldagem sem o uso de metal de adição.	Soldagem de peças de pequena espessura e tubulações de pequeno diâmetro.
Pode ser usado para soldar a maioria dos metais.	Execução do passe de raiz em tubulações.
Produz soldas de alta qualidade e excelente acabamento.	Soldagem de ligas especiais, não ferrosas.
Gera pouco ou nenhum respingo.	
Exige pouca ou nenhuma limpeza após a soldagem.	
Permite a soldagem em qualquer posição.	
Produtividade relativamente baixa.	
Custo de consumíveis e equipamento é relativamente elevado.	

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 TUBO API 5L X65 REVESTIDO COM INCONEL® 625

Os testes foram realizados em um corpo de prova, oriundo de um tubo de aço API 5L X65 com diâmetro de 219, 10 mm (8"), com espessura da parede de 20,6 mm, sendo 3,0 mm de revestimento com a liga Inconel® 625. Uma imagem do anel revestido pode ser vista na figura 4.1. O revestimento da liga Inconel® 625 foi executado por soldagem utilizando o processo TIG. A figura 4.2 mostra a heterogeneidade dos materiais utilizados.



Figura 4.1 – Imagem do anel do aço API 5L X65 utilizado para a execução dos experimentos.

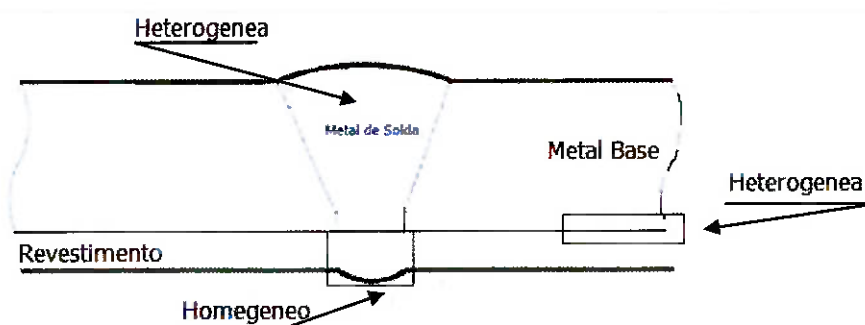


Figura 4.2 – Configuração da junta soldada em função da heterogeneidade dos materiais utilizados.

Originalmente o tubo possuía entre 8,0 a 13,0 m de comprimento, porém para permitir o revestimento os tubos são cortados a aproximadamente 6,0 m. Entretanto, o comprimento do tubo revestido foi de 300,0 mm. Para a execução dos experimentos foram cortados dois anéis com 300,0 mm de comprimento. O corpo de prova de 600,0 mm soldado destinou-se a qualificação da especificação do procedimento de soldagem EPS. O processo de corte dos tubos e extração dos corpos de prova será através de processo disco de corte com usinagem posterior.

As tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente, apresentam a composição química dos anéis API 5L X65 e do revestimento Inconel® 625 utilizados conforme fornecidos pelos fabricantes e certificados nos anexo I.

Tabela 4.1 – Composição química do tubo API 5L X65 comparando com os valores especificados pela norma API 5L [1].

Elementos de ligas	Metal do Tubo API 5L X65	Exigido pela Norma API 5L
C	0,10	$\leq 0,22$
Mn	1,28	$\leq 1,85$
Si	0,18	NE ⁽¹⁾
P	0,015	
S	0,002	
Cr	0,10	NE ⁽¹⁾
Ni	0,03	NE ⁽¹⁾
Mo	0,07	NE ⁽¹⁾
Al	0,030	NE ⁽¹⁾
Cu	0,010	NE ⁽¹⁾
Ti	0,001	$\leq 0,15$
V	0,046	
Nb	0,031	
B	0,002	NE ⁽¹⁾
Ca	0,024	NE ⁽¹⁾
CE _{iiw} ⁽²⁾	0,359	NE ⁽¹⁾
CE _{pcm} ⁽³⁾	0,19	NE ⁽¹⁾

Notas: 1) NE = não especificado, 2) Carbono equivalente segundo fórmula do IIW; 3) Parâmetro do carbono medido.

Tabela 4.2 – Composição química da vareta ER NiCrMo-3 (Inconel® 625) utilizada no revestimento interno do tubo API 5L X65 com os valores especificados pela norma AWS A 5.14 [25].

Elementos de ligas	Metal do Revestimento Inconel® 625	Exigido pela Norma AWS A 5.14
C	0,023	0,10
Mn	0,004	0,50
Si	0,13	0,50
P	0,004	0,02
S	0,001	0,015
Cr	22,3	20 - 23
Ni	61,04	Min. 58
Mo	9	8 - 10
Al	0,16	0,40
Cu	-	0,50
Ti	0,21	NE ⁽¹⁾
Nb	3,45	3,15 a 4,15 ⁽²⁾
Co	0,1	NE ⁽¹⁾
Ta	0,02	-
Fe	3,4	NE ⁽¹⁾

Notas: 1) NE = não especificado, 2) Mais o elemento Ta.

4.2 CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM

Os consumíveis utilizados na soldagem da junta circunferencial dos anéis são especificados pela AWS 5.14.[25]. O Gás de proteção utilizado para a soldagem do experimento foi o argônio.

4.2.1 CONSUMÍVEL UTILIZADO NO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG

No passe da raiz e região do revestimento de Inconel® 625 do experimento foi utilizado o processo TIG com a vareta ER NiCrMo-3, classificado pela AWS A5.14 "Specification for Nickel and Nickel-Alloy Bare Welding Electrodes and Rods" [24], com requisitos de propriedades mecânicas

determinadas pelo fabricante. O gás de proteção, inerte utilizado, neste processo é o gás argônio (Ar) adequado para a soldagem com este processo. Na tabela 4.3 pode-se observar as propriedades mecânicas da vareta ERNiCrMo-3 utilizado neste experimento e compará-las com a especificação da norma AWS 5.14 [24]. Na tabela 4.4 é possível observar a composição química do metal de solda utilizado no processo TIG.

Tabela 4.3– Comparação entre as propriedades mecânicas do consumível utilizado e a especificação AWS 5.14 [24].

Consumível ERNiCrMo-3 Utilizado no Processo de Soldagem TIG			
Propriedades	Especificação AWS	Catálogo do fabricante	Certificado do consumível
Lim. de Resistência a Tração mín.	690 MPa	770 MPa	1269 MPa
Lim. de Escoamento mín.	NE	430 MPa	NE
Alongamento %	NE	42 %	NE
Charpy V	NE	150J @ 20°C 70J @ -196°C	NE

Notas: NE = não especificado.

Tabela 4.4– composição química do consumível a partir da vareta ERNiCrMo-3 de acordo com a AWS 5.14 [24].

Consumível ERNiCrMo-3 Utilizado no Processo de Soldagem TIG		
Elementos Químicos Conforme AWS (%)	Catálogo do fabricante	Certificado do consumível
C	≤ 0,030	0,017
Mn	0,2	0,02
Si	0,2	0,01
P	≤ 0,015	0,005
S	≤ 0,010	0,001
Cr	22	21,59
Ni	≥ 60	65,40
Mo	9	8,75
Al	NE	0,229
Cu	NE	0,01
Ti	NE	0,169
Nb	3,4	3,6600
Ta	NE	0,0500
Fe	≥ 0,5	0,020

Notas: NE = não especificado

4.2.2 CONSUMÍVEL UTILIZADO NO PROCESSO DE SOLDAGEM MIG

Os passes de enchimento e acabamento da junta foram executados com o processo de soldagem MIG com arame sólido e segue a especificação AWS A5.14 [24].

Na tabela 4.5 são apresentadas as propriedades mecânicas dos consumíveis utilizados com o processo MIG. Na tabela 4.6 é possível observar a composição química do consumível utilizado no processo MIG (anexo III e IV).

Tabela 4.5 – Propriedades mecânicas dos consumíveis utilizado no processo MIG especificação AWS 5.14 [24].

Consumível ERNiCrMo-3 Utilizado no Processo de Soldagem MIG			
Propriedades	Especificação AWS	Catálogo do fabricante	Certificado do consumível
Lim. de Resistência a Tração mín.	690 MPa	770 MPa	1535 MPa
Lim. de Escoamento mín.	NE	430 MPa	NE
Alongamento %	NE	42 %	NE
Charpy V	NE	150J @ 20°C 70J @ -196°C	NE

Notas: NE = não especificado

Tabela 4.6 – Composição química do consumível especificado pela norma AWS 5.14 [24].

Consumível ERNiCrMo-3 Utilizado no Processo de Soldagem MIG		
Elementos Químicos	Catálogo do fabricante (%)	Certificado do consumível (%)
C	≤ 0,030	0,016
Mn	0,2	0,01
Si	0,2	0,01
P	≤ 0,015	0,005
S	≤ 0,010	0,001
Cr	22	21,73
Ni	≥ 60	65,10
Mo	9	8,73
Al	NE	0,215
Cu	NE	0,01
Ti	NE	0,186
Nb	3,4	3,6200
Ta	NE	0,0500
Fe	≥ 0,5	0,160

Notas: NE = não especificado

4.3 EXECUÇÃO DA SOLDAGEM

4.3.1 EXPERIMENTOS

Os dois anéis foram montados a fim de formar uma junta a ser sodada. A imagem da junta parcialmente soldada pode ser vista na figura 4.3. A soldagem, realizada por dois processos, no revestimento de Inconel® 625 formando a raiz pelo processo TIG e no metal base MB material API 5L X65 pelo processo MIG pulsado.



Figura 4.3 – Corpo de prova de aço API 5L X65 com a junta parcialmente preenchida.

4.3.2 SOLDAGEM DO PASSE DE RAIZ

Os parâmetros de soldagem utilizada na raiz, com processo TIG estão descritos na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Descrição do processo utilizado na soldagem da raiz.

ACOMPANHAMENTO DE SOLDA - Raiz										
CAMADA	Nº PASSE	CONS. Ø	CORRENTE	TENSÃO	LARGURA PAS.	TEMPO (AA)	PRÉ-AQ. (C°)	INTER PASSE (C°)	PROCESSO	CONSUMIVEL
1	1	3.25	97.5	10	9.2	07:15	31	NA	GTAW	ER NiCrMo
2	2	3.25	147	11	9.7	06:44	NA	45	GTAW	ER NiCrMo

4.3.3 SOLDAGEM DOS PASSES DE ENCHIMENTO E ACABAMENTO

Para o enchimento e acabamento os parâmetros de soldagem utilizados, com processo MIG pulsado com transferência projetada estão descritos na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Descrição do processo utilizado no enchimento e acabamento.

ACOMPANHAMENTO DE SOLDA - Enchimento e Acabamento										
CAMADA	Nº PASSE	CONS. Ø	CORRENTE	TENSÃO	LARGURA PAS.	TEMPO (AA)	PRÉ-AQ. (C°)	INTER PASSE (C°)	PROCESSO	CONSUMÍVEL
3	3	1,2	134/142	25/26	10.4	03:52	NA	28	GMAW	ER NiCrMo
3	4	1,2	134/144	25/26	9	03:50	NA	45	GMAW	ER NiCrMo
4	5	1,2	145/155	22/23	9.8	03:49	NA	38	GMAW	ER NiCrMo
4	6	1,2	145/155	21/22	7.8	02:26	NA	55	GMAW	ER NiCrMo
4	7	1,2	149/155	21/22	8.7	03:19	NA	57	GMAW	ER NiCrMo
5	8	1,2	149/155	21/22	11.5	04:19	NA	48	GMAW	ER NiCrMo
5	9	1,2	149/155	21/22	8.9	03:58	NA	67	GMAW	ER NiCrMo
5	10	1,2	149/155	21/22	9.2	04:12	NA	58	GMAW	ER NiCrMo
5	11	1,2	149/155	21/22	10.2	03:44	NA	78	GMAW	ER NiCrMo
5	12	1,2	149/155	21/22	9.8	03:56	NA	72	GMAW	ER NiCrMo
6	13	1,2	149/155	21/22	8.1	02:45	NA	65	GMAW	ER NiCrMo
6	14	1,2	149/155	21/22	9	02:40	NA	39	GMAW	ER NiCrMo
6	15	1,2	149/155	21/22	9.8	02:43	NA	55	GMAW	ER NiCrMo
6	16	1,2	149/155	21/22	7.8	02:46	NA	46	GMAW	ER NiCrMo
6	17	1,2	149/155	21/22	8.7	02:50	NA	43	GMAW	ER NiCrMo
6	18	1,2	149/155	21/22	9	02:39	NA	57	GMAW	ER NiCrMo
6	19	1,2	149/155	21/22	8.5	02:59	NA	45	GMAW	ER NiCrMo
6	20	1,2	149/155	21/22	8	02:46	NA	87	GMAW	ER NiCrMo

4.3.4 MEDIDA DE TEMPERATURAS

As temperaturas de pré-aquecimento e interpasse foram monitoradas através de termômetro marca Infrared Thermometer – TQC Mod. TE 1005 TAG PIR 001.

4.3.5 CONTROLE DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM

As variáveis de soldagem como corrente e tensão foram monitoradas com um multímetro amperímetro, conforme figura 4.4, da marca MINIPA MOD. ET- 3810 calibrado.



Figura 4.4 – Controle da corrente e da tensão durante a soldagem do corpo de prova.

4.4 ENSAIOS REALIZADOS

4.4.1 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Durante e após a execução da soldagem das juntas foram efetuados os ensaios não destrutivos (END). Foi executado o ensaio visual de solda (EVS), antes, durante e após o término da soldagem, de forma a garantir o controle dimensional e a inexistência de defeitos que poderiam comprometer a sanidade da junta soldada. Antes da soldagem, os chanfros foram preparados e examinados visualmente e estavam lisos e uniformes. O ângulo do chanfro e a abertura da raiz estavam de acordo com o procedimento de soldagem aplicável. O critério de aceitação para inspeção visual adotado, após soldado foi conforme ASME B.31.3 - Tabela 341.3.2. [25] A Tabela 4.9 estabelece os critérios de

aceitação (limite de imperfeições) para a junta soldada. O anexo I apresenta os laudos dos END's.

Tabela 4.9 – Critério de Aceitação para Junta Soldada ASME B.31.3 [25].

Critério de Aceitação para Junta Soldada			
CRITÉRIO		LIMITE ACEITÁVEL	
SÍMBOLO	MEDIDA		
A	Extensão da Imperfeição	Zero (Nenhuma imperfeição evidente)	
B	Profundidade da Falta de Penetração	$\leq 1\text{mm}$ e $\leq 0,2T_w$	
	Comprimento acumulado de Falta de Penetração	$\leq 38\text{mm}$ em qualquer 150mm de comprimento de solda	
C	Profundidade de Falta de Fusão e Penetração	$\leq 0,2T_w$	
	Comprimento acumulado de Falta de Fusão e Penetração	$\leq 38\text{mm}$ em qualquer 150mm de comprimento de solda	
H	Profundidade da Mordedura	$\leq 1\text{mm}$ e $\leq T_w/4$	
I	Profundidade da Mordedura	$\leq 1,5\text{mm}$ e $\leq (T_w/4 \text{ ou } 1\text{mm})$	
J	Rugosidade da Superfície	$\leq 12,7 \mu\text{m}$ (500 μ inches)	
K	Profundidade da Concavidade na Raiz	Espessura total da junta, incluindo o reforço da solda, $\leq T_w$	
L	Altura do reforço no acabamento ou na raiz em qualquer plano através da solda deverá estar dentro dos limites do valor de altura aplicável na tabela à direita. O metal de adição deverá imergir suavemente na superfície dos componentes.	Para T_w (mm)	Altura (mm)
		≤ 6	$\leq 1,5$
		> 6 e ≤ 13	$\leq 3,0$
		> 13 e ≤ 25	$\leq 4,0$
		> 25	$\leq 5,0$

LEGENDA: "Tw" é a espessura nominal do mais fino dos componentes unidos por uma solda de topo.

4.4.2 ENSAIOS MECÂNICOS

Os ensaios mecânicos foram executados baseados na qualificação exigida pela norma ASME IX. [26].

Os ensaios para a qualificação do procedimento de soldagem segundo a ASME IX são: tração transversal, dobramento transversal e dureza. A

quantidade dos corpos de prova retirados em cada junta soldada pode ser observada na Tabela 4.10 e a localização na Figura 4.5.

Tabela 4.10 – Quantidade de corpos de prova necessários para a qualificação de um procedimento de soldagem conforme a norma ASME IX. [26].

ENSAIOS	QTD. AMOSTRA	QTD. POR QUADRANTE
Tração	02	01
Dobramento	04	01
Dureza	1	

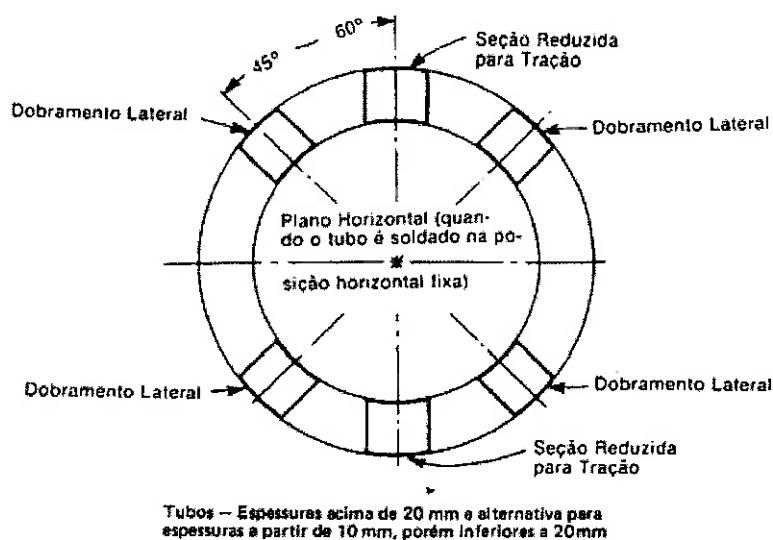
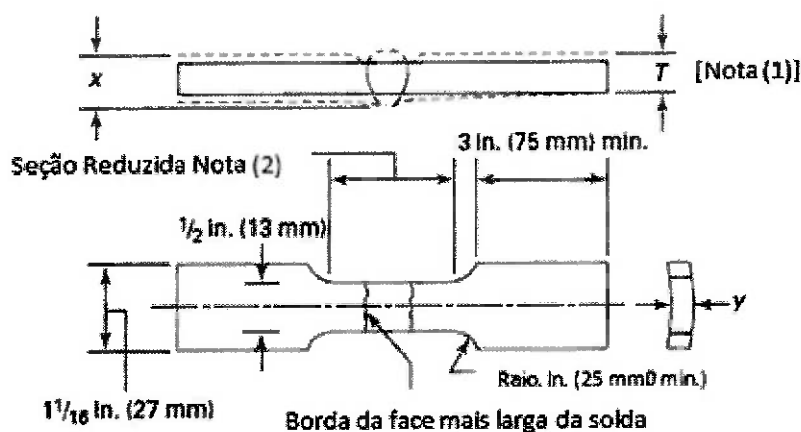


Figura 4.5 – Localização dos corpos de prova segundo a norma ASME IX [26].

4.4.2.1 Ensaio de Tração Transversal

Os corpos de prova para os testes de tração devem ser rompidos sob carga de tração axial. A resistência a tração deve ser calculada, dividindo-se a carga de ruptura pela área da menor seção transversal do corpo de prova, medida antes da aplicação da carga.



Nota:

- (1) O reforço da solda deve ser esmerilhado ou usinado, de forma que a espessura da solda não exceda à do metal base (T). Usinar o mínimo necessário para obter superfície aproximada paralela.
- (2) O comprimento da seção reduzida não deve ser menor do que a largura da solda acrescida de $2y$

Figura 4.6 – Dimensão dos corpos de prova do ensaio de tração segundo a norma ASME IX [26].

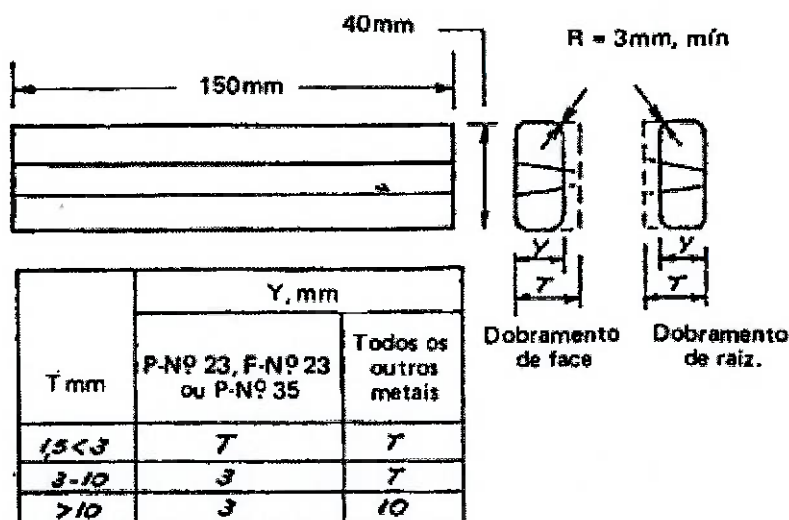
Para que o teste de tração seja aprovado, segundo a norma ASME IX [26], é necessário que o corpo de prova tenha uma resistência a tração não menor do que:

- (a) o limite mínimo de resistência a tração especificado para o metal base; ou
- (b) o limite mínimo de resistência a tração do menos resistente dos metais base, no caso de serem usados metais base de diferentes resistência à tração; ou
- (c) o limite mínimo de resistência a tração especificado para o metal de solda, nos casos em que for permitida pela Seção aplicável do Código, a utilização de um metal de solda com resistência a tração inferior a do metal base, na temperatura ambiente;

(d) se o corpo de prova romper no metal base, externamente a solda ou a linha de fusão, o teste deve ser aprovado, desde que a resistência determinada tenha um valor mínimo igual ou superior 95 % da resistência a tração especificada para o metal base.

4.4.2.2 Ensaio de Dobramento

Os corpos de prova para dobramento devem ser dobrados com o lado do corpo de prova voltado em direção da abertura do dispositivo e deve ter a face para os dobramentos de face, ou a lateral com os maiores defeitos, se existirem, para os dobramentos das laterais. O corpo de prova deve ser forçado para dentro da matriz do dispositivo, até que o corpo de prova tenha sido de tal forma dobrado, que uma vareta de 3 mm de diâmetro não possa ser inserida entre o corpo de prova e a matriz. Quando forem usados dispositivos em que o corpo de prova é dobrado em torno de um rolo fixo, o lado do corpo de prova voltado em direção do rolete móvel será a face para os dobramentos de face, e a lateral com os maiores defeitos, se existirem, para os dobramentos das laterais.

**NOTA:**

- (1) Os reforços de solda e o cobrejunta (anel ou tira), se tiverem sido aplicados, devem ser removidos até que se obtenha o faceamento com a superfície não perturbada do metal base. Se for usado um anel embutido, a superfície do corpo de prova deve ser usinada até uma profundidade que não exceda a profundidade do rebaixo onde estiver situado o anel, a fim de removê-lo, exceto nos casos em que a espessura do corpo de prova acabado deva ser a especificada acima.

Figura 4.7 – Dimensão dos corpos de prova do ensaio de dobramento segundo a norma ASME IX [26].

No teste de dobramento transversal, a solda e a zona afetada pelo calor ZAC (desenvolvido durante as operações de soldagem) devem estar completamente contidas na parte dobrada do corpo de prova, após o teste. Os corpos de prova não devem apresentar defeitos visíveis na solda, ou na zona afetada pelo calor, maiores do que 3 mm, medidos em qualquer direção na superfície convexa do corpo de prova, após o dobramento. As trincas verificadas nos cantos dos corpos de prova dobrados não devem ser consideradas, exceto quando constituam evidência clara de que resultam de inclusões de escórias ou de outros defeitos internos das juntas. Os corpos de prova que têm o metal base revestido com metal de solda resistente a

corrosão, não devem apresentar defeitos visíveis no revestimento maior do que 1,5 mm, medidos em qualquer direção, ou maiores do que 3 mm, em qualquer trecho da interface (plano de separação entre o metal base e o revestimento).

4.4.2.3 Ensaio de Dureza

Foi realizado o levantamento do perfil de dureza da junta soldada a fim de verificar a variação desta entre as diferentes regiões da junta soldada. Os pontos de dureza seguiram o padrão apresentado na figura 4.8.

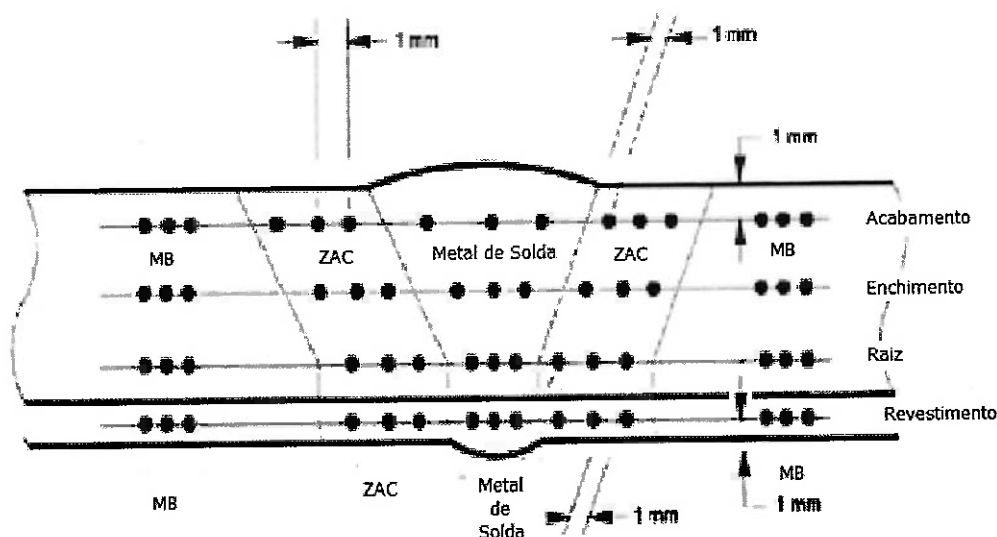


Figura 4.8 – Localização dos pontos de dureza baseado na Norma N133 Rev.K [27].

4.4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO

Foi realizado o ensaio de corrosão por imersão em cloreto férrico a fim de detectar a perda de massa no corpo de prova. A temperatura utilizada foi 40°C a um tempo de 24 horas de acordo com o método "A" da norma ASTM G 48 [28].

4.4.4 ANÁLISE QUÍMICA

Foi realizada a determinação da composição química da junta soldada através de espectrometria óptica no corpo de prova extraído. A figura 4.9 apresenta as regiões na junta soldada onde foram extraídos os resultados.



Figura 4.9 – Região na junta soldada onde foi feita a medição.

4.4.5 CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA

4.4.5.1 ANÁLISE MACROGRÁFICA

A realização da análise microestrutural do corpo de prova foi feita na seção transversal da peça soldada, a preparação metalográfica foi efetuada com lixas de diferentes granulometrias, 180, 220, 320, 400, 600 e 1000 “meshes” e polidas com pasta de diamante na sequência: 6, 3 e 1 μm de tamanho médio de partícula. Posteriormente, foi realizado um polimento automático usando uma suspensão de sílica coloidal, com tamanho médio de partícula de 0,06 μm .

Uma vez obtida a superfície totalmente polida o material foi submetido a ataque eletrolítico com ácido crômico 10% em água por 2 minutos, com uma tensão de 5V. O equipamento utilizado para o ataque foi o POLECTROL da

Struers. Por outro lado, o ataque do material base (aço carbono X65) foi atacado com o reagente químico Nital 2%, durante um tempo de 40s.

4.4.5.2 CARACTERIZAÇÃO POR MICROSCOPIA ÓPTICA

A aquisição de imagens foi feita utilizando a câmera digital Opticam OPT 10000 acoplada ao microscópio de marca Olympus BX60M, conforme apresentado na figura 4.10.



Figura 4.10 – Microscópio óptico utilizado na caracterização metalográfica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ENSAIOS MECÂNICOS

Os resultados dos ensaios mecânicos realizados na junta soldada são descritos a seguir.

5.1.1 ENSAIO DE DOBRAMENTO LATERAL

Foram realizados quatro ensaios de dobramento lateral para a junta soldada e os resultados são mostrados na tabela 5.1. A preparação dos corpos de prova foi baseada na norma ASME IX QW 462.3 (a), o método de ensaio foi baseado na norma ASME IX QW 162 e os critérios de aceitação foram baseados na norma ASME IX QW 163 [26].

No ensaio de dobramento as amostras foram todas aprovadas e não apresentaram alteração com união de aço ARBL e a liga Inconel® 625 do revestimento do tubo e da união circunferencial. Porém, todas as quatro amostras apresentaram descontinuidades, contudo todas estão aprovadas de acordo com o critério de aceitação da norma adotada. O anexo I mostra o laudo do ensaio de dobramento.

Tabela 5.1 – Resultado do ensaio de dobramento lateral.

RESULTADO DO ENSAIO DE DOBRAMENTO TRANSVERSAL					
CP	Dimensões	Cutelo Ø	Distância entre roletes	Ângulo de dobramento	Resultados Obtidos
	mm	mm	Mm	graus	
DL 1	10,00 X 18,30	38,1	60,4	180º	Apresentou trinca <1/8"
DL 2	10,00 X 18,30	38,1	60,4	180º	Apresentou trinca <1/8"
DL 3	10,00 X 18,30	38,1	60,4	180º	Apresentou trinca <1/8"
DL 4	10,00 X 18,30	38,1	60,4	180º	Apresentou trinca <1/8"

5.1.2 ENSAIO DE TRAÇÃO

O resultado do ensaio de tração está na tabela 5.2 e na figura 5.1. Esta figura apresenta o gráfico com os resultados de tração dos dois corpos de prova da junta soldada, que pode ser comparado com o valor exigido pela norma ASME IX [26].

A preparação dos corpos de prova foi baseada na norma ASME IX QW 462.1 (c), o método de ensaio foi baseado na norma ASME IX QW 152 e os critérios de aceitação são baseados na norma ASME IX QW 153 [26].

Todos os corpos de prova ensaiados tiveram os valores do limite de resistência à tração dentro do especificado pela norma ASME IX [26]. Os dois CP's foram 17% e 18%, respectivamente, mais resistentes que o mínimo exigido. Os rompimentos dos CP's ocorreram fora da junta soldada, mais especificamente, no metal de base do tubo.

A região de rompimento é um indicativo que o processo de montagem de tubulações revestidas não gera redução na resistência à tração de tubos API 5L X65 revestidos com a liga Inconel® 625.

Tabela 5.2 – Resultado do ensaio de tração na junta soldada.

ENSAIOS DE TRAÇÃO TRANSVERSAL					
Corpo de Prova	Dimensões	Seção	Limite de Resistência		Região onde ocorreu o rompimento
	mm	mm ²	Kgf	MPa	
1	18,85 x 15,50	292,18	18640	626	535
2	18,55 x 15,15	281,03	18140	633	535

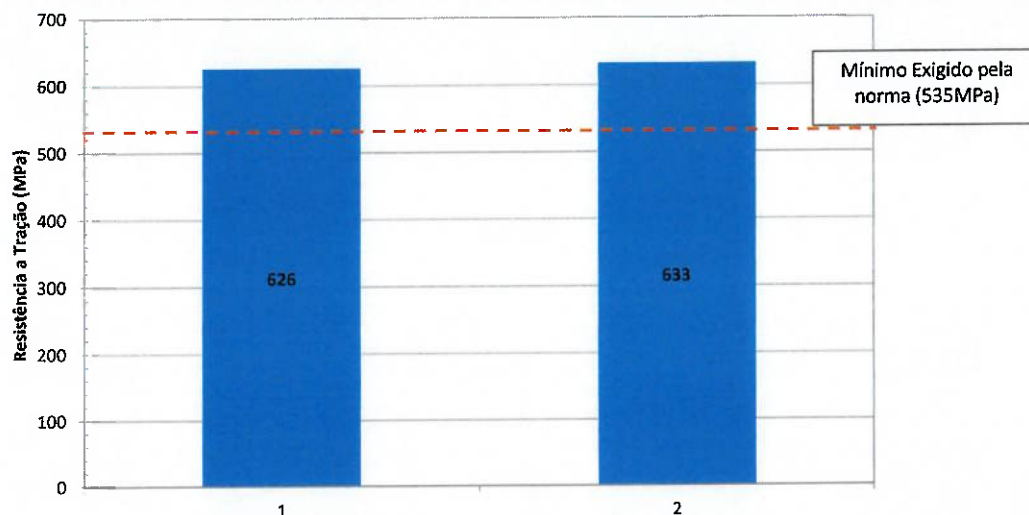


Figura 5.1 – Resultado do valor obtido do limite de resistência do ensaio de tração da junta soldada.

5.1.3 ENSAIO DE DUREZA

Os resultados do ensaio de dureza estão descritos na tabela 5.3. Para melhor discussão desses resultados, a figura 5.2 relaciona esses valores em função da região da junta soldada.

O metal de base do tubo API 5L X65 tem dureza inferior à liga Inconel® 625. Esse padrão pode ser observado tanto para o revestimento como para o metal de solda circunferencial, que são do mesmo tipo de liga de níquel.

Tabela 5.3 – Resultado do ensaio de dureza.

RESULTADO DO ENSAIO DE DUREZA VICKERS (HV 10)															
Local da Medição	Metal Base (MB)			ZAC			Metal de Solda (MS)			ZAC			Metal Base (MB)		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Acabamento	208	201	203	219	247	224	261	245	256	215	198	231	198	205	200
Enchimento	212	201	206	212	250	220	267	261	252	222	201	231	205	212	207
Raiz	210	207	215	221	250	232	258	257	231	214	204	241	199	203	211
Revestimento de Inconel® 625 Tubo	250	248	263	257	246	265	250	255	267	262	246	254	257	243	269

Tanto o metal de revestimento do tubo, como o metal de solda da junta soldada circunferencialmente, há uma variação entre valores máximos e mínimos de dureza que chega a 23%.

Para a ZAC do tubo API 5L X65, o perfil de dureza, tanto na região da raiz, como no enchimento e no acabamento, seguem a mesma tendência. Mesmo utilizando na raiz o processo de soldagem TIG e, no enchimento e acabamento, o processo de soldagem MIG, a dureza da ZAC do tubo apresenta valores maiores que o metal de base.

A maior quantidade de ciclos térmicos que a região da ZAC da raiz sofre, quando comparada com as regiões do enchimento e acabamento, não gerou aumento ou redução da dureza. A variação de dureza na ZAC do tubo API 5L X65 apresenta uma variação de até 26% entre os valores mínimos e máximos.

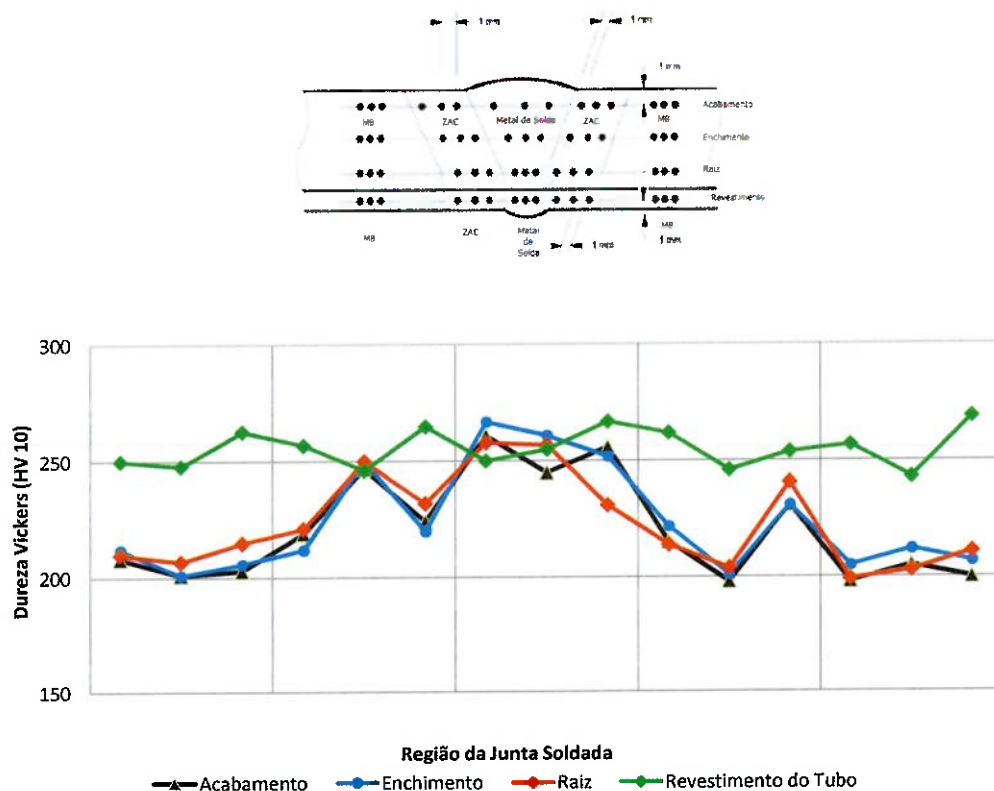


Figura 5.2 – Resultado do ensaio de dureza em função da localização na junta soldada.

5.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A CORROSÃO

O ensaio de perda de massa de imersão por cloreto férrico tem seus resultados compilados na tabela 5.4 e na figura 5.3 é possível observar os corpos de prova utilizados.

A amostra não apresentou corrosão por pitting, quando examinada com ampliação de 20X, e houve perda de massa de $0,11\text{g/m}^2$. O ensaio de perda de massa foi realizado de acordo com a norma ASTM G48 [28].

Tabela 5.4 – Resultado do ensaio de resistência à corrosão.

MÉTODO A - TESTE DE CORROSÃO POR IMERSÃO EM CLORETO FÉRRICO						
Dimensão	Área em exposição		Massa		Perda de Peso	
(mm)	(mm ²)	(m ²)	Inicial (g)	Final (g)	(g)	(g/m ²)
2,24 x 15,03 x 49,95	1792,6	0,001793	15,2955	15,2953	0,0002	0,11

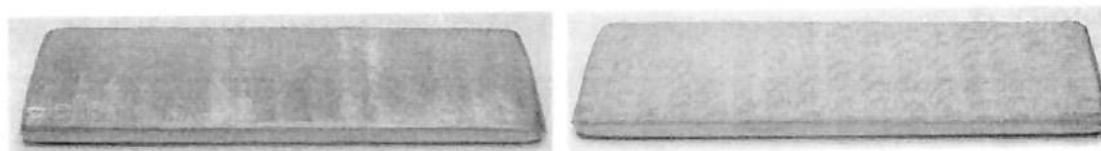


Figura 5.3 – Superfície das amostras após o ensaio de perda de massa por imersão por cloreto férrico.

5.3 ANÁLISE QUÍMICA

Os resultados das análises químicas são descritos na tabela 5.5. Na figura 5.4 foram comparados os valores encontrados dos elementos químicos cromo, níquel e molibdênio com os valores especificados pelo certificado do fabricante do consumível. Na figura 5.5 também é comparado com o certificado do fabricante o elemento ferro.

Para os elementos químicos cromo, níquel e molibdênio o valores encontrado no metal de solda circunferencial é igual ou superior ao especificado pelo fabricante do consumível.

Analisando o valor de ferro encontrado, que é três vezes e meia menor que o máximo especificado no certificado do consumível, indica que a diluição do metal do tubo não irá gerar uma redução nas propriedades de resistência a corrosão e ou possíveis reduções de propriedades mecânicas.

Esses resultados vêm corroborar com os resultados dos ensaios mecânicos e de resistência à corrosão.

Tabela 5.5 – Resultado da análise química no cordão de solda.

ELEMENTO QUÍMICO	C	Mn	SI	P	S	Cr	NI	Mo	Al	W	B	Co	TI	Nb	Fe	Mg
Metal de Solda (%)	0,034	0,017	0,109	0,006	0,006	21,95	64,9	8,81	0,227	0,051	0,0012	0,026	0,191	3,47	0,142	0,026

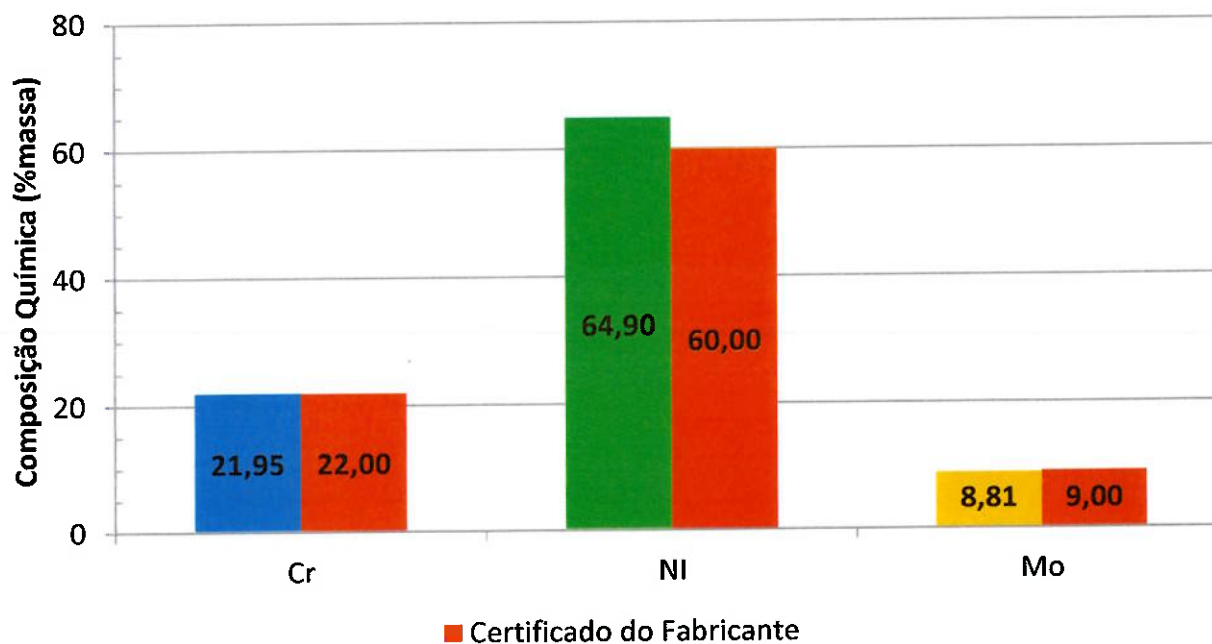


Figura 5.4 – Análise química no cordão de solda e o especificado no certificado de fabricação do consumível.

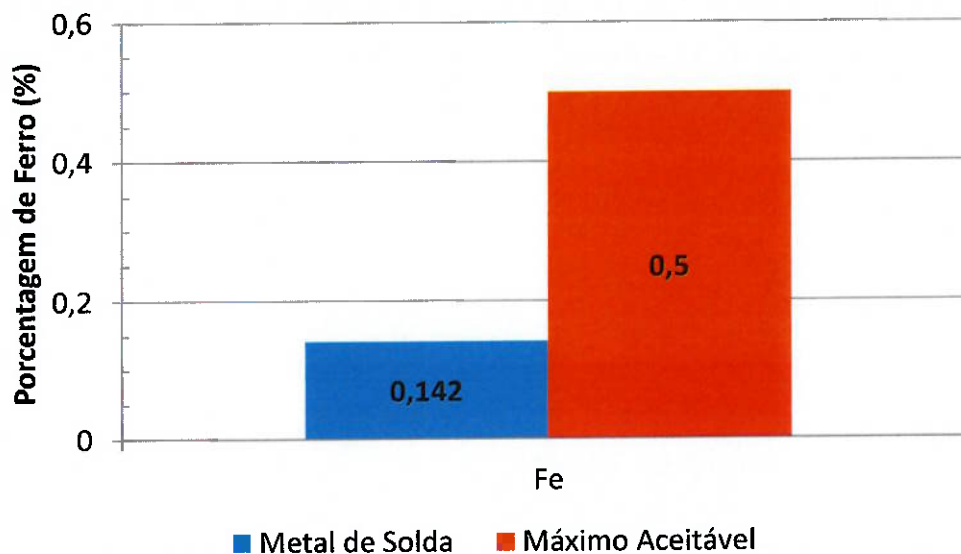


Figura 5.5 – Análise química no cordão de solda e o especificado no certificado de fabricação do consumível.

5.4 CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA

Os resultados da caracterização macrográfica e micrográfica são expostos nos itens 5.4.1 e 5.4.2.

5.4.1 ANÁLISE MACROGRÁFICA

Na figura 5.6 nota-se a macrografia da junta soldada. Está não apresenta falta de fusão, falta de penetração e inclusões que poderia reduzir suas propriedades mecânicas.

A partir da macrografia é possível medir a extensão da ZAC no tubo API 5L X65 causada pela soldagem circunferencial. Os valores da extensão da ZAC

estão descritos na tabela 5.6 e para melhorar a discussão desses valores a figura 5.7 representa as médias da extensão da ZAC.

Observa-se que há uma variação da extensão da ZAC entre o lado esquerdo e direito da junta circunferencial, esta pode ser possivelmente explicada pela soldagem ser realizado manualmente.

Ao analisar a extensão da ZAC, observa-se que a ZAC gerada pelos passes de acabamento são os menores. Isso pode ser explicado por ser a região que recebeu a menor quantidade de ciclos térmicos e possivelmente uma região que sofreu menos transformações de fases.

A segunda menor extensão da ZAC é a do revestimento interno do tubo. A região do enchimento do tubo foi que apresentou a maior extensão seguida pela região da raiz.

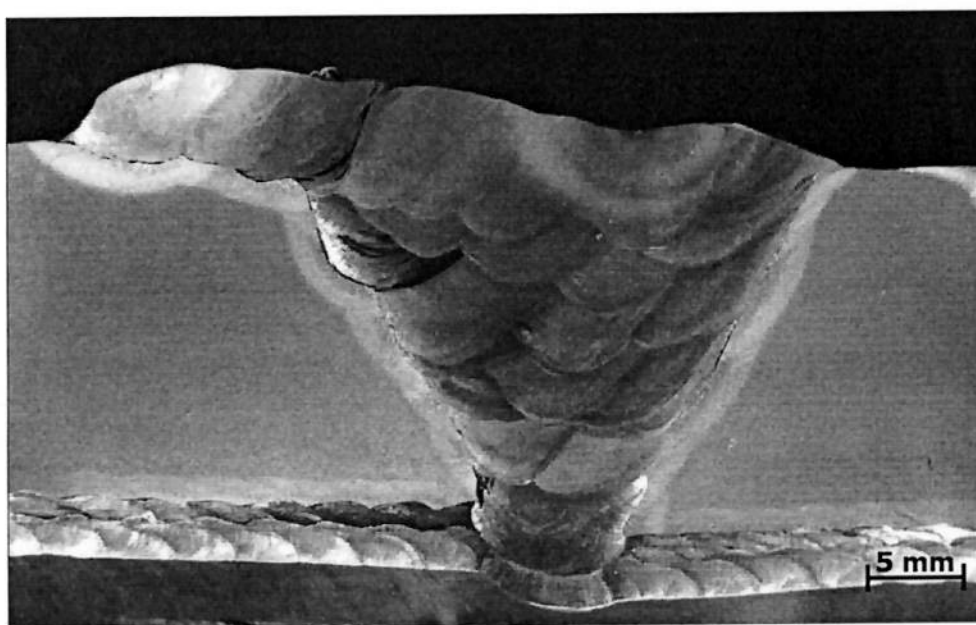
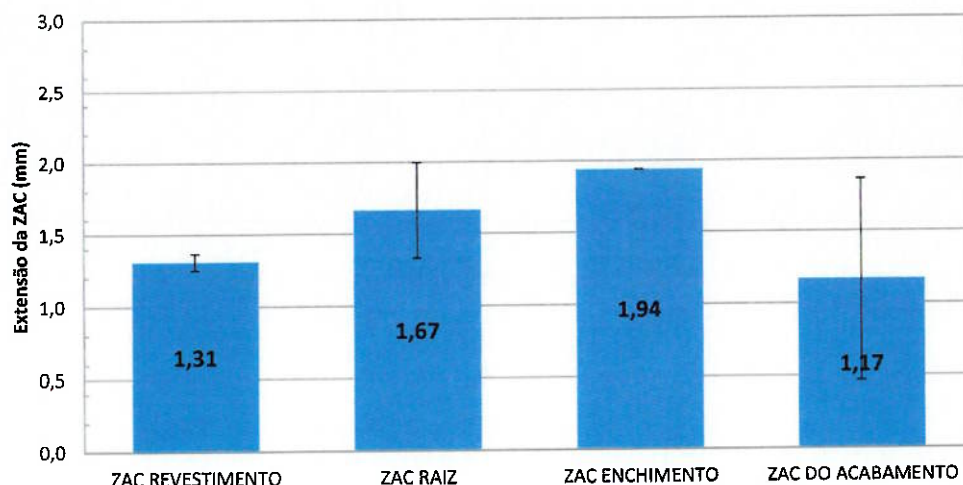


Figura 5.6 – Macrografia da junta soldada.

Tabela 5.6 – Resultado da extensão da ZAC na junta soldada.

REGIÃO	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
ZAC REVESTIMENTO	1,27	1,35	1,31	0,06
ZAC RAIZ	1,43	1,90	1,67	0,33
ZAC ENCHIMENTO	1,94	1,94	1,94	0,00
ZAC DO ACABAMENTO	1,66	0,67	1,17	0,70

**Figura 5.7** – Extensão da ZAC média da junta soldada.

5.4.2 ANÁLISE MICROGRÁFICA

A caracterização metalográfica foi realizada na amostra estudada nas regiões especificadas na figura 5.8. Essas regiões são o metal de base do tubo 5L X65 (a); a ZAC do tubo gerada pela soldagem circunferencial (b); o metal do revestimento interno do tubo API 5L X65 (c); a ZAC que o processo de revestimento interno gerou no tubo (d); a região de transição entre o metal de solda da soldagem circunferencial e a ZAC do tubo; o cordão de solda circunferencial do tubo.

Na figura 5.9 nota-se o metal de base do tubo API 5L X65 que foi utilizado nesse experimento. Este é composto basicamente por ferrita (F) e ilhas de perlita (P).

Na figura 5.10 observa-se a microestrutura da liga Inconel® 625 que foi utilizada para revestir internamente o tubo API. Essa microestrutura é composta por matriz austenítica (Y) e segregações do último líquido que foi solidificado.

Na figura 5.11 verifica-se a região de transição entre a microestrutura do revestimento interno do tubo e a microestrutura do tubo API. Na transição, o Inconel® 625 apresenta microestrutura totalmente austenítica e regiões mais escuras que podem ser uma concentração de algum elemento químico.

No lado do tubo API a ZAC apresenta uma faixa próxima da transição do Inconel® que a microestrutura é ferrítica (F) e não apresenta perlita. A perlita (P) é observada apenas acima da faixa aonde há predominância da ferrita (F).

Nas figuras 5.12, 5.13 e 5.14 nota-se a região da ZAC do tubo API 5L X65 gerada pela soldagem circunferencial. A figura 5.12 representa uma ZAC de alta temperatura e está localizada próxima do metal de solda. Está microestrutura é composta por ferrita (F), perlita (P) e uma segunda fase alinhada (SFA) na ferrita.

A figura 5.13 representa a microestrutura da ZAC onde a temperatura máxima foi menor que a apresentada na figura 5.12. Nota-se que esta região é composta por ferrita (F) e perlita (P), porém os grãos ferríticos tendem a serem menores quando comparados com a ZAC de alta temperatura.

Na figura 5.14 observa-se a ZAC de menor temperatura, a microestrutura desta região apresenta ferrita (F) e perlita com morfologia esboçada.

As figuras 5.15 e 5.16 apresentam a microestrutura da região de transição entre o metal de solda circunferencial e a ZAC do tubo API 5L X65.

Observa-se similaridade microestrutural à figura 5.11 que apresenta a ZAC do tubo gerada pelo revestimento interno do mesmo. Porém, a ZAC do tubo API não tem uma faixa onde a sua microestrutura é totalmente ferrítica.

A microestrutura do metal de solda circunferencial está na figura 5.17, esta microestrutura é similar a encontrada no metal de revestimento do tubo, sendo composta por uma matriz austenítica e na cor preta, segregações do último líquido que solidificou.

Na figura 5.18 é representada a microestrutura entre os cordões de solda. Esta região apresenta microestrutura autenítica e é possível definir que o cordão com a microestrutura como soldado, tem uma maior quantidade de segregações que o cordão que sofreu o ciclo térmico do passe subsequente.

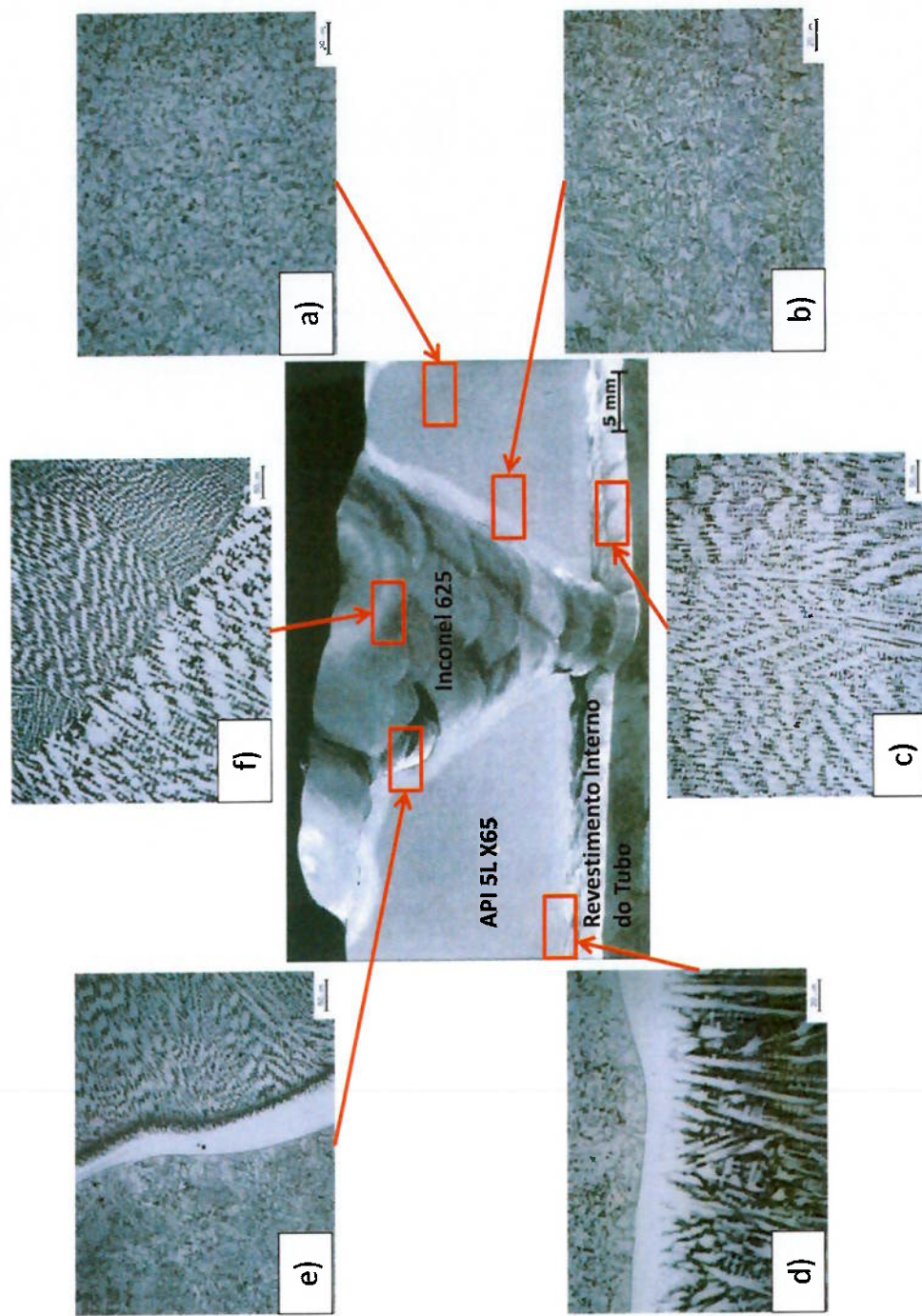


Figura 5.8 – Montagem da macrografia da junta soldada mostrando: a) o metal de base do tubo API 5L X65; b) a ZAC do tubo API 5L X65 causada pela soldagem circunferencial; c) o metal de solda do revestimento interno do tubo API 5L X65; d) a região de transição entre o revestimento interno e o metal do tubo; e) a região de transição entre a ZAC do tubo e o metal de solda da soldagem circunferencial; f) metal de solda da soldagem circunferencial.



Figura 5.9 – Micrografia do metal de base do tubo API 5L X65. Ataque Nital 2%. Perlita (P) e Ferrita (F). Aumento 500X.



Figura 5.10 – Micrografia do Inconel® 625 utilizado para o revestimento interno do tubo API 5L X65. Matriz austenítica e segregações do último líquido a solidificar na cor preta. Ataque ácido Crômico 10%. Aumento 200X.

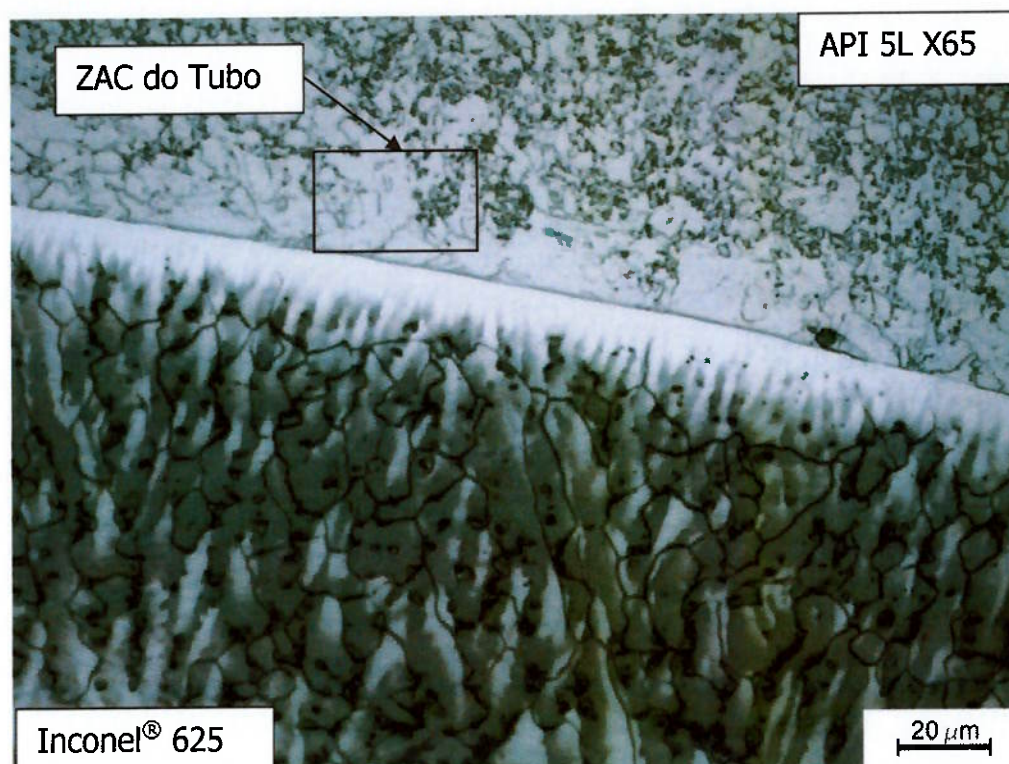


Figura 5.11 – Micrografia da região de transição do Inconel® 625 utilizado para o revestimento interno, a ZAC do tubo e o metal de base do tubo API 5L X65. Ataque Nital 2% (API 5L X65) e o ataque ácido Crômico 10% (Inconel® 625). Aumento 500X.

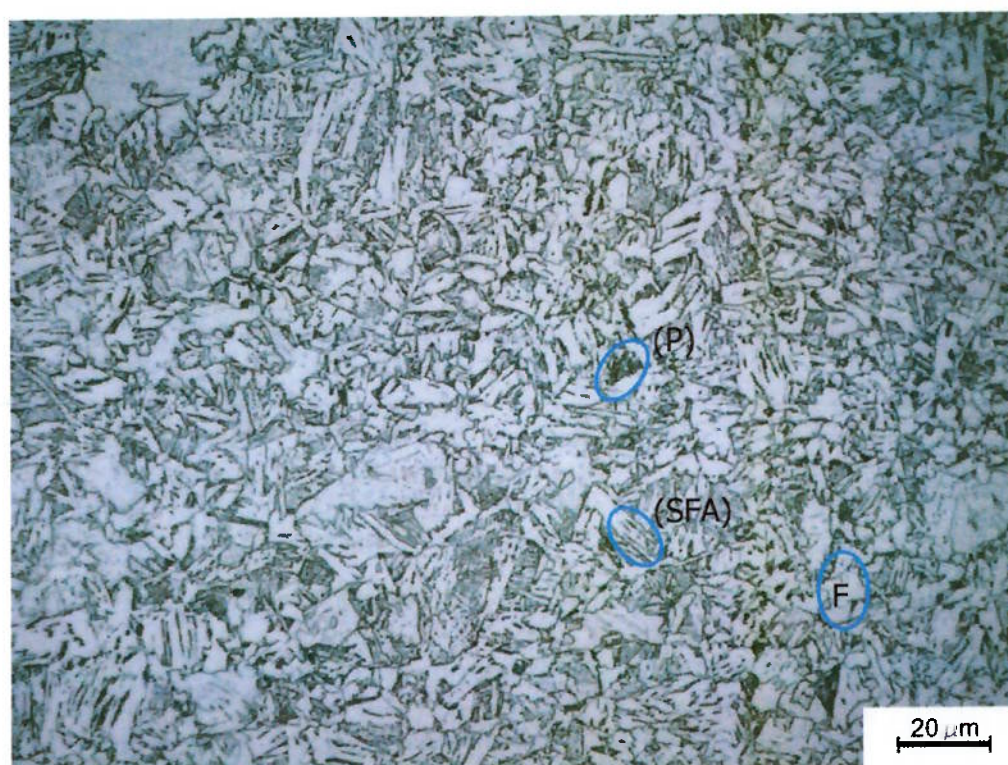


Figura 5.12 – Micrografia da ZAC do tubo API 5L X65 causada pela soldagem circunferencial. Região com ferrita (F), perlita (P) e segunda fase alinhada (SFA). Ataque Nital 2%. Aumento 500X.



Figura 5.13 – Micrografia da ZAC do tubo API 5L X65 causada pela soldagem circunferencial. Região com ferrita (F) e perlita (P). Ataque Nital 2%. Aumento 500X.

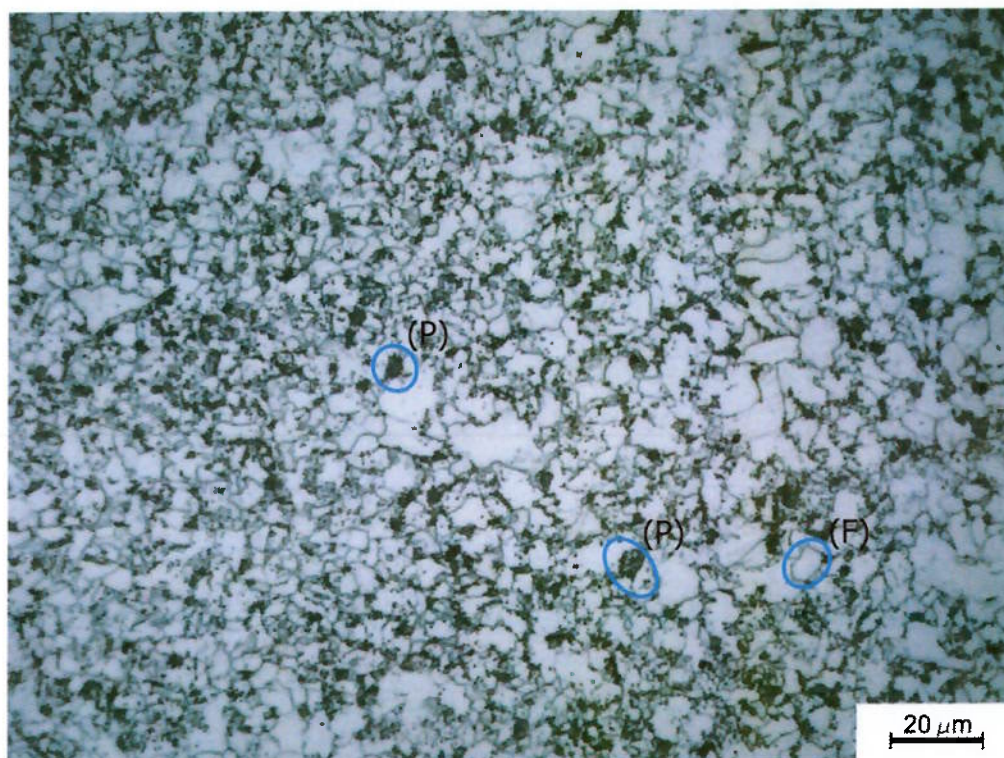


Figura 5.14 – Micrografia da ZAC do tubo API 5L X65 causada pela soldagem circunferencial. Região com ferrita (F) e perlita (P). Ataque Nital 2%. Aumento 500X.

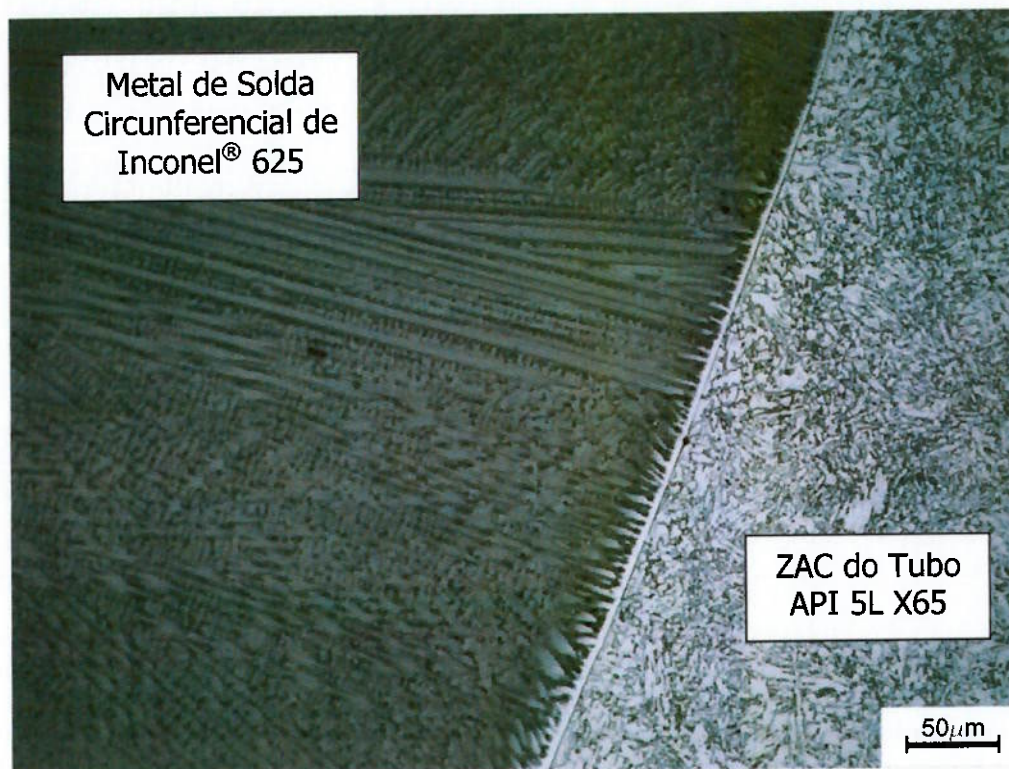


Figura 5.15 – Micrografia da região de transição da ZAC do tubo API 5L X65 e do metal de solda circunferencial. Ataque Nital 2% (API 5L X65) e o ataque ácido Crômico 10% (Inconel® 625).



Figura 5.16 – Micrografia da região de transição da ZAC do tubo API 5L X65 e do metal de solda circunferencial. Ataque Nital 2% (API 5L X65) e o ataque ácido Crômico 10% (Inconel® 625).

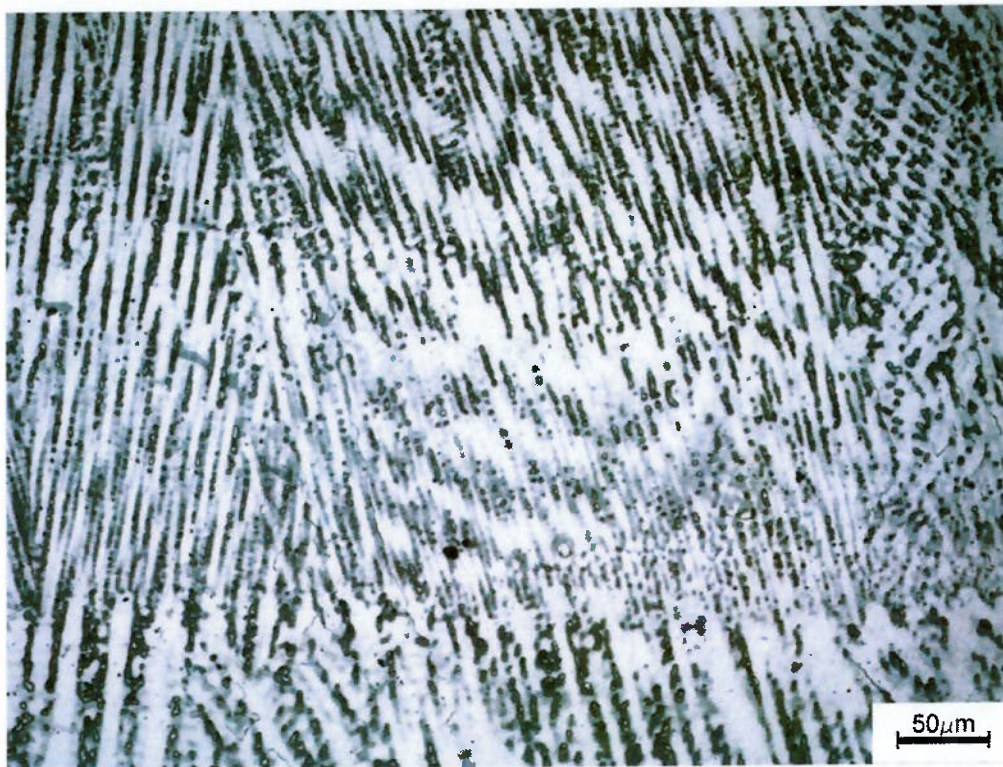


Figura 5.17 – Micrografia do Inconel® 625 no metal de solda circunferencial. Ataque ácido Crômico 10%. Matriz austenítica e segregações do último líquido a solidificar na cor preta.



Figura 5.18 – Micrografia do Inconel® 625 no metal de solda circunferencial mostrando o metal de solda como soldado e o metal de solda afetado pelo passe subsequente. Matriz austenítica e segregações do último líquido a solidificar na cor preta. Ataque ácido Crômico 10%..

6. CONCLUSÕES.

Com base nos materiais e métodos utilizados pode-se concluir que:

- 1- Mesmo com dureza superior, a ZAC não apresentou aberturas durante o ensaio de dobramento lateral.
- 2- Neste tipo de junta dissimilar as propriedades mecânicas não sofreram alterações relevantes.
- 3- A resistência à corrosão teve resultado satisfatório e não foi influenciada pelos ciclos de térmicos oriundos do processo de soldagem.
- 4- O procedimento de soldagem e as condições adotadas na soldagem do aço API 5L X65, revestido internamente com a liga Inconel® 625, foi qualificado de acordo com os requisitos das normas ASME B31.1 e ASME IX.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

1-Soldagem das ramificações de tubos API 5L X65 revestidos com Inconel® 625 com conexões de Inconel625® forjado.

2-Soldagem das ramificações de tubos API 5L X65 revestidos com Inconel® 625 e chanfros amanteigados com Inconel® 625.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- SPECIFICATION for Line Pipe: API Specification 5L. American Petroleum Institute, 44^o.ed. Chicago, 2007
- 2- FERREIRA,S.R et Al. State of The Art Production of Gas Pipelines In Brazil. Stress Corrosion Cracking In Pipelines: A CBMM International Seminar. Rio de Janeiro: Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração, 2001.p. 8-34
- 3- International Institute of Welding, IIW
- 4- MALCON, J. G. A Guide for Understanding & Specifying Chemical Composition of High Stregth Linepipe Steels. Companhia Brasileira de metalurgia e Mineração, 2007. 37 p. (Relatório Técnico).
- 5- AGGEN, G. et al., Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys. Metals Handbook, Vol. 1, 10^o Ed. American Society of Metals, 1998.
- 6- BAI, Y.; BAI, Q. Subsea Pipelines and Risers. Elsevier. 565-583 p. 2005.
- 7- ROZA, E.J. et Al. API 5L X80 ERW pipelines: TenarisConfab & Usiminas Development. 6th, International Pipeline Conference, 2006. Proceedings. Alberta, Canadá, American Society of Mechanical Engineers, 2006. 7p.
- 8- OUCHI, C. Development of Steel Plates by Intensive Use of TMCP and Direct Quenching Processes. ISIJ International, Vol. 41. Japan: Department of Metallurgy, Graduate School of Engineering, Tohoku University. 2001. 542-553p.
- 9 – SILVA TELLES, P.C., Tubulações Industriais: Materiais, Projeto e Desenho. 10^a ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 2003.

- 10- FILHO, H. D.; SILVA, R. H. G.; DUTRA, J. C. Comparação do Processo MIG/MAG em Transferência por Curto-Circuito com Controle de Corrente (CCC) como Processo STT na Soldagem de Passes de Raiz em Dutos. In: XXXVIII CONSOLDA - CONGRESSO NACIONAL DE SOLDAGEM, 2012, Ouro Preto-MG, 2012, 2012. 14 p.
- 11- 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.
- 12- SÉFÉRIAN, D. The Metallurgy of Welding. London: Chapman and Hall, 162. 375p.
- 13- PROCESSO de Fabricação: SAW Longitudinal – UOE. Produzido Por Tenaris Confab. Disponível em:
<http://www.tenaris.com/tenarisconfab/pt/prodser/linepipe.aspx> Acessado em: Dezembro/2012.
- 14- ASM Specialty Handbook, Nickel, Cobalt, and Their Alloys, First Edition, ASM International, New York, USA, 2000
- 15- REED, R.C., The Superalloys: fundamentals and applications, Cambridge, Cambridge University Press, 2006.
- 16- INCONEL.DIPONIVEL.EM:
<<http://www.eng.vt.edu/eng/materials/classesMSE294notebook/96classproj/examples/nicrfe.html>.
- 17- VALENCIA, J.J., MCCABE, T., HENS, K., HANSEN, J. O., BOSC, A., "Microstructure and Mechanical Properties of Inconel 625 and 718 Alloys Processed by Powder Injection Molding." 1994. Disponível em:

<http://www.tms.org/superalloys/10.7449/1994/Superalloys_1994_935_945.pdf>

18- AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Metals Handbook. Welding, brazing and soldering. 9 ed. Vol 6. OHIO, USA, Metals Park, 1983.

19-WRIGHT P. K., Snow D. A., Tay C. K., Interfacial Conditions and Bond Strenght in Cold Pressure Weldind by Rolling. Vol 5. LONDON, UK, Metals Technology, 1978.

20- AWS WHB-2 90" Explosion welding" AWS, USA.

21- NOBILI A., "Explosion Bonding process", Nobel Clad Technical Bulletin NT 200, pp. 1-6, Disponível em: <http://nobelclad.com/jdownloads/White%20Papers/nt_200_cladding_process_rev.pdf> Acessado em 23 de fevereiro de 2014

22- Soldagem – Coleção tecnológica SENAI – 1ª ed. 1997 consulta em 15/12/213, através da InfoSolda

23-WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELO, F. D. H. Soldagem: Processos e Metalurgia. São Paulo:Edgar Blucher, reimpressão 2011. 494p.

24- SPECIFICATION for Low-Alloy Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding: A5.14 -96. American Welding Society. Miami. 1996.

25 – ANSI B 31.3 Asme Code For Pressure Piping, B 31 ASME B31.3 2002

26 – ASME XI Asme Boliler and Pressure Vessel Code an International - Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators – 2010.

27 – N133 K Exigências e as práticas recomendadas para a execução da soldagem por fusão de aços e ligas não ferrosas.

28 – ASTM G48 Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution1- 2003

ANEXO I – Certificados

REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS										RQPS (WPQR)			
TOMÉ Identificação (Identification): MOD 002/2013 Norma (Norm): ASME IX - 2010 PETROBRAS N - 133L Folha (Sheet): 1 / 4 Revisão (Revision): 00 Data (Data): 12/07/2013										Folha (Sheet)		Revisão (Revision)	
										1 / 4		00	
PROCESSO DE SOLDAGEM 1 (Welding Process 1)					PROCESSO DE SOLDAGEM 2 (Welding Process 2)								
Tipo (Type): TIG (GTAW)		Descrição (Description): Manual		Tipo (Type): MIG (GMAW)		Descrição (Description): Semi-automático							
Croqui da Junta / Joint Sketch					Parâmetros da Junta / Joint Parameters								
					COMPONENTE 1 (Component 1)								
					Material de Base (Base Material): API 5L GrX85Q PSL2 x PN° 45 (NiCrMo-3) Tubo revestido internamente com Inconel (3,0mm espessura)								
					Diâmetro Nominal (Nominal Diameter): 8" (Externo 219,1mm)								
					Espessura (Thickness): 18,3 mm (usinado internamente)								
					COMPONENTE 2 (Component 2)								
					Material de Base (Base Material): API 5L GrX85Q PSL2 x PN° 45 (NiCrMo-3) Tubo revestido internamente com Inconel (3,0mm espessura)								
					Diâmetro Nominal (Nominal Diameter): 8" (Externo 219,1mm)								
					Espessura (Thickness): 18,3 mm (usinado internamente)								
					N° P (P Number): PN° 1 x PN° 45 Grupo 1								
					N° P (P Number): PN° 1 x PN° 45 Grupo 1								
Folha de Acompanhamento (Data Sheet): FAS - MOD-002					Posição de Test (Test Position): 6G								
					Processo de Soldagem 1 (Welding Process 1): AISLAN GOMES DOS SANTOS CPF 050.085.834-92								
					Processo de Soldagem 2 (Welding Process 2): AISLAN GOMES DOS SANTOS CPF 050.085.834-92								
Parâmetros de Soldagem (Parameters of Welding)													
Consumíveis de Soldagem (Welding Consumables)													
CAMADA Layer	PASSE Pass	Especificação (Specification) [B.F.A.]	Classificação (Classification) [A.W.S.]	FN°	AN°	Amperagem (Amperage)	Voltagem (Voltage)	Diâmetro (Diameter)	Fabricante (Manufacturer)	Marca Comercial (Trade Mark)	Vazão (Flow rate) [L/min.]	Velocidade (Velocity) [mm/min.]	Temperatura (Temperature) [°C]
1ª	1ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	121.2-122.5	13.5-14.7	2.4 mm	SANDVIK	R - SNC60	15	42	2.57 > 15°C <= 150°C
2ª	2ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	152.6-153.8	13.2-14.8	2.4 mm			15	108	1.29 > 15°C <= 150°C
3ª	3ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	151.9-153.7	14.4-15.8	2.4 mm			15	103	1.40 > 15°C <= 150°C
4ª	4ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	152.4-153.6	15.1-16.2	1.143mm			20	97	1.55 > 15°C <= 150°C
5ª	5ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	171.8-173.3	15.9-17.2	1.143mm			20	120	1.49 > 15°C <= 150°C
6ª	6ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	172.5-174.8	16.8-18.1	1.143mm			20	100	1.91 > 15°C <= 150°C
7ª	7ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	182.1-183.1	16.2-17.0	1.143mm			20	120	1.55 > 15°C <= 150°C
8ª	8ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	182.7-184.5	16.4-17.7	1.143mm			20	124	1.58 > 15°C <= 150°C
9ª	9ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	184.9-186.7	17.5-18.2	1.143mm			20	118	1.73 > 15°C <= 150°C
10ª	10ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	186.3-187.1	16.9-18.0	1.143mm			20	130	1.55 > 15°C <= 150°C
11ª	11ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	184.6-186.0	16.4-17.8	1.143mm			20	125	1.59 > 15°C <= 150°C
12ª	12ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	184.2-185.4	17.5-18.8	1.143mm			20	158	1.31 > 15°C <= 150°C
13ª	13ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	186.3-187.8	17.8-18.3	1.143mm	SANDVIK	W - SNC60	20	145	1.42 > 15°C <= 150°C
14ª	14ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	185.8-186.7	17.1-18.0	1.143mm			20	148	1.36 > 15°C <= 150°C
15ª	15ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	185.1-186.2	16.2-17.9	1.143mm			20	128	1.56 > 15°C <= 150°C
16ª	16ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	184.7-186.8	17.0-18.1	1.143mm			20	147	1.38 > 15°C <= 150°C
17ª	17ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	184.7-186.5	16.2-17.8	1.143mm			20	142	1.40 > 15°C <= 150°C
18ª	18ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	185.2-186.4	15.9-17.5	1.143mm			20	146	1.34 > 15°C <= 150°C
19ª	19ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	184.9-186.7	15.8-17.1	1.143mm			20	150	1.27 > 15°C <= 150°C
20ª	20ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	185.6-187.0	16.4-17.7	1.143mm			20	152	1.31 > 15°C <= 150°C
21ª	21ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	152.2-153.9	15.2-16.1	1.143mm			20	107	1.39 > 15°C <= 150°C
22ª	22ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	150.3-151.2	13.8-15.1	1.143mm			20	124	1.10 > 15°C <= 150°C
23ª	23ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	150.8-152.3	14.1-15.8	1.143mm			20	115	1.24 > 15°C <= 150°C
Espessura Depositada - CP - 045		Passe		Oscilação		Gas		%		Fabricante		Marca Comercial	
TIG (GTAW)		5.0 mm		Oscilante		N/A		Argônio		99.997		White Martins	
MIG (GMAW)		13.3 mm		Oscilante		N/A		Argônio		99.997		White Martins	
(SPRAY)		(Transferência por Spray)										ONU SB 1006	
												20 L/min.	
												25 L/min.	
Obs.: 1) Visual Aprovado conforme Procedimento de Ensaio Visual PR-3010.92-1400-971-TB7-001 Rev. C													
2) Utilizado verniz para a proteção dos biséis com aplicação por pincelamento (Marca comercial RISKEY)													
3) Tungstênio utilizado - Especificação: A 5.12 / Classe: EWT-2 / Fabricante: USA ELECTRODES / Diâmetro: 2.4mm													
INSP. SOLDA N2 / WELDING INSPECTOR LEVEL 2										COORDENADOR QUALIDADE / QUALITY ENGINEER			
CONSORCIO TOMÉ FERROSTAAL Nilton Prado Cabral Inspetor de Solda N2 IS 070 N2										CONSORCIO TOMÉ FERROSTAAL Ivo Leonardo Mello Alves Coordenador de Qualidade			

TOMÉ		REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS				RQPS (WPQR)	
		Identificação (Identification)	MOD 002/2013	Norma (Norm)	ASME IX - 2010 PETROBRAS N - 133L	Folha (Sheet) 2 / 4	Revisão (Revision) 00
Características Elétricas (Electrical Character)							
Região da solda (Weld Region)	Tipo (Current Type)	Polaridade (Polarity)		Amperagem (Amperage)	Tensão (Tension)		
		CC	CA				
RAIZ (Root)	PROC. 1	X	-	X	-	121,2 à 122,5	13,5 à 14,7
Enchimento (Filling)	PROC. 1	X	-	X	-	151,9 à 153,8	13,2 à 15,6
	PROC. 2	X	-	-	X	152,4 à 187,8	15,1 à 18,6
Acabamento (Finish)	PROC. 2	X	-	-	X	150,3 à 187,0	13,8 à 17,7
Pré-aquecimento (Preheating)				Pós-aquecimento (Postheating)			
Parâmetros (Parameters)		Processo 1 (Process 1)		Processo 2 (Process 2)		Temperatura (°C) (Temperature)	
Temperatura Mínima (°C) (Min. Temperature)		15° C		15° C		Tempo (minutes) (Time)	
Temperatura Máxima (°C) (Max. Temperature)		<= 150° C				N/A	
Meio de controle (Middle of control)	Instrumento (Instrument)		Termômetro infravermelho		Meio de controle (Middle of control)		Instrumento (Instrument)
	Identificação (Tag)		TER - 134		Identificação (Tag)		N/A
Gases (Gas)							
Aplicação (Application)	Tipo (Type)	% DE PUREZA (Purity)	Fabricante (Manufacturer)	Marca Comercial (Trade Mark)	VAZÃO - l/min (Flow)		
TIG (GTAW)	Argônio	99,997%	White Martins	ONU SB 1006	15		
MIG (GMAW)	Argônio	99,997%	White Martins	ONU SB 1006	20		
Purga	Argônio	99,997%	White Martins	ONU SB 1006	25		
Técnica de Soldagem (Weld Technique)							
Região da solda (Weld Region)	Processo de Soldagem (Welding Process)	Tipo de Passo (Weld Pass)	Oscilação (Oscillation)	Velocidade (Velocity)	Energia de Soldagem (Heat Input)	Dimensão (Dimension)	
RAIZ (Root)	TIG GTAW	OSCILANTE	N/A	42	2,57	DO BOCAL	
Reforço da Raiz (Reinforcement of the Root)	TIG GTAW	OSCILANTE	N/A	103 à 106	1,29 à 1,40	6	
Enchimento (Filling)	MIG GMAW	OSCILANTE	N/A	97 à 158	1,31 à 1,91	-	
Acabamento (Finish)	MIG GMAW	OSCILANTE	N/A	107 à 152	1,10 à 1,39	-	
Método de Limpeza e Proteção (Method of Cleaning and Protection)				Método de Controle (Method of Gauge)			
Inicial (Initial)				N/A			
Interpassos (Interpass)				N/A			
Tratamento Térmico (Heat Treatment)							
Tipo de Tratamento (Treatment Type)		N/A					
Temperatura de Patamar (Metal Temperature Range) °C		N/A		Taxa de Aquecimento (Heating Rate) °C / Hora - máx.		N/A	
Tempo de Patamar (Holding Time) - Horas		N/A		Taxa de Resfriamento (Cooling Rate) °C / Hora - máx.		N/A	
Início do Tratamento (begin of the treatment) °C		N/A		Fim do Tratamento (end of the treatment) °C		N/A	
Dureza Brinell (Hardness Brinell) - HB		N/A		Diferença entre Termopares (Diff. Between Thermocouples) °C - máx.		N/A	
Instrumentos de Controle (Instruments of Control)		Tipo (Type)		N/A			
		TAG		N/A			
Certificado de Metal de Base (Certificate of Base Metal)				Certificado de Consumível de Soldagem (Certificate of Consumable of Welding)			
Componente 1 (Component 1)		Componente 2 (Component 2)		AWS A 5.14		ER NiCrMo - 3	
V & M do Brasil S/A - 0030025964				AWS A 5.14		ER NiCrMo - 3	
						091.120-II	
						91.672	
INSP. SOLDA N2 / WELDING INSPECTOR LEVEL 2				COORDENADOR QUALIDADE / QUALITY ENGINEER			
CONSÓRCIO TOMÉ FERROSTAAL Nilton Prado Cabral Inspetor de Solda N2 IS 070 N2				CONSÓRCIO TOMÉ FERROSTAAL Ivo Leonardo Mello Alves Coordenador de Qualidade			

REGISTRO DE QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORDS										RQPS (WPQR)	
										Folha (Sheet)	Revisão (Revision)
										3 / 4	00
TOMÉ		Identificação (Identification)	MOD 002/2013	Norma (Norm)	ASME IX - 2010 PETROBRAS N - 133L					Data (Date)	12/07/2013
Sumário de Exame Não-destrutivo (Summary of Non Destructive Exam)											
Tipo de Exame (Type of Exam)		Norma Aplicável (Applicable Norm)			Inspetor Responsável (Inspector Responsible)			Laudo		Relatório (Report)	
Visual		PR-3010-92-1400-971-TB7-001 Rev. C			Vinicius C. de A. Pimentel - IS-N1 4441			Aprovado		FAS - MOD-002	
Radiografia		ASME - IX / PR-ERG-010 Rev. 6			Valdemar F. dos Santos SNQC-10987			Aprovado		039/2013	
Sumário do Ensaio de Tração (Summary of Tension Test)											
Normas (Norm)		Retirada de CP (Remove of CP)		ASME IX - 2010		Procedimento do Cliente (Client Procedure)		P - 101			
		Tipo de CP (Type CP)		Transversal		Condições Ambientais (Environmental conditions)		21°C / UR - 50%			
Identificação do CP (Identification of CP)		Dimensões do CP (Dimension of CP)		Carga de Ruptura (Load of Rupture)		Tração (Tension)		Local de Ruptura (Place of the Rupture)		Laudo	
		Largura x Espessura (Thickness x Width) mm		Kgf		Mpa					
		b (mm) x t (mm)									
T1		18,85 x 15,5		292,18		18.540		626		Fora da Solda	
T2		18,55 x 15,15		281,03		18.140		633		Fora da Solda	
Sumário do Ensaio de Dobramento (Summary of Guided-Bend)											
Normas (Norm)		Retirada de CP (Remove of CP)		ASME IX - 2010		Procedimento do Cliente (Client Procedure)		P - 102			
		Ângulo do Ensaio (Analysis Angle)		180°		Diâmetro do Cutelo (Diameter of Rollers)		38,10 mm			
Identificação do CP (Identification of CP)		Tipo de Ensaio (Type of Rehearsal)		Largura de CP (Width of CP) (mm)		Resultado (Result)		Observação (Observation)		Relatório de Ensaio Mecânico (Report of Mechanical Rehearsals)	
Local (Place)		Tipo (Type)									
DL - 1		Transversal		Dobram. Lateral		10,0 x 18,3		Aprovado		Fissura < 1/8"	
DL - 2		Transversal		Dobram. Lateral		10,0 x 18,3		Aprovado		Fissura < 1/8"	
DL - 3		Transversal		Dobram. Lateral		10,0 x 18,3		Aprovado		Fissura < 1/8"	
DL - 4		Transversal		Dobram. Lateral		10,0 x 18,3		Aprovado		Fissura < 1/8"	
Sumário do Ensaio de Dureza (Summary of Hardness Test)											
Normas (Norm)		ASME IX / N-133 (Petrobras)				Pontos Inspeccionados (Inspected points)		15			
CP		Dureza (Hardness)		Laudo		Aprovado		Relatório de Ensaio (Report of Rehearsals)		TORK 13082456 MCRJ	
Face		Metal de Base (Base Metal)		ZAT - Face (Lado 1)		Metal de Solda (Weld Metal)		Metal de Solda (Weld Metal)		Metal de Base (Base Metal)	
Nº dos Pontos (Nº of the Points)											
Dureza (HV) - (Hardness)											
Centro da solda (Weld Center)		Metal de Base (Base Metal)		ZAT		Metal de Solda (Weld Metal)		Metal de Solda (Weld Metal)		Metal de Base (Base Metal)	
Nº dos Pontos (Nº of the Points)											
Dureza (HV) - (Hardness)											
Raiz (Root)		Metal de Base (Base Metal)		ZAT - Raiz (Root) - Lado 1		Metal de Solda (Weld Metal)		Metal de Solda (Weld Metal)		Metal de Base (Base Metal)	
Nº dos Pontos (Nº of the Points)											
Dureza (HV) - (Hardness)											
Sumário de Ensaio de Impacto (Summary of Impact Test) (Energia absorvida em Joules - Absorbed energy in Joules)											
Temperatura Impacto (Impact Temperature)		Local do Entalhe (Place of Notch)		1º		2º		3º		Média (Average)	
		CS									
Dimensões do CP (Dimension of CP)		LF + 1mm									
		LF + 5mm									
INSPEÇÃO SOLDERIA N2 / WELDING INSPECTOR LEVEL 2 CONSORCIO TOMÉ FERROSTAAL Nilton Prado Cabral Inspetor de Solda N2 IS 070 N2 COORDENADOR QUALIDADE / QUALITY ENGINEER CONSORCIO TOMÉ FERROSTAAL Ivo Leonardo Mello Alves Coordenador de Qualidade											

FOLHA DE ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM (WELDING SHEET ATTENDANCE)				FAS (WSA)		MOD - 002													
Identificação (Identification)				Folha (Sheet)		Revisão (Revision)													
EPS - MOD - 002 Rev. 0				1 / 1		00													
Norma (Norm)				Data (Date)		07/06/2013													
ASME IX - 2010				PETROBRAS N - 1331															
PROCESSO DE SOLDAGEM 1 (Welding Process 1)				PROCESSO DE SOLDAGEM 2 (Welding Process 2)															
Tipo (Type)	TIG (GTAW)	Descrição (Description)	Manual	Tipo (Type)	MIG (GMAW)	Descrição (Description)	Semi-automático												
Croqui da Junta / Joint Sketch				Parâmetros da Junta / Joint Parameters															
				COMPONENTE 1 (Component 1)															
				Material de Base (Base Material)				API 5L GrX65 PSL2 x PN° 45 (NiCrMo-3) Tubo revestido internamente com Inconel (3,0mm espessura)											
				Diâmetro Nominal (Nominal Diameter)				8" (Externo 219,1mm)											
				Espessura (Thickness)				18,3 mm (usinado internamente)											
				COMPONENTE 2 (Component 2)															
				Material de Base (Base Material)				API 5L GrX65 PSL2 x PN° 45 (NiCrMo-3) Tubo revestido internamente com Inconel (3,0mm espessura)											
				Diâmetro Nominal (Nominal Diameter)				8" (Externo 219,1mm)											
				Espessura (Thickness)				18,3 mm (usinado internamente)											
				N° P (P Number)				Grupo (Group)				PN° 1 x PN° 45				1			
Corpo de Prova				Posição de Teste (Test Position)				Processo de Soldagem 1 (Welding Process 1)				Processo de Soldagem 2 (Welding Process 2)							
Test CP				6G				Processo de Soldagem 1 (Welding Process 1)				Processo de Soldagem 2 (Welding Process 2)							
CP - 045				Progressão (Progression)				ASCENDENTE				AISLAN GOMES DOS SANTOS CPF: 050.085.834-92				AISLAN GOMES DOS SANTOS CPF: 050.085.834-92			
Parâmetros de Soldagem (Parameters of Welding)																			
Consumíveis de Soldagem (Consumables)																			
CAMADA Layer	PASSE Pass	Especificação Specification (AWS)	Classificação Classification (AWS)	FN°	AN°	Amperagem Amperage	Voltagem Voltage	Diâmetro Diameter	Fabricante Manufacturer	Marca Comercial Trade Mark	Vazão Flow rate (L/min)	Velocidade Velocity (mm/min)	Energia de Soldagem Heat Input (kJ/mm)	Temperatura Temperatura (°C)	Preheat	Interpass			
1ª	1ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	121,2-122,5	13,5-14,7	2,4 mm	SANDVIK	R - SNC60	15	42	2,57	> 150°C	<= 150°C				
2ª	2ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	152,6-153,8	13,2-14,8	2,4 mm	SANDVIK	R - SNC60	15	106	1,29	> 150°C	<= 150°C				
3ª	3ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	151,9-153,7	14,4-15,6	2,4 mm	SANDVIK	R - SNC60	15	103	1,40	> 150°C	<= 150°C				
4ª	4ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	152,4-153,6	15,1-16,2	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	97	1,55	> 150°C	<= 150°C				
5ª	5ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	171,5-173,3	15,9-17,2	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	120	1,49	> 150°C	<= 150°C				
6ª	6ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	172,5-174,8	16,8-18,1	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	100	1,91	> 150°C	<= 150°C				
7ª	7ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	182,1-183,1	16,2-17,0	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	120	1,55	> 150°C	<= 150°C				
8ª	8ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	182,7-184,5	16,4-17,7	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	124	1,58	> 150°C	<= 150°C				
9ª	9ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	184,9-186,7	17,5-18,2	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	118	1,73	> 150°C	<= 150°C				
10ª	10ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	186,3-187,1	16,9-18,0	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	130	1,56	> 150°C	<= 150°C				
11ª	11ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	184,6-186,0	16,4-17,8	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	125	1,59	> 150°C	<= 150°C				
12ª	12ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	184,2-185,4	17,5-18,6	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	158	1,31	> 150°C	<= 150°C				
13ª	13ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	186,5-187,8	17,6-18,3	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	145	1,42	> 150°C	<= 150°C				
14ª	14ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	185,8-186,7	17,1-18,0	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	148	1,36	> 150°C	<= 150°C				
15ª	15ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	185,1-186,2	16,2-17,9	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	128	1,56	> 150°C	<= 150°C				
16ª	16ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	184,7-186,6	17,0-18,1	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	147	1,38	> 150°C	<= 150°C				
17ª	17ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	184,7-186,5	16,2-17,8	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	142	1,40	> 150°C	<= 150°C				
18ª	18ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	185,2-186,4	15,9-17,5	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	146	1,34	> 150°C	<= 150°C				
19ª	19ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	184,9-186,7	15,8-17,1	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	150	1,27	> 150°C	<= 150°C				
20ª	20ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	185,8-187,0	16,4-17,7	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	152	1,31	> 150°C	<= 150°C				
21ª	21ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	152,2-153,9	15,2-16,1	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	107	1,39	> 150°C	<= 150°C				
22ª	22ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	150,3-151,2	13,8-15,1	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	124	1,10	> 150°C	<= 150°C				
23ª	23ª	A 5.14	ER NiCrMo-3	43	-	150,8-152,3	14,1-15,6	1,143mm	SANDVIK	R - SNC60	20	115	1,24	> 150°C	<= 150°C				
Espessura Depositada		Passe		Oscilação		Gas		%		Fabricante		Marca Comercial		Vazão					
TIG (GTAW)		5,0 mm		Oscilante		N/A		Argônio		99,997		White Martins		ONU SB 1006		15 L/min			
MIG (GMAW)		13,3 mm		Oscilante		N/A		Argônio		99,997		White Martins		ONU SB 1006		20 L/min			
(SPRAY)		(Transferência por Spray)						Argônio		99,997		White Martins		ONU SB 1006		25 L/min			
Gas de Purga mantido até a 3ª camada								Argônio		99,997		White Martins		ONU SB 1006		25 L/min			
Consumíveis de Soldagem		ER NiCrMo-3 (2,4mm)		Lote / Certificado		091.120-II													
Consumíveis de Soldagem		ER NiCrMo-3 (1,143mm)		Lote / Certificado		91.672													
Metal de Base (8" - 18,3mm)		API 5L GrX65		Lote / Certificado		30025964													
Alicate VIA		AVA - 045		Lote / Certificado		2072/13													
Calibre de Solda FBTS		GAB - 008		Lote / Certificado		16360/12													
Paquímetro		PAQ - 111		Lote / Certificado		20757/12													
Termômetro		TER - 134		Lote / Certificado		8425/12													
HI-LO		GDJ - 026		Lote / Certificado		15251/12													
Obs.: 1) Visual Aprovado conforme Procedimento de Ensaio Visual PR-3010 92-1400-971-TB7-001 Rev C																			
2) Utilizado verniz para a proteção dos biséis com aplicação por pincelamento (Marca comercial RISKEY)																			
3) Tungstênio utilizado - Especificação: A 5.12 / Classe: EWTh-2 / Fabricante: USA ELECTRODES / Diâmetro: 2,4mm																			
INSPECTOR DE SOLDA N1 / WELDING INSPECTOR LEVEL 1								COORDENADOR QUALIDADE / QUALITY ENGINEER											
PR-3010 92-1400-955-TB7-001 01 - Rev D								CONSORCIO TOME FERROSTAL Vincius C. de A. Pimentel Inspetor de Solda (S4441 N1)											
								CONSORCIO TOME FERROSTAL Ivo Leonardo Mallo Alves Coordenador de Qualidade											

[illegible]

Valdemar F. dos Santos
OPR-CHEN 2082 AS
SINGG-1082/ER-1025-1



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 13071944 MCRJ

REV.2

Fl. 1/1

Empresa interessada : CONSORCIO TOME FERROSTAAL

Rua Sá e Albuquerque, s/nº - Armaz 01 - Área Operacional 11- Porto Maceio – Jaguará - Maceio/ AL

Pedido de ensaio : 268979

Natureza do trabalho : QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM.

Indicações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

QUANTIDADE.....: 01 Junta soldada Ø 8" # 18,3 mm

IDENTIFICAÇÃO.....: RQPS/QPS EPS – MOD 002/2013 Rev.0

METAL DE BASE.....: API 5L X65 PSL2

METAL DE ADIÇÃO.....: ER NiCrMo-3

PROCESSO/POSIÇÃO.....: Raiz GTAW/6G (Ascendente) – Ench. + Acab. GMAW/6G (Ascendente)

INSPEÇÃO.....: Acompanhamento dos ensaios – Nilton Cabral.



RESULTADOS OBTIDOS

A - ENSAIOS DE TRAÇÃO TRANSVERSAL - Preparação dos CP's conforme fig. QW 462.1(c)

Realização dos ensaios conforme QW 152

Critério de avaliação conforme QW153

CP	Dimensões mm	Seção mm²	Limite de resistência		Limite Mínimo Especificado Mpa	
			Kgf	MPa		
T1	18,85 x 15,50	292,18	18640	626	535	Fora da Solda
T2	18,55 x 15,15	281,03	18140	633	535	Fora da Solda

Máq. Universal de ensaios: Losenhausen - identificação Tork 4388 - escala 60T - Certificado RBC/DNTT 151c/13 - Válido até 02/2014.

B - ENSAIOS DE DOBRAMENTO TRANSVERSAL - Preparação dos CP's conforme fig. QW 462.3(a)

Realização dos ensaios conforme QW 162

Critério de avaliação conforme QW163

C.P.	Dimensões mm	Cutelo Ø mm	Distância entre roletes mm	Ângulo de dobramento graus	Resultados obtidos
DL 1	10,00 x 18,30	38,10	60,40	180°	Apresentou fissura <1/8"
DL 2	10,00 x 18,30	38,10	60,40	180°	Apresentou fissura <1/8"
DL 3	10,00 x 18,30	38,10	60,40	180°	Apresentou fissura <1/8"
DL 4	10,00 x 18,30	38,10	60,40	180°	Apresentou fissura <1/8"

Máq. Universal de ensaios: WPM - série 282/31 - identificação Tork 4272 - escala 40T - Certificado RBC/DNTT 152c/13 - Válido até 02/2014.

Determinações realizadas de acordo com ASME IX, ed. 2010.

Procedimento Tork: P-101 e P-102

Nilton da Silva Cabral
FISICOS 070 12 (FIS. CL. 1) E 313 / API 650 / API 1104
ABEND - 0290 (USAR) ME / E / 423 / LP / 403 / P / 423 / E / 423
DATA - 1 / 2 / 3 / 3 / 2 / 8 / ESCALADOR INDUSTRIAL - N1

Local e Data dos Ensaios: Rio de Janeiro, 12 de Julho de 2013.
Emissão do Relatório: Rio de Janeiro, 05 de Agosto de 2013.

LAU GEBRIN GECKLER
Gerente Técnico de Laboratório

"Este relatório cancela e substitui o de nº 13071944 MCRJ REV.1"

Os resultados apresentados no presente documento têm significação restrita e se aplicam somente ao objeto ensaiado ou calibrado. A sua reprodução, total ou parcial, só poderá ser feita mediante prévia autorização do laboratório emissor.

SP-100 1-30v-0

TORK Controle Tecnológico de Materiais Ltda.

SP - Rua Cruzeiro, 415 a 423 - CEP 01137-000 - Tel./Fax: (11) 3392-3902 - e-mail: tork@laboratorios-tork.com.br
RJ - Rua Leopoldino de Oliveira, 392 - Turiçua - CEP 21360-060 - Tel./Fax: (21) 3930-0011 - e-mail: torkrj@laboratorios-tork.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 13077922 AQSP

REV.2

Fl. 1/1

Empresa interessada : CONSORCIO TOME FERROSTAAL

Rua Sá e Albuquerque, s/nº - Armaz 01 - Area Operacional 11- Porto Maceio - Jaguaré - Maceio/ AL

Pedido de ensaio : 268979

Natureza do trabalho : ANÁLISE QUÍMICA.

Indicações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

QUANTIDADE.....: 01 Junta soldada Ø 8" # 18,3 mm

IDENTIFICAÇÃO.....: RQPS/ QPS MOD -002/2013 Rev.0

METAL DE BASE.....: API 5L X65 PSL2

METAL DE ADIÇÃO.....: ER NiCrMo-3

PROCESSO.....: Raiz GTAW/6G (Ascendente) – Ench. + Acab. GMAW/6G (Ascendente)

RESULTADOS OBTIDOS
COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)

Carbono	(C)	0,034
Silício	(Si)	0,109
Manganês	(Mn)	0,017
Fósforo	(P)	0,0060
Enxofre	(S)	0,0060
Cromo	(Cr)	21,95
Molibdênio	(Mo)	8,81
Ferro	(Fe)	0,142
Tungstênio	(W)	0,051
Vanádio	(V)	<0,0010
Alumínio	(Al)	0,227
Cobalto	(Co)	0,026
Cobre	(Cu)	0,0072
Nióbio	(Nb)	3,47
Estanho	(Sn)	0,0031
Titânio	(Ti)	0,191
Boro	(B)	0,0012
Magnésio	(Mg)	0,026
Zircônio	(Zr)	0,012
Níquel	(Ni)	64,9

Nilton do Prado Cabral
 F01545 010 N2 IAWS C4.1 / B 313 / API 650 / API 1134
 AGENCIA - 0239 (USAN ME / EV42 SI / LP42G / PM42SY / EV42)
 RATA - 1 / 2 3 3 2 5 / ESCALADOR INDUSTRIAL - N1

Obs.: Análise química realizada no metal de solda.

Procedimento Tork: série P-300.

Normas de Referências: ASTM E 327, ed. 2004.

Local e Data dos Ensaio: São Paulo, 04 de Julho de 2013.
 Emissão do relatório: Rio de Janeiro, 05 de Agosto de 2013.

LAO GEBRIN GECKLER
 Gerente Técnico de Laboratório

"Este relatório cancela e substitui o de nº 13077922 AQSP RE-V.1"

Os resultados apresentados no presente documento têm significação restrita e se aplicam somente ao objeto ensaiado ou calibrado. A sua reprodução, total ou parcial, só poderá ser feita mediante prévia autorização do laboratório emissor.

TORK Controle Tecnológico de Materiais Ltda.

SP - Rua Cruzeiro, 415 n 423 - CEP 01137-000 - Tel./Fax: (11) 3392-3902 - e-mail: tork@laboratorios-tork.com.br
 RJ - Rua Leopoldino de Oliveira, 392 - Iguatema - CEP 21360-060 - Tel./Fax: (21) 3830-0011 - e-mail: torkrj@laboratorios-tork.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 13082456 MCRJ

Fl. 1/1

Empresa interessada : **CONSORCIO TOME FERROSTAAL**

Rua Sá e Albuquerque, s/nº - Armaz 01 - Area Operacional 11- Porto Maceio – Jaguará - Maceio/ AL

Pedido de ensaio : 268979

Natureza do trabalho : **DETERMINAÇÃO DE DUREZA.**

Indicações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

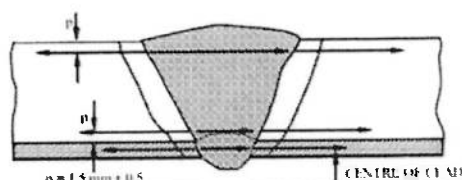
QUANTIDADE.....: 01 Junta soldada Ø 8" - # 18,3 + 3,5 mm
 IDENTIFICAÇÃO.....: RQPS/QPS FPS - (MOD 003/2013 Rev.0)
 METAL DE BASE.....: API 5L X65 PSL2 com Inconel
 METAL DE ADIÇÃO.....: ERNiCrMo3
 PROCESSO/POSIÇÃO.....: GTAW (Raiz) GMAW (Ench. + acab.) / 6G (Ascendente)
 INSPEÇÃO.....: Acompanhamento dos ensaios – Nilton Cabral.

MOD 002/2013



RESULTADOS OBTIDOS

A – ENSAIO DE DUREZA VICKERS HV(10) -



Local do CP	Metal de Base			ZTA			Metal de Solda			ZTA			Metal de Base		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Eixo 1	160	161	161	204	214	283	236	268	246	225	219	223	155	172	164
Eixo 2	190	182	175	193	216	221	265	257	257	223	192	185	175	171	152
Inconel	241	232	254	257	246	265	244	241	219	262	246	254	236	216	227

Durômetro: WPM - identificação Tork 4350 - escala 5Kp - certificado RBC/NPT 125287-101/125288-101/125289-101 - válido até 07/2014

Determinações realizadas de acordo com as solicitações do Interessado.

Procedimento Tork: P-103.

Nilton do Prado Cabral
 FÍSICAS: DND HZ (JWS 011 / 8 313 / API 662 / API 1104)
 ABENX-1236 (US-NT MEI-EW2 S / LPA2G / PHADSY / EVAG)
 RATA - 1 / 2 3 3 2 8 / ESCALADOR INDUSTRIAL - R11

Local e Data dos Ensaios: Rio de Janeiro, 12 de Julho de 2013.
 Emissão do Relatório: Rio de Janeiro, 07 de Agosto de 2013.

LAU GEBRIM GECKLER
 Gerente Técnico de Laboratório

Os resultados apresentados no presente documento têm significação restrita e se aplicam somente ao objeto ensaiado ou calibrado. A sua reprodução, total ou parcial, só poderá ser feita mediante prévia autorização do laboratório emissor.

TORK Controle Tecnológico de Materiais Ltda.

RP-1081-Rev.0

SP - Rua Cruzeiro, 415 a 423 - CEP 01137-000 - Tel./Fax: (11) 3392-3902 - e-mail: tork@laboratorios-tork.com.br
 RJ - Rua Leopoldino de Oliveira, 392 - Tunaçu - CEP 21360-060 - Tel./Fax: (21) 3830-0011 - e-mail: torkrj@laboratorios-tork.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 13080042 MERJ

Fl. 1/1

Empresa interessada: **CONSORCIO TOME FERROSTAAL**

Rua Sá e Albuquerque, s/nº - Armaz 01 - Área Operacional 11- Porto Maceio – Jaguará - Maceio/ AL

Pedido de ensaio : 268979

Natureza do trabalho: **EXAME METALOGRAFICO – MACROGRAFIA.**

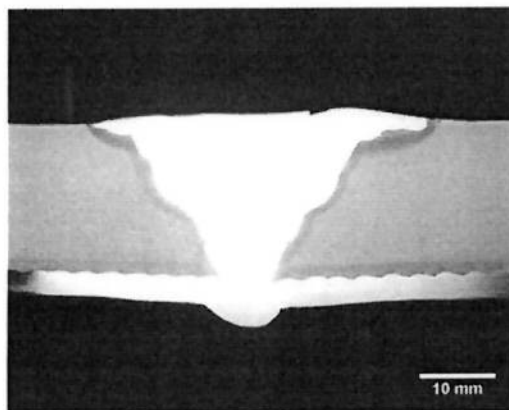
Indicações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

QUANTIDADE.....: 01 Junta soldada Ø 8" - # 18,3 + 3,5 mm
 IDENTIFICAÇÃO.....: RQPS/QPS EPS - (MOD 003/2013 Rev.0)
 METAL DE BASE.....: API 5L X65 PSL2 com Inconel
 METAL DE ADIÇÃO.....: ERNiCrMo3
 PROCESSO/POSIÇÃO.....: GTAW (Raiz) GMAW (Ench. + acab.) / 6G (Ascendente)
 INSPEÇÃO.....: Acompanhamento dos ensaios – Nilton Cabral.

MOD-002/2013



RESULTADOS OBTIDOS



Ataque.....nitral 10%

Secção.....transversal

ASPECTO MACROGRÁFICO

A amostra foi observada com aumento de 10x, não apresentando desconformidades.

Determinações realizadas de acordo com a norma ASME IX, Ed.2010.

Procedimentos Tork: P-501, P-502, P-503, P-507, P-514 e P-515.

Nilton do Prado Cabral
 FBTSAS 070 N2 (AWS D1.1 B 31.3 / API 650 / API 1104)
 ABENDX-0206 (USAM ME TEVAD S/LPAGZ/PMAGSY/TEVAD)
 RATA - 1123328 (ESCALADOR INDUSTRIAL - N°)

Local e Data dos Ensaios: Rio de Janeiro, 12 de Julho de 2013.
 Emissão do Relatório: Rio de Janeiro, 07 de Agosto de 2013.

LAV GEBRUM GECKLER
 Gerente Técnico de Laboratório

Os resultados apresentados no presente documento têm validade apenas para o objeto ensaiado e não são válidos para outros materiais. A sua reprodução, total ou parcial, só poderá ser feita mediante prévia autorização do laboratório emissor.
 SP - Rua Cruzeiro, 415 a 423 - CEP 01137-000 - Tel./Fax: (11) 3392-3902 - e-mail: tork@laboratorios-tork.com.br
 RJ - Rua Leopoldino de Oliveira, 392 - Turiagu - CEP 21360-060 - Tel./Fax: (21) 3630-0011 - e-mail: torkrj@laboratorios-tork.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 13079940 MERJ

REV.1

FL 1/1

Empresa interessada : **CONSORCIO TOME FERROSTAAL**

Rua Sá e Albuquerque, s/nº - Armaz 01 - Area Operacional 11- Porto Maccio – Jaguará - Maccio/ AL

Pedido de ensaio : 268979

Natureza do trabalho : **TESTE DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO TIPO "PITTING" CONFORME ASTM G-48, MÉTODO A.**

Indicações fornecidas pelo interessado sobre o material ensaiado:

QUANTIDADE.....: 01 Junta soldada Ø 8" # 18,3 mm

IDENTIFICAÇÃO.....: RQPS/ QPS MOD -002/2013 Rev.0

METAL DE BASE.....: API 5L X65 PSI.2

METAL DE ADIÇÃO.....: ER NiCrMo-3

PROCESSO.....: Raiz GTAW/6G (Ascendente) – Ench. + Acab. GMAW/6G (Ascendente)

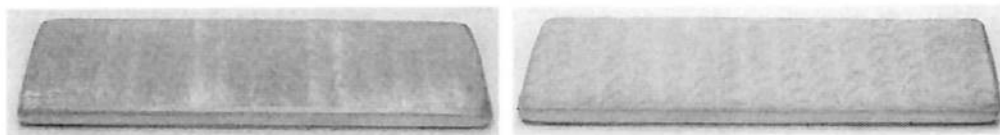
INSPEÇÃO.....: Acompanhamento dos ensaios – Nilton Cabral.

TEMPERATURA DE TESTE.....: 40°C ± 2°C

PERÍODO DE TESTE.....: 24 horas



RESULTADOS OBTIDOS



MÉTODO A – TESTE DE CORROSÃO POR IMERSÃO EM CLORETO FÉRRICO

Dimensão (mm)	Área em exposição		Massa		Perda de Peso	
	(mm ²)	(m ²)	Inicial (g)	Final (g)	(g)	(g/m ²)
2,24 x 15,03 x 49,95	1792,6	0,001793	15,2955	15,2953	0,00020	0,11

Conclusão: A amostra não apresentou corrosão por pitting (examinada com ampliação de 20x) e houve perda de massa de 0,11 g/m².

Determinações realizadas de acordo com a norma ASTM G 48, ed. 03(R09), método A.

Nilton do Prado Cabral
 FBTSAS CIO NE (FAS CIO) - B 013 / API 650 / API 1124
 ASENDA - C200 (USAM NE FEV 25 / LUPACG / PMADST / EVAC)
 DATA - 11/23/2013 | ESCALADOR INDUSTRIAL - H1

Local e Data dos Ensaios: Rio de Janeiro, 15 de Julho de 2013.
 Emissão do Relatório: Rio de Janeiro, 05 de Agosto de 2013.

Luiz Gebirim Geckler
 Gerente Técnico de Laboratório

"Este relatório cancela e substitui o de nº 13079940 MCRJ"

Os resultados apresentados no presente documento têm significação restrita e se aplicam somente ao objeto ensaiado ou calibrado. A sua reprodução, total ou parcial, só poderá ser feita mediante prévia autorização do laboratório emissor.

RAQ1 - Rev 1

M1

TORK Controle Tecnológico de Materiais Ltda.

SP - Rua Cruzeiro, 415 a 423 - CEP 01137-000 - Tel. Fax: (11) 3392-3902 - e-mail: tork@laboratorios-tork.com.br
 RJ - Rua Leopoldino de Oliveira, 392 - Tururu - CEP 21360-060 - Tel. Fax: (21) 3830-0011 - e-mail: torkrj@laboratorios-tork.com.br



CERTIFICADO DE QUALIDADE **QUALITY CERTIFICATE**

Ordem do Cliente/Customer Order PO-CTF-10-0064-	Fatura/Domestic Invoice 013544	International Invoice	Data/Date 04/04/13	Certificado Nº/Certificate nr. 091.120-II
Cliente/Customer TOME-MACEI		Produto/Product R-SNC60-2.40-1000		
IDENTIFICAÇÃO : IDENTIFICATION :		O.T.nr./Prod.Order 0084421	Lote Nº/Lot Nr. 74742	Quantidade/Quantity 15,00 kg
CARACTERÍSTICAS / CHARACTERISTICS :				
Média / Average:	Dimensão/ Dimension 2,391 mm	Comprimento/ Length	Resist.Tensão/ T.Strength 1349 N/mm2	Alongamento/ Elongation(%) 1349
Resist.Elétrica/ Linear Resistance				
COMPOSIÇÃO QUÍMICA / CHEMICAL ANALYSIS (%RESO/WEIGHT%) :				
Corrida Nº/HEAT #5412927				
Ni = 65,30 ✓	Mn = 0,01 ✓	P = 0,005 ✓		
Fe = 0,190 ✓	Cr = 21,63 ✓	S = 0,001 ✓		
Mo = 8,64 ✓	Si = 0,02 ✓	C = 0,024 ✓		
Cu = 0,02 ✓	Nb = 3,6000 ✓	Al = 0,246 ✓		
Ti = 0,140 ✓	Ta = 0,0500 ✓			
OBSERVAÇÕES / REMARKS :				
ESP.AWS A5.14 ERNiCrMo-3 / ASME SEC. II PART. C SFA 5.14 - ERNiCrMo-3 Sandvik SANICR060 EM CONFORMIDADE COM A NORMA ASME II PC-2010 <i>Nilton do Prado Cabral</i> FRTS-MS 670 N2 (AWS D1.1 / B 31.3 / API 650 / API 1104) ABEND-0238 (US-NI ME / EVANZ S/UP-NIG / PANZSY / EVANZ)				
Sandvik Materials Technology do Brasil S.A. Ind. e Com. Av. Suécia, 3200 - Mogi Guaçu - SP - BR.		RATA - 113328 / ESCALADOR INDUSTRIAL - NY Dpto. de Garantia da Qualidade Quality Assurance Department <i>Carlos Alcantara</i>		
CERTIFICAMOS QUE O MATERIAL FOI PRODUZIDO DE ACORDO COM SUAS NORMAS E ESPECIFICAÇÕES, SATISFAZENDO O REQUERIMENTO. WE HEREBY CERTIFY THAT MATERIAL HEREIN DESCRIBED HAS BEEN MANUFACTURED IN ACCORDANCE WITH AND MEETS THE REQUIREMENTS OF YOUR STANDARDS AND SPECIFICATIONS. O MATERIAL FOI PRODUZIDO CONFORME SISTEMA DE QUALIDADE CERTIFICADO ISO 9001:2008 THE MATERIAL IS MANUFACTURED ACCORDING TO A QUALITY SYSTEM, APPROVED AND REGISTERED TO ISO 9001:2008 O CERTIFICADO É EMITIDO POR PROCESAMENTO ELETRÔNICO DE DADOS E É VÁLIDO SEM ASSINATURA. THE CERTIFICATE IS PRODUCED WITH EDP AND VALID WITHOUT SIGNATURE. RECLAMAÇÕES DEVÃO ACERTAR NO MÁXIMO ATÉ 90 DIAS DA DATA DO FORNECIMENTO. DEVOLUÇÕES SOMENTE PODERÃO SER EFETUADAS APÓS CONSULTA E AUTORIZAÇÃO DA ASSISTÊNCIA TÉCNICA. COMPLAINTS ONLY ACCEPTED UP TO 90 DAYS AFTER B.I. DATE. MATERIAL RETURN ONLY WILL BE AFTER CONSULTING AND AUTHORIZATION OF OUR TECHNICAL DEPARTMENT.				

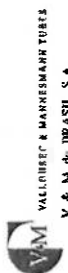


CERTIFICADO DE QUALIDADE **QUALITY CERTIFICATE**

Ordem do Cliente/Customer Order PO-CTF-10-0064-	Fatura/Domestic Invoice 013964	International Invoice	Data/Data 06/05/13	Certificado Nº/Certificate nr 091.672
Cliente/Customer TOME-MACEI		Produto/Product W-SNC60-1.143-LW26K-G7		
IDENTIFICAÇÃO : IDENTIFICATION :		O.T. Nº/Prod. Order 0085977	Lote Nº/Lot Nr. 76261	Quantidade/Quantity 1.274,00 kg
CARACTERÍSTICAS (VALORES MÉDIOS) / CHARACTERISTICS (AVERAGE VALUES) :				
Média / Average:	Dimensão/ Dimension 1,122 mm	Comprimento/ Length	Resist. Tração/ T.Strength 1535 N/mm2	Alongamento/ Elongation(%) Resist. Elétrica/ Linear Resistance
COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%PESO) / CHEMICAL ANALYSIS (WEIGHT%)				
Corrida Nº/HEAT # 5413137				
Ni = 65,10	Mn = 0,01	P = 0,005		
Fe = 0,160	Cr = 21,73	S = 0,001		
Mo = 8,73	Si = 0,01	C = 0,016		
Cu = 0,01	Nb = 3,6200	Al = 0,215		
Ti = 0,186	Ta = 0,0500			
OBSERVAÇÕES / REMARKS :				
ESP. AWS A5.14 ERNiCrMo-3 / ASME SEC. II PART. C SFA 5.14 - ERNiCrMo-3 SANDVIK SANICRO60				
Sandvik Materials Technology do Brasil S.A Ind. Com. Av. Suécia, 3200 - Mogi Guaçu - SP - BR.		Depto. de Garantia da Qualidade Quality Assurance Department Carlos Alcântara		
CERTIFICAMOS QUE O MATERIAL FOI PRODUZIDO DE ACORDO COM SUAS NORMAS E ESPECIFICAÇÕES, SATISFAZENDO O REQUERIDO. WE HEREBY CERTIFY THAT MATERIAL HEREIN DESCRIBED HAS BEEN MANUFACTURED IN ACCORDANCE WITH AND MEETS THE REQUIREMENTS OF YOUR STANDARDS AND SPECIFICATIONS. O MATERIAL FOI PRODUZIDO CONFORME SISTEMA DA QUALIDADE CERTIFICADO ISO9001:2008 THE MATERIAL IS MANUFACTURED ACCORDING TO A QUALITY SYSTEM, APPROVED AND REGISTERED TO ISO9001:2008 O CERTIFICADO É EMITIDO POR PROCESSAMENTO ELETRÔNICO DE DADOS E É VÁLIDO SEM ASSINATURA. THE CERTIFICATE IS PRODUCED WITH EDP AND VALID WITHOUT SIGNATURE. RECLAMAÇÕES SERÃO ACEITAS NO MÁXIMO ATÉ 90 DIAS DA DATA DO FORNECIMENTO. DEVOLUÇÕES SOMENTE PODERÃO SER EFETUADAS APÓS CONSULTA E AUTORIZAÇÃO DA ASSISTÊNCIA TÉCNICA. COMPLAINTS ONLY ACCEPTED UP TO 90 DAYS AFTER B.L. DATE. MATERIAL RETURN ONLY WILL BE AFTER CONSULTING AND AUTHORIZATION OF OUR TECHNICAL DEPARTMENT. ESTE DOCUMENTO ESTÁ SUJEITO AO INCOTERMS 2000, DE ACORDO COM A CÂMARA INTERNACIONAL DE COMÉRCIO. THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO INCOTERMS 2000, ACCORDING TO THE INTERNATIONAL CHAMBER OF COMMERCE.				

CONSORCIO TOME FERROSTAAL
Nilton Prado Cabral
Inspetor de Solda N2
IS 076 N2

Attila Ribeiro
Inspetor de Soldagem N2
SNQC/IS 1321
27/05/2013



VALLBERG & MANNESMANN TUBES
V. & M. do BRASIL S.A.

USINA BARREIRO - Belo Horizonte - MG - Brasil
CEP: 30161-970 - Caixa Postal: 1453



Certificado de Inspeção
(De acordo com DIN EN 10204.3.1)
Folha: 1 / 3

Nº: 0030025964

Cliente: TOME ENGENHARIA S.A.
Nº de NRE: T46-8SE

País: Brasil

Cod. Material: 389181

Pedido Uslas: 331424 / 20

Pedido Cliente: P01- OC-3900 20-TB-0028

Num. Material Cliente (NCM): T46-8SE ITEM 2

Inspeção: TOME ENGENHARIA S.A.

PRODUTO: TUBO DE AÇO SEM COSTURA TREFILADO A FRIO, PONTA CHANFRADA 135 GR., TEMPER+ REVENIDO
DIMENSÕES: 219,10 mm X 20,60 mm GRAU DO AÇO: GR X65Q

NORMAS: API SPEC 5L, 10.2007, 44TH EDITION - PSL 2

PROTEÇÃO SUPERFICIAL: EXTERNA: SEM PROTEÇÃO

TOLERÂNCIAS: DIÂMETRO EXTERNO(CORPO TUBO): -1,643 mm / + 1,643 mm

COMPRIMENTO: FAIXA 8000,00 mm - 13000,00 mm

MARCAÇÃO DE NORMA: Estendado no corpo do tubo 333424/20 VMB SPEC 5L-0150 4 MONOGRAMA API MESANO 219,10 X 20,60 X65Q PSL2 SMLS TOME COMPRIMENTO NÚMERO DA CORRIDA

TOLERÂNCIAS(PONTAS): DIÂMETRO EXTERNO: -1,895 mm / + 1,095 mm

PAREDE: -2,575 mm / + 3,090 mm

PROTEÇÃO DE PONTAS: S/ PROTEÇÃO

Prova (Kgf)

Comprimento(m)

Peças

23 270,25 26709

16 196,49 19509

14 171,09 16994

53 632,83 63212

Total

122337 A

122345 A

122346 A

Total

122337 A

122345 A

122346 A

Total

122337 A

122345 A

122346 A

Total

122337 A

122345 A

122346 A

Total

122337 A

122345 A

122346 A

Total

122337 A

122345 A

122346 A

Total

122337 A

122345 A

122346 A

Total

122337 A

122345 A

122346 A

Total

122337 A

122345 A

122346 A

Total

O PRODUTO FOI APROVADO NOS SEGUINTES TESTES/INSPEÇÕES: DIMENSIONAL # VISUAL # INSPEÇÃO DE PONTAS : PM(VIA ÚMIDA) # TESTE HIDROSTÁTICO: 20500,0 KPA 5 S # MAGNETISMO RESIDUAL: MAX 30 GAUSS # TESTE DE ULTRA-SOM : NS(LONG/TRANS, EXTINT #

Composição Química (%)

Processo: Forjado a quente, aço acuminado

PCNT: COMPLETA

Ceq: C1 Mn0,61 (Cr) Mo1 V0,5 (Ni) Cu0,15

C

Mn

P

S

Si

Ni

Cr

Mo

Al

Cu

V

Nb

U

Ti

Ca

Ceq

Pem

0,13

1,27

0,015

0,002

0,17

0,01

0,06

0,02

0,018

0,010

0,045

0,035

0,0002

0,001

0,0012

0,368

CONSORCIO TOME FERROSTAAL	
Contrato:	3900.0000020.12.2
Nota Fiscal:	45.634
RIMEP:	015

Attila Ribeiro
Inspetor de Soldagem N2
SNC/IS 1321
DE A600C

13/04/13



Certificado de Inspeção

(De acordo com DIN EN 10204.3.1)

Nº: 0030025964

Folha: 2 / 3

Composição Química (%)

Cep: C+ Mn/6- (Cr+ Mo+ V)5 + (Ni+ Co)15

PCM: COMPLETA

	C	Me	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Al	Cu	V	Nb	B	TI	Ca	Ceq	Pcm
Análise de Corrida																	
Max	0,180	1,700	0,025	0,015	0,450	0,500	0,500	0,500		0,500	0,060	0,040	0,0010	0,010		0,430	0,25
Análise de Produto																	
Max	0,180	1,700	0,025	0,015	0,450	0,500	0,500	0,500		0,500	0,060	0,040	0,0010	0,010		0,430	0,25
Corrida																	
Check 1	0,11	1,27	0,013	0,002	0,20	0,03	0,09	0,07	0,029	0,008	0,045	0,031	0,0003	0,001	0,0020	0,365	0,20
Check 2	0,13	1,26	0,013	0,001	0,20	0,03	0,09	0,07	0,028	0,013	0,046	0,031	0,0000	0,001	0,0016	0,381	0,21

Cep: Carbono Equivalente: PCM: Parameter for crack index

Ensaio de Tração

Direção do Corpo Prova: Longitudinal

Temperatura: Ambiente

Medida L0: L0= 2"

Módulo LR: 0,50 %

Área (MM²):

LE (MPa)

RT (MPa)

AL (%)

26

450

535

600

760

Max

Min

Posição

Nº Tubo

Trat.

122337

030002213218

A

61

P4

812,1

454

600

47

122345

030002213219

A

24

P4

803,4

465

570

47

122346

030002213220

A

40

P4

757,3

479

582

48

Atílio Ribeiro
Inspetor de Soldagem N2
SNO/TS 1321

DE ACOUDO
17/04/13

CONSONKUI TOME FERROSTAAL
Inspetor de Soldagem N2
SNO/TS 1321

CONSONKUI TOME FERROSTAAL	
Contrato:	3900.0000020.12.2
Nota Fiscal:	35-034
RIMEP:	7005

Exatidão: 11V

Max

Min

Posição

Nº Tubo

Trat.

122337

030002213218

A

61

P4

188

122345

030002213219

A

24

P4

193

122346

030002213220

A

40

P4

185

185

185

185

185

185



VALLOUREC & MANNESMANN TUBES



Certificado de Inspeção

(De acordo com DIN EN 10204.3.1)

Nº.: 0030025964

Folha 3 / 3

Ensaios de Inspeção

Corpo de Prova: CHARPY 10X55X10 ENTALHE EM V Direção do Corpo de Prova: Transversal Temperatura: 9°C

EA1	EA2	EA3	EA4	EA5	EA Med	FD1	FD2	FD3	FD4	FD5	FD Méd	Rate do Cuidado: 8 mm
(J)	(J)	(J)	(J)	(J)	(J)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
20	20	20	20	20	27							
Especificação: Min												
Max												
Corrida Late Control Late Test. Nº Teste Posição												
122217	03000211218	A	01	P6	296	222	296	100	100	100	100	100
122345	03000211219	A	24	P6	296	242	246	100	100	100	100	100
122346	03000211220	A	48	P6	304	306	294	100	100	100	100	100

EA-energia absorvida; YD-fratura dúctil.

Observações:

(O) dados apresentados foram convertidos no sistema de unidades internacionais (SI), usado para a inspeção original.

CONSORCIO YOMÉ FERROSTAAL	
Contrato:	3900.0000020.12.2
Nota Fiscal:	315.034
RIRMEP:	6005

Attila Ribeiro
Inspeção de Soldagem N2
SNOC/IS 1321

CONSORCIO YOMÉ FERROSTAAL
Nilton Prado Cabral
Inspeção de Soldagem N2
IS 070 N2

Certificamos que este material foi produzido e inspecionado de acordo com todas as exigências desta norma e especificações, e todos os resultados considerados satisfatórios. Este Certificado é processado por sistema informatizado e é válido sem assinatura.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE

FAX: (51-31) 3328-2817

e-mail:gustavo.dinhelro@vmtubos.com.br

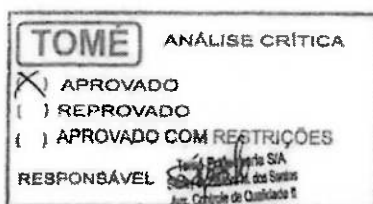
DR. GUSTAVO ALVES DINHÉLO CREA/RG-10917M0

RESPONSÁVEL TÉCNICO

DATA

97.03.2013

TUBOS VERDES: Os tubos da V&M do Brasil são fabricados com aço, cujo processo de produção utiliza e carvão vegetal como fonte de energia. Este carvão é oriundo de mais de 100.000 ha de florestas plantadas pela V&M Florestal. Com a aquisição de 43,2 toneladas de tubo de aço de 40,2 toneladas para a redução do efeito estufa, ao sofrer o acúmulo de 113,6 toneladas de CO2 na atmosfera.



Certificado de Calibração

Certificado 2072/13 Data Calibração 18/02/13 Pág 01/02
Ordem de Serviço 0186-10 Data Emissão 19/02/13

1 - Contratante

Cliente Tomé Engenharia S/A
Endereço Rua do Comércio, Nº 80, Loja 214-Centro-Ipojuca-PE

2 - Descrição do instrumento a calibrar

Instrumento Alicete Amperímetro Digital
Fabricante Minipa
Modelo ET-3810
Série _____
Tag/Identificação AVA-045
Faixa de escala Multi-Função
Valor de uma divisã Multi-Função

3 - Descrição do Padrão

Tag	Certificado de Calibração	Rastreabilidade	Validade
Calibrador Portátil Microprocessado			
EL - 02	6444/12	Ecil - RBC	13/08/2015
Multímetro Digital 100000 Contagem de Bancada			
EL - 04	0316A13	Minipa - RBC	28/01/2016
Termohigrômetro			
TE-01	LV 15251/11	Visomes - RBC	27/06/2014

4 - Condições de Calibração

Este instrumento foi calibrado conforme procedimento interno CAL - 26, pelo método de comparação direta ao padrão de referência acima descrito com 3 replicações em cada ponto.

Na condição de temperatura de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ com umidade relativa do ar $(60 \pm 10) \%$ durante a calibração.

5 - Informações e Declarações

A incerteza expandida de medição, relatada neste certificado de calibração, é declarada como incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t com grau de liberdade efetivo (ν_{eff}) corresponde a uma probabilidade de aproximadamente de 95 %, de acordo com a publicação EA-4/02.

Este certificado de calibração atende aos requisitos NBR ISO/IEC 17025:2005 e os padrões acima descritos foram calibrados por laboratório acreditado pelo Cgcre que pertencem à Rede Brasileira de Calibração, rastreáveis ao Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibração é relativo apenas ao instrumento acima descrito, não se estendendo a lotes ou peças fabricadas em série. Sua reprodução só poderá ser total.

George Valença
Gerente Técnico



Laboratório de Calibração e Manutenção de Instrumentos de Precisão

Rua, Prof. Joaquim Cavalcanti, 511 - (BR 101 km 66) - Ipubinga - Recife PE - 50.800-010 - Fonefax: 81-3274.9444 - Cel. 81-9162.3155
CNPJ 00.682.722/0001-73 * IE 0213368-73 * www.afericao.com.br / afericao@afereicao.com.br



Certificado de Calibração

Certificado 2072/13
Ordem de Serviço 0186-10

Data Calibração 18/02/13
Data Emissão 19/02/13

Pág 02/02

6 - Resultados

Faixa	Valor de Referência	Média da Indicação	Erro	Incerteza de Medição $\pm$	Fator de Abrangência k
Tensão - DC					
1000 V	100	100	0	1	2,00
	500	500	0	1	2,00
	950	954	-4	1	2,00
Tensão - AC					
200 V	20,0	20,0	0,0	0,1	2,00
	100,0	99,2	0,8	0,1	2,00
	190,0	191,2	-1,2	0,1	2,00
750 V	75	75	0	1	2,00
	375	374	1	1	2,00
	713	715	-3	1	2,00
Corrente - DC					
200 A	20,0	19,9	0,1	0,1	2,00
	100,0	99,9	0,1	0,1	2,00
	190,0	181,4	-1,4	0,1	2,00
1000 A	100	100	0	1	2,00
	500	501	-1	1	2,00
	950	952	-2	1	2,00
Corrente - AC					
200 A	20,0	20,1	-0,1	0,1	2,00
	100,0	99,5	0,5	0,1	2,00
	190,0	190,0	0,0	0,2	2,00
1000 A	100	100	0	1	2,00
	500	499	1	1	2,00
	950	949	1	1	2,00
Resistência					
200 Ohm	20,0	20,0	0,0	0,1	2,00
	100,0	100,7	-0,7	0,1	2,00
	190,0	189,5	0,5	0,1	2,00
200 kOhm	20,0	20,2	-0,2	0,1	2,00
	100,0	100,2	-0,2	0,1	2,00
	190,0	190,5	-0,5	0,1	2,00

Nilton do Prado Cabral
FISICUS 070 12 JWS 017 8 113 1 01 663 1 ART 1134
ABEND - 0281 USANT METENAR SUPANG (PAKISTYEV)
LADA - 11233281 ESCULADOR INDUSTRIAL - N13

1084 CAL 1028

Laboratório de Calibração e Manutenção de Instrumentos de Precisão

Rua. Prof. Joaquim Cavalcanti, 511 - (BR 101 km 66) - Ipuatinga - Recife PE - 50 800-010 - Fonefax: 81-3274.9666 - Cel. 81-9162 3155
CNPJ 00 682 722/0001-73 * IE 0213368-73 * www.afericao.com.br / afericao@afericao.com.br



Certificado de Calibração

Certificado 16360/12 Data Calibração 20/10/2012 Pág 01/02
 Ordem de Serviço 1428-3 Data Emissão 20/10/2012

1 - Contratante

Cliente Tomé Engenharia S/A
 Endereço Rua do Comércio, N° 80, Loja 214-Centro-Ipojuca-PE

2 - Descrição do instrumento a calibrar

Instrumento Calibrador de Solda - Universal
 Fabricante SFBTB Tag/Identificação GAB-006
 Modelo Faixa de escala multi-faixa
 Série Valor de uma divisão multi-faixa

3 - Descrição do Padrão

TAG	Faixa de Escala	Valor de uma Divisão	Número do Certificado	Órgão RBC	Incerteza de Medição	Calibração	Validade
Projektor de Perfil - Mitutoyo - modelo: 302-714A - série: 6A0120							
LI-22	0 - 50 mm / 0° - 360°	0,001 mm / 1°	13849/10	Mitutoyo	$\pm 2 \mu\text{m} / \pm 1^\circ$	22/11/10	22/11/14
Termohigrômetro Digital - Homis - modelo: 432 - série: 7089250							
TE-01	-30° - 100°C / 0 - 100%UR	0,01 °C / 0,01%UR	LV 15261/11	Visomes	0,2°C/2,1%U	27/06/11	27/06/14

4 - Condições de Calibração

Este instrumento foi calibrado conforme leitura direta como os padrões acima descritos com 3 replicações em cada ponto. Na condição da temperatura de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ com umidade relativa do ar $(60 \pm 20)\%$ durante a calibração.

5 - Informações e Declarações

A incerteza expandida de medição relatada neste certificado de calibração, é declarada como incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência K, o qual para uma distribuição t com grau de liberdade efetivo (Veff) corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente de 95 %, de acordo com a publicação EA-4/02. Este certificado de calibração atende aos requisitos NBR ISO/IEC 17025:2005 e os padrões acima descritos foram calibrados por laboratório acreditado pelo Cgcre/inmetro que pertencem à Rede Brasileira de Calibração - RBC, rastreáveis ao Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibração é relativo apenas ao instrumento acima descrito, não se estendendo a lotes ou peças fabricadas em série. Sua reprodução só poderá ser total, e depende da aprovação por escrito deste laboratório.

George Valença
 Gerente Técnico



FORMCAL15V47

Laboratório de Calibração e Manutenção de Instrumentos de Precisão

Rua Prof. Joaquim Cavalcanti, 511 - (BR 101 km 66) - Ipubinga - Recife PE - 50.800-010 - Fone/fax: 81-3274.9666 - Cel. 81-9162.3155
 CNPJ: 00.682.722/0001-73 * IE 0213368-73 * www.afericao.com.br / afericao@ofericao.com.br



Certificado de Calibração

Certificado 16380/12 Data Calibração 20/10/2012 Pág 02/02
 Ordem de Serviço 1428-3 Data Emissão 20/10/2012

6 - Resultados

Valor de Referência	Média das Indicações	Correção	Incerteza Medição $\pm$	Fator de Abrangência k
Medição do Diâmetro da Barra/Desenhamento/Reforço - mm				
5	5,0	0,0	0,8	2,00
10	10,0	0,0	0,8	2,00
15	15,0	0,0	0,8	2,00
20	20,0	0,0	0,8	2,00
Medição da Espessura da Chapa/Altura da Face da Raiz - mm				
10	10,0	0,0	0,8	2,00
20	20,0	0,0	0,8	2,00
30	30,0	0,0	0,8	2,00
40	40,0	0,0	0,8	2,00
Medição da Perna com Placa Giratória - mm				
5	5,0	0,0	0,8	2,00
10	10,0	0,0	0,8	2,00
15	15,0	0,0	0,8	2,00
20	20,0	0,0	0,8	2,00
Medição da Abertura da Raiz - mm				
1,00	1,10	-0,10	0,4	2,00
2,00	2,10	-0,10	0,4	2,00
3,00	3,10	-0,10	0,4	2,00
4,00	4,10	-0,10	0,4	2,00
5,00	5,10	-0,10	0,4	2,00
6,00	6,10	-0,10	0,4	2,00
Medição do Ângulo de Bisei - grau				
0° 0'	0° 0'	0° 0'	0° 17'	2,00
20° 4'	20° 0'	0° 4'	0° 20'	2,00
40° 2'	40° 0'	0° 2'	0° 20'	2,00
60° 2'	60° 0'	0° 2'	0° 20'	2,00

Nilton do Prado Cabral
 FÍSICAS 00112 PMS NITR 313 / AP 601 / AP 1104
 ASSEN - CEN (USAT) METENESTUDIOS (PAULISTANA)
 RUA - 11233281 ESCULADOR INDUSTRIAL - SP

PCRM-CAL184-01

Laboratório de Calibração e Manutenção de Instrumentos de Precisão

Rua Prof. Joaquim Cavaconti, 511 - (BR 101 km 66) - Iputinga - Recife PE - 50.800-010 - Fone/fax: 81-3274.9666 - Cel. 81-9162.3155
 CNPJ 00.682.722/0001-73 * IE 0213368-73 * www.afericao.com.br / afericao@afereicao.com.br



TOMÉ	ANÁLISE CRÍTICA
Ferroestrel	
☒ APROVADO	
☐ REPROVADO	
☐ APROVADO COM RESTRIÇÕES	
RESP: <i>420</i>	



Certificado de Calibração

Certificado 15251/12
Ordem de Serviço 1318- 5

Data Calibração 28/09/12
Data Emissão 28/09/12

Pág 01/02

1 - Contratante

Cliente Tomé Engenharia S/A
Endereço Rua do Comércio, Nº 80, Loja 214-Centro-Ipojuca-PE

2 - Descrição do Instrumento a calibrar

Instrumento Calibrador de Solda - Alinhamento / Desalinhamento de Tubos - Hi-Lo
Fabricante Tag/Identificação GDJ-026
Modelo Faixa de escala 0 - 45 mm
Série Valor de uma divisão 1 mm

3 - Descrição do Padrão

TAG	Faixa de Escala	Valor de uma Divisão	Número do Certificado	Órgão RBC	Incerteza de Medição	Calibração	Validade
Jogo de Bloco Padrão - Mitutoyo - modelo: 516-950 - série: 940506							
LI-05	Entre 0,5 e 100 mm	-----	2548/10	Certi	$\pm 0,07 \pm 0,18 \mu\text{m}$	25/06/10	25/06/13
Termohigrômetro Digital - Homis - modelo: 432 - série: 7089250							
TE-01	-30~100°C / 0~100%UR	0,01 °C / 0,01 %UR	LV 15261/11	Visomes	$\pm 0,2^\circ\text{C} / 2,1\% \text{UR}$	27/06/11	27/06/14

4 - Condições de Calibração

Este instrumento foi calibrado conforme leitura direta com os padrões acima descrito com 3 replicações em cada ponto Na condição de temperatura de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ com umidade relativa do ar $(50 \pm 20) \%$ durante a calibração.

5 - Informações e Declarações

A incerteza expandida de medição relatada neste certificado de calibração, é declarada como incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência K, o qual para uma distribuição t com grau de liberdade efetivo (Veff) corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente de 95 %, de acordo com a publicação EA-4/02

Este certificado de calibração atende aos requisitos NBR ISO/IEC 17025 2005 e os padrões acima descritos foram calibrados por laboratório acreditado pelo Cgcre/Inmetro que pertencem à Rede Brasileira de Calibração - RBC, rastreáveis ao Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibração é relativo apenas ao instrumento acima descrito, não se estendendo a lotes ou peças fabricadas em série. Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação por escrito deste laboratório

George Viana
Gerente Técnico

TOMÉ	ANÁLISE CRÍTICA
☒ APROVADO	
☐ REPROVADO	
☐ APROVADO COM RESTRIÇÕES	
Responsável: <i>George Viana</i>	

PONTUAL-SIN-01

Laboratório de Calibração e Manutenção de Instrumentos de Precisão

Rua Prof. Joaquim Cavalcanti, 511 - (BR 101 Km 66) - Ipojuca - Recife PE - 50.800-010 - Fone/fax: 81-3274.9666 - Cel. 81-9162.3155
CNPJ 00.682.722/0001-73 * IE 0213368-73 * www.afericao.com.br / afericao@afereicao.com.br



Certificado de Calibração

Certificado 20757/12 Data Calibração 18/12/12 Pág 02/02
 Ordem de Serviço 1780- 1 Data Emissão 19/12/12

6 - Resultados

Valor de Referência mm	Média das Indicações mm	Correção mm	Incerteza Medição(z) mm	Fator de Abrangência k
Medição Externa				
5,50	5,50	0,00	0,02	2,00
5,52	5,52	0,00	0,02	2,00
10,00	10,00	0,00	0,02	2,00
20,00	20,00	0,00	0,02	2,00
50,00	50,00	0,00	0,02	2,00
100,01	100,00	0,01	0,02	2,00
150,01	150,00	0,01	0,02	2,00
Medição Interna				
100,01	100,00	0,01	0,02	2,00
Medição de Profundidade				
100,00	100,00	0,00	0,02	2,00
Medição de Recesso				
100,00	100,00	0,00	0,02	2,00
Paralelismo				
0,00	0,00	0,00	0,02	2,00

Nilton do Prado Cabral
 FRTSUS 00142 18 113 1 141 681 1 141 1141
 ASSOCIADOS DE ENGENHARIA E CONSULTORIA INDUSTRIAL - NIT
 12414 - 111233281

FORM-CAL 1814-01

Laboratório de Calibração e Manutenção de Instrumentos de Precisão

Rua. Prof. Joaquim Cavalcanti, 511 - (BR 101 km 66) - Ipubinga - Recife PE - 50.800-010 - Fonefax: 81-3274.9666 - Cel: 81-9162.3155
 CNPJ 00.682.722/0001-73 * IE 0213368-73 * www.afericao.com.br / afericao@afericao.com.br



Aferição Ltda



Certificado de Calibração

Certificado 20757/12 Data Calibração 18/12/12 Pág 01/02
 Ordem de Serviço 1780-1 Data Emissão 19/12/12

1 - Contratante

Cliente Tomé Engenharia S/A
 Endereço Rua do Comércio, Nº 80, Loja 214-Centro-Ipojuca-PE

2 - Descrição do instrumento a calibrar

Instrumento Paquímetro Digital Quadrimensional
 Fabricante Mitutoyo Tag/identificação PAQ-111
 Modelo 500-144-10 Faixa de escala 0 - 150 mm
 Série 0002042 Valor de uma divisão 0,01 mm

3 - Descrição do Padrão

TAG	Faixa de Escala	Valor de uma Divisão	Número do Certificado	Órgão RBC	Incerteza de Medição	Calibração	Validade
Padrão Escalonado - Mitutoyo - modelo: 516-555 - série: 410538							
LJ-04	0 - 360 mm	—	2429/11	Cert	$\pm 1,3 \mu\text{m}$	20/05/11	20/05/16
Jogo de Bloco Padrão - Mitutoyo - modelo: 516-950 - série: 940506							
LJ-05	Entre 0,5 e 100 mm	—	2548/10	Cert	$\pm 0,07 \pm 0,18 \mu\text{m}$	25/05/10	25/05/13
Termohigrômetro Digital - Homis - modelo: 432 - série: 7089250							
TE-01	-30~100°C / 0-100%UR	0,01 °C / 0,01 %UR	LV 15261/11	Visomes	$\pm 0,2^\circ\text{C}/2,1\%UR$	27/06/11	27/06/14

4 - Condições de Calibração

Este instrumento foi calibrado conforme procedimento interno CAL - 09, em comparação ao padrão de referência acima descrito com 3 replicações em cada ponto. Na condição de temperatura de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ com umidade relativa do ar $(60 \pm 20)\%$ durante a calibração.

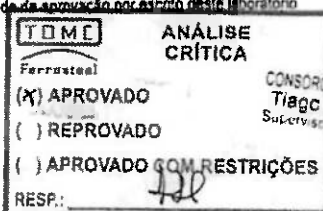
5 - Informações e Declarações

A incerteza expandida de medição, relatada neste certificado de calibração, é declarada como incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t com grau de liberdade efetivo (ν_{eff}) corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente de 95 %, de acordo com a publicação EA-4/02.

Este certificado de calibração atende aos requisitos NBR ISO/IEC 17025:2005 e os instrumentos foram calibrados com padrões rastreáveis à Rede Brasileira de Calibração.

Este certificado de calibração é relativo apenas ao instrumento acima descrito, não se estendendo a lotes ou peças fabricadas em série. Sua reprodução só poderá ser total, e depende da aprovação por escrito deste laboratório.

George Valença
 Gerente Técnico



CONSORCIO TOMÉ FERROSTAAL
 Tiago da Silva Lessa
 Supervisor Controle Qualidade

FORM CAL 004-07

Laboratório de Calibração e Manutenção de Instrumentos de Precisão

Rua Prof. Joaquim Cavalcanti, 511 - (BR 101 km 66) - Ipubinga - Recife PE - 50.800-010 - Fonefax: 81-3274.9666 - Cel. 81-9162.3155
 CNPJ 00.682.722/0001-73 - IE 0213368-73 - www.afericao.com.br / afericao@afereicao.com.br



Certificado de Calibração

Certificado 15251/12
Ordem de Serviço 1318- 5

Data Calibração 28/09/12
Data Emissão 28/09/12

Pág 02/02

6 - Resultados

Valor de Referência mm	Medida das Indicações mm	Correção mm	Incerteza Medição ± mm	Fator de Abrangência k
Espessura				
5,0	5,0	0,0	0,8	2,00
10,0	10,0	0,0	0,8	2,00
15,0	15,0	0,0	0,8	2,00
20,0	20,0	0,0	0,8	2,00
25,0	25,0	0,0	0,8	2,00
30,0	30,0	0,0	0,8	2,00
35,0	35,0	0,0	0,8	2,00
40,0	40,0	0,0	0,8	2,00
45,0	45,0	0,0	0,8	2,00
Alinhamento				
5,0	5,0	0,0	0,8	2,00
10,0	10,0	0,0	0,8	2,00
15,0	15,0	0,0	0,8	2,00
20,0	20,0	0,0	0,8	2,00
25,0	25,0	0,0	0,8	2,00
30,0	30,0	0,0	0,8	2,00

Nilton do Prado Cabral
FISIC. DO IN. (PES. EN. 18 313 / 1º 663 / 1º 1124)
ABRIL - 02015 IN. (PES. EN. 18 313 / 1º 663 / 1º 1124)
IND. - 1123328 / ESCALADOR INDUSTRIAL - IN.

FORM-CAL 19V-07

Laboratório de Calibração e Manutenção de Instrumentos de Precisão

Rua. Prof. Joaquim Cavalcanti, 511 - (BR 101 km 66) - Ipuiranga - Recife PE - 50.800-010 - Fonefax: 81-3274.9666 - Cel. 81-9162.3155
CNPJ 00.682.722/0001-73 * IE 0213368-73 * www.afericao.com.br / afericao@afereicao.com.br



Certificado de Calibração

Certificado 8425/12
Ordem de Serviço 0754 - 1

Data Calibração 12/06/12
Data Emissão 12/08/12

Pág 01/02

1 - Contratante

Cliente Tomé Engenharia S/A
Endereço Rua do Comércio, Nº 80, Loja 214-Centro-Ipojuca-PE

2 - Descrição do Instrumento a calibrar

Instrumento Termômetro Infravermelho
Fabricante Minipa Tag/Identificação TER-134
Modelo MT-350 Faixa de escala -30 a +550 °C
Série MTB350022814 Valor de uma divisão 0,5 °C

3 - Descrição do Padrão

TAG	Faixa de Escala	Valor de uma Divisão	Número do Certificado	Órgão RBC	Incerteza de Medição	Calibração	Validade
Termômetro Digital - Saicas - modelo: Salvterm 1200K - série: 020702468							
TE-02	-10 a +600 °C	0,1 e 1 °C	LV 15495/11R1	VISOMES	± 0,4 a 1,2 °C	28/06/11	17/11/14

4 - Condições de Calibração

Este instrumento foi calibrado conforme procedimento interno CAL - 24, em comparação ao padrão de referência acima descrito com 3 replicações em cada ponto. Na condição ambiental de temperatura de $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e umidade de $(60 \pm 20) \% \text{UR}$.

5 - Informações e Declarações

A incerteza expandida de medição, relatada neste certificado de calibração, é declarada como incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t com grau de liberdade efetivo (ν_{eff}) corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente de 95 %, de acordo com a publicação EA-4/02.

Este certificado de calibração atende aos requisitos NBR ISO/IEC 17025:2005 e os padrões acima descritos foram calibrados por laboratório acreditado pelo Cgcre/inmetro que pertencem à Rede Brasileira de Calibração - RBC, rastreáveis ao Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibração é relativo apenas ao instrumento acima descrito, não se estendendo a lotes ou peças fabricadas em série. Sua reprodução só poderá ser total, e depende da aprovação por escrito deste laboratório.

George Valença
Gerente Técnico



PCB/CAL/199-07

Laboratório de Calibração e Manutenção de Instrumentos de Precisão

Rua. Prof. Joaquim Cavalcanti, 511 - (BR 101 km 66) - Ipojuca - Recife PE - 50.800-010 - Fone/fax: 81-3274.9666 - Cel. 81-9162.3155
CNPJ 00.682.722/0001-73 * IE 0213368-73 * www.afericao.com.br / afericao@afericao.com.br



Certificado de Calibração

Certificado 8425/12
Ordem de Serviço 0754 - 1

Data Calibração 12/08/12
Data Emissão 12/08/12

Pág 02/02

6 - Resultados

Valor de Referência °C	Média das Indicações °C	Correção °C	Incerteza Medição ± °C	Fator de Abrangência k
Temperatura (°C) à distância de 200 mm do Alvo.				
25,9	25,6	0,3	0,5	2,00
55,1	54,8	0,3	0,5	2,00
75,6	75,4	0,2	0,5	2,00
104,0	103,7	0,3	0,5	2,00
156,7	156,5	0,2	0,5	2,00
Temperatura (°C) à distância de 400 mm do Alvo.				
26,1	25,6	0,5	0,5	2,00
55,3	54,8	0,5	0,5	2,00
75,8	75,4	0,4	0,5	2,00
104,2	103,7	0,5	0,5	2,00
156,9	156,5	0,4	0,5	2,00
Temperatura (°C) a distância de 600 mm do Alvo				
26,3	25,6	0,7	0,5	2,00
55,5	54,8	0,7	0,5	2,00
76,0	75,4	0,6	0,5	2,00
104,4	103,7	0,7	0,5	2,00
157,1	156,5	0,6	0,5	2,00

Nilton do Prado Cabral
FISIC 070 12 (PMS 04778 313 / 14 680 / 14 1104)
ASSOC - CON (CONHECIMENTO SUPLENTE) (PMS 070478)
RUA - 11233381 ESCULADOR WOLSTON - PE

FORMCAL/02/02

Laboratório de Calibração e Manutenção de Instrumentos de Precisão

Rua. Prof. Joaquim Cavalcanti, 511 - (BR 101 km 66) - Ipubinga - Recife PE - 50.800-010 - Fonefax: 81-3274.9666 - Cel. 81-9162.3155
CNPJ 00 682 722/0001-73 * IE 0213368-73 * www.afericao.com.br / afericao@afereicao.com.br