

Fabício Aguiar Vieira Pinto

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO GÁS DE
PURGA E DA LIMPEZA DA JUNTA NA
QUALIDADE DA SOLDAGEM DE TUBOS DE
AÇOS ASTM A106 GR. B E ASTM A335 GR. P11.**

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

São Paulo

Fevereiro de 2013

X

Fabício Aguiar Vieira Pinto

(Engenheiro Metalurgista, Universidade Federal Fluminense, 2010)

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DO GÁS DE
PURGA E DA LIMPEZA DA JUNTA NA
QUALIDADE DA SOLDAGEM DE TUBOS DE
AÇOS ASTM A106 GR. B E ASTM A335 GR. P11.**

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

São Paulo

Fevereiro de 2013

*"A educação é a arma mais poderosa que
você pode usar para mudar o mundo".*

Nelson Mandela

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais por todo ensinamento durante
minha vida.*

*Ao Oscar Simonsen por me incentivar e tornar possível mais este
sonho.*

AGRADECIMENTOS

A Deus em primeiro lugar;

Ao meu orientador Prof. Dr. Sergio Duarte Brandi pelos ensinamentos, ajuda e confiança;

A minha namorada Jamila Monteiro pelo amor, carinho e atenção nos momentos mais difíceis;

Aos meus colegas de trabalho Edgard Rodrigues, Stefanie de Moraes, Bruno Granero e Leandro Bertachini pelas ajudas prestadas neste trabalho;

Ao soldador Cloves Agustavo pela realização da soldagem dos corpos de provas;

A Engenheira Cleonice Garcia Melo pelos ensinamentos e incentivo dados;

A empresa PROAQT pela realização dos ensaios e principalmente ao Antônio Sérgio Corradini;

Aos professores do curso de engenharia de soldagem da escola politécnica da universidade de São Paulo;

Aos meus amigos da pós-graduação Karine Zaccari, Hugo Assunção pelas ajudas prestadas;

A todos os colegas da pós-graduação pelos momentos que passamos, pelo apoio e companheirismo de sempre;

Agradeço finalmente a todos aqueles que direta ou indiretamente deram sua contribuição para que este trabalho pudesse ser realizado.

CURRICULUM VITAE

Fabício Aguiar Vieira Pinto

Brasileiro, 26 anos, solteiro
CPF (BRA) 072.514.846-25
Rua Maria Bucalem Haddad - Vila Firmiano
Pinto
04125-010 São Paulo, São Paulo – Brasil

Contatos:
(11) 96873-3464
(35) 9123-5606
aguiarfabricao@gmail.com

Formação

- **Escolaridade**
Formação superior completa.
- **Graduação**
Engenharia Metalúrgica,
Universidade Federal Fluminense - UFF (julho/2010) - concluída.
- **Pós-Graduação – Especialização**
Especialização em Engenharia de Soldagem,
Universidade de São Paulo - USP (Março/2013).

Idiomas

Espanhol: leitura intermediária, escrita básica, conversação básica.

Inglês: leitura intermediária, escrita intermediária, conversação intermediária.

Histórico profissional

- **Montcalm Montagens Industriais** - desde setembro/2010
(Empresa de grande porte no segmento engenharia)

Engenheiro de Soldagem Jr

- Realização de todas as atribuições relacionadas ao engenheiro de soldagem: Elaboração de Procedimentos de Soldagem (EPS's, RQPS's); Qualificação de Soldadores (RQP's); Relação de Soldadores Qualificados; Controle de Desempenho de Soldadores; Instruções de soldagem;
- Participação em projetos na área de soldagem, com parcerias da FINEP e a FBTS;
- Conhecimento e solucionamento dos defeitos na soldagem,
- Suporte Técnico aos Departamentos de Engenharia de Produto/Industrial, Fabricação, Orçamento e Controle de Qualidade;
- Acompanhamento dos processos de soldagem na produção;

- Conhecimento nos Processos de Soldagem Arame Tubular (FCAW), Arame Sólido (MIG/MAG), Eletrodo Revestido (SMAW), TIG (GTAW) e Arco Submerso (SAW);
 - Conhecimentos em ensaios não destrutivos (Líquido penetrante, Partícula magnética, Ultrassom, Raios-X);
 - Desenvolvimento e melhorias nos processos de soldagem,
 - Conhecimento básico nas normas ASME, API, EN e AWS.
- **CSN (Companhia Siderúrgica Nacional)** - de abril/2008 a dezembro/2009
(Empresa de grande porte no segmento metalúrgico, siderúrgico).

Estagiário

- Projeto de melhoria da cromatização em produtos zincados
- Acompanhamento e realização de auditorias nas linhas de laminados a frio
- Acompanhamento e treinamento nas linhas de laminados a frio e cilindros
- Projeto de diminuição de retrabalho nas linhas de zincagem
- Acompanhamento das reclamações de cliente
- Conhecimento em defeitos das linhas de Zincagem

Outros objetivos

- **Região de trabalho**

Aceita considerar propostas de outras regiões e viajar pela empresa.

RESUMO

A confiabilidade de uma planta construída está ligada diretamente com a especificação adequada de seus materiais, podendo esta ficar comprometida por causa da qualidade da soldagem, gerando prejuízos incalculáveis ao projeto. Dois destes fatores que levam a perda da qualidade e não são tratados com seriedade nos canteiros de obra brasileiros são a utilização do gás de purga como proteção gasosa da poça de fusão e a condição superficial da junta antes do início da soldagem. Ambos, quando utilizados, contribuem para a mudança da natureza e composição química da solda e possuem também influência preponderante nas características do arco, velocidade de soldagem, penetração, formato do cordão de solda, e, ainda, no custo final da operação de soldagem. O objetivo deste trabalho é verificar a influência do uso do gás de purga e da limpeza da junta na formação e qualidade do cordão de solda na raiz, na composição química do metal de solda e na formação de descontinuidades nas juntas soldadas dos tubos de aço ASTM A106 Gr.B e dos tubos de aço ASTM A335 Gr.P11, soldados na posição plana girando (1G-girando), utilizando o processo de soldagem TIG (GTAW) com os respectivos metais de adição AWS A5.18 ER70S-3 e AWS A 5.28 ER80S-B2. Os resultados demonstram que quando não utilizamos gás de purga e não realizamos a limpeza da junta a qualidade da solda fica comprometida.

ABSTRACT

The reliability of a plant built is directly connected with the correct specification of their materials, so they may come to be compromised because of the quality of the weld, causing incalculable damage to the project. Two of the factors that lead to loss of quality and are not always taken with the seriousness it deserves in construction sites Brazilians are using the purge gas as shielding gas molten weld and the condition surface of the joint before starting welding. Both when used contribute to change in the nature and chemical composition of the weld and also have a dominant influence on characteristics of the arc welding, speed, penetration, shape of the fillet weld, and also in the final cost of the welding operation. The objective of this study is to investigate the influence of the use of purge gas and cleaning the joint training and quality of the weld root, the chemical composition of the weld metal and the formation of discontinuities in welds of steel pipe ASTM A106 GR.B and ASTM A335 steel pipes Gr.P11, solders rotating in a flat position (1G-rotating), using the process of TIG welding (GTAW) with their filler metals AWS A5.18 ER70S-3 and AWS A 5:28 ER80S-B2. The results show that when no is used purge gas and no performing the cleaning of the joint quality solder is compromised.

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 2.1</u> – Representação esquemática das etapas do processo UOE [2].....	8
<u>Figura 2.2</u> – Representação esquemática das etapas do processo ERW [2]..	10
<u>Figura 2.3</u> – Representação esquemática das etapas do processo helicoidal [2].....	11
<u>Figura 2.4</u> – Fotos da produção de tubos sem costura por Mannesmann [3].	12
<u>Figura 2.6</u> – Classificação dos processos de soldagem a partir da natureza de união [10].....	20
<u>Figura 2.7</u> – Processo de soldagem por fusão [9].	21
<u>Figura 2.8</u> – Representação esquemática da tocha do processo GTAW [11].	22
<u>Figura 2.9</u> – Representação esquemática dos equipamentos do processo GTAW [9].	23
<u>Figura 2.15</u> – Alguma das formas básicas de distorção em juntas soldadas: (a) Contração transversal, (b) Contração longitudinal, (c) Distorção angular [9]. .	35
<u>Figura 2.16</u> – Alguns perfis de soldas inadequados. [9]	36
<u>Figura 2.17</u> – Desalinhamento em uma junta de topo [9].	37
<u>Figura 2.18</u> – Formas de porosidade: (a) Distribuída, (b) Agrupada, (c) Alinhada [9].....	38
<u>Figura 2.19</u> – Exemplo de inclusão de escória entre passes [9].	39
<u>Figura 2.20</u> – Tipos de trincas de soldagem de acordo com sua localização: (1) Trinca na cratera, (2) Trinca transversal na ZF, (3) Trinca transversal na ZAC, (4) Trica longitudinal a ZF, (5) Trina na margem da solda, (6) Trinca sob o cordão, (7) Trinca na linha de fusão, (8) Trinca na raiz da solda [9].	40
<u>Figura 2.21</u> – Exemplo de mordedura de face [16].....	41
<u>Figura 2.22</u> – Exemplo de Falta de fusão na zona de ligação [9].	41
<u>Figura 2.23</u> – Exemplo de falta de penetração na raiz [9].	42
<u>Figura 4.1</u> – Esquema de preparação das juntas dos corpos de prova.....	47
<u>Figura 4.2</u> – Estado dos corpos de provas antes da soldagem. (a) Chanfro oxidado e (b) Chanfro limpo.....	47

Figura 4.3 – Esquema de montagem para a realização da purga com o uso do “tampão”. (a) Cilindro com o gás argônio, (b) Entrada do gás argônio e (c) Saída do gás argônio e oxigênio.....	48
Figura 4.4 – Representação esquemática do tipos de dispositivos de purga..	50
Figura 4.5 – Fotos ilustrativas do dispositivo “tampão” utilizado nas soldagens.	50
Figura 4.10 – Local da retirada do metal da raiz para medição dos teores de O ₂ e N ₂	55
Figura 4.11 – Equipamento de análise química via combustão da marca LECO usado neste trabalho.	55
Figura 5.22 – Gráfico comparativo dos resultados das análises químicas (LECO).	66
Figura 5.23 – Foto do cordão da raiz. A esquerda CP 1 (com purga e com limpeza) e a direita CP 2 (com purga e sem limpeza).....	67
Figura 5.24 – Foto do cordão da raiz. A esquerda CP 3 (sem purga e com limpeza) e a direita CP 4 (sem purga e sem limpeza).....	67
Figura 5.25 – Foto do cordão da raiz. A esquerda CP 5 (com purga e com limpeza) e a direita CP 6 (com purga e sem limpeza).....	68
Figura 5.26 – Foto do cordão da raiz. A esquerda CP 7 (sem purga e com limpeza) e a direita CP 8 (sem purga e sem limpeza).....	68

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 2.1</u> – As principais Especificações de Material para tubos de aço carbono de nacionais e internacionais [5].	19
<u>Tabela 2.2</u> – Classificação dos tipos de eletrodos de tungstênio segundo a norma AWS [10].	24
<u>Tabela 4.1</u> – Composição química dos metais de base.	45
<u>Tabela 4.2</u> – Composição química dos metais de adição.....	45
<u>Tabela 4.3</u> – Ensaios realizados variando-se gás de purga e limpeza do chanfro.....	49
<u>Tabela 4.4</u> – Valores dos parâmetros de soldagem utilizados em cada teste.	49
<u>Tabela 5.1</u> – Resultado das análises químicas (LECO).	66

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

ASME:	American Society of Mechanical Engineers
ASTM:	American Society For Testing And Materials
AWS:	American Welding Society
CP:	Corpo de Prova
DR:	Dobramento de Raiz
ED's:	Ensaio Destrutivo
END's:	Ensaio Não Destrutivo
ERW:	Electrical Resistance Welding
FF:	Falta de Fusão
GTAW:	Gas Tungsten Arc Welding
LE:	Limite de Escoamento
LR:	Limite de Resistência
LP:	Líquido Penetrante
SAW:	Submerged Arc Welding
Sch:	Schedule
SI:	Sistema Internacional
UOE:	Conformação em "U", "O" e Expansão "E"
US:	Ultra-Som

ZAC: Zona Afetada pelo Calor

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS	iii
CURRICULUM VITAE.....	iv
RESUMO	vvii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS	xii
SUMÁRIO.....	xiv
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	1
2.1. TUBOS.....	4
2.1.1 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO.	5
2.1.1.1 TUBOS COM COSTURA.	6
2.1.1.1.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR APLICAÇÃO DE PRESSÃO (FRETS-MOON).....	7
2.1.1.1.2. PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR ARCO SUBMERSO LONGITUDINAL (UOE).	7
2.1.1.1.3 PROCESSO DE SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA (ERW).	9
2.1.1.1.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR ARCO SUBMERSO HELICOIDAL.....	10
2.1.1.2 TUBOS SEM COSTURA.	11
2.1.1.2.1 FABRICAÇÃO POR LAMINAÇÃO.....	12
2.1.1.2.2 FABRICAÇÃO POR EXTRUSÃO.....	13
2.1.1.2.3 FABRICAÇÃO POR FUNDIÇÃO.....	13
2.1.2 TIPOS DE MATERIAIS DOS TUBOS.	14
2.1.2.1 TUBOS DE AÇO CARBONO.	14
2.2.2.2 TUBOS DE AÇO LIGA.	15
2.1.3 LIMPEZA DA JUNTA A SER SOLDADA.....	17
2.1.4 NORMAS TÉCNICA DE FABRICAÇÃO.	18
2.2 SOLDAGEM.	19
2.2.1 PROCESSOS DE SOLDAGEM	19
2.2.2 POSIÇÃO DE SOLDAGEM.	26
2.2.4 GÁS DE PURGA.	30
2.3 DESCONTINUIDADES.....	33
2.3.1 DESCONTINUIDADES DIMENSIONAIS.	34
2.3.1.1 DISTORÇÃO.	34
2.3.1.2 DIMENSÃO INCORRETA DA SOLDA.....	35
2.3.1.3 PERFIL INCORRETO DA SOLDA.	36
2.3.1.4 FORMATO INCORRETO DA SOLDA.	37
2.3.2 DESCONTINUIDADES ESTRUTURAIS.	37
2.3.2.1 POROSIDADE.	37
2.3.2.2 INCLUSÕES DE ESCÓRIA.	38
2.3.2.3 INCLUSÕES DE TUNGSTÊNIO.....	39
2.3.2.4 TRINCAS.....	39
2.3.2.5 MORDEDURAS.....	40

2.3.2.6 FALTA DE FUSÃO.	41
2.3.2.7 FALTA DE PENETRAÇÃO.	42
3. OBJETIVO.	43
4. MATERIAIS E MÉTODOS.	44
4.1 MATERIAIS UTILIZADOS.	44
4.2 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.	46
4.3 PARAMENTROS DE SOLDAGEM.	48
4.4 EQUIPAMENTOS DE SOLDAGEM.	50
4.5 EXECUÇÃO DOS ENSAIOS.	51
4.5.1 ENSAIO DE ULTRASSOM.	52
4.5.2 ENSAIO DE DOBRAMENTO.	52
4.5.3 ENSAIO METALOGRÁFICO.	53
4.5.3.1 MACROGRAFIA.	53
4.5.3.2 MICROGRAFIA.	53
4.5.4 ANÁLISE QUÍMICA DO TEOR DE OXIGÊNIO E NITROGÊNIO.	54
4.5.5 ENSAIO DE LÍQUIDO PENETRANTE.	55
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.	57
5.1. ENSAIO DE ULTRASSOM.	57
5.2. ENSAIO DE LÍQUIDO PENETRANTE.	57
5.3. ENSAIO DE DOBRAMENTO.	59
5.4. ENSAIO DE METALOGRÁFICO.	60
5.3.1 MACROGRAFIA.	60
5.3.2 MICROGRAFIA.	62
5.4. ANÁLISE QUÍMICA DO TEOR DE OXIGÊNIO E NITROGÊNIO.	65
5.5. FORMATO E APARENCIA DO CORDÃO DA RAIZ.	67
6. CONCLUSÕES.	69
<i>SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.</i>	<i>70</i>
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	71
ANEXO I – Certificado dos consumíveis de soldagem.	74
ANEXO II – Certificado dos metais de base.	76
ANEXO III – Acompanhamento de soldagem.	79

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.

A utilização do gás de purga na proteção gasosa da poça de fusão nem sempre é tratada com a seriedade que merece nos canteiros de obra brasileiros. A consequência é uma solda de qualidade inaceitável para determinados materiais, o que gera custos adicionais quando constatada pelo controle de qualidade e poderá causar grandes danos futuros, como acidentes de trabalho, caso não seja constatada.

A confiabilidade de uma planta construída com materiais especificados adequadamente ficará comprometida por causa da qualidade da soldagem desses materiais e poderá trazer prejuízos incalculáveis.

A finalidade básica de se usar o gás de purga é a de proteger a poça de fusão contra os efeitos nocivos gerados pelo oxigênio contido no ar atmosférico, que combinado às características do metal de adição e aos parâmetros de soldagem, contribui na melhoria da qualidade, soldabilidade e produtividade da soldagem dos aços carbono, aços liga, aços inoxidáveis, ligas de alumínio, entre outras aplicações.

Sempre que se utiliza o gás de purga de forma correta, evitamos a ocorrência de oxidação na raiz do metal soldado, principalmente nos materiais que são nobres, pois estes possuem maior tendência de ceder elétrons, ou seja, maior tendência a se oxidar.

O uso do gás de purga na soldagem de materiais nobres contribui na mudança da natureza e composição química da solda e tem influência preponderante nas características do arco, velocidade de soldagem,

penetração, formato do cordão de solda, e, ainda, no custo final da operação de soldagem. Mas ainda pouco se sabe da influência sua em materiais comuns.

Também se pode atribuir ao não uso do gás de purga às perdas de elementos químicos, a temperatura da poça de fusão, a sensibilidade a trincas e porosidade, bem como a facilidade na execução da soldagem em diversas posições.

Nos nossos canteiros também se encontram diversos outros fatores importantes que não são levados com seriedade e fiscalização para se obter juntas livres de contaminações, defeitos e sem perda nas propriedades mecânicas, uma delas e não menos importante é a condição superficial da junta antes do início da soldagem.

Os chanfros, antes de se iniciar a soldagem, devem estar isentos de quaisquer contaminantes, sejam eles óleo, graxa, óxidos, tinta, areia, fuligem do pré-aquecimento a gás, em uma faixa de no mínimo 25 mm de cada lado das bordas a serem soldadas. Resíduos também como os do ensaio de líquido penetrante, resultantes de ensaios realizados em alguns passes, devem ser removidos antes de se iniciar o novo passe, pois poderão comprometer a solda, assim como os depósitos de carbono e escória resultantes do corte ou goivagem com eletrodo de carbono.

O uso do gás de purga na soldagem de materiais como o ASTM A106 Gr. B e A335 Gr. P11, é pouco usual ou praticamente não praticado nos canteiros brasileiros, por se acreditar que o custo com o uso do gás não proporcione melhorias ou ganhos a junta soldada. A limpeza precária ou a falta dela nos chanfros a serem soldados, também é um item encontrado em nossas

produções. Acredita-se então que quando não praticados o gás de purga e limpeza do chanfro, estes podem afetar diretamente na presença de defeitos e perdas de propriedades na solda, ou seja, na qualidade da junta soldada.

O presente trabalho será voltado para avaliação e estudo do uso do gás de purga e da limpeza da junta na qualidade da raiz soldada pelo processo de GTAW em tubos de aços ASTM A106 Grau B e ASTM A335 Grau P11, através da verificação da formação do cordão e dos teores de oxigênio e nitrogênio da raiz soldada.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

2.1. TUBOS.

O emprego de tubos é realizado a milhares de anos e ao longo da história da humanidade foram se desenvolvendo para atender às especificações técnicas e satisfazer aos requisitos de segurança. Eles contribuem desde a fixação do nômade pelo domínio da agricultura até o desenvolvimento das cidades, das indústrias e dos avanços observados hoje.

Atualmente são aplicados nos mais diversos tipos de serviços e até em aplicações de alta tecnologia que demandam seu alto desempenho. Diariamente são produzidos incontáveis quilômetros de tubulações no mundo para os mais variados usos industriais, civis e etc.

Os tubos nada mais são do que canais cilíndricos ocos podendo ser retos ou/e curvos, que são destinados ao transporte/distribuição de vapor para força e/ou para aquecimento; água potável ou de processos industriais; óleos combustíveis ou lubrificantes; ar comprimido; gases e/ou líquidos industriais. O conjunto de tubos com seus diversos acessórios devidamente interligados entre si dá-se o nome de tubulações.

Os tubos são fabricados em diversos tipos de materiais, como cerâmica, metal, plástico, concreto e etc., (a norma ASME são especificados mais de 500 tipos diferentes) variaram de diâmetro, espessura de parede e comprimento. Os tubos são geralmente utilizados em:

- Instalações industriais dentro e fora;
- Processos;
- Utilidades;
- Instrumentação;
- Drenagem;
- Distribuição;
- Transporte de líquidos e/ou gases;
- Outros.

Antes de serem construídas as tubulações, deve-se conhecer bem e estudar os mecanismos de seu transporte e qual ou quais serão os tipos de materiais que irão compor este projeto, de maneira a proporcionar a maior segurança no serviço, com tempo de vida adequado e com menor custo de montagem.

Na indústria o uso das tubulações é de grande importância, pois em todas as indústrias há linhas de tubulações de maior ou menor importância, e todas essas linhas são fundamentais ao seu funcionamento.

2.1.1 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO.

Os tubos são divididos em dois grandes grupos:

- Tubos com costura - Cujos processos abrangem métodos que necessitam de cordões de solda para a construção do tubo;

- Tubos sem costura - Cujos processos de fabricação dispensam a utilização de cordões de solda no tubo.

Os tubos sem costura são fabricados por três tipos de processos industriais: laminação, extrusão e o processo de fundição. Já os tubos com costura são fabricados por soldagem.

Os processos industriais de maior importância na fabricação de tubulações são os de laminação e soldagem. Através desses processos são fabricados mais de dois terços dos tubos usados em instalações industriais [1].

2.1.1.1 TUBOS COM COSTURA.

O processo de fabricação de tubos com costura é realizado partir da conformação de chapas e suas extremidades são unidas através da soldagem. A sua confecção pode ser realizada por duas maneiras: Aplicação de pressão ou fusão.

Os tubos de aço com costura são os mais acessíveis por vários motivos, sendo um deles o financeiro e o logístico, também são encontrados mais facilmente no comércio. Há diversos tipos de fabricação de tubos com costura, entre eles:

- Processo de fabricação por aplicação de pressão (Frets-Moon);
- Processo de fabricação por arco submerso longitudinal (UOE);
- Processo de fabricação por resistência elétrica longitudinal (ERW);
- Processo de fabricação por arco submerso helicoidal.

2.1.1.1.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR APLICAÇÃO DE PRESSÃO (FRETS-MOON).

O processo de soldagem por aplicação de pressão é conhecido também por processo Fretz-Moon, onde os tubos com costura são fabricados a partir de chapas desbobinadas a elevadas velocidades e mantidas em acumuladores chamados de "loop", a partir daí as chapas são aquecidas por meio de um forno que pode ser horizontal ou vertical a temperaturas elevadas (este aquecimento é realizado por meio de chamas laterais) e desse modo existe um gradiente de temperatura entre o centro e as laterais da chapa, estas diferenças estabelecidas variam de 100 a 150 graus Celsius.

As chapas aquecidas são continuamente deformadas por meio dos rolos de conformação, adquirindo formato de tubo com costura aberta. A próxima etapa é a soldagem, onde a circunferência desse tubo é levemente reduzida em virtude dos procedimentos de preparação, tal que sua execução seja possível. Esses procedimentos geram vãos no tubo com costura, o que torna obrigatória a aplicação de pressão para posterior execução da soldagem. Após a soldagem, os tubos são cortados por chama, mantidos em cama de resfriamento e submetidos a etapas de acabamento.

2.1.1.1.2. PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR ARCO SUBMERSO LONGITUDINAL (UOE).

O processo de fabricação por arco submerso longitudinal (UOE) (Em inglês "Submerged arc welding" - SAW) consiste no dobramento das chapas até a

formação do tubo. Os tubos são produzidos com solda longitudinal de diâmetro externo entre 508 e 1600 mm e espessura entre 7 e 40 mm. A figura 2.1 demonstra as etapas deste processo, no qual os tubos não passam por qualquer tratamento de alívio de tensões. Suas etapas são [2]:

- Prensamento da borda da chapa;
- Prensamento da chapa plana gerando a forma de "U" e posterior prensamento gerando a formação do "O";
- Soldagem automática interna e externa por arco submerso (SAW)
- Expansão mecânica a frio (etapa "E" da fabricação);
- Testes Hidrostáticos;
- Ensaios não destrutivos, dimensionais e de laboratório.

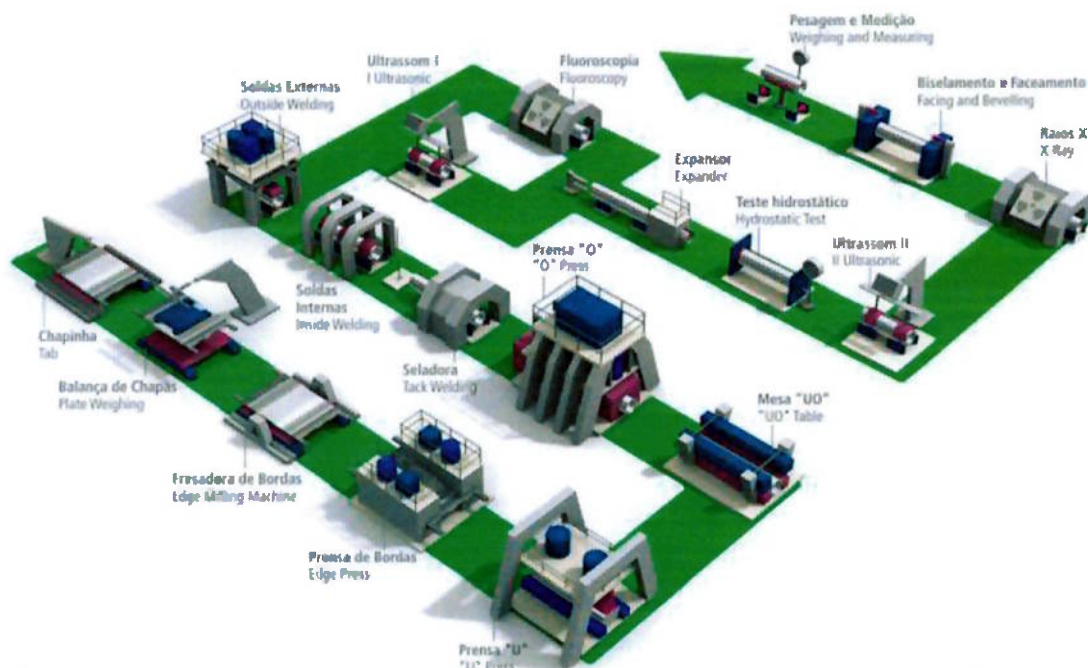


Figura 2.1 – Representação esquemática das etapas do processo UOE [2].

2.1.1.1.3 PROCESSO DE SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA (ERW).

O nome soldagem por resistência elétrica (Em inglês "Electric Resistance Welding" - ERW) se deve ao processo de soldagem longitudinal nele utilizado, que é por resistência elétrica. Seu processo de fabricação consiste na formação, soldagem e laminação contínua de fitas emendadas de aço, que são desenroladas numa bobinadeira e depois passam por uma desempenadeira, que ao acabar a bobina é emendada com a próxima por meio de solda de topo.

Os tubos fabricados pelo processo ERW passam por um tratamento térmico de normalização no cordão de solda para alívio de tensões residuais. A figura 2.2 demonstra as etapas deste processo. Suas etapas são [2]:

- Desbobinamento da chapa de aço;
- Formação dos tubos por meio de rolos;
- Soldagem automática por resistência elétrica em alta frequência;
- Tratamento térmico de normalização da solda;
- Calibragem dimensional;
- Corte e testes hidrostáticos, dimensionais e de laboratório;
- Ensaio não destrutivo.

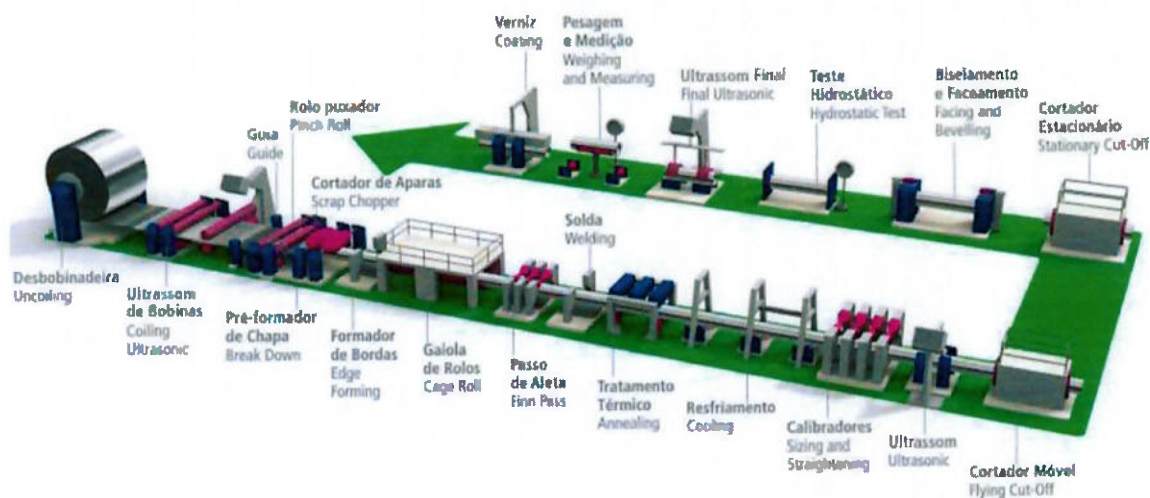


Figura 2.2 – Representação esquemática das etapas do processo ERW [2].

2.1.1.1.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR ARCO SUBMERSO HELICOIDAL.

O processo de soldagem por arco submerso helicoidal, utilizada um cordão de solda helicoidal. Consiste em fitas largas laminadas a quente que, uma vez ligadas por soldagem de topo, são emendadas como tubos numa fita de comprimento sem fim. É a largura da fita que irá determinar o diâmetro do tubo. No processo, a fita desbobinada vai sendo endireitada em uma desempenadeira onde seus lados são aparados e chanfrados. Esse processo obtém um tubo sem fim aonde o cordão de solda vai sendo controlado continuamente. A figura 2.3 demostra as etapas deste processo. Suas etapas são [2]:

- Formação dos tubos por processo contínuo helicoidal;
- Soldagem automática por arco submerso;

- Testes hidrostáticos;
- Ensaios não destrutivos, dimensionais e de laboratório.

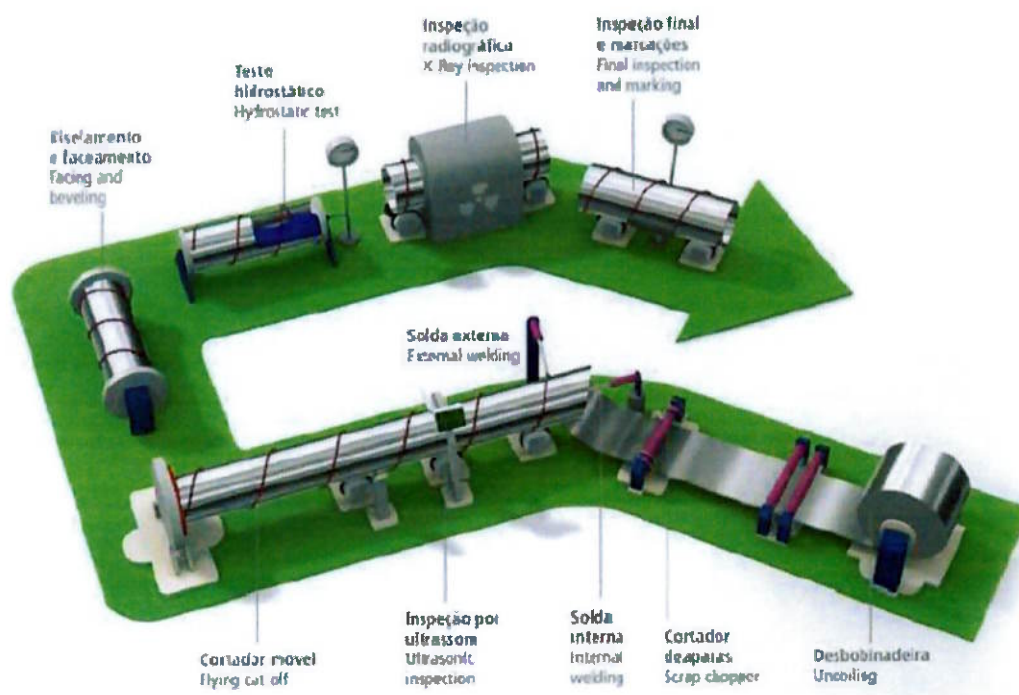


Figura 2.3 – Representação esquemática das etapas do processo helicoidal [2].

2.1.1.2 TUBOS SEM COSTURA

Os tubos sem costura são tubos isentos de cordão de solda, o que o deixa perfeito para a utilização da canalização de outros materiais que trabalham provocando pressões. Os tubos de aço sem costura são bastante aplicados em projetos onde as peças exijam maior confiabilidade nos processos de aplicação de pressão de óleo, vapor para gerar grandes esforços como pistões hidráulicos e caldeiras. Os tipos de fabricação de tubos sem costura são:

- Laminação (para tubos grandes diâmetros);
- Extrusão (para tubos com pequenos diâmetros);
- Fundição.

2.1.1.2.1 FABRICAÇÃO POR LAMINAÇÃO.

O processo de fabricação por laminação é responsável pela maioria das tubulações usadas nas instalações industriais. É empregado para tubos de diâmetros de 80 a 650 milímetros feitos de aço carbono, aço liga e aço inox.

O processo de fabricação por laminação mais importante é o Mannesmann. A sua formação se dá a partir de uma barra circular maciça de aço fabricada pelo processo a quente, que será empurrada por dois cilindros oblíquos que rotacionam e transladam contra um mandril fixo. O produto será um tubo bruto, que sofrerá conformação de acabamento através de laminadores perfiladores. A figura 2.4 ilustra esta fabricação.



Figura 2.4 – Fotos da produção de tubos sem costura por Mannesmann [3].

2.1.1.2.2 FABRICAÇÃO POR EXTRUSÃO.

A fabricação de tubos por extrusão é um processo onde a peça submete-se a passagem forçada através da matriz, com o objetivo de diminuir a seção transversal das barras, obtendo um formato cilíndrico, de seção transversal circular em tubos sem costura. A parte ainda não extrudada fica contida num recipiente ou cilindro.

A extrusão pode ser feita a frio ou a quente dependendo da ductilidade do material. Cada tarugo é extrudado individualmente, o que caracteriza um processo semi-contínuo. Quando combinada com operações de forjamento é chamada de extrusão fria.

2.1.1.2.3 FABRICAÇÃO POR FUNDIÇÃO.

A fabricação de tubos por fundição é um processo onde o aço líquido é vazado em moldes especiais e se solidifica adquirindo a forma final. Este processo é utilizado para a fabricação de tubos de ferro fundido, alguns aços não forjáveis e grande parte dos materiais não metálicos como barro, concreto, cimento-amianto, borrachas, entre outros. A figura 2.5 ilustra esta fabricação.

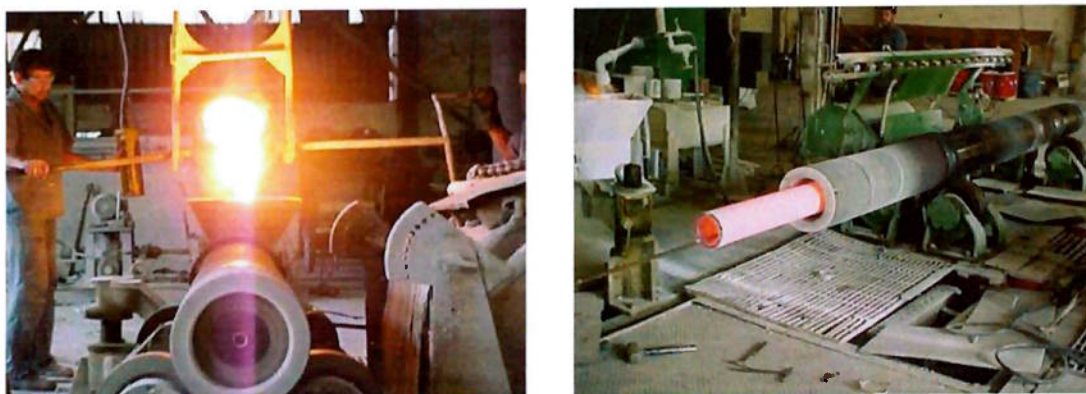


Figura 2.5 – Fotos da produção de tubos por fundição centrífuga [4].

2.1.2 TIPOS DE MATERIAIS DOS TUBOS.

Existe no atual mercado uma ampla gama de diferentes tipos de materiais de tubos, que podem ser utilizados nos diversos tipos de serviços. De um modo geral os principais tipos são:

- Tubos de aço carbono;
- Tubos de aço liga;
- Tubos de aço inoxidável;
- Tubos de ferro fundido;
- Tubos de metais não ferrosos (cobre latões, cobre-níquel, alumínio, níquel e ligas, metal monel, chumbo, titânio e zircônio);
- Tubos de polímeros.

A seguir uma breve explicação sobre tubos de aço carbono e aço liga, que são o tema deste estudo.

2.1.2.1 TUBOS DE AÇO CARBONO.

Dentre os materiais industriais utilizados o aço carbono é o que apresenta menor relação custo/resistência mecânica e também possui facilidade para soldar, conformar e não tem dificuldade de ser encontrado no mercado.

Tubos de aço carbono são utilizados para variados serviços, entre eles para conduzir água doce, vapor de baixa pressão, óleos, gases e muitos outros fluidos pouco corrosivos.

Os principais componentes químicos utilizados na fabricação de tubos de aço carbono são: Carbono (C), Manganês (M), Fósforo (P), Enxofre (S), Alumínio (Al) e Silício (Si) [5].

A quantidade de carbono para tubos limita-se até 0,35%, sendo que até 0,30% de carbono a soldagem é fácil, e até 0,25% de carbono os tubos podem ser curvados a frio. Um aumento no percentual de carbono na composição do aço carbono irá produzir um aumento nos limites de resistência das tensões de escoamento e de ruptura, na dureza e na temperabilidade do aço. Este aumento também irá prejudicar a ductilidade e a soldabilidade do aço [6].

A percentagem do teor de carbono distingue-se por:

- Aços de baixo carbono – até 0,3% de carbono;
- Aços de médio carbono – 0,3% a 0,6% de carbono;
- Aços de alto carbono – 0,6% a 1,0% de carbono.

2.2.2.2 TUBOS DE AÇO LIGA.

São ligas de aço carbono que contêm elementos de adição como níquel, cromo, manganês, tungstênio, molibdênio, vanádio, silício, cobalto e alumínio para conferir a esses aços características especiais, tais como: resistência à tração e à corrosão, elasticidade e dureza, entre outras, tornando-os melhores do que os aços-carbono comuns [6].

A adição de elementos de liga tem como objetivo promover mudanças microestruturais que, por sua vez, promovem mudanças nas propriedades

físicas e mecânicas, permitindo ao material desempenhar funções especiais. A percentagem total de elementos de liga distingue-se por:

- Aços de baixa liga – até 5% de elementos de liga;
- Aços de média liga – de 5% até 10% de elementos de liga;
- Aços de alta liga – mais de 10% de elementos de liga.

Existem dois tipos de aços liga que são importantes:

- Aços liga molibdênio e cromo-molibdênio;
- Aços liga níquel.

Os aços liga Molibdênio e Cromo-Molibdênio contêm até 1% de Molibdênio e até 9% de Cromo, em diversas proporções, sendo estes materiais adequados para uso em elevadas temperaturas. Com até 2,5% de cromo são específicos para serviços em alta temperatura, com grandes esforços mecânicos e baixa corrosão, para os quais a principal preocupação é a resistência à fluência [6].

O Cromo causa uma melhora na resistência à oxidação e à corrosão, sendo este efeito melhor quanto maior for a quantidade de Cromo, já o Molibdênio é o elemento mais importante na melhoria da resistência à fluência do aço. Tubos aço liga não devem ser empregados para serviços com temperatura abaixo de 0°C. Tubos aço liga Cromo-Molibdênio, com baixo cromo são adequados para linhas de vapor superaquecido [6].

Enquanto que tubos aço liga Cromo-Molibdênio com alto cromo são adequados para tubulações que transportam hidrocarbonetos em temperaturas elevadas e são também indicados para serviços com Hidrogênio [6].

Os aços liga com teor de níquel são adequados para uso em temperaturas muito baixas, sendo a temperatura limite mais baixa quanto maior for a quantidade de Níquel.

Os tubos de aços liga apresentam maior custo em relação ao aço carbono, sua montagem e soldagem são difíceis, exigindo quase sempre tratamentos térmicos. Como todas as instalações industriais estão sujeitas a se tornarem obsoletas em relativamente pouco tempo, não é econômico nem recomendável o emprego de aços liga, apenas para tornar muito mais longa a vida de uma tubulação.

2.1.3 LIMPEZA DA JUNTA A SER SOLDADA.

A limpeza da junta dos tubos a serem soldados é um fator de extrema importância e que nem sempre é levado em consideração, pois está diretamente ligada à qualidade futura da junta acabada.

Deve-se, sempre, antes de acoplar os tubos a serem soldados realizar a correta limpeza, verificando se há presença de detritos ou impurezas, tanto na parte interna quanto na parte externa que possam vir a prejudicar a soldagem. Uma limpeza insuficiente ou inadequada da junta e do material de base antes da soldagem pode causar defeitos posteriores, geralmente inclusões gasosas (porosidade, se ≤ 1 mm, cavidades se ≥ 1 mm). A presença de óleo ou sujeira nas superfícies a serem soldadas causa porosidade esférica. Outras causas de porosidade podem ser a presença de umidade no metal de base, velocidade de soldagem excessiva ou oscilação excessiva do eletrodo.

A preparação da superfície pode ser realizada através de escovamento manual, esmerilhadeira e solventes (thinner). O método a ser utilizado vai depender do grau e do estado da superfície a ser limpa. Em materiais como o aço carbono, onde o início da soldagem não é realizado em período curto, a aplicação de uma tinta verniz (boca loca) deve ser utilizada para a inibição da oxidação.

Segundo a norma de soldagem da Petrobras (N – 133 rev.K) “as juntas a serem soldadas devem estar isentas de óleo, graxa, óxido, carepas, tinta, resíduos do ensaio por líquido penetrante, areia e fuligem do preaquecimento a gás, numa faixa de no mínimo 50 mm de cada lado das bordas, interna e externamente” [7].

2.1.4 NORMAS TÉCNICA DE FABRICAÇÃO.

Existem muitos códigos e normas regulando projetos, fabricação, montagem e utilização de tubos e acessórios para as mais diversas finalidades, detalhando materiais, condições de trabalho, procedimentos de cálculo, bem como padronizando suas dimensões.

Os aços, em geral, são classificados em grau, tipo e classe. O grau normalmente identifica a faixa de composição química do aço. O tipo identifica o processo de desoxidação utilizado, enquanto que a classe é utilizada para descrever outros atributos, como nível de resistência e acabamento superficial.

A designação do grau, tipo e classe utiliza uma letra, número, símbolo ou nome.

Tabela 2.1 – As principais Especificações de Material para tubos de aço carbono de nacionais e internacionais [5].

API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AS	Australian Standards
BS	British Standard
DIN	Deutsches Institut für Normung E.V.
EN	Euronorm
JIS	Japanese Industrial Standards
NBR	Norma Brasileira
NT CSN	Norma Técnica CSN
SAE	Society of Automotive Engineers
SEW	Material Specification by Organization of the German Iron and Steel Industry

2.2 SOLDAGEM.

2.2.1 PROCESSOS DE SOLDAGEM

É um processo de união que através de uma fonte de calor com ou sem a aplicação de pressão, será obtido pela aproximação dos átomos ou moléculas das partes a serem unidas, ou de um material intermediário que foi adicionado à junta, resultando na solda [8,9].

O processo de soldagem se tornou o principal processo de união entre duas partes metálicas na indústria e também é utilizado para a fabricação e recuperação de peças, deposição de material sobre uma superfície, visando à recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais.

Existem hoje no mercado diversos tipos de processos de soldagem, como podemos ver na figura 2.6, que classifica estes pela natureza de união. O processo de soldagem GTAW (sigla em inglês de "Gas Tungsten Arc Welding") é um dos processos de soldagem oriundos da fusão.

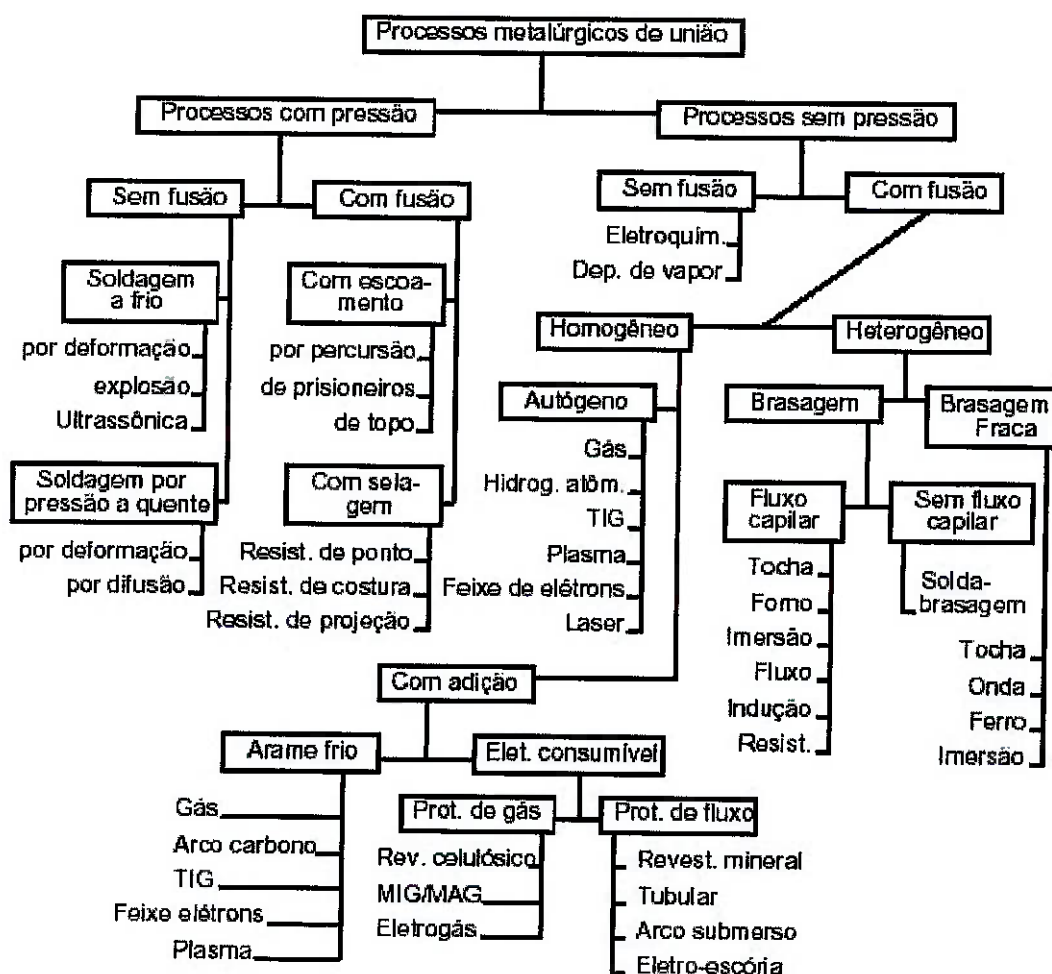


Figura 2.6 – Classificação dos processos de soldagem a partir da natureza de união [10].

2.2.1.1 PROCESSO DE SOLDAGEM POR FUSÃO.

A Soldagem por fusão é um processo de união no qual o metal de adição e o de base fundem-se, assim obtendo a união destes por fusão, conforme

demonstrado na figura 2.7. O que difere este processo dos demais no estado sólido, soldagem por explosão e soldagem por atrito, é o fato de nestes dois não haver fusão. Para os processos de brasagem a diferença é somente o metal de adição que é fundido [8,9].

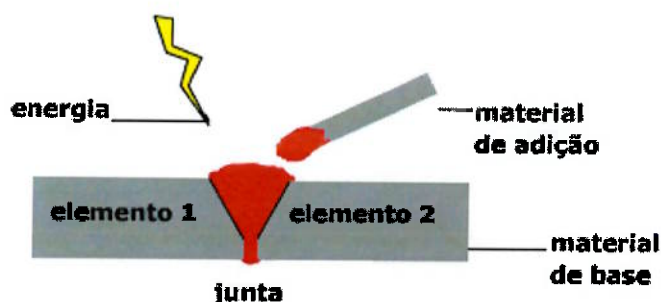


Figura 2.7 – Processo de soldagem por fusão [9].

O arco é uma descarga elétrica em um meio gasoso parcialmente ionizado. Este arco na maioria dos casos é mantido entre um eletrodo cilíndrico e o metal base, mas existem casos onde o metal base não faz parte do circuito elétrico ou são utilizados eletrodos de diferentes formas ou diversos eletrodos simultaneamente.

Na maioria dos casos da soldagem por fusão o eletrodo (consumível) é fundido pelo arco e este irá fornecer metal de adição para a solda, porém existem casos onde o eletrodo (tungstênio ou grafite) não se funde, pois utilizam eletrodos não consumíveis.

As dimensões e o formato do cordão de solda irão depender da corrente e tensão elétricas fornecidas ao arco e também da velocidade de soldagem, então deve-se ter um controle adequado das variáveis para garantir estabilidade no arco e obter um cordão de solda com formato adequado.

2.2.1.1.1 PROCESSO DE SOLDAGEM GTAW.

O processo de soldagem arco gás-tungstênio - GTAW (sigla em inglês de Gas Tungsten Arc Welding), ou como é mais conhecido no Brasil, TIG (sigla em inglês de Tungsten Inert Gas) é um processo que consiste na união de partes metálicas por meio do aquecimento e fusão através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo não consumível de tungstênio (puro ou composto com outros metais ou óxidos) e a peça a se unir [8,9].

A proteção do eletrodo e da poça de fusão é feita por um gás inerte, normalmente o argônio. A soldagem pode ser realizada com ou sem a adição de metal, neste ultimo caso chamado de autógeno. A figura 2.8 representa os componentes específicos utilizados na tocha em um processo GTAW.

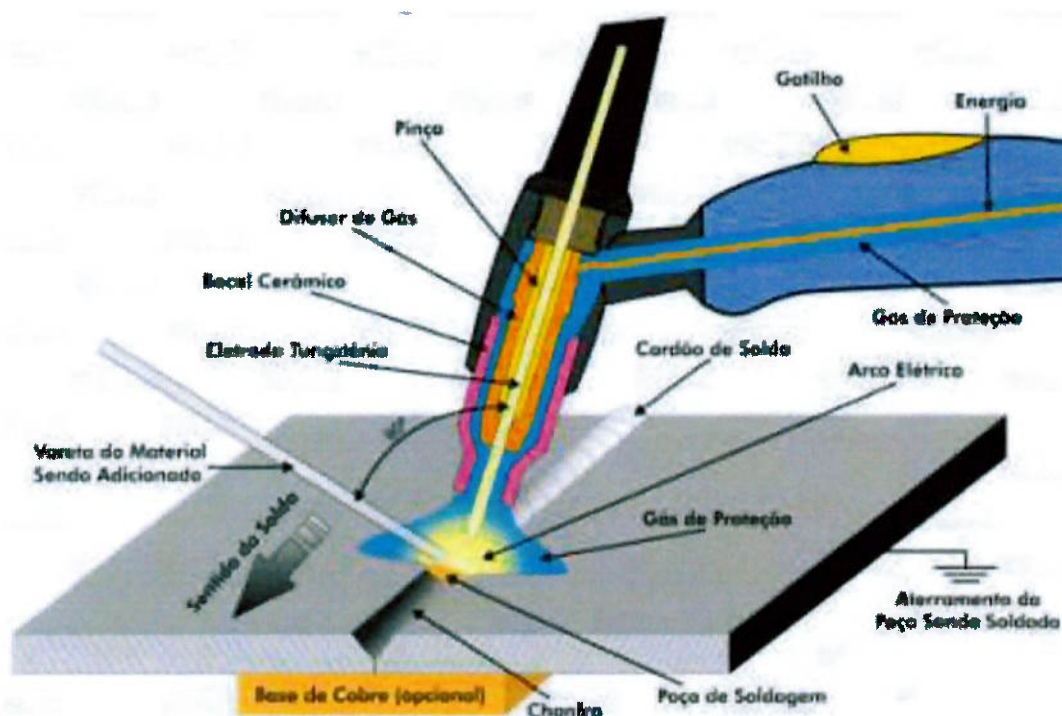


Figura 2.8 – Representação esquemática da tocha do processo GTAW [11].

O modo de operação pode ser manual, semiautomática ou automática, sendo mais comum utilizar o modo manual, mas os demais modos vem cada dia mais se aprimorando e ganhando espaço no mercado atual.

A soldagem GTAW é constituída de uma fonte de energia elétrica, transformador-retificador ou inversor, uma tocha de soldagem podendo ser seca ou refrigerada a ar ou água, uma fonte de gás de proteção (geralmente argônio), um dispositivo para abertura do arco, cabos e mangueiras. A figura 2.9 representa esquematicamente os equipamentos do processo.

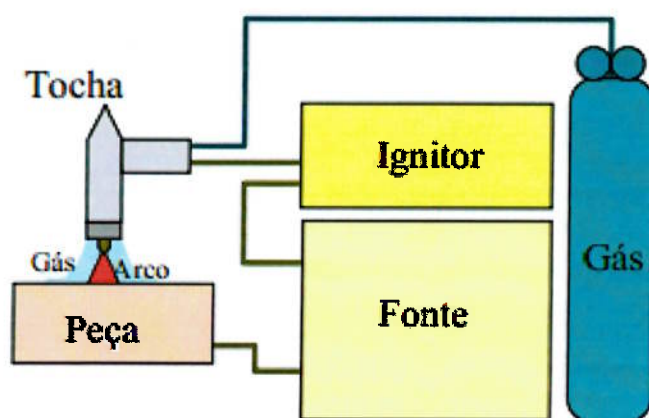


Figura 2.9 – Representação esquemática dos equipamentos do processo GTAW [9].

A proteção gasosa da poça de fusão é eficiente e ocorre através de um fluxo de gás inerte, geralmente argônio, que parte do bocal de soldagem em direção à poça de fusão, impedindo a oxidação do eletrodo não consumível, pois apesar de o tungstênio fundir em alta temperatura, a sua oxidação ocorre em temperaturas mais baixas.

No mercado existem diversos tipos de eletrodos de tungstênio que podem ser utilizados no processo GTAW, cada um possui uma composição química própria, que é diferenciada pela cor que foi pintada na ponta do tungstênio. A AWS especifica e classifica estes eletrodos com base nas composições químicas, conforme a norma ANSI/AWS A5.12-92, a tabela 2.2 mostra esta classificação de forma resumida. A escolha correta é um fator importante na busca por alta qualidade e facilidade na soldagem.

Tabela 2.2 – Classificação dos tipos de eletrodos de tungstênio segundo a norma AWS [10].

Classificação AWS	Cor	Percentagem de Peso					
		% W (min)*	% CeO ₂	% La ₂ O ₃	% ThO ₂	% ZrO ₂	% Total de outros elementos ou óxidos
EWP	Verde	99,5	-	-	-	-	0,5
EWCe-2	Laranja	97,3	1,8 - 2,2	-	-	-	0,5
EWL-1	Preto	98,3	-	0,9 - 1,2	-	-	0,5
EWTh-1	Amarelo	98,3	-	-	0,8 - 1,2	-	0,5
EWTh-2	Vermelho	97,3	-	-	1,7 - 2,2	-	0,5
EWZr-1	Marrom	99,1	-	-	-	0,15 - 0,4	0,5
EWG	Cinza	94,5	Não Especificado				

(*) A composição do tungstênio deve ser determinado pela diferença de todos os elementos ou óxidos, de um total de 100%.

O tungstênio com adição de 2% de tório (cor vermelha) atualmente é o mais utilizado no Brasil, por causa de sua excelente vida útil e facilidade de uso. A adição do tório aumenta a qualidade de emissão de eletrodos no arco, o que

proporciona facilidade para iniciar o arco e soldagens com alta correntes. Ele opera muito abaixo de sua temperatura de fusão, o que significa baixo desgaste e baixo risco de contaminação. É o eletrodo ideal para soldagem de aço carbono, aço inoxidável, níquel e titânio.

O controle da energia transferida para a peça durante a soldagem é uma das principais características desse processo. Ocorre por meio do controle independente que o operador tem da fonte de calor e do metal de adição, que torna o processo adequado para a soldagem de peças de pequena espessura. A ausência de escória permite uma boa visibilidade ao soldador durante o processo, e não gera fumos nocivos. O arco elétrico é bastante estável, concentrado e suave, adequado para produzir soldas com boa qualidade e acabamento, se o soldador for habilidoso. Além disso, o arco elétrico não gera salpicos, pois não há transferência de metal.

Como desvantagem do processo está à baixa taxa de deposição, que implica numa operação mais demorada, se comparada com outros processos de soldagem. Requer uma maior destreza do soldador que os outros processos de soldagem por fusão ao arco elétrico.

Não é um processo de soldagem adequado para ambientes turbulentos, com correntes de ar e ventos, pois estes podem interferir na proteção gasosa da poça de fusão e do eletrodo. Devido ao alto custo, é aplicado principalmente na soldagem de metais não ferrosos e aços inoxidáveis, na soldagem de peças de pequena espessura e no passe de raiz na soldagem de tubulações.

A fonte de energia é do tipo corrente constante, onde uma grande variação na distância da ponta do eletrodo a peça causa uma pequena variação

na corrente de soldagem, comum em processos manuais. A polaridade mais usada é a direta, ou corrente contínua com eletrodo negativo, onde a penetração é mais profunda e a largura do cordão é reduzida.

2.2.2 POSIÇÃO DE SOLDAGEM.

A posição de soldagem é um fator muito importante na qualidade da solda, pois cada posição tem um nível de dificuldade diferente. Conhecer as diferentes posições de soldagem e identificar a melhor delas para cada situação é uma das primeiras lições não só para soldador, mas também para o Inspetor de Soldagem, que deverá aprovar a qualidade do produto final. A posição da peça e do eixo da solda determina a posição de soldagem. Elas dividem-se basicamente em:

- Plana: feita no lado superior de uma junta em que a face da solda é aproximadamente horizontal;
- Horizontal: em que o eixo da solda também está quase deitado, mas sua face é inclinada;
- Vertical: em que o eixo da solda é quase vertical e a soldagem pode ser feita ascendente ou descendente.
- Sobre cabeça: onde a soldagem é feita do lado inferior de uma solda de eixo praticamente na horizontal;

Existem algumas normas que estabelecem os limites para cada posição de soldagem, entre elas a norma ASME IX. A figura 2.10 demonstra algumas das posições de soldagem mais utilizadas.

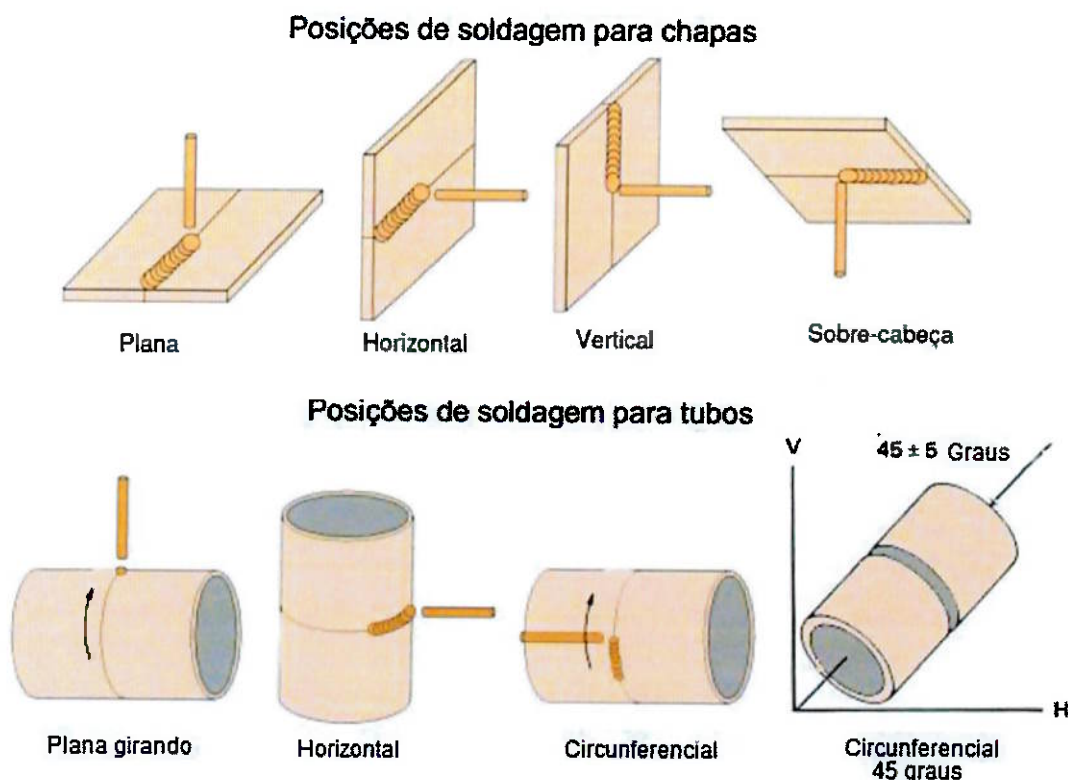


Figura 2.10 – Principais posições de soldagem [9].

2.2.3 TENSÃO SUPERFICIAL.

A definição de tensão superficial é de uma força agindo por unidade de comprimento numa superfície líquida cuja unidade no Sistema Internacional (SI) é N/m. A tensão superficial é numericamente igual à energia de superfície [14]. Suas forças influenciam na formação e na fluência da poça de fusão, tornando esta propriedade de grande importância na soldagem por fusão.

O conceito de tensão superficial do metal em superfícies que se irá unir está associado à dissolução do metal de adição na união metalúrgica com o metal base. A tensão superficial em soldagem depende das interações físico-

químicas que acontecem entre o metal de adição fundido e a poça de fusão, ou com o metal base [13].

A tensão superficial surge nos líquidos, como resultado do desequilíbrio entre as forças que agem sobre as moléculas da superfície em relação àquelas que se encontram no interior da solução. As moléculas de qualquer líquido, localizada na interface líquido-ar realizam um número menor de interações intermoleculares comparadas com as que se encontram no interior do líquido.

A força superficial é comum a ambos os sólidos e líquidos, e tem diversas manifestações. Por exemplo, no caso de uma gota líquida que descansa sobre uma superfície plana sólida, o equilíbrio de forças é:

$$\gamma_{lv} \cos\theta = \gamma_{sv} - \gamma_{sl}$$

tal como ilustrado na figura 2.11, onde γ_{sv} é a tensão superficial do sólido em equilíbrio com o seu vapor, γ_{sl} é a tensão de superficial da interface sólido-líquido, γ_{lv} é a tensão superficial do líquido em equilíbrio com o seu vapor e θ é o ângulo de contato [14].

O oxigênio do ar, em quantidades apropriadas, influencia na redução do tamanho da gota no arco devido à redução da tensão superficial. A menor tensão superficial tende a reduzir o ângulo de contato entre o metal líquido e o metal base, assim reduzindo a convexidade do cordão e melhorando o seu perfil.

Uma das forças que atuam sobre o metal líquido e que pode afetar o perfil é a gravidade. Na soldagem em posição plana ela tem um efeito favorável, mas para as posições vertical, horizontal e sobre cabeça tende a deslocar ou distorcer o cordão de solda. O soldador precisa utilizar a força do

arco para manter o metal líquido na sua posição, por exemplo, na soldagem vertical ascendente, a força do arco atua para contrabalançar a gravidade.

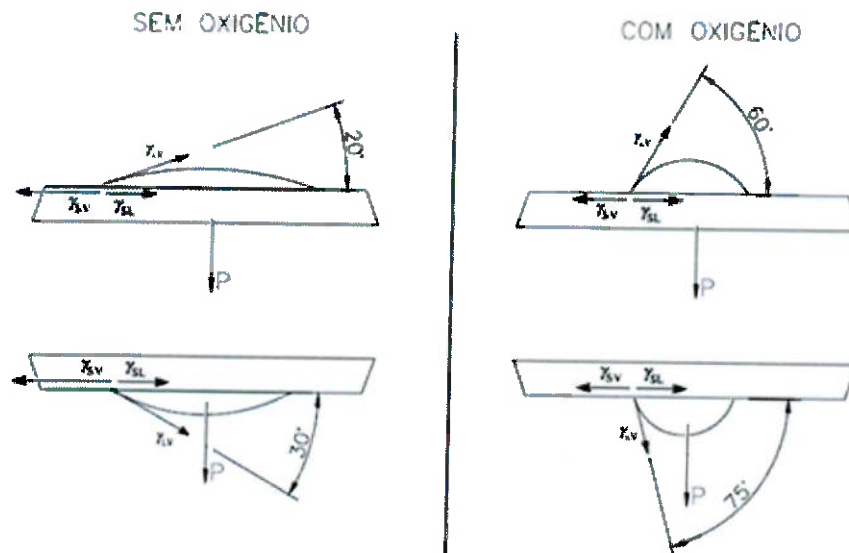


Figura 2.11 – Formação do perfil do metal líquido sobre uma superfície plana.

À esquerda formação sem oxigênio e à direita formação com oxigênio.

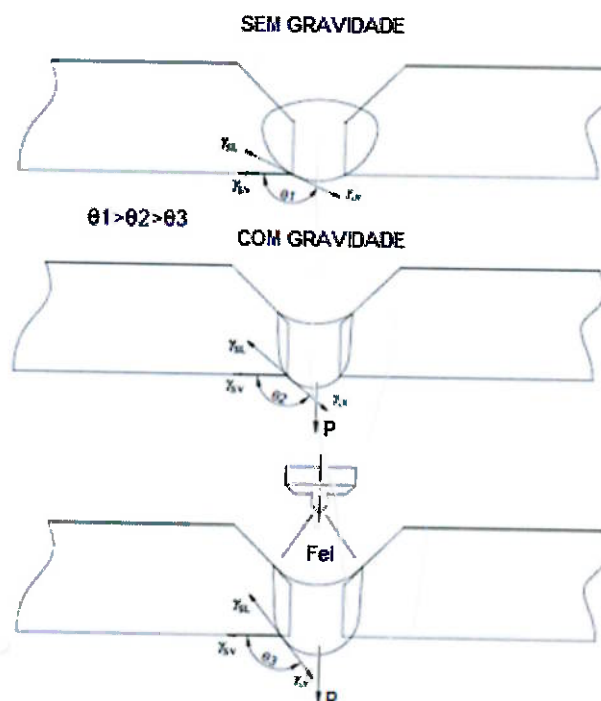


Figura 2.12 – Altura do cordão da raiz se altera pela ação da gravidade e da força do arco elétrico.

A baixa energia da superfície é devido a presença de elementos sobre a superfície do metal. A tabela 2.2 demonstra os valores para vários sólidos de sistemas binários Fe-X, juntamente com suas ligas líquidas correspondentes, próximos do ponto de fusão. Fica evidente na tabela 2.2 que o efeito do oxigênio é muito mais grave para o sólido do que para o líquido [14].

Tabela 2.2 – Atividade superficial dos elementos sólido e líquido no ferro [14].

Gradiente: $(dy/dx)_{x=0}$ próximo do ponto de fusão			
Sistema	Fase	Sólido $-dy_{sv}/dx$	Líquido $-dy_{lv}/dx$
Fe-S	-	-	6.31
Fe-O	δ	10^4	7.16
Fe-N	δ	3.25	1.40
Fe-P	δ	3.23	0.014

2.2.4 GÁS DE PURGA.

Purgar é o ato de substituir uma atmosfera não desejada, pelo ar atmosférico que contém oxigênio (O_2), por um gás inerte que propicie a proteção gasosa da poça de fusão durante a realização da soldagem.

Para controlar-se a atmosfera que envolve a soldagem, utilizam-se dispositivos que formam uma câmara em torno da área oposta à região da soldagem proporcionando uma atmosfera com gás inerte e o controle do nível de oxigênio dentro da câmara pode ser descoberto com o uso de medidores de oxigênio, vulgo oxímetro. No mercado podemos encontrar diversos tipos desses

dispositivos de vedação, que devem ser utilizados de acordo com a necessidade e objetivo de cada fabricação. Os dois principais tipos encontrados são tampão reutilizável e tampão solúvel.

Os tampões reutilizáveis são discos feitos de alumínio e silicone que se adaptam as paredes dos tubos que possam ter fácil acesso para sua remoção, para cada diâmetro se utiliza um tamanho compatível. Para diâmetros abaixo de 315 mm utilizamos o modelo (a) e acima de 300 mm utilizamos o modelo (b) da figura 2.13.



Figura 2.13 – Exemplos de dispositivos de tampão reutilizáveis. (a) Diâmetros abaixo de 315 mm e (b) Diâmetros acima de 300 mm [15].

Os tampões solúveis são feitos de papel e utilizados de acordo com o diâmetro do tubo a ser purgado. O papel utilizado é especial e se dissolve 100% em contato com a água e sem deixar vestígios. É viável para locais onde o acesso é restrito e difícil acesso. A figura 2.14 ilustra este dispositivo.

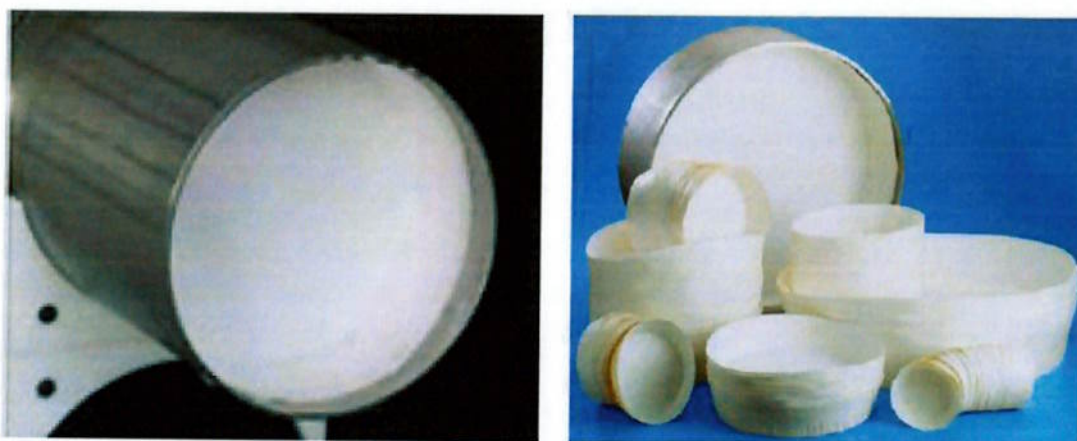


Figura 2.14 – Exemplos de dispositivos de tampão solúvel [15].

O objetivo de se utilizar o gás de purga e de forma correta, é que evitamos a ocorrência da oxidação na raiz do metal soldado, principalmente em metais nobres (aços inoxidável, titânio, níquel, zircônio, molibdênio, tântalo e suas ligas), pois estes possuem maior tendência em ceder elétrons. Quando não realizamos ou não são tomados os devidos cuidados ao executá-la, a consequência será uma solda de qualidade inaceitável e algumas soldas destes poderão ter que acabar sendo reparadas ou substituídas, por poderem originar graves falhas no material e/ou por perderem a sua resistência à corrosão, principalmente na zona afetada pelo calor (ZAC), o que prejudicaria sua principal característica.

O gás normalmente utilizado para purgar é o argônio, pois é um gás inerte, mais denso que o ar, fácil obtenção e baixo custo relativo comparado a outros gases utilizados no Brasil, mas em países como o EUA o uso do Hélio é comum.

O volume da câmara de purga deve ser o menor possível, pois isso irá resultar na melhor qualidade da solda, em menor probabilidade de

contaminação, na economia de gás de purga necessário e na redução do tempo de purga. Para isso dispositivos específicos devem ser utilizados em cada caso.

Para obtermos uma atmosfera relativamente inerte, devemos injetar o gás por cerca de quatro vezes o volume da região a ser purgada. Uma vez efetivada e controlada a purga, a vazão deste gás deve ser mantida apenas para manter-se uma ligeira pressão positiva. A área de escape do gás deve ser no mínimo igual à área de entrada e especial cuidado deve ser tomado para não haver excessos de pressão, principalmente nos últimos cinco centímetros do passe de raiz, prevenindo-se a sopragem da poça ou concavidade da raiz.

O fluxo do gás a ser distribuído na purga deve passar por um difusor sinterizado ou de metal poroso, para garantir que o gás seja inserido na câmara com baixa velocidade, sem turbulência, eliminando a possibilidade de o oxigênio misturar-se ao argônio, deste mesmo modo à purga deve ser selada contra penetração de ar.

2.3 DESCONTINUIDADES.

A descontinuidade é a falta da homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas de um material ou de uma solda. Quando uma junta apresenta uma descontinuidade, não significa necessariamente que ela possui um defeito, pois este só virá a se tornar defeito se superar determinados limites fixados pela norma do projeto da peça a ser soldada, com seus critérios de aceitação, então dependendo da descontinuidade em certos casos ela pode ser considerada um defeito e em outros casos não.

Quando se é detectado um defeito ações corretivas devem ser tomadas para que este não venha a se repetir e os defeitos já encontrados deverão ser reparados ou mesmo substituídos para atender aos requisitos necessários.

Existem na soldagem vários tipos de discontinuidades, a seguir uma listagem das principais discontinuidades encontradas.

2.3.1 DESCONTINUIDADES DIMENSIONAIS.

São irregularidades ocorridas nas dimensões ou na forma do cordão de solda. Sua ocorrência pode variar de acordo com a sua aplicação ou o processamento em que a peça será submetida posteriormente.

2.3.1.1 DISTORÇÃO.

As distorções ocorrem devido ao aquecimento extremo localizado de extremidades para fundir o material, assim as tensões não uniformes são induzidas no componente devido à sua expansão e contração do material aquecido.

Se as tensões de expansão/contração térmica excedem os limites de deformação do metal de base, acontecem deformações plásticas localizadas no metal. Deformações plásticas causam uma redução permanente nas dimensões dos componentes e torcem a estrutura. A figura 2.15 mostra algumas das formas básicas de distorção em juntas soldadas.

A redução da distorção pode ser feita diminuindo-se a quantidade de energia e metal depositado a ser depositado na peça, pela utilização de

dispositivos de fixação, martelamento entre passes, escolha adequado do chanfro a ser soldado e da correta sequencia de soldagem. A correção das distorções pode ser feita por remoção de parte ou de toda solda e resoldagem, desempenamento térmico ou mecânico, etc.

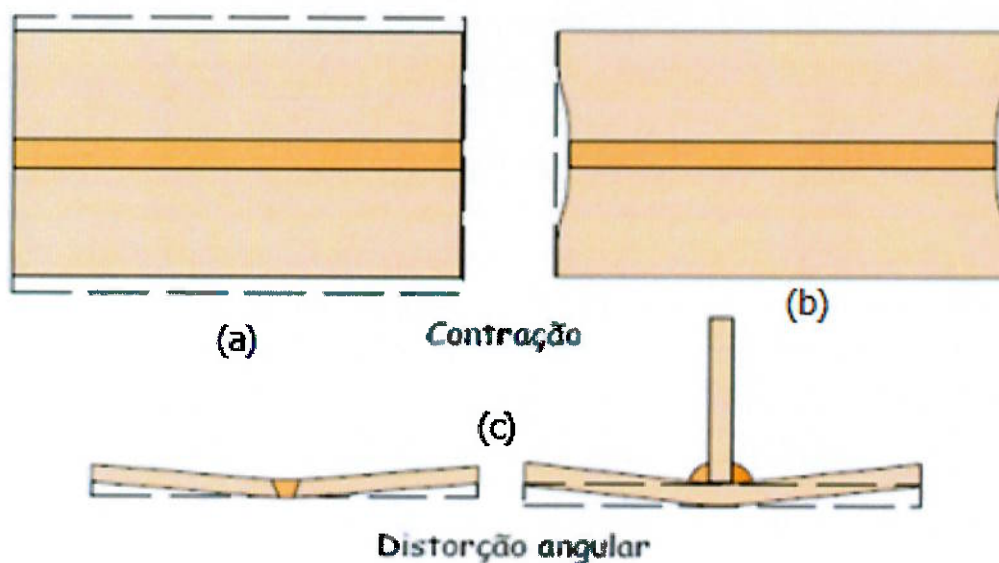


Figura 2.15 – Algumas das formas básicas de distorção em juntas soldadas: (a) Contração transversal, (b) Contração longitudinal, (c) Distorção angular [9].

2.3.1.2 DIMENSÃO INCORRETA DA SOLDADA.

As dimensões incorretas das soldas são causadas quando não se segue as tolerâncias admissíveis definidas em projeto, assim estas se tornam um defeito de soldagem. Estas imperfeições são verificadas de uma maneira geral durante a inspeção visual, com o auxílio de gabaritos (Hi-Lo, Calibre e etc.).

2.3.1.3 PERFIL INCORRETO DA SOLDA.

Um perfil inadequado de um cordão está relacionado à manipulação ou posicionamento incorreto do eletrodo ou na utilização inadequada dos parâmetros.

Variações geométricas bruscas agem como concentradores de tensão, favorecendo o aparecimento de trincas e facilitam o aprisionamento de escórias entre os passes de soldagem, levando ao acúmulo de resíduos e assim prejudica a resistência a corrosão. Já a convexidade excessiva de um cordão de solda multipasse pode causar falta de fusão. A figura 2.16 demonstra alguns perfis de soldas inadequados.

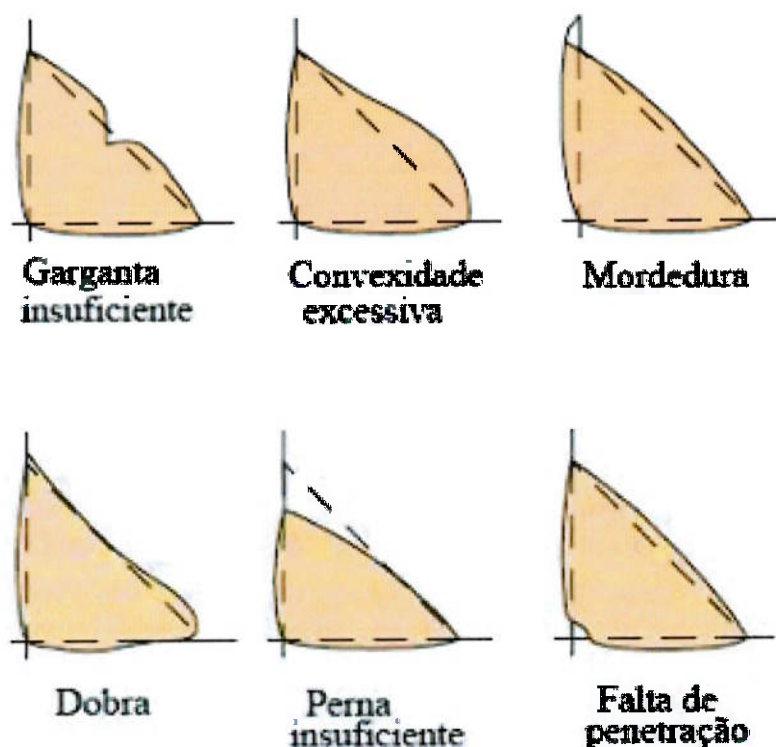


Figura 2.16 – Alguns perfis de soldas inadequados. [9]

2.3.1.4 FORMATO INCORRETO DA SOLDA.

O formato incorreto da solda ocorre devido à incorreta preparação da junta, onde seu posicionamento e fixação não foram realizados de maneira adequada, levando então a problema como o desalinhamento. A figura 2.17 ilustra este desalinhamento em uma junta de topo.

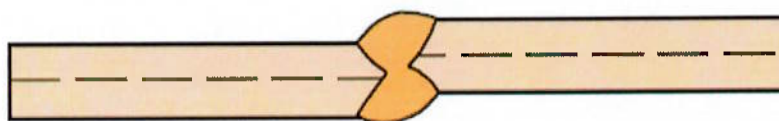


Figura 2.17 – Desalinhamento em uma junta de topo [9].

2.3.2 DESCONTINUIDADES ESTRUTURAIS.

São irregularidades ocorridas pela falta ou presença a mais de material na região soldada. Essas irregularidades podem ser vistas por exame visual ou por uma análise da micro ou macroestrutura.

2.3.2.1 POROSIDADE.

São vazios arredondados, isolados e internos na região da solda. Seu surgimento acontece durante a solidificação da poça de fusão, quando gases ficam aprisionados pelo metal solidificado à medida que a poça de fusão se desloca. As causas para sua ocorrência são varias entre elas correntes de ar durante a soldagem, contaminantes na região a ser soldada, corrente ou tensão excessiva e etc.

Os poros em determinados casos não são prejudiciais, mas seu limite e sua gravidade serão especificados por norma ou pelo serviço que irá se submeter. Alguns tipos de porosidades são demonstrados na figura 2.18.

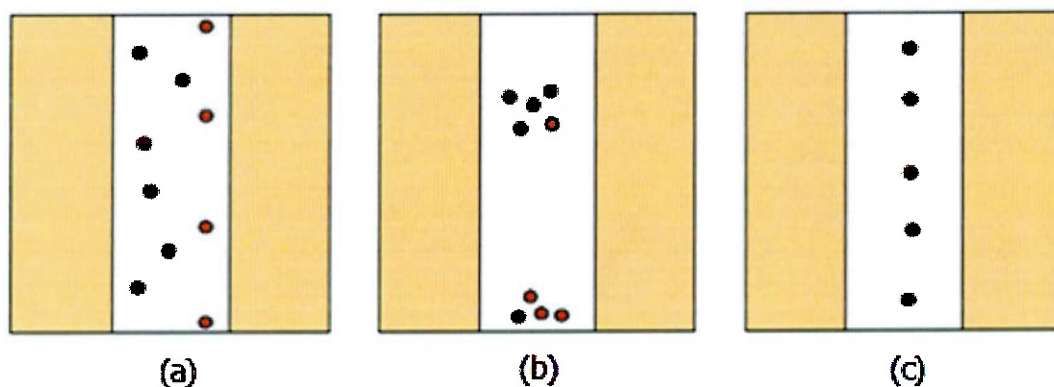


Figura 2.18 – Formas de porosidade: (a) Distribuída, (b) Agrupada, (c) Alinhada [9].

Para se minimizar a formação de poros, deve-se utilizar materiais bem limpos e secos, equipamentos em bom uso e utilizar os parâmetros de soldagem corretos.

2.3.2.2 INCLUSÕES DE ESCÓRIA.

São ocasionadas em processos de soldagem que utilizam fluxos que formam escória. A manipulação inadequada do eletrodo e limpeza deficiente entre passes levam a sua formação. As inclusões de escória podem estar afastadas, dispersas ou agrupadas, e em todos os níveis dos passes. A figura 2.19 demonstra a inclusão de escória entre passes.

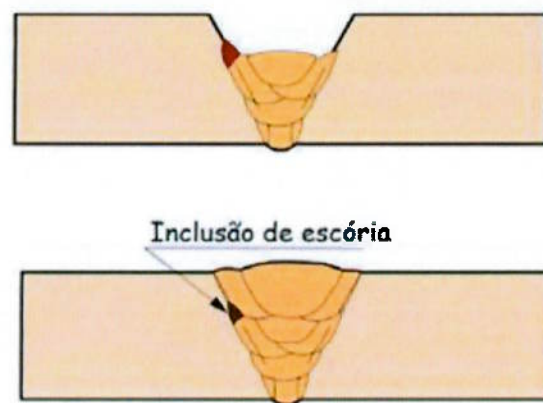


Figura 2.19 – Exemplo de inclusão de escória entre passes [9].

Para se minimizar a formação de poros deve-se remover corretamente a escória entre os passes e manipular o eletrodo de modo a não permitindo que a escória flua de maneira incorreta.

2.3.2.3 INCLUSÕES DE TUNGSTÊNIO.

Seu surgimento se deve a abertura incorreta do arco de soldagem, onde o eletrodo de tungstênio irá tocar o metal de base ou a poça de fusão ocorrendo a transferência de partículas de tungstênio para a solda. Um modo de se evitar é utilizar equipamentos que possuam o modo de abertura de arco por alta frequência.

2.3.2.4 TRINCAS.

As trincas são o tipo mais graves discontinuidades encontradas nas soldas, pois são fortes concentradores de tensões. São fendas, rupturas

localizadas no material. Sua ocorrência pode ser descrita como a incapacidade do material em atender as solicitações impostas a ele.

Elas são formadas durante a solidificação da solda, resfriamento ou mesmo após a solda, operações subsequentes ou ainda quando em serviço e sujeita às ações de forças externas.

Podem-se distinguir vários tipos de trincas com diversos formatos, como longitudinal, transversal, conforme a figura 2.20. As trincas podem estar na solda ou no material de base e podem ser externas ou internas.

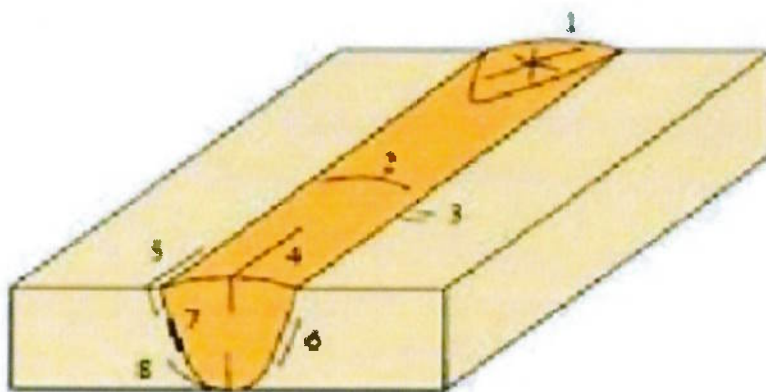


Figura 2.20 – Tipos de trincas de soldagem de acordo com sua localização: (1) Trinca na cratera, (2) Trinca transversal na ZF, (3) Trinca transversal na ZAC, (4) Trica longitudinal a ZF, (5) Trina na margem da solda, (6) Trinca sob o cordão, (7) Trinca na linha de fusão, (8) Trinca na raiz da solda [9].

2.3.2.5 MORDEDURAS.

Mordedura é a depressão sob a forma de entalhe, que se forma no metal de base acompanhando a margem da solda, pode ocorrer tanto na face da solda quanto na raiz. A figura 2.21 demonstra uma mordedura de face.

São formadas pela ação da fonte de calor do arco entre um passe de solda e o metal de base ou outro passe adjacente devido a manipulação

incorreta do eletrodo, velocidade ou corrente de soldagem elevadas e comprimento excessivo do arco.

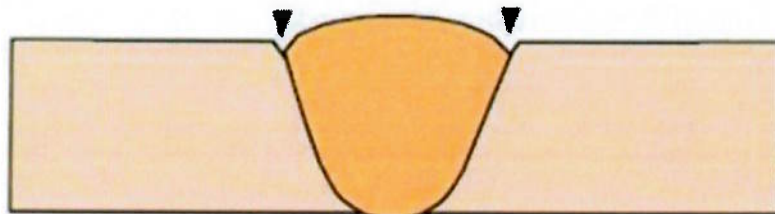


Figura 2.21 – Exemplo de mordedura de face [16].

2.3.2.6 FALTA DE FUSÃO.

A causa da ocorrência da falta de fusão se deve a fusão incompleta entre a zona fundida e o metal de base, ou entre passes da zona fundida, podendo estar localizada na zona de ligação, entre os passes ou na raiz da solda. A figura 2.22 mostra uma falta de fusão na zona de ligação entre metal de solda e metal de base.

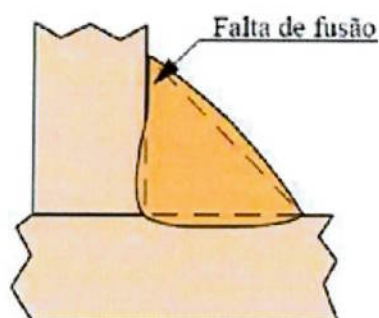


Figura 2.22 – Exemplo de Falta de fusão na zona de ligação [9].

A falta de fusão é um grande concentrador de tensões, podendo levar ao aparecimento e propagação de trincas. Em muitos dos casos e principalmente

nos de responsabilidade, a falta de fusão não é tolerada e a região defeituosa deve ser removida ou substituída.

2.3.2.7 FALTA DE PENETRAÇÃO.

A falta de penetração é ocorrida pela insuficiência de metal na raiz de solda, conforme demonstrado na figura 2.23.

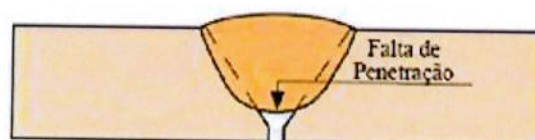


Figura 2.23 – Exemplo de falta de penetração na raiz [9].

As causas mais comuns deste tipo de defeito são: manipulação incorreta do eletrodo, junta mal preparada (ângulo de chanfro ou abertura de raiz pequeno), corrente de soldagem insuficiente, velocidade de soldagem muito alta e diâmetro de eletrodo muito grande. Para se evitar este tipo de problema devemos projetar melhor a junta e utilizar procedimentos de soldagem adequados ao tipo do chanfro.

3. OBJETIVO.

O objetivo deste trabalho é verificar a influência do uso do gás de purga e da limpeza da junta na formação e qualidade do cordão de solda na raiz, na composição química do metal de solda e na formação de descontinuidades nas juntas soldadas dos tubos de aço ASTM A106 Gr.B e dos tubos de aço ASTM A335 Gr.P11, soldados na posição plana girando (1G-girando), utilizando o processo de soldagem TIG (GTAW) com os respectivos metais de adição AWS A5.18 ER70S-3 e AWS A 5.28 ER80S-B2.

4. MATERIAIS E MÉTODOS.

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS.

Para a realização do referido estudo foram utilizados tubos fabricados de acordo com a norma ASTM B36.10. Os metais de base são:

- Quatro pares de tubos de aço ASTM A106 Grau B, com 7,11 mm de espessura (Sch. 40), diâmetro de 168,3 mm (6") e 200 mm de comprimento. São tubos fabricados sem costura e para altas temperaturas acalmadas com silício. Possui três graus: Grau A (0,25% C), Grau B (0,30% C) e Grau C (0,35% C);
- Quatro pares de tubos de aço ASTM A335 Grau P11, com 10,97 mm de espessura (Sch. 80), diâmetro de 168,3 mm (6") e 150 mm de comprimento. São tubos de aço liga ferrítico, fabricados sem costura e para altas temperaturas nos seguintes graus: P5, P9, P11, P22 e P91.

A composição química dos materiais utilizados esta apresentada na Tabela 4.1. Os certificados dos fabricantes dos metais de bases estão apresentados no anexo I.

Os metais de adição utilizados foram AWS A5.18 ER70S-3 com 3,2 mm de diâmetro para a soldagem dos tubos de ASTM A106 Gr.B e AWS A 5.28 ER80S-B2 com 3,2 mm de diâmetro para a soldagem dos tubos de aço ASTM A335 Gr.P11. Ambos foram protegidos com Argônio 99,9% no gás de tocha, com vazão de 12 l/min. Não houve qualquer variação no processo de soldagem ou nos materiais de adição utilizados nos passes de soldagem. A composição

química dos metais de adição utilizados é apresentada na Tabela 4.2. Os certificados dos fabricantes dos metais de adição são apresentados no anexo II.

Tabela 4.1 – Composição química dos metais de base.

Metal de base	Certificado do Fabricante		Especificação ASTM	
	A106 Gr.B	A335 Gr.P11	A106 Gr.B	A335 Gr.P11
%C	0,23	0,11	0,30 máx.	0,05 a 0,15
%Mn	0,66	0,42	0,29 a 1,06	0,30 a 0,60
%Si	0,19	0,57	0,10 min.	0,50 a 1,00
%P	0,015	0,015	0,035 máx.	0,025 máx.
%S	0,020	0,020	0,035 máx.	0,025 máx.
%Cr	0,01	1,06	0,40 máx.	1,00 a 1,50
%Ni	0,01	N/A	0,40 máx.	N/A
%Mo	-	0,45	0,15 máx.	0,44 a 0,65
%V	-	N/A	0,08 máx.	N/A

Tabela 4.2 – Composição química dos metais de adição.

Consumível	Certificado do Fabricante		Especificação AWS	
	ER70S-3	ER80S-B2	ER70S-3	ER80S-B2
Esp. AWS	A5.18	A5.28	A5.18	A5.28
%C	0,075	0,100	0,06 a 0,15	0,07 a 0,12
%Mn	1,100	0,480	0,90 a 1,40	0,40 a 0,70
%Si	0,580	0,440	0,45 a 0,75	0,40 a 0,70
%P	0,012	0,007	0,025 máx.	0,025 máx.
%S	0,010	0,010	0,035 máx.	0,025 máx.
%Cr	0,035	1,290	0,15 máx.	1,20 a 1,50
%Ni	0,032	0,040	0,15 máx.	0,20 máx.
%Mo	0,007	0,460	0,15 máx.	0,40 a 0,65
%V	0,004	-	0,03 máx.	-
%Cu	0,100	0,220	0,50 máx.	0,35 máx.

Realizou-se a purga com o gás argônio 99,9% e vazão de 17 l/min. O tempo de purga utilizado para obter-se um teor de oxigênio menor que 70 ppm, foi de aproximadamente 3 minutos para o metal de base ASTM A106 Gr.B e 2 minutos para o metal de base ASTM A335 Gr.P11. A diferença de tempo estava na diferença do volume dos tubos. O tubo do metal de base ASTM A106 Gr.B continha um volume de aproximadamente 9 litros, enquanto o metal de base ASTM A335 Gr.P11 continha um volume de aproximadamente 6,5 litros.

Utilizou-se o medidor de oxigênio, vulgo oxímetro, para verificar o teor de oxigênio na atmosfera antes do início da soldagem. O teor máximo de oxigênio estipulado para os materiais deste estudo foi de 70 ppm. A soldagem só era iniciada após se chegar ao teor de oxigênio estipulado.

4.2 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.

As juntas de topo deste trabalho foram preparadas no torno e de forma igual para todos os corpos de prova. O tipo de chanfro utilizado foi em "V", conforme figura 4.1 e com as seguintes dimensões:

- Ângulo do chanfro: 70°;
- Face da raiz: 2,0 mm;
- Abertura da raiz: 4,5 mm;
- Espessura do tubo: 7,11 mm (ASTM A106 Grau B) e
10,97 mm (ASTM A335 Grau P11).

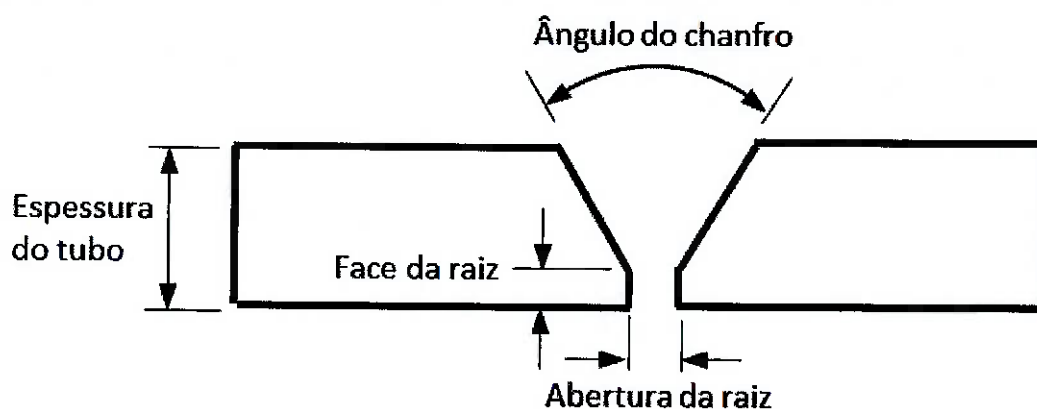


Figura 4.1 – Esquema de preparação das juntas dos corpos de prova.

Os corpos de prova soldados com o chanfro limpo foram preparados através de esmerilhamento e limpos até estar isento de qualquer contaminação, conforme demonstra figura 4.2 (a). Já os corpos de provas soldados com os chanfro oxidados foram deixados no tempo e soldados sem qualquer limpeza, conforme demonstrado na figura 4.2 (b).

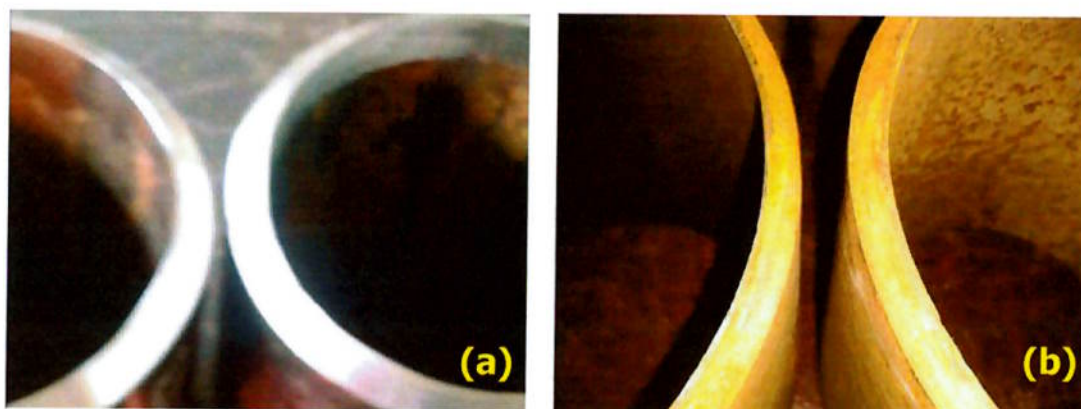


Figura 4.2 – Estado dos corpos de provas antes da soldagem. (a) Chanfro limpo e (b) Chanfro oxidado.

Para a soldagem dos corpos de prova soldados com o gás de purga utilizou-se o dispositivo “tampão”, conforme demonstra figura 4.3. Já os corpos de provas que não foram purgados não se utilizou dispositivo algum.

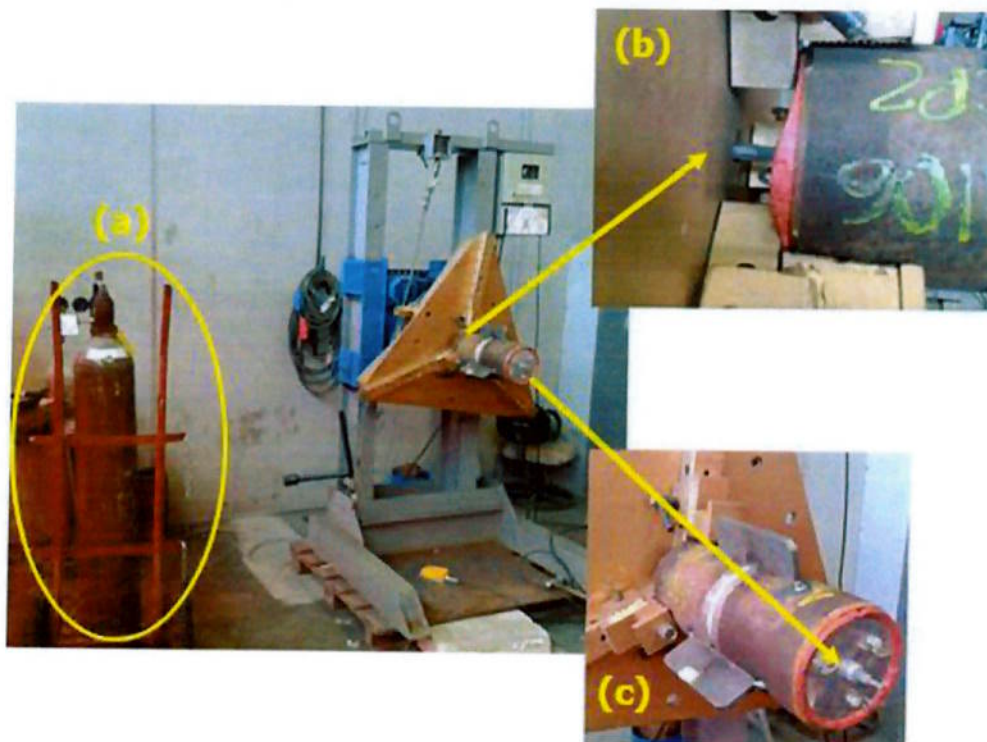


Figura 4.3 – Esquema de montagem para a realização da purga com o uso do “tampão”. (a) Cilindro com o gás argônio, (b) Entrada do gás argônio e (c) Sai do gás argônio e oxigênio.

4.3 PARAMENTROS DE SOLDAGEM.

Este estudo foi realizado variando-se os parâmetros do uso de gás de purga e limpeza do chanfro em cada teste e em cada material de base. Os tipos de testes realizados são demonstrado na tabela 4.3. Os valores dos parâmetros

utilizados na soldagem de cada teste são demonstrado na tabela 4.4. Os acompanhamentos de soldagem de cada teste são demonstrados no anexo III.

Tabela 4.3 – Ensaios realizados variando-se gás de purga e limpeza do chanfro.

Numero do teste	Material base	Gás de purga	Limpeza do chanfro
1	ASTM A106 Gr.B	Com	Com
2	ASTM A106 Gr.B	Com	Sem
3	ASTM A106 Gr.B	Sem	Com
4	ASTM A106 Gr.B	Sem	Sem
5	ASTM A335 Gr.P11	Com	Com
6	ASTM A335 Gr.P11	Com	Sem
7	ASTM A335 Gr.P11	Sem	Com
8	ASTM A335 Gr.P11	Sem	Sem

Tabela 4.4 – Valores dos parâmetros de soldagem utilizados em cada teste.

Numero do Teste	Corrente (A)	Tensão (V)	Energia de soldagem (J/mm)	Largura do passe
1	136 – 165	11 – 12	1400 – 2000	6 – 12
2	156 – 183	11 – 12	1400 – 2400	6 – 12
3	130 - 148	11 – 12	1300 – 2100	6 – 12
4	156 – 173	11 – 12	1600 – 2200	6 – 12
5	165 – 190	12 – 14	1500 – 2100	6 – 12
6	145 – 178	12 – 14	1400 -1900	6 – 12
7	140 – 175	12 – 14	1400 – 2100	6 – 12
8	158 – 184	12 – 13	1300 - 1800	6 – 12

4.4 EQUIPAMENTOS DE SOLDAGEM.

A execução da soldagem deste estudo foi realizada utilizando-se uma inversora da marca Lincoln Electric modelo V-270, com tocha seca da marca Oximig modelo HW26 e bocal nº5. O eletrodo de tungstênio utilizado foi o EWTh-2 ($\varnothing$ 2,4mm) da marca Carbografite.

O dispositivo de purga utilizado neste trabalho são tampões feitos de alumínio com espuma e silicone de temperatura, que vedam as extremidades dos tubos a serem soldados e possuem o mesmo diâmetro, conhecido por "tampão". As figuras 4.4 e 4.5 demonstra o dispositivo.

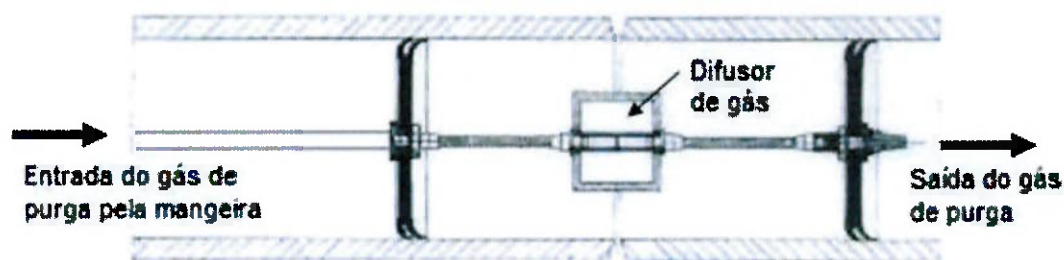


Figura 4.4 – Representação esquemática do tipos de dispositivos de purga.



Figura 4.5 – Fotos ilustrativas do dispositivo "tampão" utilizado nas soldagens.

4.5 EXECUÇÃO DOS ENSAIOS.

Em todos os oito corpos de prova realizados neste estudo, retirou-se amostras para realização dos ensaios de dobramento, micrografia e análise teor de oxigênio e nitrogênio na raiz . A figura 4.6 demonstra o local da retirada das amostras por cores.

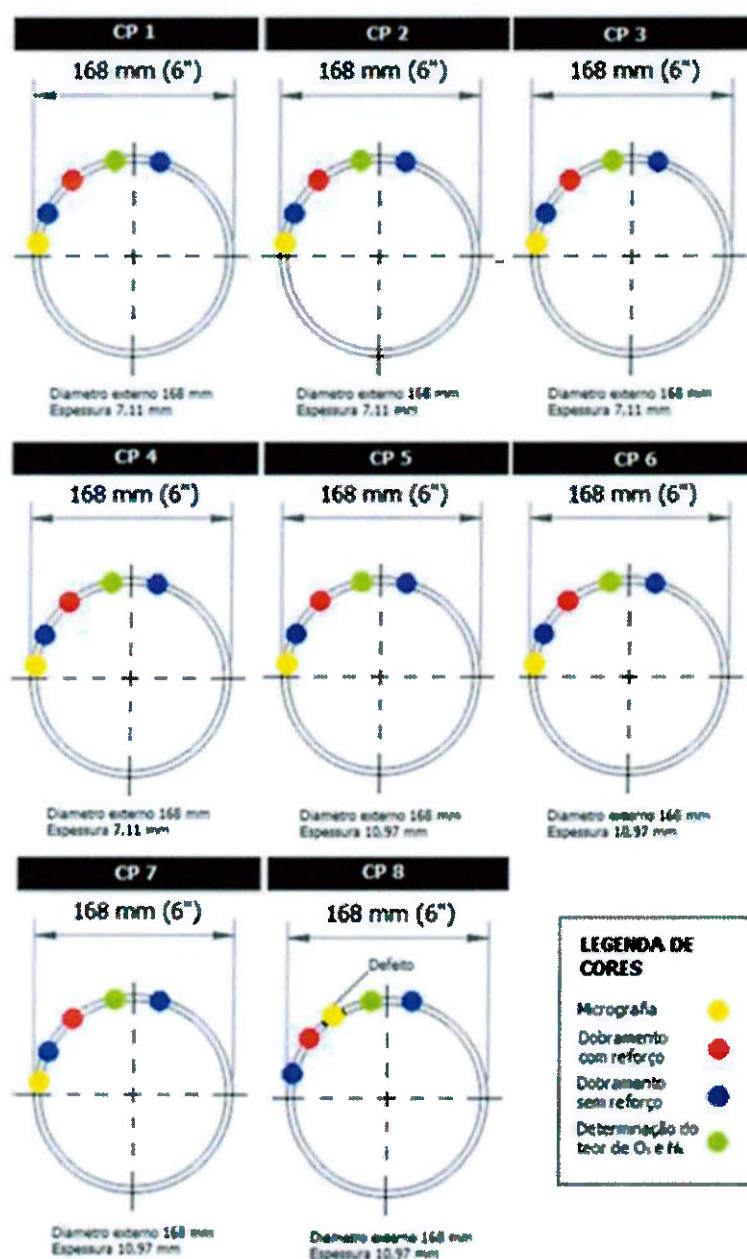


Figura 4.6 – Representação esquemática do local da retirada das amostras.

4.5.1 ENSAIO DE ULTRASSOM.

Para verificar-se a existência de descontinuidades nos cordões de solda dos corpos de provas, utilizou-se o ensaio de ultrassom convencional, através da técnica ultrassônica pulso eco, que envolve a determinação de descontinuidades presentes no material através dos ecos de reflexão provenientes das mesmas. Utilizou-se transdutores angular com a frequência variando de 5 MHz e com ângulo de 60°.

A norma utilizada como base na verificação do ensaio foi o ASME V, mas não lauda conforme ela, pois a norma não permite a utilização do ensaio de US em espessura menores que 13 mm em tubos.

4.5.2 ENSAIO DE DOBRAMENTO.

Realizou-se ensaio de dobramento somente de raiz. Foram dois ensaios de dobramento sem reforço e um ensaio de dobramento com o reforço para cada teste. Todas as amostras foram dobradas com ângulo de 180°. As dimensões das amostras estão demonstradas na figura 4.7. O local da retirada das amostras para os ensaios é determinado na figura 4.6.

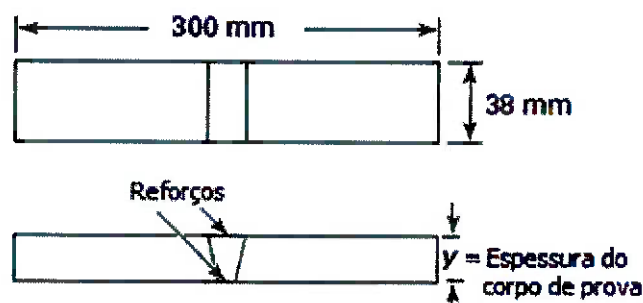


Figura 4.7 – Representação esquemática das dimensões das amostras do ensaio de dobramento de raiz.

4.5.3 ENSAIO METALOGRÁFICO.

Todas as amostras dos ensaios de caracterização metalográfica foram preparadas utilizando-se o lixamento (lixa 50, 160, 300, 600 e 1200 mesh) e polimento (pasta de diamante). Os locais da retirada das amostras para os ensaios são determinado na figura 4.6. Os ensaios realizados foram:

4.5.3.1 MACROGRAFIA.

Realizou-se o ensaio de macrografia com aumento de 10X nos oitos corpos de prova deste trabalho, a fim de observa-se o perfil dos cordões de solda da raiz e a detecção de possíveis descontinuidades no material, conforme ilustra a figura 4.8. O reagente utilizado no ataque destas amostras foi o Nital 10%.

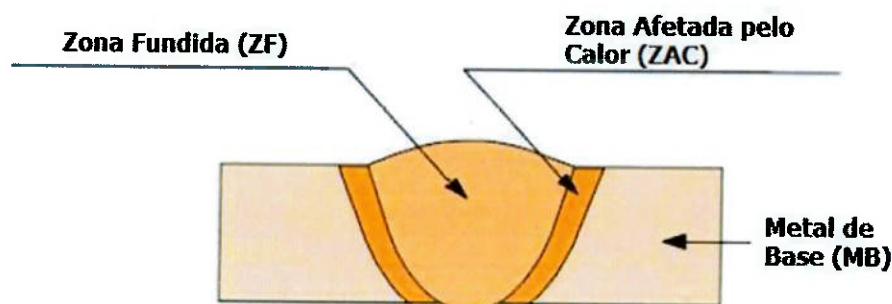


Figura 4.8 – Exemplo do perfil do ensaio de macrografia com 10x de aumento.

4.5.3.2 MICROGRAFIA.

No ensaio de micrografia a observou-se a microestrutura da raiz da solda, zona afetada pelo calor (ZAC) e o metal de base com o microscópio ótico utilizando-se aumentos de 50X e 200X. A figura 4.9. demonstra os locais onde

foram feitas as análises. O reagente utilizado nos ataques dos ensaios foi Nital 2%, a fim de revelar os contornos de grão.

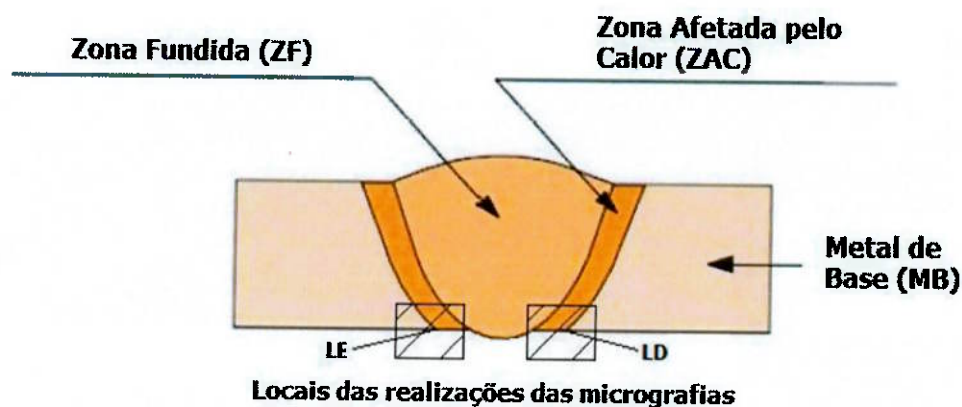


Figura 4.9 – Representação esquemática dos locais onde se realizou o ensaio de micrografia. LE – Lado esquerdo e LD – Lado direito.

4.5.4 ANÁLISE QUÍMICA DO TEOR DE OXIGÊNIO E NITROGÊNIO.

Executou-se a análise química via combustão dos elementos oxigênio e nitrogênio através do aparelho analisador da marca LECO (ver figura 4.11), com temperatura ambiente de 20°C e umidade relativa de ~56%, a fim de verificar-se o teor dos mesmos na soldas da raiz do testes realizados e dos metais de adição. A figura 4.10 demonstra o local onde foi retirada a amostra para o ensaio da raiz.

Nos metais de base também houve a determinação dos teores, mas com a inclusão da análise do teor de carbono. O local da retirada das amostras dos corpos de prova é determinado na figura 4.6.

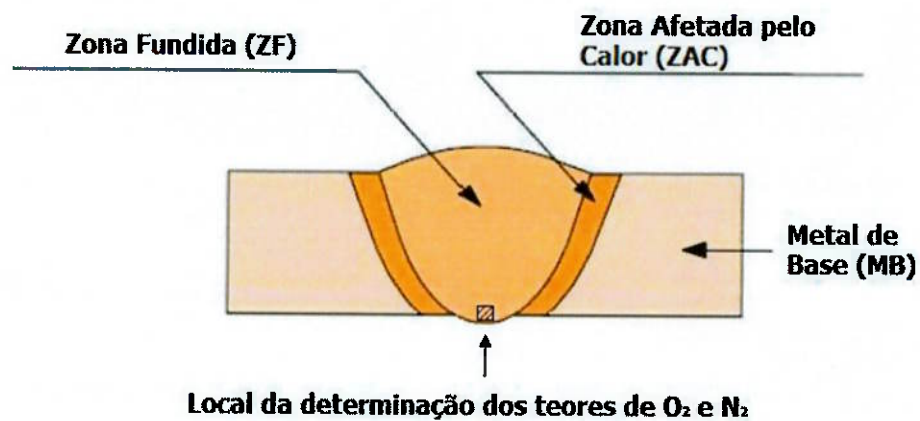


Figura 4.10 – Local da retirada do metal da raiz para medição dos teores de O_2 e N_2 .



Figura 4.11 – Equipamento de análise química via combustão da marca LECO usado neste trabalho.

4.5.5 ENSAIO DE LÍQUIDO PENETRANTE.

O ensaio de LP foi realizado em todos os corpos de provas soldados a fim de se detectar possíveis descontinuidades na solda. Para a realização do

ensaio utilizou-se líquido penetrante tipo VP30, removedor tipo E 59 e revelador tipo D 70. O ensaio foi realizado aplicando-se o líquido penetrante por 15 minutos na raiz solda, depois se utilizou o removedor para remover o líquido penetrante sobre o material e em seguida aplicou-se o revelador e esperou-se por 10 minutos, para verificar-se se apareceria indicação de possíveis descontinuidades. Utilizou-se a norma EN 1289 para aprovação do ensaio.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

5.1. ENSAIO DE ULTRASSOM.

Foi detectado pelo ensaio de ultrassom descontinuidade na raiz somente no CP 8 (sem purga e sem limpeza), com um comprimento de aproximadamente 130 mm. Pela norma utilizada no ensaio, o CP 8 estaria reprovado por apresentar falta de fusão na raiz.

5.2. ENSAIO DE LÍQUIDO PENETRANTE.

O ensaio de líquido penetrante detectou somente no CP 8 (sem purga e sem limpeza) indicação de descontinuidade na raiz, com um comprimentos de 6,0, 8,0 e 4,5 mm. Pela norma utilizada neste ensaio, o CP 8 estaria reprovado por apresentar falta de fusão (FF) na raiz. As figuras 5.1 e 5.2 demonstram a FF encontradas no ensaio de LP. Já as figuras 5.3 e 5.4 apresentam fotos do ensaio de LP sendo realizado em todos os CP deste estudo.



Figura 5.1 – Foto da FF de 6,0 mm encontrada no CP 8.



Figura 5.2 – Foto das FF de 8,0 e 4,5 mm encontradas no CP 8.



Figura 5.3 – Foto da aplicação do líquido penetrante nas amostras.



Figura 5.4 – Foto da aplicação do revelador nas amostras.

5.3. ENSAIO DE DOBRAMENTO

Somente as amostras de dobramento de raiz sem reforço do CP 8 (sem purga e sem limpeza) apresentaram descontinuidades. O critério de avaliação utilizado no ensaio de dobramento foi a norma ASME IX – 2011a, QW 163. A norma estipula que para aberturas maiores de 3,0 mm deve-se reprovar o ensaio.

O CP 8 apresentou no DR1 abertura de 5,7 mm na linha de fusão e no DR2 uma abertura de 0,6 mm e outra de 5,5 mm na linha de fusão, assim reprovando o ensaio de dobramento do CP 8. A figura 5.5 mostra as fotos dos ensaios de dobramento do CP 8.

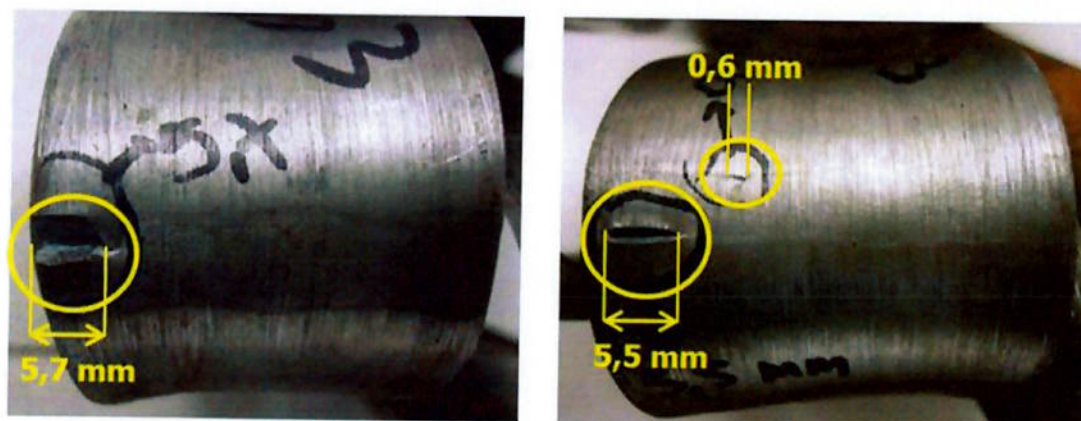


Figura 5.5 – Fotos das amostras de dobramento sem reforço do CP 8.

5.4. ENSAIO DE METALOGRAFICO.

5.3.1 MACROGRAFIA.

As macrografias de cada CP são demonstradas nas figuras a seguir:



Figura 5.6 – Macrografia das amostras do CP 1 (com purga e com limpeza).



Figura 5.7 – Macrografia das amostras do CP 2 (com purga e sem limpeza).

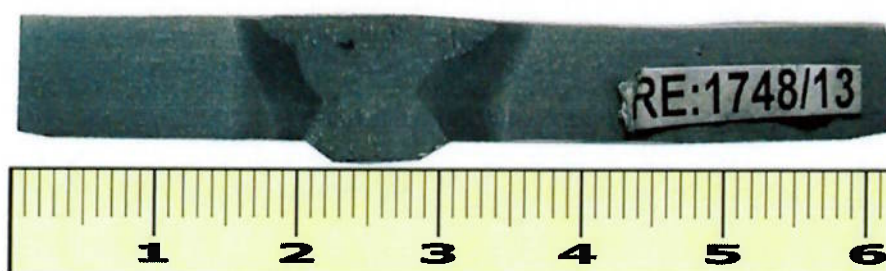


Figura 5.8 – Macrografia das amostras do CP 3 (sem purga e com limpeza).

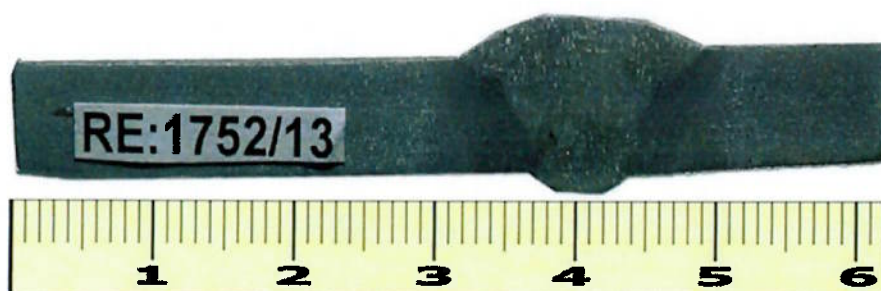


Figura 5.9 – Macrografia das amostras do CP 4 (sem purga e sem limpeza).



Figura 5.10 – Macrografia das amostras do CP 5 (com purga e com limpeza).

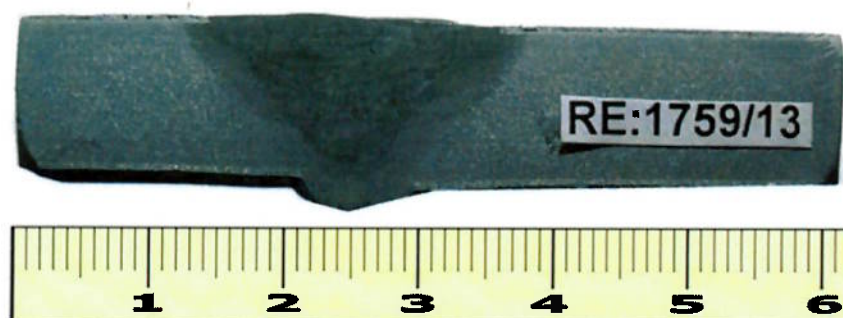


Figura 5.11 – Macrografia das amostras do CP 6 (com purga e sem limpeza).



Figura 5.12 – Macrografia das amostras do CP 7 (sem purga e com limpeza).



Figura 5.13 – Macrografia das amostras do CP 8 (sem purga e sem limpeza).

Analisando-se cada macrografia, percebe-se que apenas o CP 8 apresentou descontinuidade na raiz. A descontinuidade apresentada foi falta de fusão.

5.3.2 MICROGRAFIA.

Analisou-se em cada uma das micrografias os lados direito e esquerdo, conforme mencionado na figura 4.9, com os aumentos de 50X e 200x, afim de se obter o ângulo formado entre o MB, ZAC e MS. Nas figuras a seguir, serão demonstradas as micrografias escolhidas mais relevantes de cada CP:

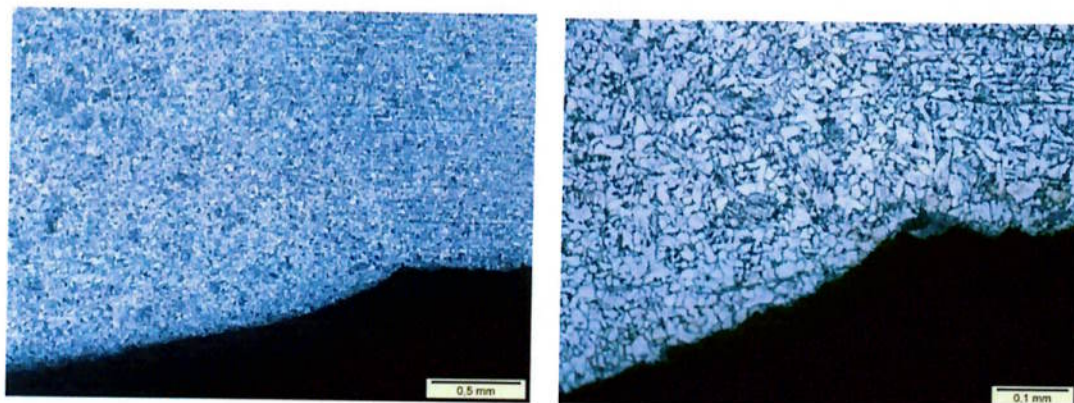


Figura 5.14 – Micrografia das amostras do CP 1 (com purga e com limpeza).

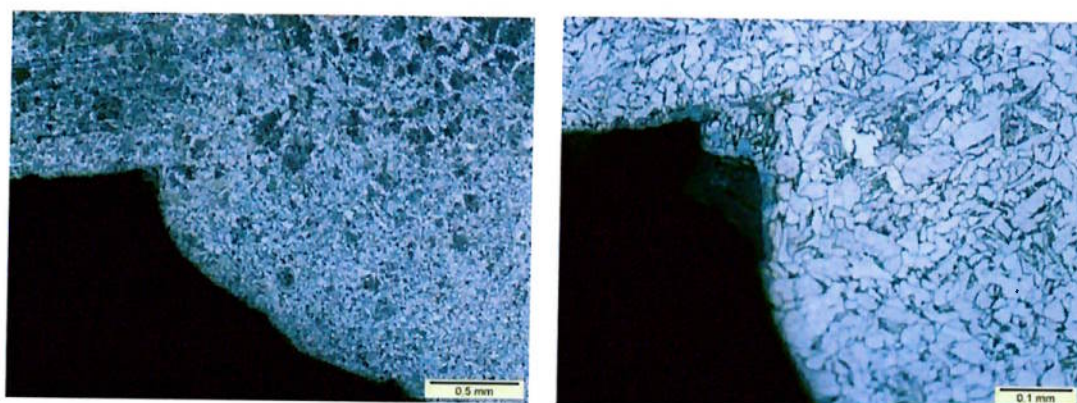


Figura 5.15 – Micrografia das amostras do CP 2 (com purga e sem limpeza).

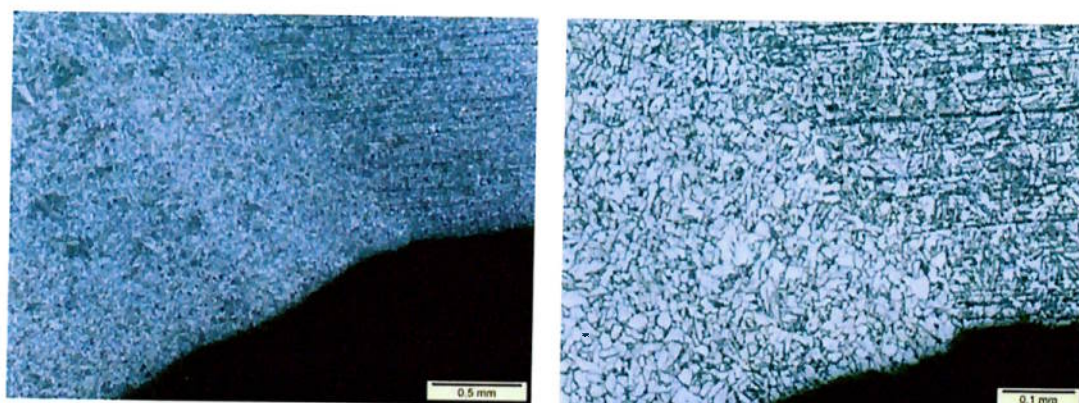


Figura 5.16 – Micrografia das amostras do CP 3 (sem purga e com limpeza).

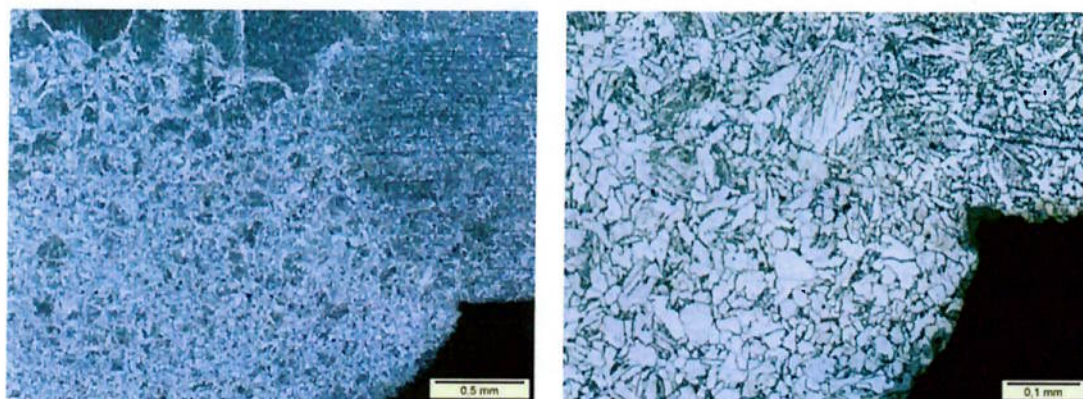


Figura 5.17 – Micrografia das amostras do CP 4 (sem purga e sem limpeza).

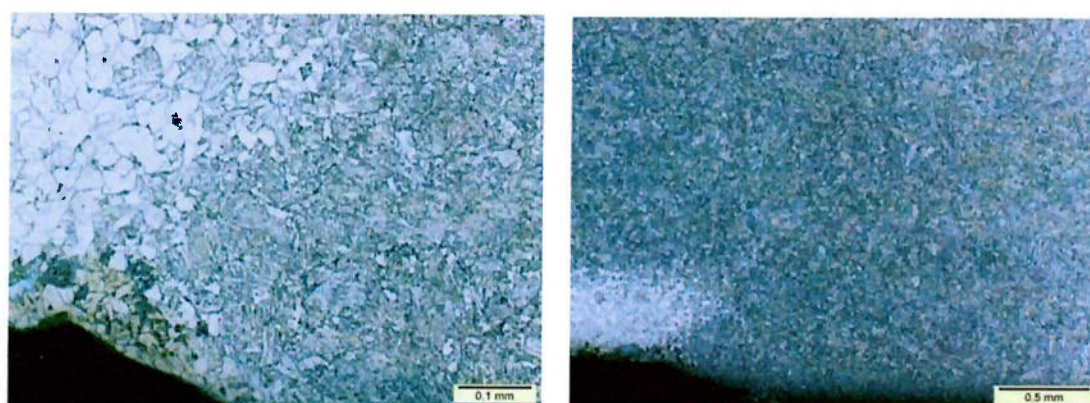


Figura 5.18 – Micrografia das amostras do CP 5 (com purga e com limpeza).

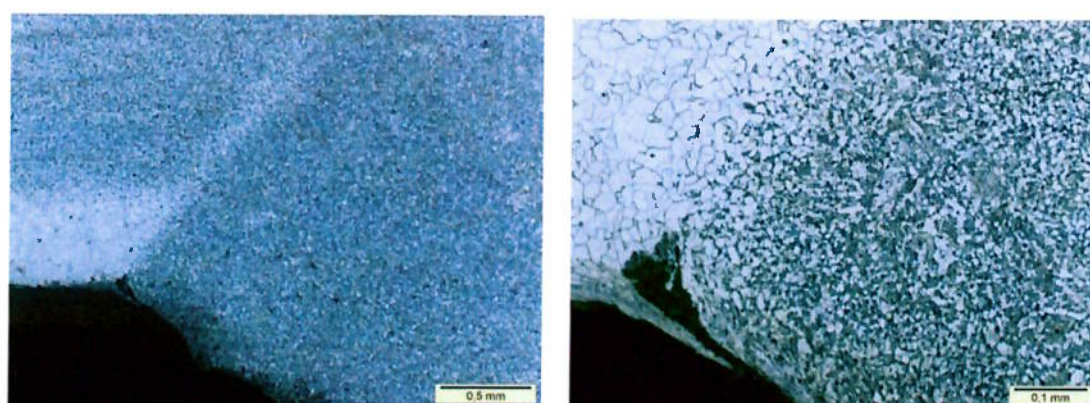


Figura 5.19 – Micrografia das amostras do CP 6 (com purga e sem limpeza).

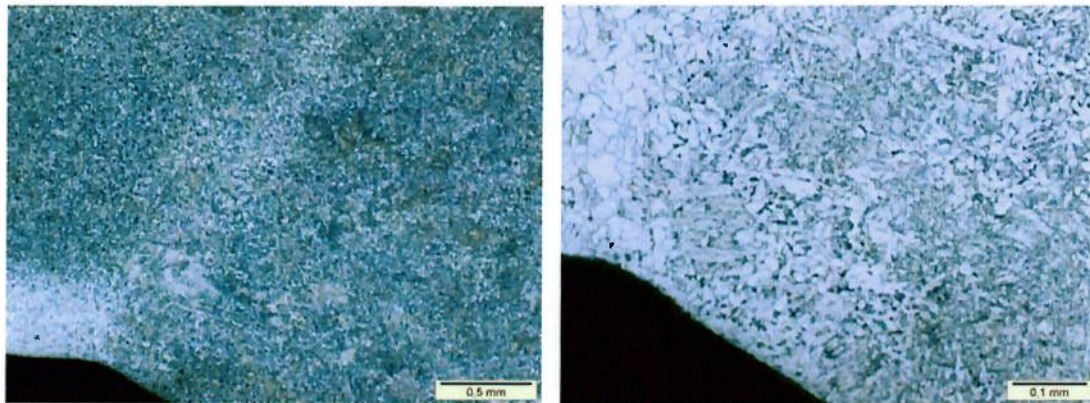


Figura 5.20 – Micrografia das amostras do CP 7 (sem purga e com limpeza).

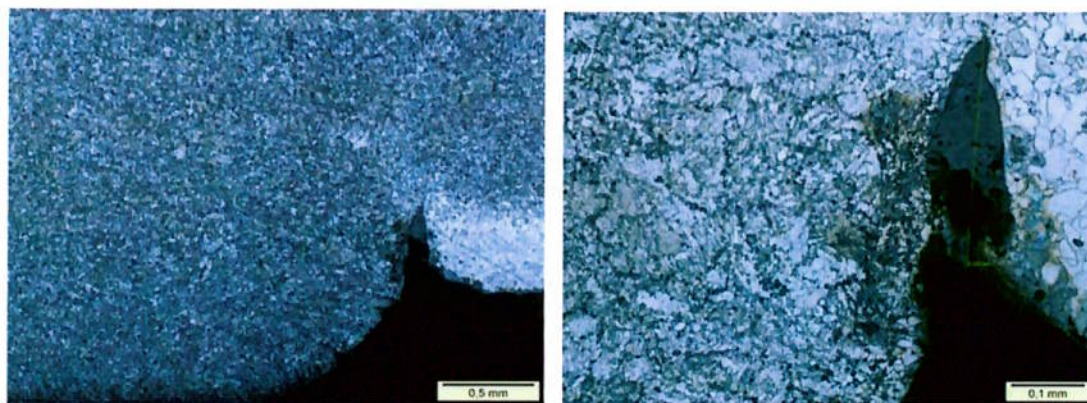


Figura 5.21 – Micrografia das amostras do CP 8 (sem purga e sem limpeza).

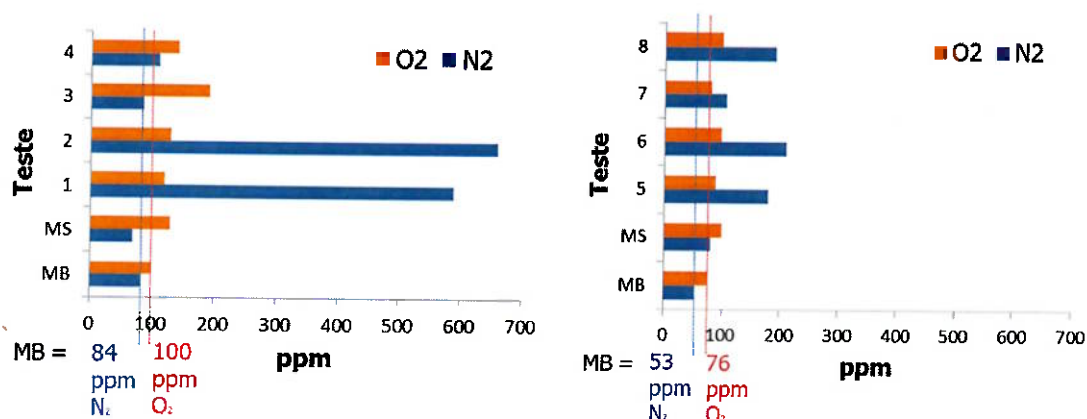
Observa-se pelas fotos das figuras acima apresentadas que o formato do cordão da raiz, quando soldados com a junta limpa, estes apresentam a característica de formação do cordão da raiz suaves e impedem a formação de descontinuidades na zona de ligação entre MS e MB.

5.4. ANÁLISE QUÍMICA DO TEOR DE OXIGÊNIO E NITROGÊNIO.

A tabela 5.1 e a figura 5.22 apresentam os resultados das análises químicas via combustão:

Tabela 5.1 – Resultado das análises químicas (LECO).

Teste	Gás de purga	Limpeza do chanfro	Elemento analisado	Resultado da amostra ppm
4	Sem	Sem	N ₂	110
			O ₂	140
3	Sem	Com	N ₂	85
			O ₂	190
2	Com	Sem	N ₂	660
			O ₂	130
1	Com	Com	N ₂	590
			O ₂	120
MS - ER70S-3	-	-	N ₂	70
			O ₂	130
MB - ASTM A106 Gr.B	-	-	C	1820
			N ₂	84
			O ₂	100
8	Sem	Sem	N ₂	190
			O ₂	100
7	Sem	Com	N ₂	107
			O ₂	81
6	Com	Sem	N ₂	210
			O ₂	98
5	Com	Com	N ₂	180
			O ₂	88
MS - ER80S-B2	-	-	N ₂	80
			O ₂	100
MB - ASTM A335 Gr.P11	-	-	C	1190
			N ₂	53
			O ₂	76

**Figura 5.22** – Gráfico comparativo dos resultados das análises químicas (LECO).

Verifica-se em ambos gráficos da figura 5.22 que quando se utiliza gás purga, o teor de nitrogênio aumenta, principalmente nos materiais ASTM A 106 Gr.B, onde o aumento é acima de sete vezes o teor do metal de base. Já o teor de oxigênio é aumentado quando não se realiza a limpeza da junta.

5.5. FORMATO E APARENCIA DO CORDÃO DA RAIZ.

As fotos do cordão da raiz de cada CP são demonstradas nas figuras a seguir:

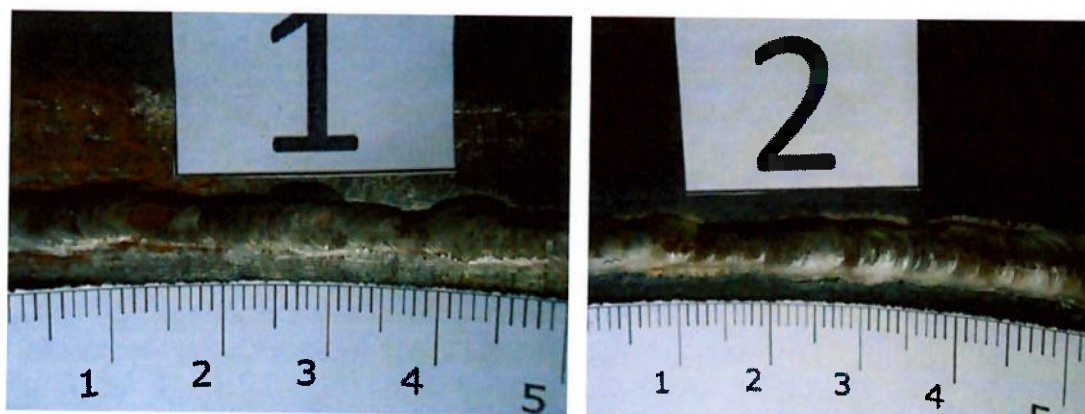


Figura 5.23 – Foto do cordão da raiz. A esquerda CP 1 (com purga e com limpeza) e a direita CP 2 (com purga e sem limpeza).

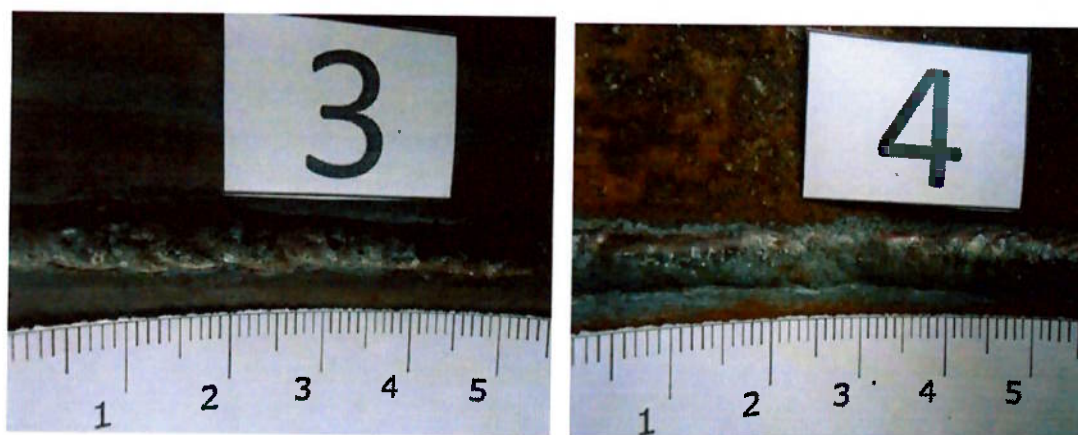


Figura 5.24 – Foto do cordão da raiz. A esquerda CP 3 (sem purga e com limpeza) e a direita CP 4 (sem purga e sem limpeza).

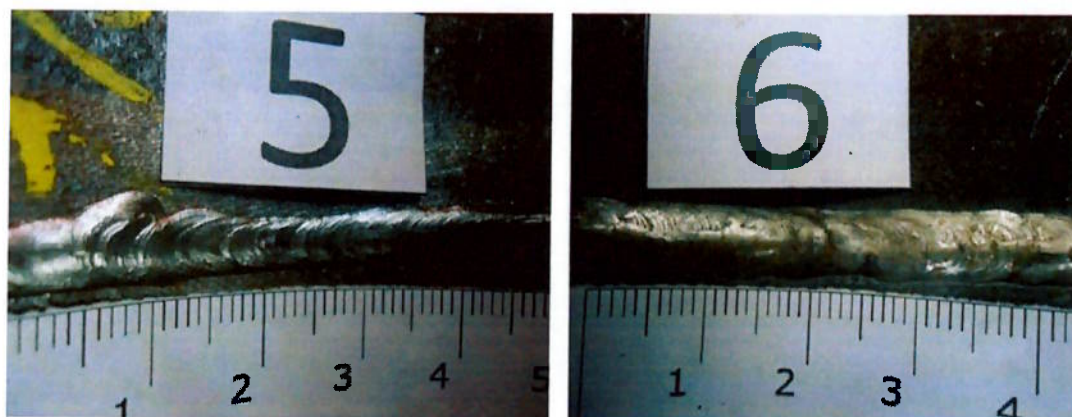


Figura 5.25 – Foto do cordão da raiz. A esquerda CP 5 (com purga e com limpeza) e a direita CP 6 (com purga e sem limpeza).

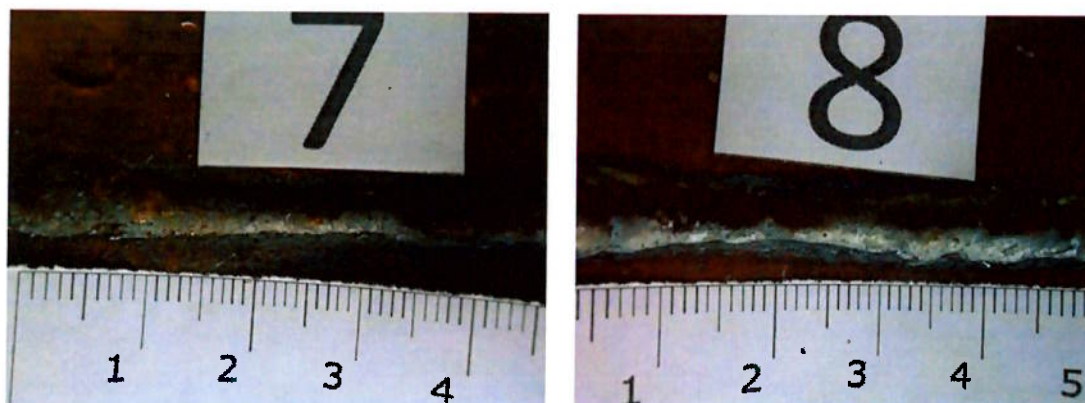


Figura 5.26 – Foto do cordão da raiz. A esquerda CP 7 (sem purga e com limpeza) e a direita CP 8 (sem purga e sem limpeza).

Verifica-se pelas fotos das figuras, que nas soldagens realizadas com o gás de purga, o cordão de solda apresenta um formato regular, sem variações na sua largura e que estes não apresentam formação de óxidos sobre o cordão, dando a eles uma aparência de limpeza.

6. CONCLUSÕES.

Com base nos resultados obtidos nos ensaios, conclui-se que:

- A ocorrência da falta de fusão no ensaio do CP 8 é devida à falta de limpeza no chanfro, pois esta dificulta a fusão completa entre a zona fundida e o metal de base;
- A falta de limpeza nas juntas a serem soldadas aumenta a probabilidade de formação de descontinuidades no cordão de solda e dificulta sua soldagem, pois a formação de óxidos sobre a poça de fusão que provocam efervescência e dificultam na realização da soldagem;
- Os cordões da raiz quando realizados em juntas limpas, tendem a ter uma tensão superficial menor, conseqüentemente o seu ângulo de contato entre o metal líquido e o metal base e a convexidade do cordão serão reduzidos e a característica do perfil do cordão será melhor;
- Os cordões da raiz que apresentam convexidade elevada favorecem a formação de descontinuidades na zona de ligação entre MS e MB;
- Os ensaios de análise química demonstram que quando utilizado gás purga na realização da raiz, o teor de nitrogênio aumenta, principalmente para os materiais ASTM A 106 grau B e quando não se realiza a limpeza da junta o teor de oxigênio aumenta;

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.

- Realizar uma análise química nos óxidos formados sobre os cordões de solda quando não purgados;
- Realizar um estudo detalhado da microestrutura formada em cada um dos ensaios realizados;
- Realizar um estudo da variação da microdureza na ZAC, MB e MS.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] PORTAL METALICA. (s.d.). Acesso em 18 de 10 de 2012, disponível em <http://metalica.com.br/tubulacao-industrial>.
- [2] CONFAB, T. (s.d.). PROCESSO UOE. Acesso em 12 de 12 de 12, disponível em: http://www.tenaris.com/TenarisConfab/pt/files/processo_UOE.pdf.
- [3] TUBES, V. & M (s.d.). VMTUBES. Acesso em 10 de 02 de 2013, disponível em V & M do BRASIL: <http://www.vmtubes.com.br>.
- [4] Tecnologia, F. (s.d.). FV Tecnologia. Acesso em 23 de 1 de 2013, disponível em FV Tecnologia em Produção Industrial & Negócios : <http://www.fvtecnologia.com.br>.
- [5] CSN, C. T. (15 de 10 de 2012). Laminados a quente.
- [6] AÇOS-LIGA. (s.d.). Acesso em 13 de 05 de 2012, disponível em CIMM - Centro de Informação Mecânica: www.cim.com.br/portal/listar_letra_mn.
- [7] Petrobras. (08 de 2012). N - 133 Soldagem revisão K. Procedimento de soldagem.
- [8] WAINER, E., BRANDI, S. D., & MELO, F. D. (1995). Soldagem: Processos e Metalurgia. São Paulo: Edgar Blücher.
- [9] Villani Marques, P., Modenesi, P. J., & Queiroz Bracarense, A. (2009). Soldagem: Fundamentos e Tecnologia (3ª ed.). UFMG.
- [10] AWS D1.1, (2010). Structural Welding Code Steel. Structural Welding Code Steel.

- [11] OXIGÊNIO, D. (s.d.). DBC OXIGENIO. Acesso em 13 de 01 de 04, disponível em DBC OXIGÊNIO: http://www.oxigenio.com/guia-do-processo-de-soldagem-tig-ou-gtaw/processo_TIG_o_que_e.htm.
- [12] ASME section IX (07/2011a Addenda) Qualifications Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators. The American Society of Mechanical Engineers.
- [13] AWS, A. W. (1991). Welding Handbook: Welding Processes, v. 2. 8th ed. Miami.
- [14] Lancaster, J. (s.d.). (1993) Metallurgy of Welding, Fifth Edition. CHAPMAN & HALL.
- [15] Energyarc. (s.d.). Energyarc industrial LTDA. Acesso em 21 de 02 de 2013, disponível em Energyarc : <http://energyarc.com.br/site/>
- [16] SOLDAGEM. Coleção Tecnologia SENAI, Brasil, São Paulo - SP, 1ª Edição, 1997.
- [17] ESAB. (2002). Pipelines Welding Handbook.
- [18] FLETCHER, M. (12/2006). Gas Purging Optimizes Root Welds. Welding Journal, 38-40.
- [19] MARQUEZE, C. M. (1995). Descontinuidades em soldas. Florianópolis.
- [20] Schenk, A. J. (29 de 12 de 2008). Intercon Enterprises Inc. . Acesso em 22 de 10 de 2012, disponível em INTERCON ONLINE: <http://www.intercononline.com/welding/ypurge.htm>.

- [23] SPECIFICATION For Low-Alloy Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding: A5.5-96. American Welding Society. Miami. 1996.
- [22] WELDING of Pipelines and Related Facilities: API Specification 1104. American Petroleum Institute. 20^o Ed. Washington. 82 p. 2005.
- [23] SMITH, W.; ROBERTS, J. High-Frequency Welding. Welding Brazing and Soldering. Metals Handbook, Vol 6, 10 Ed. American Society of Metals, 1998. p. 736 – 740.
- [24] TENARIS-CONFAB. (Pindamonhangaba, SP). Tubos para Condução: Linepipe: Catálogo. Pindamonhangaba: 2004.
- [25] SPECIFICATION For Carbon Steel Electrodes For Shielded Metal Arc Welding: A5.1-96. American Welding Society. Miami. 1996.

ANEXO I – Certificado dos consumíveis de soldagem



CERTIFICADO DA QUALIDADE WERKSZEUGNIS / WORKS CERTIFICATE

Certificado emitido por processamento de dados conforme EN 10.204-2.2

Certificado Werkzeugnis Certificate	00468718	Pedido No Auftrag Nr Order No.	Corrida Charge Heat No.	1212521
---	----------	--------------------------------------	-------------------------------	---------

Empresa Firma Firm	MONTCALM MONTAGENS INDUSTRIAIS S.A			
Material Werkstoff Material	EMLS 3,2-IMP			
	ASME 5.18/5.18M:2010 - A2011 ER 70S-3 AWS A5.18/5.18M:2005 ER 70S-3 DIN 8559 SG 1: SG 1			
	Fatura / NF Rechnungs - Nr Invoice No.			00074834
	Qtde			90,000

Análise Química %									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Cu
0,075	0,580	1,100	0,012	0,010	0,035	0,007	0,032	0,004	0,100
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ensaio Mecânico		
Limite Elástico Streckgrenze Yield Strength	Resistência à Tração Zugfestigkeit Tensile Strength	Alongamento Dehnung Elongation
400 MPA	480 MPA	22 %
Resistência ao Impacto Kerbschlagarbeit Impact	Dureza Härte Hardness	
27 J -20 °C		

São Paulo, 8 de janeiro de 2013

Inspecionado dezembro / 2012
RADIOGRAFIA: Atende aos requisitos da norma
IMPACTO: MAIOR QUE 27 J -46° GRAUS CELSIUS

Impresso por computador, válido sem assinatura

CQ-063 / REV.04-09/2007

Böhler Técnica de Soldagem Ltda.

Consultoria Técnica: 0800-119002

Site: www.btwbr.com.br

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

Endereço: Rua São Paulo, 100
Tel.: + 55 (11) 5094-6307 Fax: (11) 5094-6447
E-mail: info@btwbr.com.br
Site: www.btwbr.com.br

Endereço: Rua São Paulo, 100
Tel.: + 55 (11) 5094-6307 Fax: (11) 5094-6447
E-mail: info@btwbr.com.br
Site: www.btwbr.com.br

Endereço: Rua São Paulo, 100
Tel.: + 55 (11) 5094-6307 Fax: (11) 5094-6447
E-mail: info@btwbr.com.br
Site: www.btwbr.com.br



FULFILLING HIGH DEMANDS





CERTIFICADO DA QUALIDADE **WERKSZEUGNIS / WORKS CERTIFICATE**

Certificado emitido por processamento de dados conforme EN 10.204-2.2

Certificado Werkszeugnis Certificate	336.277	Pedido No Auftrag Nr Order No.		Corrida Charge Heat No.	247.788
--	---------	--------------------------------------	--	-------------------------------	---------

Empresa Firma Firm	MONTCALM MONTAGENS INDUSTRIAIS S/A.				
Material Werkstoff Material	BOEHLER	DCMS IG-B	3,2	Fatura Rechnungs - Nr Invoice No.	28.311
	AWG	A5.28/5.28M:05	ER 80S-B2		
	ASME	5.28/5.28M:07	ER 80S-B2	A:2008	1080,000

ANÁLISE QUÍMICA %

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	Cu							
0,100	0,440	0,480	1,290	0,040	0,460	0,007	0,010	0,220	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ENSAIOS MECÂNICOS

Limite Elástico Streckgrenze Yield Strength	Resistência à Tração Zugfestigkeit Tensile Strength	Alongamento Dehnung Elongation
470 MPa	550 MPa	19 %
Resistência ao Impacto Kerbschlagarbeit Impact	Dureza Härte Hardness	

Sao Paulo, 22 de DEZEMBRO de 2.010

Inspecionado em...: AGOSTO /2.010

Outros elementos: O total nao excede 0,50 por cento.

RADIOGRAFIA: O produto atende aos requisitos da norma.

Impresso por computador. Valido sem assinatura

CQ-063/REV.04-09/2007

00023 00000

Böhler Técnica de Soldagem Ltda.

Consulta Técnica: 0800-119002

Site: www.btwbr.com.br

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

ANEXO II – Certificado dos metais de base
CERTIFICADO DE QUALIDADE
QUALITY CERTIFICATE
Nº 44868
DATA 24/10/2008
DATE

Estrada Samuel Alzemberg, 1060 - Cep 09861-550 - B. Alves Dias - SBC - SP Phone +55 11 4393-8100 - Fax +55 11 4393-8101 - www.inoxforte.com.br

CLIENTE / CUSTOMER	COD / CODE	PF Nº / ORDER	NOTA FISCAL / INVOICE
MONTCAIM MONTAGENS INDUSTRIAIS S/A	5425	112455	48626

MATERIAL / PRODUCT

Item	Descrição / Description	Quantidade / Quantity	Acabamento	Norma / Specification
1	TUBO AÇO CARBONO COM COSTURA CONFORME ASTM A 530/A GR B PRETO OPONTAS LUSAS E COMP. DE 8 MTS 4" SCH 40	192.000 KG		A53GRB/99B
2	TUBO AÇO CARBONO SEM COSTURA CONFORME ASTM A 106/A GR B PRETO OPONTAS LUSAS E COMP. DE 4 A 13 MTS 8" SCH 40	12.900 MT		A106/2004

COMPOSIÇÃO QUÍMICA / CHEMICAL COMPOSITION

Item	Corrida / Lots / Heat / Batch	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Ti	CE	Al	Nb
1	80858442-6	0,150	0,700	1,800	0,015	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	26,700	0,044	0,000
2	11337	0,23	0,66	0,19	0,015	0,020	0,01	0,01				0,01		

ENSAIOS / TESTS

Item	Lim. Resistência Tensão Strength (MPa)	Lim. Escoamento Yield Strength (MPa)	Alongamento Elongation (%)	Dureza Hardness	Estrição Reduction of Area (%)	Tam. Grão Grain Size	Trat. Térmico Heat Treatment	Hidrostático Hydrostatic	Conforme Tabela Abaixo
1	482	396	35,8				550°C	1833PSI	EC
2								613	P/EC

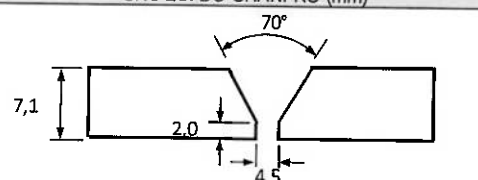
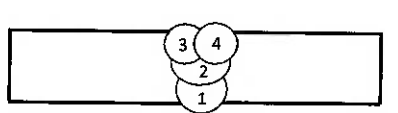
OBSERVAÇÕES

1	
2	

ENSAIOS
 P - Pneumático / Pneumatic
 E C - Eddy Currents

 A - Achatamento / Flattening
 AR - Achatamento Reverso / Reverse Flattening
 F - Flangeamento / Flanging
 D - Dobramento / Bending
 E - Expansão / Flaring
 O - Oxalico / Oxalic

ANEXO III – Acompanhamento de soldagem

RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM												DATA: 28/01			
QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM												FOLHA: 01/01			
LOCAL:			São Paulo - SP						CP1: Com purga / Com Limpeza						
SOLDADOR/OPERADOR DE SOLDAGEM:			Cloves Antonio Agustavo						CP2: Com purga / Sem Limpeza						
PROCESSO DE SOLDAGEM:			GTAW (TIG)						CP3: Sem purga / Com Limpeza						
ESPECIFICAÇÃO DO METAL DE BASE:			AÇO CARBONO - ASTM A106 Gr. B - Sch 40 - Esp. 7,11 mm						CP4: Sem purga / Sem Limpeza						
CROQUI DO CHANFRO (mm)												CROQUI DA SEQUÊNCIA DE PASSES			
															
POSIÇÃO SOLD.: PLANA - 1G (GIRANDO)												PROG.: N/A			
Nº DO CP	Nº DO PASSE	Nº DA CAMADA	ELETRODO			LARG. PASSE	TIPO CORR/ POLARID.	COR- RENTE (A)	TENSÃO (V)	COMPR SOLDADO (cm)	TEMPO (min)	VELOC. (cm/min)	ENERG. DE SOLD. (KJ/cm)	TEMP DE PRÉ- AQUEC. (°C)	OBSER- VAÇÃO
			CLAS. AWS	NOME COML	DIÂM. (mm)										
1	1	1	ER70S-3	EML 5	3,2	7	CC-	136	12	53	8,17	6,5	15	25	Raiz
	2	2	ER70S-3	EML 5	3,2	11	CC-	165	11	53	9,75	5,4	20	85	Enchimento
	3	3	ER70S-3	EML 5	3,2	10	CC-	145	11	53	7,92	6,7	14	110	Acabamento
	4	3	ER70S-3	EML 5	3,2	10	CC-	154	11	53	7,20	7,4	14	134	Acabamento
2	1	1	ER70S-3	EML 5	3,2	6	CC-	175	11	53	7,50	7,1	16	27	Raiz
	2	2	ER70S-3	EML 5	3,2	11	CC-	183	12	53	9,62	5,5	24	88	Enchimento
	3	3	ER70S-3	EML 5	3,2	10	CC-	156	11	53	7,75	6,8	15	121	Acabamento
	4	3	ER70S-3	EML 5	3,2	9	CC-	158	11	53	7,33	7,2	14	135	Acabamento
3	1	1	ER70S-3	EML 5	3,2	7	CC-	130	12	53	7,57	7,0	13	26	Raiz
	2	2	ER70S-3	EML 5	3,2	10	CC-	148	12	53	10,33	5,1	21	95	Enchimento
	3	3	ER70S-3	EML 5	3,2	9	CC-	132	11	53	7,77	6,8	13	135	Acabamento
	4	3	ER70S-3	EML 5	3,2	10	CC-	138	12	53	6,07	8,7	11	149	Acabamento
4	1	1	ER70S-3	EML 5	3,2	7	CC-	156	11	53	8,32	6,4	16	26	Raiz
	2	2	ER70S-3	EML 5	3,2	11	CC-	168	11	53	10,67	5,0	22	86	Enchimento
	3	3	ER70S-3	EML 5	3,2	10	CC-	160	12	53	8,68	6,1	19	105	Acabamento
	4	3	ER70S-3	EML 5	3,2	10	CC-	176	11	53	7,42	7,1	16	115	Acabamento
OBSERVAÇÕES:															
GÁS TOCHA:		99,9 % Argônio		TIPO GÁS UTILIZADO:		Inerte		VAZÃO:		12 l/min		COBRE JUNTA:		NA	
GÁS DE PURGA:		99,9 % Argônio		TIPO GÁS UTILIZADO:		Inerte		VAZÃO:		17 l/min		BOCAL DA TOCHA:		8,0mm (n° 5)	
CORRIDA/CERTIFICADO METAL BASE: 11337/44888 - InoxForte Aços LTDA.															
CORRIDA/CERTIFICADO CONSUMÍVEL: 1212521/00468718 - BOHLER WELDING GROUP															
LIMPEZA INICIAL: Escova / Esmerilhadeira															
LIMPEZA INTERPASSOS: Escova / Esmerilhadeira															
INSTRUMENTOS UTILIZADOS:															
Alicate Amperímetro Digital; Fluxômetro Bibimetro; Termômetro Digital Tipo K; Paquímetro; Calibre de Solda; Cronômetro.															

RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM												DATA: 30/01			
QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM												FOLHA: 01/01			
LOCAL: SOLDADOR/OPERADOR DE SOLDAGEM: PROCESSO DE SOLDAGEM: ESPECIFICAÇÃO DO METAL DE BASE:				São Paulo - SP Oloves Antonio Agustavo GTAW (TIG) AÇO CARBONO - ASTM A335 Gr. 11 - Sch 80 - Esp. 10,97 mm						CP8: Com purga / Com Limpeza CP7: Com purga / Sem Limpeza CP5: Sem purga / Com Limpeza CP6: Sem purga / Sem Limpeza					
CROQUI DO CHANFRO (mm)												CROQUI DA SEQUÊNCIA DE PASSES			
POSIÇÃO SOLD: PLANA - 1G (GIRANDO)												PROG: N/A			
Nº DO CP	Nº DO PASSE	Nº DA CAMADA	ELETRODO			LARG. PASSE	TIPO CORR./ POLARID	CORRENTE (A)	TENSÃO (V)	COMPR. SOLDADO (cm)	TEMPO (min)	VELOC. (cm/min)	ENERG. DE SOLD. (KJ/cm)	TEMP. DE PRÉ-AQUEC. (°C)	OBSERVAÇÃO
5	1	1	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	7	CC-	165	12	53	7,17	7,4	16	121	Raiz
	2	2	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	10	CC-	180	13	53	6,25	8,5	17	141	Enchimento
	3	3	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	11	CC-	186	13	53	7,83	6,8	21	148	Enchimento
	4	4	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	11	CC-	189	13	53	5,42	9,8	15	165	Enchimento
	5	4	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	12	CC-	190	14	53	6,77	7,8	20	159	Enchimento
	6	5	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	11	CC-	175	13	53	7,33	7,2	19	170	Acabamento
	7	5	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	12	CC-	187	13	53	7,07	7,5	19	172	Acabamento
6	1	1	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	7	CC-	145	12	53	7,33	7,2	14	120	Raiz
	2	2	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	10	CC-	178	13	53	5,37	9,9	14	138	Enchimento
	3	3	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	12	CC-	178	14	53	6,83	7,8	19	148	Enchimento
	4	4	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	12	CC-	167	13	53	6,17	8,6	15	158	Enchimento
	5	4	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	10	CC-	169	13	53	5,83	9,1	15	162	Enchimento
	6	5	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	12	CC-	165	13	53	7,08	7,5	17	163	Acabamento
	7	5	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	12	CC-	160	13	53	6,18	8,6	15	170	Acabamento
7	1	1	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	6	CC-	158	12	53	7,50	7,1	16	130	Raiz
	2	2	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	13	CC-	165	13	53	7,02	7,6	17	150	Enchimento
	3	3	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	12	CC-	176	13	53	5,40	9,8	14	156	Enchimento
	4	4	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	11	CC-	178	13	53	8,08	6,6	21	159	Enchimento
	5	4	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	10	CC-	184	13	53	7,08	7,5	19	153	Enchimento
	6	5	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	11	CC-	180	13	53	6,50	8,2	17	169	Acabamento
	7	5	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	11	CC-	180	14	53	7,25	7,3	21	180	Acabamento
8	1	1	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	6	CC-	140	12	53	7,15	7,4	14	126	Raiz
	2	2	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	11	CC-	162	13	53	6,50	8,2	15	145	Enchimento
	3	3	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	10	CC-	173	13	53	5,75	9,2	15	149	Enchimento
	4	4	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	11	CC-	169	13	53	6,58	8,1	16	159	Enchimento
	5	4	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	12	CC-	170	13	53	5,12	10,4	13	153	Enchimento
	6	5	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	12	CC-	175	13	53	6,50	8,2	17	168	Acabamento
	7	5	ER80S-B2	DCMS IG-B	3,2	12	CC-	175	13	53	7,17	7,4	18	173	Acabamento
OBSERVAÇÕES:															
GÁS TOCHA:		99,9 % Argônio		TIPO GÁS UTILIZADO:		Inerte		VAZÃO:		12 l/min		COBRE JUNTA:		NA	
GÁS DE PURGA:		99,9 % Argônio		TIPO GÁS UTILIZADO:		Inerte		VAZÃO:		17 l/min		BOCAL DA TOCHA:		8,0mm (n° 5)	
												ELETRODO DE TUNG.: EWTh-2 (Ø 2,4mm)			
CORRIDA / CERTIFICADO METAL BASE 32230/0050414122 - V&M do BRASIL S.A.															
CORRIDA / CERTIFICADO CONSUMÍVEL: 247788/336277 - BQH-LER WELDING GROUP.															
LIMPEZA INICIAL: Escova / Esmerilhadeira															
LIMPEZA INTERPASSOS: Escova / Esmerilhadeira															
INSTRUMENTOS UTILIZADOS:															
Alicate A, niperímetro Digital, Fluxômetro Bibimetro, Termômetro Digital Tipo K, Paquímetro, Calibre de Solda, Cronômetro.															