

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

THIAGO LINO BORGES

ESTUDO DO USO DE ATMOSFERA DE PROTEÇÃO INTERNA EM TUBOS DE  
AÇO INOXIDÁVEL AISI 304L NO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG

JARAGUÁ DO SUL  
JUNHO DE 2019

THIAGO LINO BORGES

ESTUDO DO USO DE ATMOSFERA DE PROTEÇÃO INTERNA EM TUBOS DE  
AÇO INOXIDÁVEL AISI 304L NO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Campus Jaraguá do Sul – Rau, do Instituto Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Almir Turazi, Dr. Eng.

JARAGUÁ DO SUL  
JUNHO DE 2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
por meio do programa de geração automática do câmpus Rau, do IFSC

Borges, Thiago Lino

**Estudo do uso de atmosfera de proteção interna em tubos de  
Aço inoxidável AISI 304L no processo de soldagem  
TIG / Thiago Lino Borges; orientação de Almir  
Turazi. Jaraguá do Sul, SC, 2019.**

57 p.

**Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul -  
Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica.**

Inclui Referências.


**1. Soldagem TIG. 2. Aço AISI 304L.  
3. Metal de adição. 4. Gás de purga. I. Turazi, Almir. II.  
Instituto Federal de Santa Catarina. .III. Título.**

THIAGO LINO BORGES

ESTUDO DO USO DE ATMOSFERA DE PROTEÇÃO INTERNA EM TUBOS DE  
AÇO INOXIDÁVEL AISI 304L NO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em  
Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de  
Santa Catarina e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo  
indicada.

Jaraguá do Sul, 18 de junho de 2019.



Prof. Almir Turazi, Dr. Eng.  
Orientador  
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Jean Senise Pimenta, Dr. Eng.  
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Vanderlei Junkes, Me.  
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

A todos que acreditam e contribuem para meu desenvolvimento pessoal e profissional, principalmente meus pais, meu irmão e minha esposa.

## **AGRADECIMENTOS**

Essa fase da minha vida é muito especial e não posso deixar de agradecer a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente agradeço a Deus, por sempre me dar forças para superar as dificuldades do cotidiano.

Aos meus pais, pela formação do meu caráter e afetividade da educação, não medindo esforços para que eu chegasse até essa etapa da minha vida.

Sou grato ao meu irmão por todo o incentivo e apoio nas horas em que eu mais precisei.

A minha esposa, que sempre está ao meu lado, sendo minha maior apoiadora e incentivadora na conquista de novos objetivos.

Aos professores que contribuíram com um esforço incansável, compartilhando seus conhecimentos e confiança, durante minha jornada universitária.

Ao meu orientador, Dr. Almir Turazi, por toda a ajuda, dedicação, paciência e confiança depositada em mim. Muito obrigado a todos.

“O homem que não cultiva o hábito de pensar desperdiça  
um dos maiores prazeres da vida e não consegue  
aproveitar o máximo de si.”  
(Thomas Edison)

## RESUMO

O uso de tubulações produzidas a partir de tubos de aço inoxidável tornou-se requisito de qualidade na maioria das indústrias, principalmente naquelas que realizam o processamento de alimentos. No entanto, é comum observar problemas de corrosão, trincas e contaminação de produtos devido a soldagem inadequada dessas tubulações. A utilização de uma atmosfera de proteção no interior dos tubos (gás de purga) durante a soldagem é um recurso utilizado para garantir a qualidade da raiz da solda na junta produzida. Essa técnica, no entanto, não tem uma parametrização específica e gera um consumo de gás extra aumentando o custo do processo. O presente trabalho aborda a adequação da utilização do gás de purga e da adição de metal durante a união de tubos de aço inoxidável AISI 304L através do processo de soldagem TIG (Tungsten Inert Gas). Para tal, foram soldados manualmente, de modo autógeno e com adição de metal, corpos de prova com e sem a utilização de gás de purga nas juntas internas dos tubos. O metal de adição utilizado na soldagem dos tubos de teste foi o AWS ER 308L, que apresenta baixo teor de carbono, produzindo cordões de soldas suaves e sem respingos. O gás responsável por fazer a alteração da atmosfera interna das juntas soldadas foi o argônio devido sua ação anticorrosiva, sendo injetado com dois valores de vazão pré-estabelecidos (5 l/min e 10 l/min). Após a soldagem dos corpos de prova, foi realizada análise visual da superfície interna dos tubos, metalografia para avaliação do perfil do cordão de solda, além de ensaios de microdureza e de tração visando avaliar os efeitos causados pela alteração da atmosfera interna e da adição de metal na resistência mecânica das juntas soldadas. Com a análise dos resultados verificou-se que a utilização do gás de purga contribui para a formação de uma superfície mais limpa na raiz da junta soldada, o que acaba com o problema de acúmulo de resíduos de produtos e a formação de biofilmes nesse local. O aumento da vazão de 5 para 10 l/min gerou o mesmo nível de acabamento da raiz, sendo assim, a utilização da vazão do gás de purga em 5 l/min é mais atrativa devido ao menor consumo de argônio. O uso do metal de adição, cuja finalidade é modificar a composição química e reforçar o cordão de solda, deveria aumentar a resistência mecânica das juntas, porém, após ensaios de dureza e tração, não se constatou aumento significativo dessas propriedades, indicando que a composição do metal de adição utilizado não proporcionou o efeito esperado.

Palavras-Chave: Soldagem TIG. Aço inoxidável AISI 304L. Metal de adição. Gás de Purga.



## ABSTRACT

The use of pipes made from stainless steel pipes has become a quality requirement in most industries, especially those performing food processing. However, it is common to see corrosion, cracking and contamination of products due to inadequate welding of these pipes. The use of a protective atmosphere inside the tubes (purge gas) during welding is a feature used to ensure the quality of the weld root in the gasket produced. This technique, however, does not have a specific parameterization and generates an extra gas consumption increasing the cost of the process. The present work deals with the adequacy of the use of the purge gas and the addition of metal during the union of AISI 304L stainless steel tubes through the TIG (Tungsten Inert Gas) welding process. For this purpose, specimens with and without the use of purge gas were welded manually, autogenously and with addition of metal, to the internal joints of the tubes. The addition metal used in the welding of the test tubes was AWS ER 308L, which has a low carbon content, producing smooth, non-splash weld strands. The gas responsible for making the change of the internal atmosphere of the welded joints was the argon due to its anticorrosive action, being injected with two pre-established flow values (5 l / min and 10 l / min). After welding of the test specimens, a visual analysis of the internal surface of the tubes was performed, metallography to evaluate the profile of the weld bead, as well as microhardness and tensile tests to evaluate the effects caused by the alteration of the internal atmosphere and the addition of resistance of the welded joints. With the analysis of the results it was verified that the use of the purge gas contributes to the formation of a cleaner surface at the root of the welded joint, which ends up with the problem of accumulation of product residues and the formation of biofilms in that place. The increase in flow rate from 5 to 10 l / min generated the same root finishing level, so the use of the purge gas flow rate of 5 l / min is more attractive due to the lower consumption of argon. The use of the addition metal, whose purpose is to modify the chemical composition and reinforce the weld bead, should increase the mechanical strength of the joints, but after tests of hardness and traction, no significant increase of these properties was observed, indicating that the composition of the addition metal used did not provide the expected effect.

Keywords: TIG welding. Stainless steel AISI 304L. Addition metal. Purge gas.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Divisão dos aços inoxidáveis da série 400.....	18
Figura 2.2 – Divisão dos aços inoxidáveis da série 300.....	19
Figura 2.3 – Tubo de aço inoxidável (Ø 50,8 mm) fabricado de acordo a norma ASTM A270.....	21
Figura 2.4 – Tubulações de aço inoxidável AISI 304L em uma indústria de alimentos .....	21
Figura 2.5 – Diagrama de Schaeffler.....	22
Figura 2.6 – Trincas intergranulares na ZTA .....	23
Figura 2.7 – Regiões do cordão de solda.....	25
Figura 2.8 – Raiz do cordão de solda.....	25
Figura 2.9 – Dimensionamento das partes de um cordão de solda .....	26
Figura 2.10 – Processo de soldagem TIG .....	28
Figura 2.11 – Oxidação x teor de oxigênio em ppm no aço inoxidável 316L .....	29
Figura 2.12 – Limpeza do cordão de solda com gel decapante e passivante .....	30
Figura 2.13 – Esquemas representativos de unidades de purga: A) Bexigas e B) Discos .....	31
Figura 3.1 – Tubos de aço inoxidável AISI 304L .....	33
Figura 3.2 – Tubos após usinagem: A) Dimensões em mm e B) Geometria final para soldagem.....	35
Figura 3.3 – Equipamentos utilizados para usinagem dos tubos: A) Serra de fita CLEVER e B) Torno mecânico convencional NARDINI.....	35
Figura 3.4 – Dispositivo para injeção do gás de purga: A) Dispositivo após usinagem e B) Dispositivo instalado no tubo .....	36
Figura 3.5 – Soldagem dos tubos de teste: A) Fonte de soldagem SUMIG e B) Ambiente de soldagem .....	37
Figura 3.6 – Fluxímetros para controle de vazão de Argônio: A) Ajuste da vazão na saída da tocha e B) Ajuste da vazão do gás de purga .....	38
Figura 3.7 – Etapas da soldagem dos tubos de teste: A) Após alinhamento e ponteamto e B) Após confecção do cordão de solda .....	39
Figura 3.8 – Corte dos tubos de teste para análise visual da raiz da junta: A) Durante realização do corte e B) Após realização do corte .....	40
Figura 3.9 – Amostras embutidas.....	41

Figura 3.10 – Esquema para medição da microdureza .....	42
Figura 3.11 – Corte dos CP's por eletroerosão à fio: A) Máquina AgieCharmilles FW 1U e B) Detalhe da usinagem de um CP .....	42
Figura 3.12 – CP's para ensaio de tração: A) Dimensões dos CP's em mm e B) CP pronto para o ensaio .....	43
Figura 3.13 – Ensaio de tração: A) Máquina universal de ensaios EMIC e B) CP submetido ao ensaio .....	43
Figura 4.1 – Aspecto visual das raízes das juntas soldadas .....	44
Figura 4.2 – Perfil macro das amostras retiradas dos tubos de teste.....	46
Figura 4.3 – Resultados da análise de microdureza .....	49
Figura A.1 – A) Argônio utilizado como gás de purga e B) Eletrodo não consumível de tungstênio.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação dos aços inoxidáveis.....	17
Tabela 2.2 – Características dos gases argônio e hélio utilizados no processo de soldagem TIG.....	27
Tabela 3.1 – Composição química do aço AISI 304L (% em massa) .....	33
Tabela 3.2 – Composição química média do metal de adição AWS ER 308L (% em massa) .....	34
Tabela 3.3 – Parâmetros utilizados na soldagem dos tubos de teste.....	37
Tabela 4.1 – Valores do ensaio de microdureza Vickers para carga de 1000 gf.....	48
Tabela 4.2 – Resultados do ensaio de tração .....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

$\varepsilon$  - Alongamento

$\sigma_{\text{máx}}$  – Tensão máxima

A – Ampère

AISI - American Iron and Steel Institute

ASTM – American Society for Testing and Materials

AWS – American Welding Society

C – Carbono

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CCC – Cúbica de Corpo Centrado

CCPD – Corrente Contínua Polaridade Direta

CFC – Cúbica de Face Centrada

CP's – Corpos de prova

Cr – Cromo

Cu – Cobre

Fe – Ferro

gF – grama.força

Hp – Horse Power

HV – Hardness Vickers

kgF – quilograma.força

l/min – litro por minuto

MB – Metal base

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

MPa – Megapascal

Ni – Níquel

ppm – partícula por milhão

Si – Silício

TIG – Tungsten Inert Gas

ZF – Zona Fundida

ZTA – Zona Termicamente Afetada

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
1.1 Objetivos .....	16
1.1.1 Objetivo geral .....	16
1.1.2 Objetivo específico .....	16
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	17
2.1 Aços inoxidáveis .....	17
2.1.1 Aços inoxidáveis austeníticos .....	19
2.1.2 Soldabilidade dos aços inoxidáveis austeníticos .....	22
2.2 Soldagem .....	24
2.2.1 Processo de soldagem TIG .....	26
2.3 Gás de purga.....	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	33
3.1 Materiais.....	33
3.1.1 Metal base .....	33
3.1.2 Metal de adição .....	34
3.2 Métodos.....	34
3.2.1 Preparação dos tubos de teste.....	34
3.2.2 Confecção do dispositivo para injeção do gás de purga .....	35
3.2.3 Soldagem dos tubos.....	36
3.2.4 Análise visual da raiz da junta soldada.....	39
3.2.5 Análise do perfil do cordão de solda.....	40
3.2.6 Ensaio de microdureza.....	41
3.2.7 Ensaio de tração .....	42
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	44
4.1 Análise de oxidação na raiz da junta .....	44
4.2 Análise do perfil da solda.....	46
4.3 Análise de microdureza .....	48
4.4 Ensaio de tração .....	50
5 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS.....	53
ANEXO A – Gás e eletrodo utilizados nos testes .....	55
ANEXO B – Catálogo de aços inoxidáveis VILLARES METALS.....	56

## 1 INTRODUÇÃO

Em alguns setores da indústria, como o setor alimentício por exemplo, os equipamentos para processamento, estocagem e distribuição de produtos exigem características específicas, tais como: superfícies fabricadas com materiais resistentes à corrosão, com facilidade de limpeza e baixa rugosidade para evitar o acúmulo de resíduos provenientes dos processos de produção. Geralmente, são utilizadas tubulações no transporte de alimentos líquidos e pastosos e para a fabricação destas são utilizados tubos de aço inoxidável.

Dentre os vários tipos de aços inoxidáveis existentes, os austeníticos são os que apresentam a mais elevada resistência à corrosão, sendo o mais comum e popular dessa classe de materiais. A sua utilização representa cerca de 70% do total produzido em todo o mundo.

Esta classe de materiais é caracterizada por ter excelente tenacidade e ductilidade, boa resistência mecânica e à corrosão em temperaturas elevadas, além de ter excelente soldabilidade.

A soldagem é o principal processo de união de metais e apesar da sua ampla utilização ela afeta mecânica, térmica e metalurgicamente regiões vizinhas a esta, ocorrendo, nestes locais, alterações de microestrutura e de composição química. Além disso, pode ocorrer o aparecimento de um elevado nível de tensões residuais e a formação de descontinuidades.

O processo de soldagem TIG é amplamente utilizado para a soldagem de tubos de aço inoxidável devido a sua versatilidade e alta qualidade, bem como a aparência estética do acabamento da solda. A capacidade de soldar em baixa corrente somada à possibilidade de utilizar ou não metal de adição, torna este processo ideal para materiais finos.

Durante a soldagem de tubulações é de extrema importância que se tenha o controle dos parâmetros desse processo, garantindo um bom acabamento da junta soldada, evitando descontinuidades como respingos e a formação de óxidos, prevenindo, dessa maneira, possíveis focos de acúmulo de resíduos de produtos provenientes dos processos de produção.

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência da utilização de uma atmosfera de proteção interna e da adição de metal em juntas de tubos de aço inoxidável AISI 304L unidas através do processo de soldagem TIG.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a influência do gás de purga e do metal de adição em juntas de tubos de aço inoxidável AISI 304L, unidos através do processo de soldagem TIG.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Verificar o efeito do gás de purga na qualidade da raiz das juntas soldadas;
- Avaliar o efeito da adição de metal no perfil do cordão de solda;
- Realizar análise visual e macrográfica das juntas soldadas;
- Verificar a microdureza das juntas soldadas;
- Avaliar a resistência mecânica das juntas através de ensaio de tração.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Aços inoxidáveis

O aço é um material metálico constituído basicamente de ferro (elemento principal) e carbono (em quantidades até 2,11%). Esta liga ferrosa pode ter suas propriedades otimizadas através da adição de elementos de liga específicos. Os aços inoxidáveis, por exemplo, são ligas ferrosas contendo pelo menos 10,5% de cromo em sua composição. Outros elementos metálicos também fazem parte da liga, mas o cromo é o elemento mais importante dando ao aço inoxidável uma elevada resistência à corrosão. (CHIAVERINI, 1998)

De acordo com Veiga (2011), os aços inoxidáveis são na verdade aços oxidáveis, pois o cromo presente na liga, em contato com o oxigênio do ar, forma uma camada fina e estável de óxidos de cromo. Ela é chamada camada passiva e tem a finalidade de proteger a superfície do aço contra processos corrosivos.

Nos aços inoxidáveis dois elementos se destacam, o cromo dando resistência a corrosão e o níquel contribuindo na melhoria das propriedades mecânicas (VEIGA, 2011).

A austenita, a ferrita e a martensita são as diferentes formas estruturais que podem existir no aço inoxidável e são responsáveis por afetar as suas propriedades físicas e mecânicas, resistência à corrosão e soldabilidade. A composição química é o que define a fase estável da liga, conforme mostra a tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Classificação dos aços inoxidáveis

Tipo de aço	C %	Cr %	Ni %	Mo %
Austenítico	<0,06	12 - 27	7 - 30	0 - 6
Ferrítico	<0,1	12 - 30	0 - 4	0 - 4
Martensítico	>0,1	12 - 18	-	0 - 2

Fonte: Veiga (2011)

Os aços inoxidáveis são divididos em dois grandes grupos: a série 400 (ferríticos e martensíticos) e a série 300 (austeníticos).

Os aços inoxidáveis ferríticos (série 400) são, basicamente, ligas Fe-Cr, magnéticas e com estrutura (CCC). Apresentam-se menos flexíveis que os aços

austeníticos e não são endurecíveis por tratamento térmico. Estes aços possuem grande resistência à corrosão sob tensão e sua resistência pode ser aumentada por trabalho à frio. Apresentam fácil conformação e são soldáveis com alguns cuidados especiais.

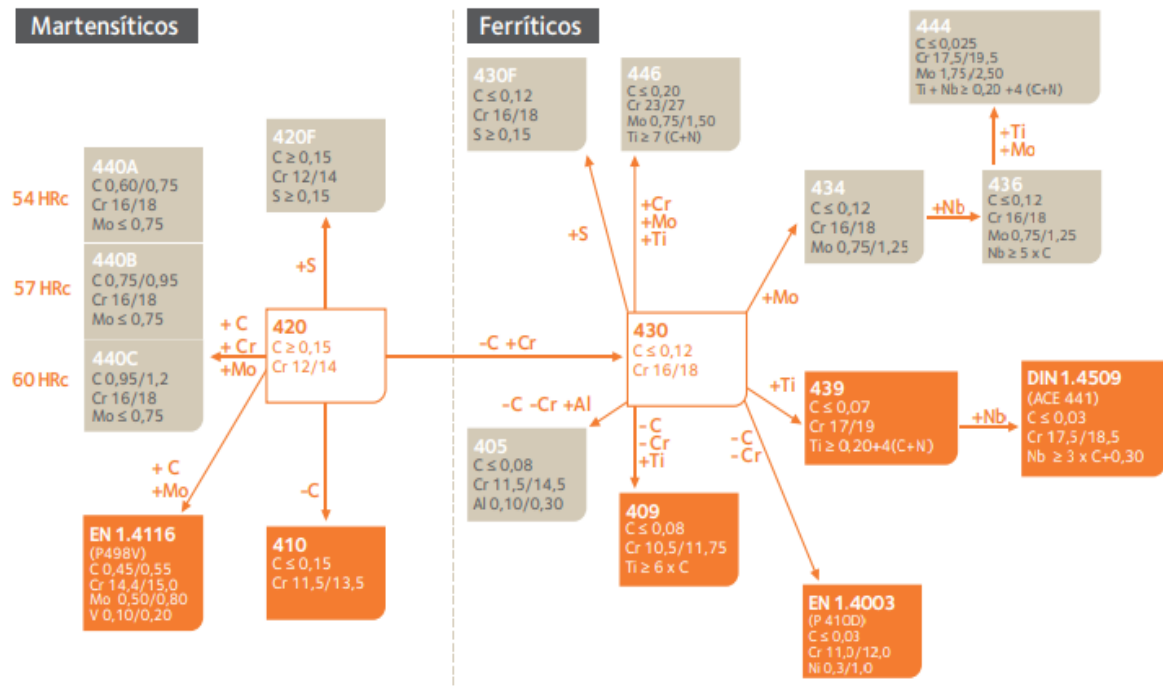
Geralmente, os aços inoxidáveis ferríticos, são utilizados em aplicações que colocam uma demanda limitada na resistência à corrosão, sendo aplicados na fabricação de eixos para bombas, turbinas à vapor e à água, porcas, parafusos, aquecedores de água quente e etc.

Os aços inoxidáveis martensíticos, que também pertencem a série 400, são essencialmente ligas Fe-Cr-C que contém entre 12 e 18% de cromo. Esta composição favorece a formação de martensita, que é uma fase microestrutural proveniente da têmpera (tratamento térmico para endurecimento de aços). Além de proporcionar grande dureza ao aço, também o torna frágil, fazendo com que poucos aços sejam completamente endurecidos.

Na figura 2.1, pode-se verificar a divisão dos aços inoxidáveis da série 400.

Figura 2.1 – Divisão dos aços inoxidáveis da série 400

### Aços inoxidáveis da Série 400



Fonte: Arcelormittal (2018)

De acordo com Modenesi (2001), devido ao seu elevado teor de liga, os aços inoxidáveis martensíticos apresentam uma elevada temperabilidade e podem apresentar uma estrutura completamente martensítica em peças de grande espessura, mesmo após um resfriamento brando ao ar.

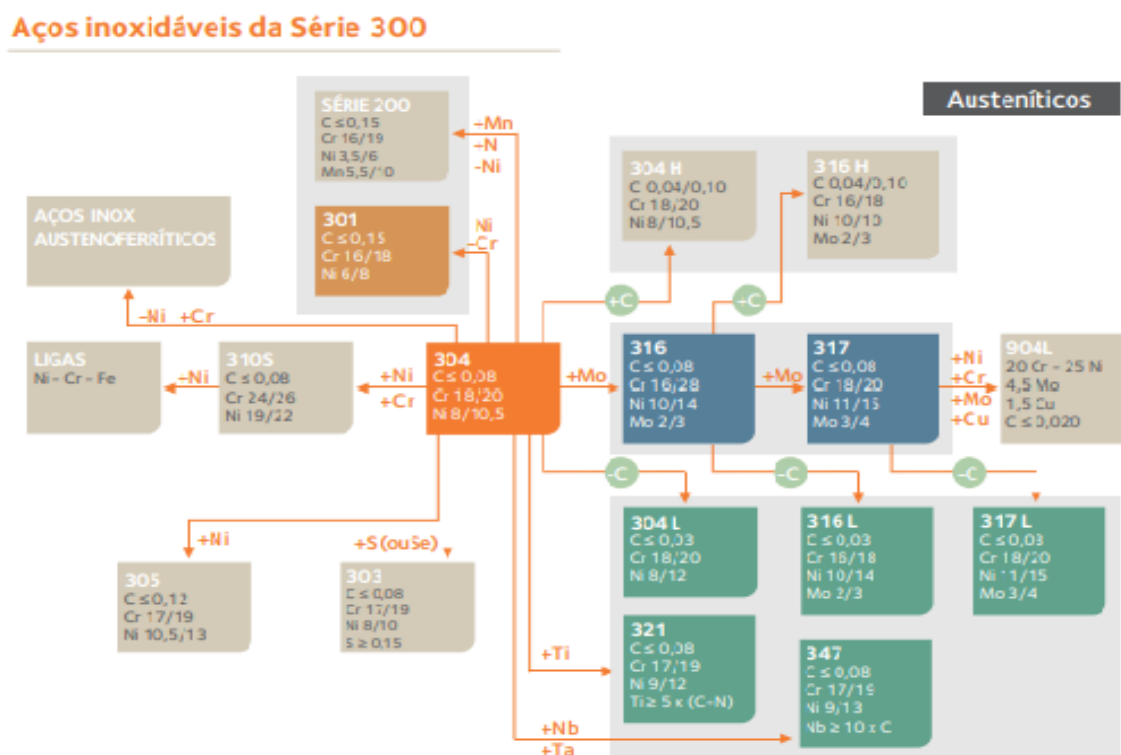
Nesse tipo de aço, a alta dureza de seu material temperado, faz com que ele seja muito utilizado na fabricação de facas, onde exige-se uma alta resistência ao desgaste. A resistência à corrosão, porém, só é obtida nesse material após ele ser temperado (MODENESI, 2001).

### 2.1.1 Aços inoxidáveis austeníticos

Os aços inoxidáveis austeníticos, pertencem a série 300, e são os mais populares entre os aços inoxidáveis, apresentando a melhor soldabilidade e resistência à corrosão (ARCELORMITTAL, 2008).

Segundo Modenesi (2001), essa classe inclui ligas Fe-Cr-Ni, embora existam ligas em que parte ou todo o níquel foi substituído por manganês e nitrogênio. A figura 2.2, ilustra a divisão dos aços inoxidáveis da série 300.

Figura 2.2 – Divisão dos aços inoxidáveis da série 300



Fonte: Arcelormittal (2018)

Segundo Veiga (2011), a resistência ao impacto destes aços é excepcional mesmo em baixas temperaturas, além disso, são materiais não magnéticos e não podem ser endurecidos por tratamento térmico, apenas por conformação a frio.

Apresentam estrutura predominantemente austenítica (CFC), que é obtida através de elementos austenitizantes como níquel, manganês e nitrogênio, que estabilizam a austenita mesmo a temperatura ambiente (VEIGA, 2011).

Esses materiais são caracterizados por uma alta concentração de cromo e níquel, um típico aço austenítico que se conhece é o famoso 18/8, contendo 18% de cromo e 8% de níquel. O conteúdo de carbono nesses materiais gira em torno de 0,06%, sendo a classe de aço mais adequada para a soldagem.

A adição entre 1% e 4% de molibdênio, nas ligas austeníticas aumentam ainda mais sua resistência à corrosão. Estes, por sua vez, ainda podem ser ligados com titânio ou nióbio, formando o que são chamados de aços estabilizados (VILLARES, 2018).

O aço inoxidável AISI 304L, cuja composição apresenta extra baixo teor de carbono (0,03%), é um metal não temperável. Possui eventualmente pequenos teores de ferrita, apresentando um leve magnetismo. Quando deformado à frio, torna-se parcialmente martensítico, possuindo boa resistência à corrosão (VILLARES, 2018).

De acordo com Villares (2018), o aço AISI 304L apresenta aproximadamente limite de resistência à tração de 520 MPa e alongamento de 40%. Basicamente, este aço pode ser unido pelos processos usuais de soldagem, evitando-se a soldagem através do processo oxiacetilênico.

Comercialmente, o aço inoxidável AISI 304L, pode se apresentar na forma de tubos. Porém, em indústrias alimentícias, farmacêuticas e químicas a utilização destes tubos deve obedecer à norma ASTM A-270, cuja especificação abrange tubos com ou sem costura, feitos de aços inoxidáveis austeníticos planejados para serem utilizados nas indústrias acima mencionadas. A figura 2.3 mostra um tubo de aço inoxidável fabricado de acordo com a norma ASTM A-270.

Figura 2.3 – Tubo de aço inoxidável ( $\varnothing$  50,8 mm) fabricado segundo norma ASTM A270



Fonte: Autor (2018)

O aço inoxidável AISI 304L pode ser utilizado em aplicações onde são necessárias características como facilidade de limpeza e excelente resistência à corrosão. É usado ainda na construção de contêineres, barcos e tubulações nas indústrias de papel e celulose, na fabricação de aparelhos de cozinha, trocadores de calor e em aplicações criogênicas (DIAS, 2016). A figura 2.4 apresenta o uso de tubulações, fabricadas com o aço inoxidável AISI 304L, em uma empresa do ramo alimentício.

Figura 2.4 – Tubulações de aço inoxidável AISI 304L em uma indústria de alimentos



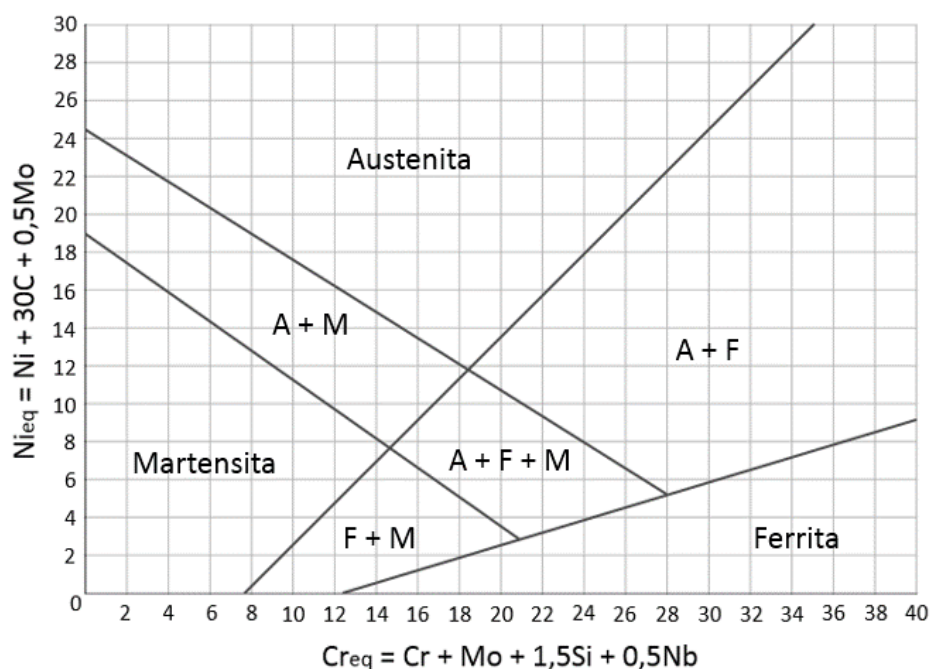
Fonte: Autor (2018)

### 2.1.2 Soldabilidade dos aços inoxidáveis austeníticos

Os aços inoxidáveis austeníticos, quando submetidos ao processo de soldagem (união de peças através de fusão localizada), apresentam ausência de transformação martensítica. Esta característica aliada à sua boa tenacidade contribui para que não ocorram problemas relacionados à fissuração pelo hidrogênio. Neste caso, a seleção adequada de eletrodos segundo o processo de soldagem deve propiciar que a zona fundida tenha propriedades similares às do metal base, eliminando o inconveniente de tratamentos térmicos após a soldagem (MODENESI, 2001).

As fases microestruturais de uma junta soldada de aço inoxidável austenítico dependerão de diversos fatores, tais como: velocidade de resfriamento, relação cromo/níquel e dos outros elementos de liga presentes ou adicionados durante o processo de fusão. Uma forma simples e bastante prática utilizada para se obter uma previsão microestrutural da zona fundida é a combinação dos elementos formadores de ferrita e austenita, por meio dos diagramas constitucionais empíricos. Segundo Modenesi (2001), um dos mais conhecidos é o diagrama levantado por Schaeffler na década de 40 e utilizado até os dias atuais, que pode ser observado na figura 2.5.

Figura 2.5 – Diagrama de Schaeffler



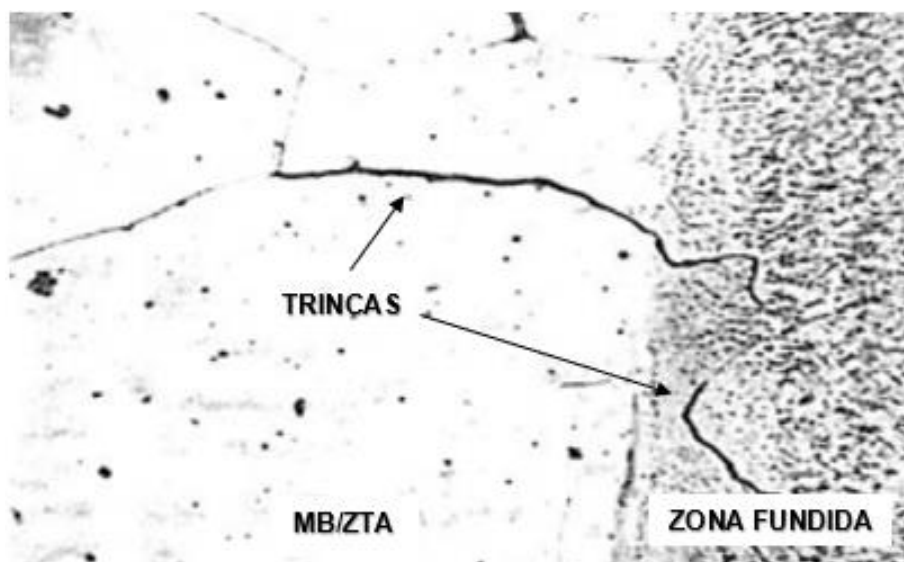
Fonte: Modenesi (2001)

Os fatores que influenciam na formação de trincas de solidificação em soldas de aços inoxidáveis austeníticos são basicamente os mesmos que afetam outros aços e ligas, isto é, a estrutura de solidificação, o nível de impurezas e as tensões desenvolvidas na solda durante a solidificação da poça de fusão (MODENESI, 2001).

As soldas destes aços podem se solidificar com uma estrutura completamente austenítica, ferrítica ou como uma mistura destas duas fases dependendo de sua composição química (MODENESI, 2001).

Conforme Modenesi (2001), em alguns casos, trincas podem surgir no metal base adjacente na linha de fusão após a soldagem. Essa forma de fissuração é muito menos comum do que a fissuração da zona fundida, podendo ocorrer na soldagem com elevado grau de restrição ou de seções relativamente espessas de certos tipos de aços inoxidáveis. As trincas formadas são intergranulares, podendo se iniciar na ZTA ou nas regiões não misturadas e parcialmente fundida e se propagar para a ZTA ou ainda podem se iniciar na superfície da peça adjacente à margem da solda e propagar internamente na direção normal à superfície ou seguindo o contorno da solda. Na figura 2.6, pode-se verificar um exemplo de trinca intergranular.

Figura 2.6 – Trincas intergranulares na ZTA



Fonte: Modenesi (2001)

## 2.2 Soldagem

Denomina-se soldagem o processo de união entre duas partes metálicas, usando uma fonte de calor, com ou sem a aplicação de pressão. A solda é o resultado desse processo (WAINER, BRANDI E MELLO, 1992).

De acordo com Marques (1991), a soldagem é considerada um processo de união, porém na atualidade, muitos processos de soldagem ou variações destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando à recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais.

Outros processos relacionados com a soldagem são usados para corte de peças metálicas e em muitos aspectos essas operações se assemelham às operações de soldagem (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Muitos processos de soldagem são realizados somente com calor, sem pressão aplicada, outros por uma combinação de calor e pressão e ainda outros somente por pressão, sem aplicação externa de calor. Em alguns processos de soldagem, um material de adição é adicionado para facilitar a coalescência (GROOVER, 2014).

Marques, Modenesi, Bracarense (2009), relatam que a soldagem pode atender a um custo competitivo diferentes requisitos de qualidade. Este fato torna a sua utilização economicamente viável tanto em trabalhos que não apresentem grandes responsabilidades, como em situações em que existe o risco de grandes danos no caso de uma falha do componente soldado.

São contabilizados atualmente em todo o mundo mais de 70 processos de soldagem utilizados, não sendo um número fixo, uma vez que inúmeros outros processos estão sendo aperfeiçoados por pesquisas, possibilitando novas alterações no ramo da soldagem (GROOVER, 2014).

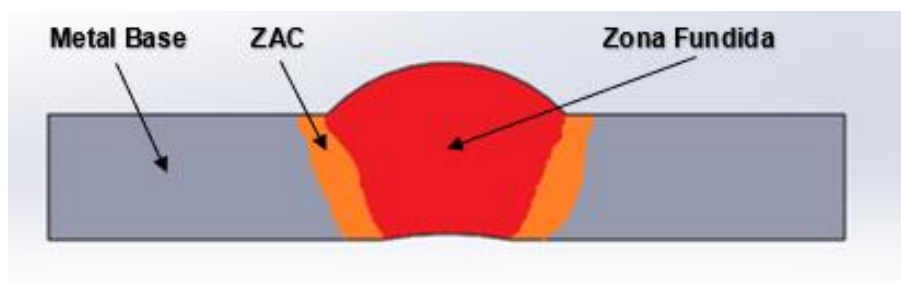
De acordo com Marques, Modenesi, Bracarense (2009), os processos de soldagem podem ser agrupados em processos de soldagem por pressão (forjamento, ultrassom, fricção, difusão, explosão, etc.) e processos de soldagem por fusão. Estes se dividem em processos de soldagem à arco, cuja fonte de energia é o arco elétrico e em processos de soldagem por resistência, onde se destacam a soldagem por pontos, por projeção, por costura, por resistência e etc.

O resultado final da soldagem é o cordão de solda, composto de várias regiões muito bem divididas e que apresentam estruturas muitas vezes diferentes entre si. Na



figura 2.7 são mostradas algumas dessas regiões, ao qual se destacam o metal base que é a peça que foi soldada, a ZTA que refere-se a região lateral à zona fundida que não se diluiu, mas teve um aporte térmico muito alto e a zona fundida que é a região onde a solda foi diluída com ou sem um metal de adição (SANTOS, 2015).

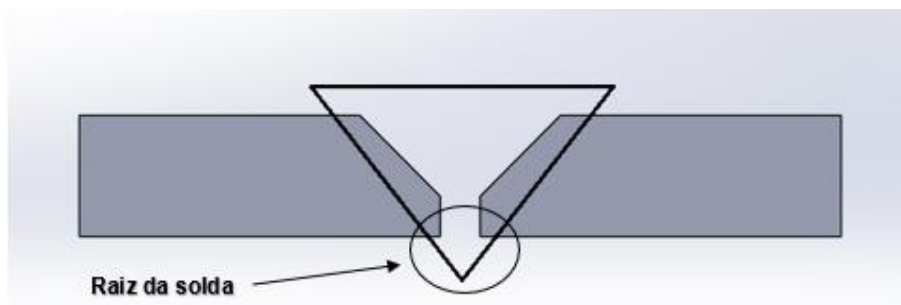
Figura 2.7 – Regiões do cordão de solda



Fonte: Adaptado de Santos (2015)

De acordo com Santos (2015), a raiz da solda é o ponto do lado contrário do cordão que ultrapassa o metal base, conforme pode ser observado na figura 2.8.

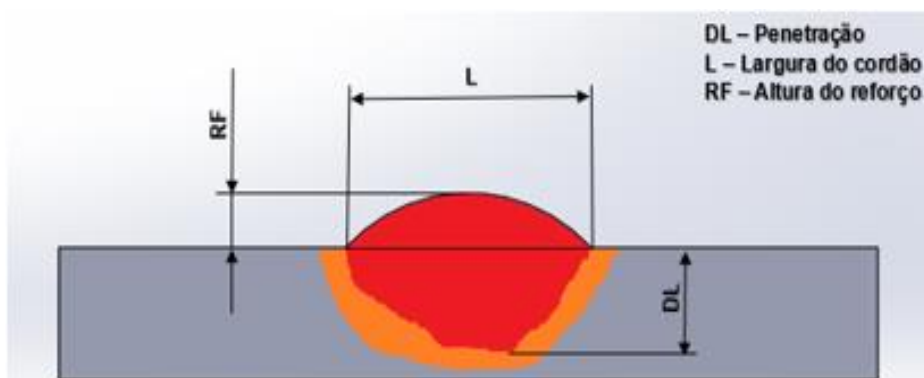
Figura 2.8 – Raiz do cordão de solda



Fonte: Adaptado de Santos (2015)

Conforme Santos (2015), para dimensionar um cordão de solda é necessária uma micrografia para executar a medição nos três locais principais que são: a largura, a altura do reforço e a diluição. A largura é o que identifica a distância das extremidades laterais de um cordão de solda, a altura do reforço, é a quantidade de material depositado que excede a face superior do metal de solda, e a diluição, chamada de zona fundida ou de penetração, é a quantidade de material depositado diluído no metal base. A figura 2.9 ilustra as partes para o dimensionamento de um cordão de solda.

Figura 2.9 – Dimensionamento das partes de um cordão de solda.



Fonte: Adaptado de Santos (2015)

### 2.2.1 Processo de soldagem TIG

Para Marques, Modenesi e Bracarense (2009), a soldagem à arco com eletrodo de tungstênio e proteção gasosa TIG (Tungsten Inert Gas) é um processo no qual a união de peças metálicas é produzida pelo aquecimento e fusão destas através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio e as peças a unir.

Os equipamentos básicos usados na soldagem TIG consistem em uma fonte de energia elétrica, uma tocha de soldagem, uma fonte de gás protetor, um dispositivo para abertura do arco, cabos e mangueiras (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

O elevado ponto de fusão do tungstênio, aproximadamente 3000°C, permite a aplicação deste metal como eletrodo "não desgastável", de forma que na solda ao arco com proteção de gás, torna-se possível soldar duas partes sem adicionar material. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009)

Como o eletrodo não é consumível, a adição de metal na junta, caso necessária, deve ser efetuada por meio de vareta e sem necessidade de desoxidantes como fluxos ou pastas. A função do eletrodo de tungstênio é estabelecer e manter o arco elétrico (VEIGA, 2011).

De acordo com Wainer, Brandi e Mello (1992), os gases mais utilizados nesse processo de soldagem são o argônio (Ar), o hélio (He) ou suas misturas. Qualquer que seja o gás de proteção, sua pureza deve ser de 99,99%. A tabela 2.2 apresenta algumas características desses gases.

Tabela 2.2: Características dos gases argônio e hélio utilizados no processo de soldagem TIG

Ar	He
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa tensão de arco;</li> <li>• Menor penetração</li> <li>• Adequado a soldagem de chapas finas;</li> <li>• Soldagem manual;</li> <li>• Maior ação de limpeza;</li> <li>• Arco mais estável;</li> <li>• Fácil abertura do arco;</li> <li>• Utilizado em CC e CA;</li> <li>• Custo reduzido;</li> <li>• Vazão para proteção pequena;</li> <li>• Maior resistência à corrente de ar lateral.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada tensão de arco;</li> <li>• Maior penetração;</li> <li>• Adequado a soldagem de grandes espessuras;</li> <li>• Soldagem automática;</li> <li>• Menor ação de limpeza;</li> <li>• Arco menos estável;</li> <li>• Dificuldade na abertura do arco;</li> <li>• Geralmente em CCPD com eletrodo de tungstênio toriado;</li> <li>• Vazão para proteção 2 a 3 vezes maior do que à do argônio;</li> <li>• Menor resistência à corrente de vento.</li> </ul>

Fonte: Wainer, Brandi e Mello (1992)

De acordo com Wainer, Brandi e Mello (1992), este processo foi patenteado no fim dos anos 1920, porém, só foi comercialmente utilizado em 1942, nos Estados Unidos, para a soldagem de ligas de magnésio de assentos de aviões.

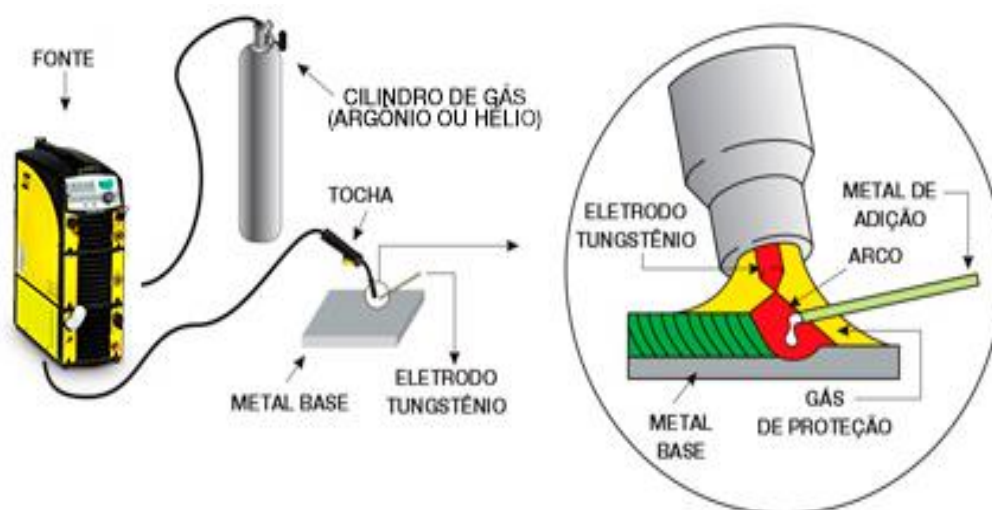
Conforme Marques (1991), uma característica importante desse processo é o excelente controle do calor cedido à peça, tornando o processo bastante adequado para a soldagem de peças de pequena espessura.

Nesse processo a soldagem pode ser realizada em todos os tipos de juntas, de forma manual ou por meios mecânicos ou automatizados (GROOVER, 2014).

A proteção contra oxidação torna possível a soldagem de materiais cuja composição química apresenta grande afinidade com o oxigênio, tais como: alumínio, magnésio, titânio, aço inox e outros. Este é o motivo pelo qual não se necessita de fluxo desoxidante e não ocorre corrosão, eliminando-se ao mesmo tempo os fluxos e as operações dispendiosas de limpeza, após a soldagem (VEIGA, 2011).

Para Marques, Modenesi e Bracarense (2009), esse processo é aplicado a maioria dos metais e suas ligas, numa ampla faixa de espessuras. Entretanto, em virtude do seu custo relativamente elevado, é usado principalmente na soldagem de metais não ferrosos e aços inoxidáveis, na soldagem de peças de pequena espessura (da ordem de 1 a 2 mm) e na soldagem de tubulações. A figura 2.10 mostra os equipamentos utilizados no processo de soldagem TIG.

Figura 2.10 – Processo de soldagem TIG.



Fonte: Esab (2018)

### 2.3 Gás de Purga

Na soldagem, entende-se por purga o ato de substituir uma atmosfera não desejada, no caso, o ar atmosférico que contém oxigênio, por um gás inerte que propicie a proteção gasosa da poça de fusão. O gás inerte normalmente utilizado é o argônio, sendo mais denso que o ar, de fácil obtenção e de baixo custo relativo. A consequência de não executar a purga, durante a soldagem de determinados materiais, é uma solda de qualidade inaceitável, que muitas vezes deve ser reparada podendo originar graves falhas (POPULAR, 2016).

Tipicamente em soldagem por fusão a preocupação com a ondulação da face do cordão e as alterações proporcionadas pelo gás de proteção – termo usualmente aplicado ao se referir ao gás injetado pelo bocal da tocha – é sempre apresentada com maior destaque. Entretanto, no caso de grandes penetrações, alterações no aspecto e deterioração das propriedades desejadas ao cordão de solda podem chegar ao lado oposto da junta. Dependendo do material que está sendo soldado se fazem necessários cuidados específicos. No caso de componentes tubulares uma das formas de se controlar a atmosfera que estará presente do lado oposto a face do cordão, e que em caso de penetração total se formará a raiz, é com a realização de uma purga (GALDINO, 2014).

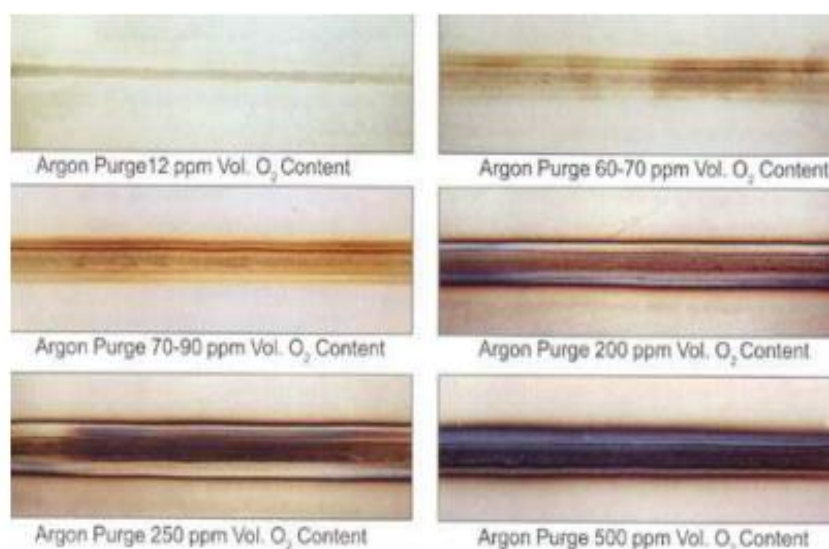
Para a soldagem de materiais cuja composição química apresenta afinidade com o oxigênio como as ligas de alumínio e aços inoxidáveis, a norma AWS D10.4

(1986) recomenda a aplicação de um gás de purga. Ainda segundo esta norma, o gás de purga é um dos meios eficientes que podem proporcionar proteção contra oxidação, além de influenciar na tensão superficial, nas características da poça de fusão, propiciando melhor aparência de superfície e diminuindo as potenciais ocorrências de trincas (GALDINO, 2014).

Galdino (2014) revela que apesar da aplicação do gás de purga na soldagem de tubulações de aços inoxidáveis se mostrar eficiente e bastante comum, muitas vezes quando não é realizada adequadamente ocasiona a oxidação da raiz, onde a intensidade e a velocidade das variações térmicas podem alterar as microestruturas ali presentes.

De acordo com Popular (2016) na soldagem de aços inoxidáveis austeníticos em um ambiente onde há oxigênio, ocorre a oxidação na área do cordão de solda e na zona termicamente afetada. A oxidação é ainda mais severa em outros metais reativos tais como: titânio, zircônio e molibdênio. A figura 2.11 mostra o efeito do teor de oxigênio residual na oxidação de uma junta soldada.

Figura 2.11 – Oxidação x teor de oxigênio em ppm no aço inoxidável 316L



Fonte: Aramat (2018)

Superfícies oxidadas perdem sua resistência a corrosão sendo necessário realizar um tratamento superficial para recuperá-la. A opção usual para a limpeza de uma junta soldada oxidada em superfícies externas é executar um tratamento mecânico através de esmerilhamento, entretanto, neste caso há também a remoção da camada passiva. Desta maneira, é necessário então realizar uma passivação, um

processo similar a decapagem, com ácidos como o ácido nítrico e ácidos minerais a fim de recuperar essa camada, conforme indicado na figura 2.12.

Figura 2.12 – Limpeza do cordão de solda com gel decapante e passivante



Fonte: Quimatic (2018)

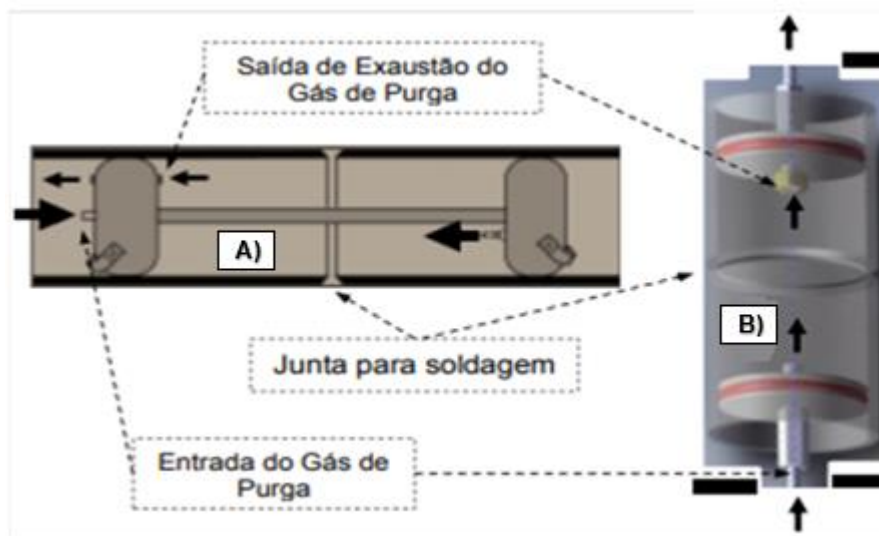
De acordo com Galdino (2014), no interior de tubos ou vasos de pressão, a remoção mecânica e a passivação, muitas vezes, são impraticáveis sendo impossível acessar essas regiões depois da soldagem. Nesses casos, a solução prática é executar uma purga interna, ou seja, preencher o volume na região da solda com um gás inerte, através de uma unidade de purga, removendo o oxigênio e evitando a oxidação da junta soldada.

A unidade de purga consiste em um dispositivo que forma uma câmara em torno da área de soldagem, o volume dessa câmara deve ser o mínimo possível, centrado na região de soldagem, para utilizar o gás de maneira racional e eficiente. Ele deve conter um orifício de saída de gás, de modo que haja apenas uma leve pressão na câmara durante a soldagem (GALDINO, 2014)

A figura 2.13 apresenta esquemas de instalação de sistemas de purga. Os diferentes dispositivos visualizados na figura 2.13, no caso (A) tem-se um sistema com bexigas infláveis e em (B) discos com anéis emborrachados nas extremidades para vedação, possibilitam a injeção do gás escolhido e uma simultânea vedação da região a ser purgada para proteção da raiz da solda. Conhecida as características dos materiais envolvidos no processo de soldagem e selecionado o gás de purga mais adequado a junta está, desta maneira, pronta para ser soldada.

Figura 2.13 – Esquemas representativos de unidades de purga:

A) Bexigas e B) Discos.



Fonte: Fletcher (2006)

Outros fatores relacionados à aplicação de argônio em processos de soldagem são a sua disponibilidade e custos, que relacionados a outros gases, pode ser relativamente bem mais vantajoso. (GALDINO, 2014).

Diversos cuidados são importantes quanto à aplicação de um gás de purga, Galdino (2014) relata que para se evitar a formação de óxidos é importante à manutenção da vazão do gás de purga, mesmo depois de terminada a soldagem até que a temperatura na região da solda fique abaixo de 320 °C.

A velocidade de injeção do gás de purga deve gerar um fluxo suficiente para proporcionar o expurgo dentro da câmara, reduzindo ao máximo a quantidade de oxigênio. O efeito de turbulência do gás injetado, quando em excesso, deve ser controlado, pois é uma das chaves para afetar a qualidade da purga. Do mesmo modo, a câmara de purga não deve permitir a penetração de oxigênio adicional.

A taxa de fluxo do gás de purga, assim como, a pressão adequada ao sistema precisa ser previamente estabelecida e inclusa nos procedimentos de parametrização de soldagem.

Há diversos fatores de contaminação com oxigênio que devem ser observados durante o processo de realização da purga, tais como: resíduo de oxigênio no gás de purga, oxigênio aprisionado na tubulação ou mangueira de suprimento de gás, penetração e difusão de oxigênio em conexões mal vedadas, umidade e etc.

A escolha do gás de purga adequado depende das características dos

componentes projetados e eventualmente de fatores econômicos relacionados. Segundo a norma AWS - D10.11M/D10.11 (2007), o argônio é um gás de frequente utilização em aplicações de purga, onde se visa purificar o ambiente interno, e não possui restrições quanto a algum tipo de material (GALDINO, 2014).

O argônio com baixíssimo teor de impurezas, designado “comercialmente puro” (99,99% de pureza), é utilizado somente para soldagem de materiais não ferrosos e reativos, fato este, que está intimamente ligado ao seu potencial de oxidação por ser quase nulo. Deste modo, sua natureza inerte possibilita a formação de uma camada protetora e minimiza efeitos oxidantes.

O hélio também é um gás inerte monoatômico, muito utilizado nos Estados Unidos no processo de soldagem TIG em materiais não ferrosos. Em contraste com o argônio, o hélio tem um elevado potencial de ionização e condutividade elétrica (AÇO, 2018).

Devido ao baixo peso atômico do hélio ele é conseqüentemente mais leve do que o ar atmosférico. Para a sua aplicação, durante a soldagem, recomenda-se a utilização de vazões ligeiramente mais elevadas porque esse gás tende a elevar-se acima do ar (AÇO, 2018).



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

##### 3.1.1 Metal base

O metal base utilizado no desenvolvimento do presente trabalho foi o aço inoxidável AISI 304L. Este material foi obtido na forma de tubos de perfil redondo com diâmetro externo nominal de 50,8 mm e espessura da parede de 1,5 mm. O material em questão pode ser observado na figura 3.1.

Figura 3.1 – Tubos de aço inoxidável AISI 304L



Fonte: Autor (2018)

Trata-se de um tubo tipo “OD” (*Outside Diameter*), sendo classificado pela norma ASTM A-270 para aplicação em indústrias de laticínios, alimentícias e farmacêuticas. Esses tubos são fabricados sem costura e possuem polimento interno. Na tabela 3.1 podemos verificar a composição química do metal utilizado no presente trabalho.

Tabela 3.1 – Composição química do aço inoxidável AISI 304L (% em massa)

C	Si	Mn	Cr	Ni
0,03	1,00	2,00	18,00	8,0

Fonte: Villares Metals

### 3.1.2 Metal de adição

O metal de adição, utilizado em alguns dos procedimentos deste trabalho, foi selecionado tomando como referência informações da literatura de Modenesi (2001), para que com isso fosse evitado cordões de solda propensos a problemas metalúrgicos. Deste modo optou-se em trabalhar com o metal de adição AWS ER 308L, que produz cordões de soldas suaves e sem respingos, isentos de poros, trincas ou fissuras, apresentando um acabamento liso, homogêneo e uniforme que aceita polimento e espelhamento, conferindo a junta soldada um ótimo grau de qualidade.

O metal de adição empregado na soldagem dos tubos de testes foi adquirido em forma de varetas com diâmetro de 1.6 mm e 1000 mm de comprimento. A tabela 3.2 mostra a composição química do metal de adição utilizado, que possui baixo teor de carbono, o que aumenta a resistência contra a corrosão intercrystalina por soluções oxidantes até 350°C e a formação de carepa até 800°C.

Tabela 3.2 – Composição química média do metal de adição AWS ER 308L (% em massa)

Mo	Cu	C	Cr	Ni	Si	Mn
<0,30	<0,30	<0,03	20,30	10,00	0,50	1,80

Fonte: Catálogo ESAB

## 3.2 Métodos

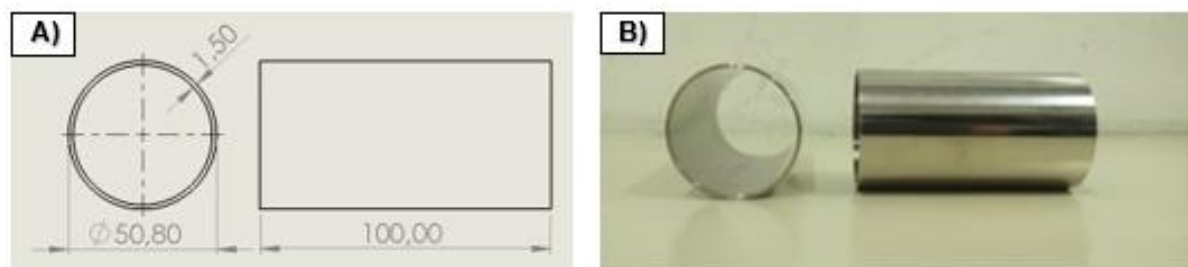
### 3.2.1 Preparação dos tubos de teste

Na primeira etapa da preparação dos tubos de teste, as duas amostras de tubos AISI 304L foram cortados em 20 partes com 102 mm de comprimento. Em seguida, foi realizado o faceamento, a fim de deixá-los nas dimensões exatas e sem rebarbas, garantindo um melhor alinhamento da junta durante a soldagem.

Após o processo de corte e posterior faceamento dos tubos, suas dimensões e geometria final podem ser observadas na figura 3.2.

Figura 3.2 – Tubos após usinagem:

A) Dimensões em mm e B) Geometria final para soldagem



Fonte: Autor (2018)

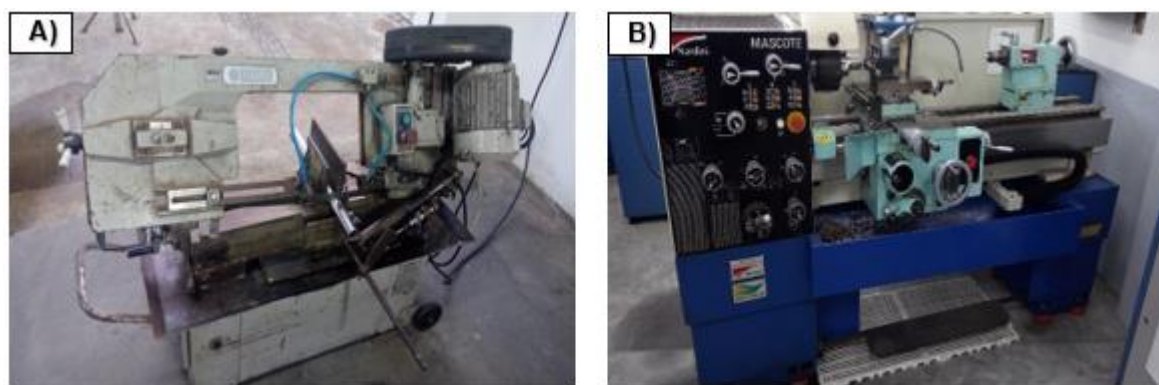
Para realizar o corte dos tubos foi utilizada uma serra de fita horizontal da marca CLEVER, modelo RF – 912B com capacidade para cortar materiais com até 230 milímetros de diâmetro.

Na realização do processo de faceamento dos tubos foi utilizado um torno mecânico convencional da marca NARDINI, modelo Mascote MS-205x1000 com potência de 4Hp.

Na figura 3.3 são mostrados os equipamentos utilizados para a usinagem dos tubos.

Figura 3.3 – Equipamentos utilizados para usinagem dos tubos:

A) Serra de fita CLEVER e B) Torno mecânico convencional NARDINI



Fonte: Autor (2018)

### 3.2.2 Confeção do dispositivo para injeção do gás de purga

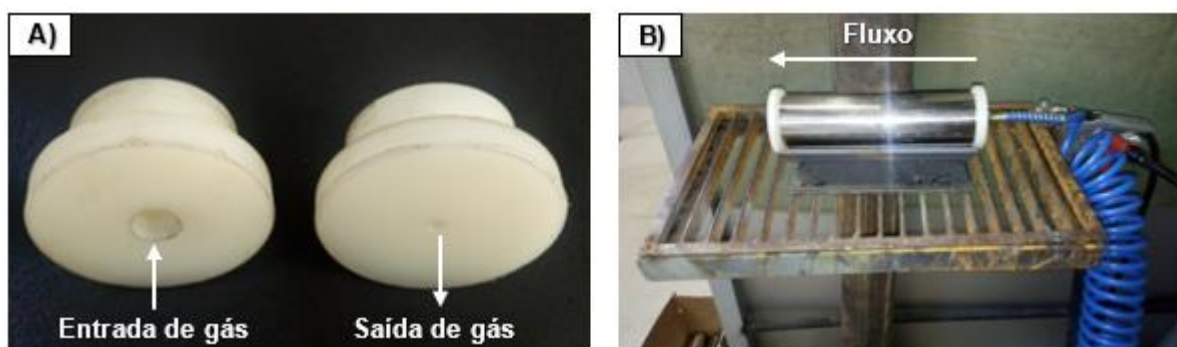
Tomando como referência as recomendações normativas para purga descritas anteriormente, foi desenvolvido um dispositivo que pudesse ser montado conforme as características dos respectivos tubos de teste. O dispositivo em questão, consiste em

duas tampas de poliamida, usinadas em torno convencional, com encaixe justo no interior dos tubos.

Uma das tampas possui um furo roscado para encaixe de uma mangueira responsável pela entrada do gás de purga, enquanto a outra tampa possui um furo passante de 3 mm para saída do respectivo gás, conforme ilustra a figura 3.4.

Figura 3.4 – Dispositivo para injeção do gás de purga:

A) Dispositivo após usinagem e B) Dispositivo instalado no tubo



Fonte: Autor (2018)

O dispositivo de injeção do gás de purga foi configurado para direcionar e garantir um fluxo uniforme sobre a raiz de todo o cordão soldado. Neste dispositivo o gás de purga é injetado na entrada do tubo e ao sair pelo orifício deste, é difundido ao longo da região onde será formada a raiz do cordão de solda. Deste modo, foi possível observar os fenômenos desenvolvidos sob a ação do gás de purga e pelas variações impostas na vazão deste na soldagem dos tubos de teste.

### 3.2.3 Soldagem dos tubos

A soldagem dos tubos de teste foi realizada sob 6 condições distintas, visando avaliar o uso do metal de adição e da vazão do gás de purga conforme parâmetros mostrados na tabela 3.3. A corrente de soldagem utilizada para a união de todas as juntas foi de 40 A.

Tabela 3.3 – Parâmetros utilizados na soldagem dos tubos de teste

Condição	Metal de Adição	Vazão do gás de purga (l/min)
1	Sem Adição	-
2	Com Adição	-
3	Sem Adição	5
4	Com Adição	5
5	Sem Adição	10
6	Com Adição	10

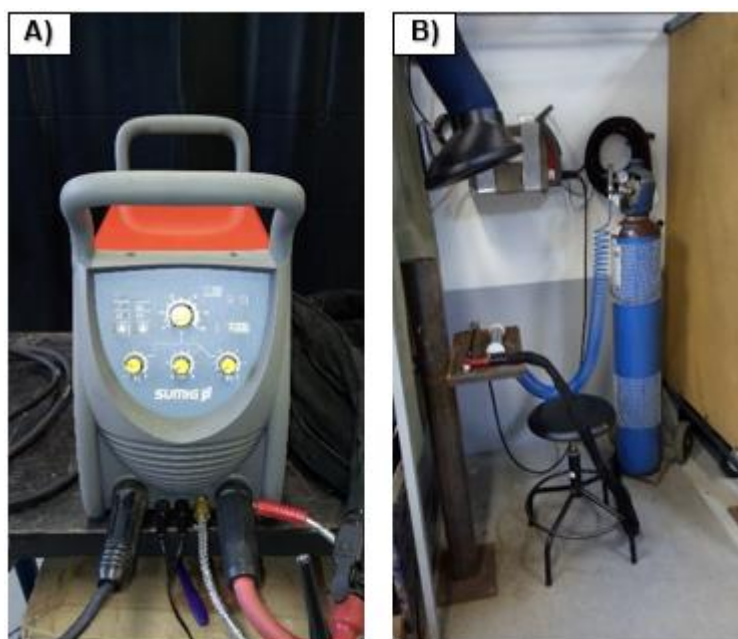
Fonte: Elaborado pelo autor

Para a realização da união das juntas foi utilizada uma fonte de soldagem da marca SUMIG, modelo TIGER 166, indicada para soldagens com eletrodos revestidos e TIG DC. Esse equipamento realiza a abertura do arco elétrico por alta frequência (HF), além de estabelecer pré e pós-fluxo de gás conferindo um excelente acabamento nos cordões de solda.

A figura 3.5 mostra o equipamento utilizado e o ambiente de trabalho durante a soldagem dos tubos de teste.

Figura 3.5 – Soldagem dos tubos de teste:

A) Fonte de soldagem SUMIG e B) Ambiente de soldagem



Fonte: Autor (2018)

O eletrodo não consumível utilizado para a soldagem dos tubos de teste segue a norma AWS EWTH – 2, contendo 97,5% de tungstênio e entre 1,8 a 2,2% de tório em sua composição. As suas dimensões compreendem 2,4 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento. Para sua melhor identificação, possui coloração vermelha em sua ponta indicando a aplicação para soldagem de aços inoxidáveis, conforme anexo A.

O gás utilizado na saída da tocha responsável pela proteção do arco elétrico e da poça de fusão durante a soldagem dos tubos de teste foi o argônio, tendo sua vazão ajustada em 12 l/min por um fluxímetro mecânico que foi acoplado ao cilindro desse gás conforme pode ser visualizado na figura 3.8 – A.

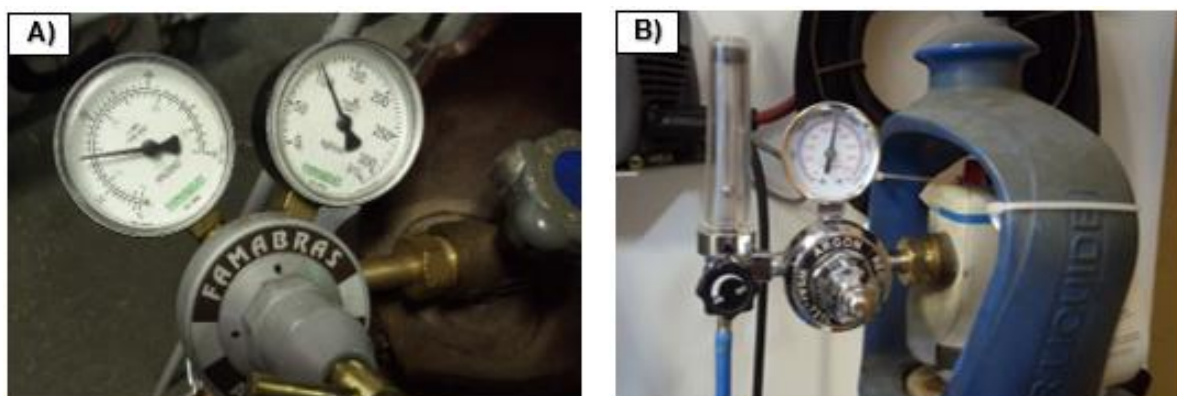
O gás de purga utilizado para a proteção das raízes das juntas também foi o argônio, conforme anexo A, tendo a vazão como variável estabelecida para controle durante a soldagem dos tubos.

Visando comparar os efeitos proporcionados pela injeção do gás de purga para proteção das raízes das juntas soldadas, foram pré-fixados dois níveis de vazão, conforme tabela 3.3, sendo ajustadas e monitoradas através de um fluxímetro mecânico instalado em um segundo cilindro de argônio conforme figura 3.8 – B.

A figura 3.6 mostra os fluxímetros responsáveis pelo ajuste da vazão do argônio na proteção do arco elétrico (saída da tocha) e na proteção da raiz da junta (gás de purga).

Figura 3.6 – Fluxímetros para controle de vazão de Argônio:

A) Ajuste da vazão na saída da tocha e B) Ajuste da vazão do gás de purga



Fonte: Autor (2018)

O primeiro passo dentre os procedimentos para estabelecer a união das juntas foi a realização do alinhamento dos tubos de teste de modo que não houvesse folga relativa entre esses componentes, para tal, foi confeccionado um dispositivo totalmente em aço carbono que serviu como apoio para os tubos.

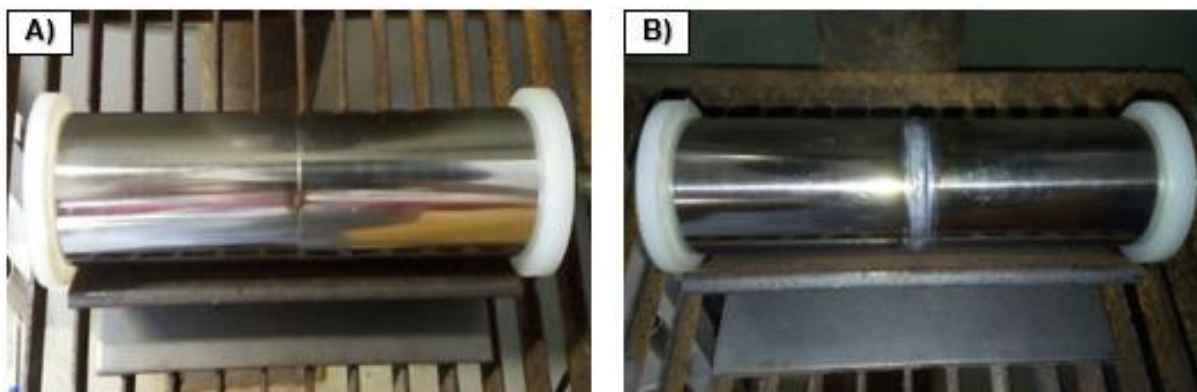
Em seguida, visando manter a rigidez e minimizando alterações durante o processo de soldagem, foram realizados 3 ponteamientos equidistantes em torno da junta, que estava sob proteção do gás de purga com vazão estabelecida em 5 L/min.

Esse dispositivo, além de proporcionar o alinhamento, também permitiu a revolução dos tubos de teste facilitando sua manipulação no momento da soldagem.

A figura 3.7 ilustra a condição de ponteamiento e a confecção completa do cordão de solda nos tubos de teste.

Figura 3.7 – Etapas da soldagem dos tubos de teste:

A) Após alinhamento e ponteamiento e B) Após confecção do cordão de solda



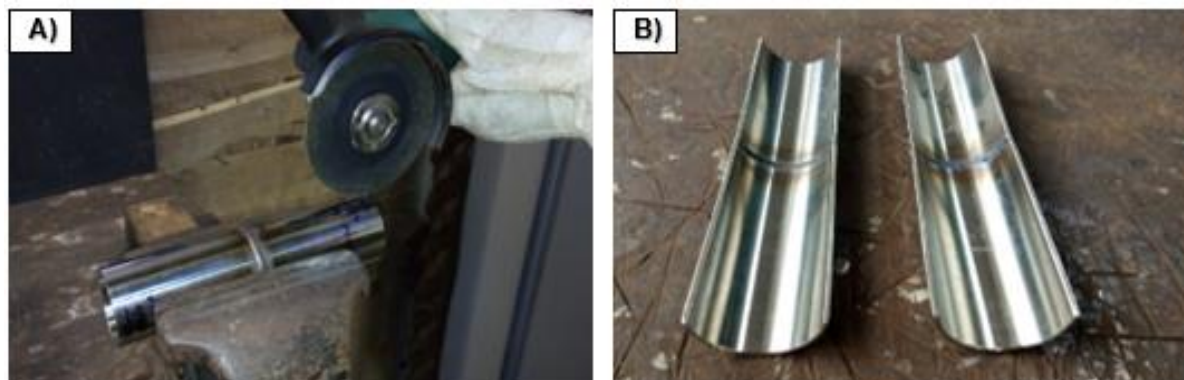
Fonte: Autor (2018)

### 3.2.4 Análise visual da raiz da junta soldada

Para realizar a avaliação do aspecto visual da raiz da junta soldada, os tubos de teste foram cortados com o auxílio de uma esmerilhadeira, equipada com disco de corte, no sentido perpendicular à solda, formando duas metades, conforme pode ser observado na figura 3.8.

Figura 3.8 – Corte dos tubos de teste para análise visual da raiz da junta:

A) Durante realização do corte e B) Após realização do corte



Fonte: Autor (2018)

Após o corte, os tubos de teste foram avaliados visualmente com ênfase nas raízes das juntas, visando identificar alterações de tonalidades em função do nível de coloração, efeitos adversos como perfurações e oscilações bruscas no perfil da raiz, além da formação de óxidos e demais características que pudessem ser consequência do efeito da sobrepressão do gás de purga no interior dos tubos no momento da soldagem.

### 3.2.5 Análise do perfil do cordão de solda

Para complementar a avaliação do aspecto das raízes das juntas soldadas foram retiradas amostras dos tubos de teste, das regiões de melhor destaque visual, sendo essas cortadas no sentido transversal ao cordão de solda com auxílio de esmerilhadeira equipada com disco de corte. Em seguida, foi realizado procedimento metalográfico padrão.

Na figura 3.9, podemos observar as amostras dos tubos embutidas, lixadas, polidas e atacadas quimicamente com reagente Marble. Desta forma, pode-se realizar a análise da forma da raiz, do reforço gerado e penetração dos cordões de solda.



Figura 3.9 – Amostras embutidas



Fonte: Autor (2018)

Após a realização do procedimento metalográfico padrão, as amostras devidamente embutidas passaram pela análise do perfil do cordão de solda através do estereoscópio da marca ZEISS, modelo Stemi 2000 – C equipado com câmera microscópica AxioCam ERC 5s.

### 3.2.6 Ensaio de microdureza

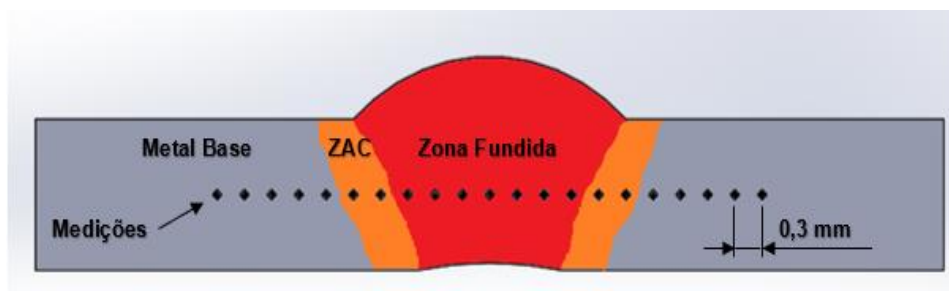
A avaliação da dureza foi realizada nas mesmas amostras preparadas por metalografia utilizadas para a análise dos perfis dos cordões. Foi utilizada a escala de microdureza Vickers conforme recomendação da norma ASTM – E92 (1997).

Para tal procedimento, foi utilizado o durômetro Vickers da marca Future Tech, modelo FM 800 com penetrador de diamante. A carga de impressão utilizada no ensaio foi de 1000 gf com tempo padrão de endentação de 10 segundos.

Nesse procedimento, foram realizadas medições ao longo das amostras para a produção de um perfil de microdureza que abrangesse o metal base, a ZTA e a zona fundida. A distância entre cada medição foi de 0,3 mm e o número total de medições para cada amostra foi de 21. Desta forma foi possível determinar como essa propriedade mecânica varia ao longo da junta soldada nas várias condições de soldagem impostas aos tubos de teste.

A figura 3.10 ilustra o esquema de medição para análise da microdureza.

Figura 3.10 – Esquema para medição da microdureza



Fonte: Autor (2018)

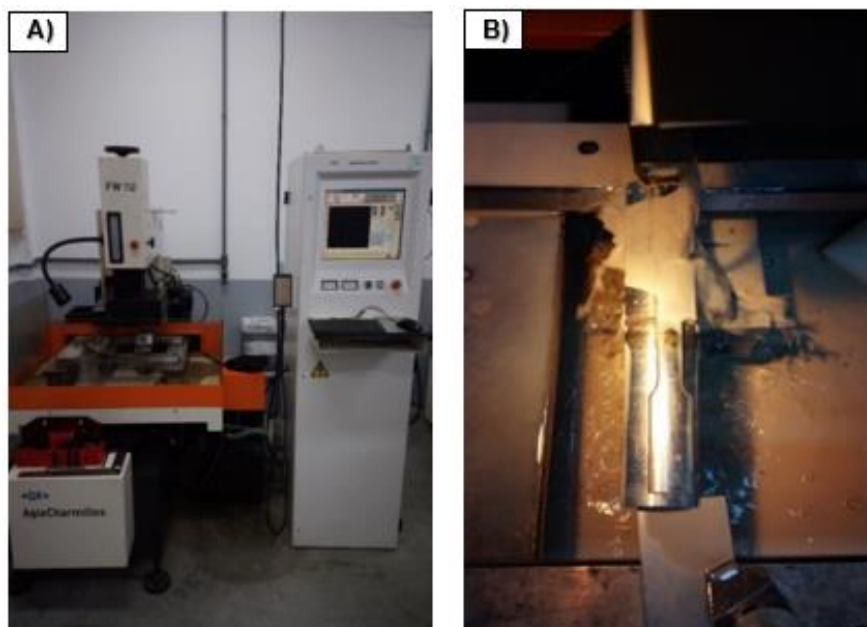
### 3.2.7 Ensaio de Tração

Para a realização do ensaio de tração, foram usinados corpos de prova conforme norma NBR ISO 6892. Para esse procedimento, foram usinados 3 corpos de prova para cada uma das 6 condições de soldagem realizadas, totalizando 18 corpos de prova. Eles foram usinados através do processo de eletroerosão a fio com o equipamento da marca AgieCharmilles modelo FW 1U.

A figura 3.11 mostra a máquina de eletroerosão a fio e a usinagem de um CP.

Figura 3.11 – Corte dos CP's por eletroerosão à fio:

A) Máquina AgieCharmilles FW 1U e B) Detalhe da usinagem de um CP

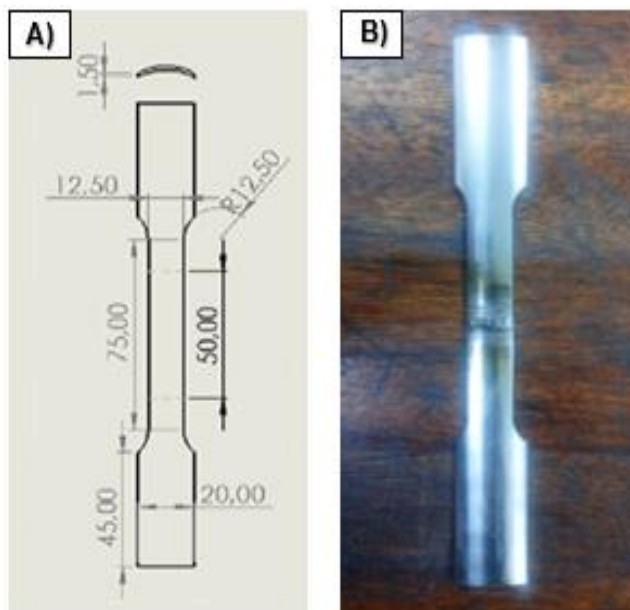


Fonte: Autor (2018)

Após o processo de usinagem, as dimensões e a geometria dos corpos de prova para ensaio de tração podem ser vistas na figura 3.12.

Figura 3.12 – CP's para ensaio de tração:

A) Dimensões dos CP's em mm e B) CP pronto para o ensaio

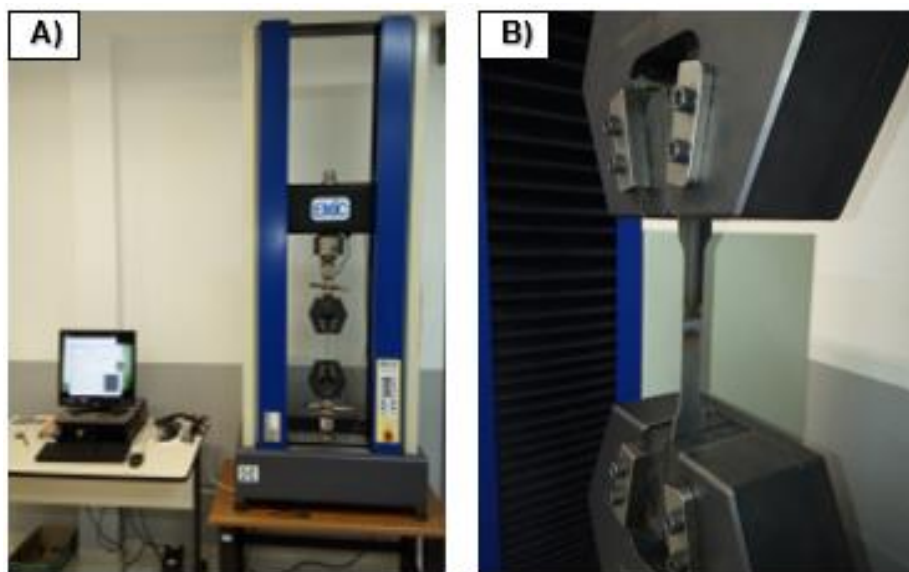


Fonte: Autor (2018)

Os ensaios de tração foram realizados até a ruptura do CP em máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL – 10000 com capacidade máxima de 100 kN. A figura 3.13 mostra a máquina EMIC e em detalhe a realização do ensaio de tração em um CP.

Figura 3.13 – Ensaio de tração:

A) Máquina universal de ensaios EMIC e B) CP submetido ao ensaio



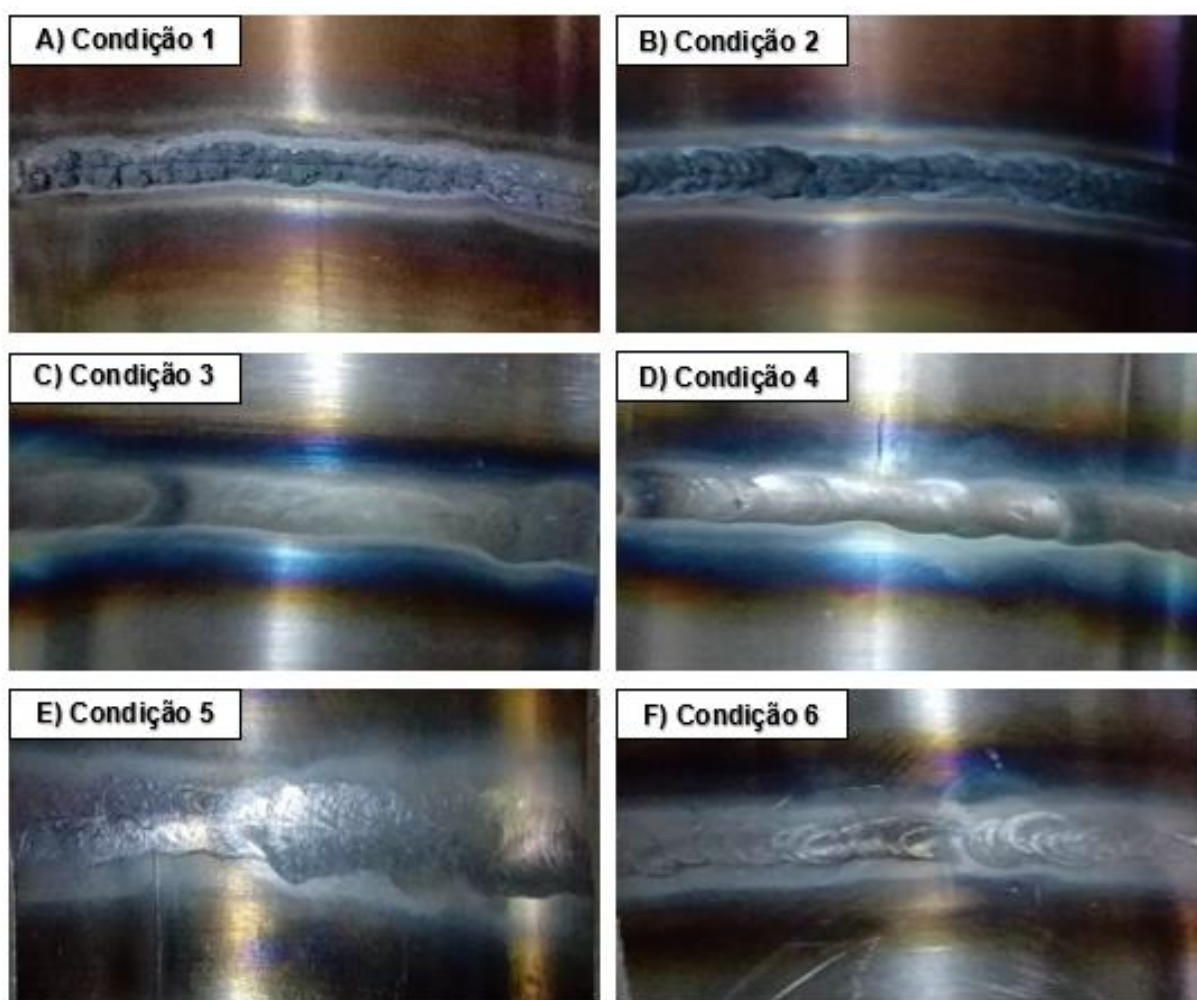
Fonte: Autor (2018)

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Análise de oxidação na raiz da junta

Na figura 4.1 são apresentadas as raízes das juntas soldadas. As imagens A e B da figura apresentam as condições de soldagem onde não se utilizou gás de purga. As imagens C e D da figura, correspondem as condições onde utilizou-se gás de purga com vazão de 5 l/min. Já as imagens E e F, desta mesma figura, mostram o aspecto visual das juntas realizadas com vazão do gás de purga ajustada em 10 l/min.

Figura 4.1 – Aspecto visual das raízes das juntas soldadas



Fonte: Autor (2018)

As condições de soldagem 1 e 2, figura 4.1 (A e B), onde as raízes das juntas dos tubos de teste foram soldadas sem gás de purga, ou seja, sujeitas a interação direta com o ar atmosférico, desenvolveram os piores indícios de formação de óxidos. Nessas amostras, podemos observar o desenvolvimento de oxidação com uma tonalidade cinza, além disso, manchas escuras surgem desde o metal base até a ZTA, região onde começa a surgir uma tonalidade roxa.

O aparecimento de uma camada de metal solidificada com uma textura porosa e de tonalidade cinza também pode ser percebida nas raízes das juntas soldadas em ambas as condições. Na condição de soldagem 2, figura 4.1 (B), que ocorreu com adição de metal percebe-se um maior volume dessa camada quando comparada com a condição de soldagem 1, figura 4.1 (A), que ocorreu de forma autógena. Esse fato pode ser explicado, justamente, pela adição de metal ocorrida durante a soldagem da junta do tubo de teste da condição 2, figura 4.1 (B).

As condições de soldagem 1 e 2, figura 4.1 (A e B), não são indicadas para soldar tubulações de transporte de produtos alimentícios, pois as raízes destas juntas apresentaram o mais alto índice de oxidação, além de formação irregular e porosa.

Para as condições de soldagem 3 e 4, figura 4.1 (C e D), cuja vazão do gás de purga foi mantida em 5 l/min, não foi observado o desenvolvimento de oxidação nas raízes das soldas desses tubos. A coloração na junta soldada nessas condições também apresenta tonalidades de marrom no metal base e tonalidades de roxo próximo a região da ZTA. Além disso, as raízes dessas juntas, diferentemente das condições de soldagem 1 e 2, figura 4.1 (A e B), apresentaram formação lisa, limpa e sem porosidade, com aspecto semelhante ao metal base.

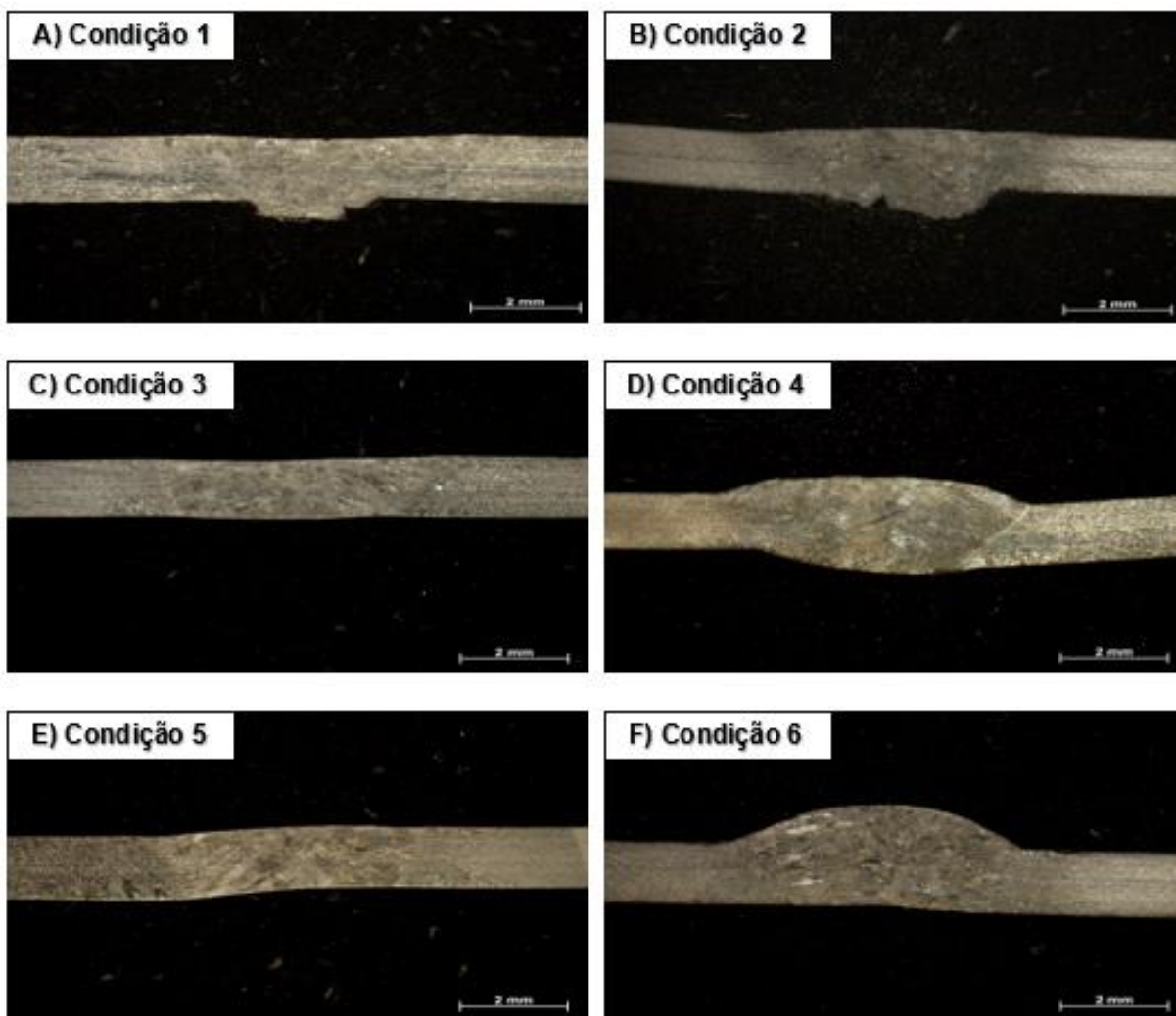
No ponto de vista econômico a condição de soldagem 3, figura 4.1 (C) apresenta os melhores resultados, aliando uma ótima formação da junta soldada com uma baixa vazão de gás de purga sem o custo gerado pela adição de metal, garantindo dessa maneira um bom aspecto da raiz da junta.

Nas condições de soldagem 5 e 6, figura 4.1 (E e F), onde a purga foi realizada com vazão de gás ajustada em 10 l/min, as raízes das juntas, semelhantemente as condições de soldagem 3 e 4, figura 4.1 (C e D), também apresentaram um bom aspecto superficial livre da formação de óxidos, lisa e limpa.

## 4.2 Análise do perfil da solda

Para complementar a avaliação do aspecto das raízes das juntas soldadas, após a realização do procedimento metalográfico padrão, o perfil do cordão de solda foi avaliado com o auxílio de um estereoscópio, a figura 4.2 apresenta as imagens obtidas nesse equipamento.

Figura 4.2 – Perfil macro das amostras retiradas dos tubos de teste



Fonte: Autor (2018)

De acordo com a análise das juntas soldadas visualizadas na figura acima pode-se destacar que para as condições de soldagem 1 e 2, figura 4.2 (A e B), é notável a presença de uma raiz com geometria irregular, fato relacionado com a exposição da junta à atmosfera ambiente durante a solidificação do metal no momento da soldagem.

A amostra da condição de soldagem 1, figura 4.2 (A), apresentou um menor volume de material na raiz quando comparado com a amostra de soldagem da condição 2, figura 4.2 (B), ambas soldadas sem injeção de gás de purga. Este fato pode ser explicado pela soldagem autógena realizada na condição de soldagem 1.

Na amostra da condição de soldagem 3, figura 4.2 (C), realizada com vazão do gás de purga em 5 l/min, o perfil da raiz se manteve uniforme, adquirindo a mesma geometria do metal de base, ou seja, o gás de purga impediu a oxidação da raiz da solda. Esse fato também pode ser observado na amostra da condição de soldagem 5, figura 4.2 (E). A falta de reforço em ambas as condições está relacionada com a falta de metal de adição, já que foram soldados de maneira autógena.

Na amostra de soldagem 4, figura 4.2 (D), soldada sob influência do gás de purga e com adição de metal, o perfil da raiz manteve-se uniforme ao longo da extensão analisada, com indícios de um leve reforço desenvolvido, confirmando a imagem do perfil transversal.

Na condição de soldagem 6, soldado com adição de metal, figura 4.2 (F), é possível perceber que a poça de fusão esteve sob influência da alta vazão do gás de purga, influenciando na formação de uma raiz levemente convexa além de um reforço mais alto.

Um fato conclusivo constatado nesta etapa das análises é que a adição de metal promoveu perfis mais robustos dos cordões de solda e a utilização do gás de purga eliminou a raiz excessiva e oxidada das juntas. Além disso, o aumento da vazão do gás de purga, além de evitar a oxidação, teve efeito no perfil da raiz devido à alta pressão durante sua fusão e solidificação.

### 4.3 Análise de microdureza

A microdureza média foi avaliada em uma faixa com distância fixa e foi realizada exatamente no centro do perfil do cordão de solda, conforme esquema proposto na figura 3.14 (Capítulo 3). Na tabela 4.1 estão representados os valores encontrados nessa medição.

Tabela 4.1 – Valores do ensaio de microdureza Vickers para carga de 1000 gf

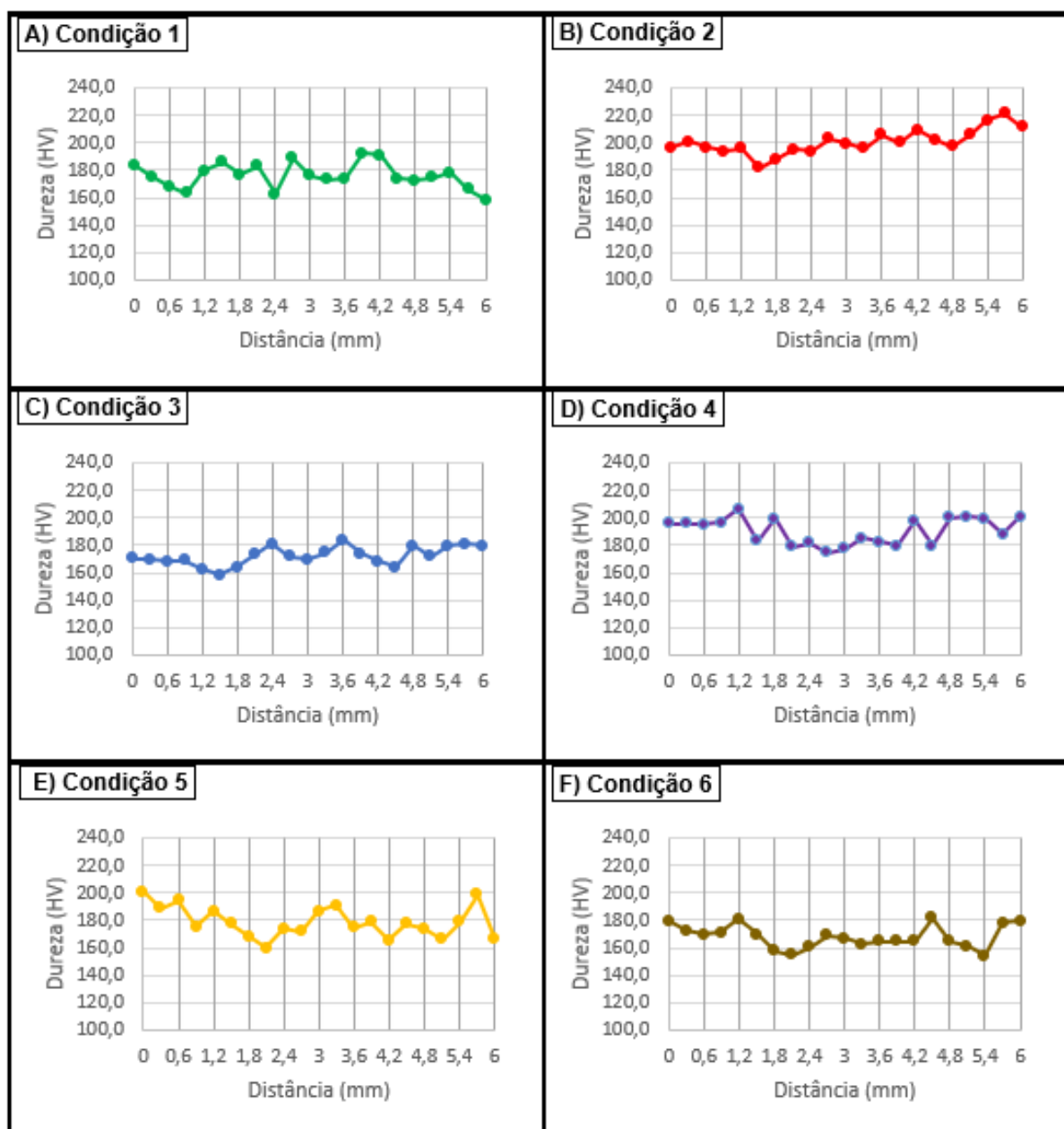
Região da Solda	Distância entre medições (mm)	Dureza Vickers (HV)					
		Condição 1	Condição 2	Condição 3	Condição 4	Condição 5	Condição 6
Metal Base	0	184,2	196,6	170,4	195,7	200,6	179,6
	0,3	175,5	201,0	169,7	195,7	188,8	172,6
	0,6	168,6	196,6	168,2	195,2	194,6	170,1
	0,9	163,7	194,1	168,9	196,9	175,5	171,5
	1,2	180,0	196,0	162,5	206,9	186,9	181,2
ZTA	1,5	186,0	182,0	158,4	183,3	177,4	169,8
	1,8	177,0	188,3	164,4	199,2	168,3	157,7
Zona Fundida	2,1	183,0	195,3	173,3	178,9	160,1	155,0
	2,4	162,6	193,5	181,2	181,8	173,8	160,8
	2,7	188,6	203,3	171,7	174,8	172,1	168,8
	3	175,8	199,8	170,0	177,7	186,9	167,1
	3,3	173,3	195,7	174,6	185,3	191,3	162,4
	3,6	174,1	206,1	183,7	182,5	174,8	164,5
	3,9	192,5	200,3	174,0	179,9	179,0	164,6
ZTA	4,2	190,9	209,2	168,4	198,4	165,5	164,7
	4,5	173,9	202,1	164,0	179,8	177,8	181,6
Metal Base	4,8	172,8	197,5	180,0	200,2	173,9	165,0
	5,1	174,8	205,9	171,7	200,6	166,1	161,1
	5,4	177,9	216,2	179,3	199,1	178,7	154,2
	5,7	166,2	221,7	181,1	188,4	198,6	177,9
	6	158,1	211,5	179,9	201,1	166,2	179,9

Fonte: Elaborado pelo autor



Através dos dados obtidos e devidamente tabelados, foi possível realizar a geração de gráficos para uma melhor visualização e entendimento do comportamento do perfil de microdureza nas diferentes condições de soldagem impostas aos tubos de teste, conforme visualizado na figura 4.3.

Figura 4.3 – Resultados da análise de microdureza



Fonte: Autor (2018)

Observa-se com os gráficos que independente da condição estabelecida, o objetivo principal de um processo de soldagem por fusão foi alcançado, que é manter estável a propriedade mecânica da dureza ao longo de todas as regiões da junta soldada (MB, ZTA, ZF).

Pode-se afirmar também que as várias condições de soldagem utilizadas não geraram alterações significativas nos valores de microdureza, salvo a condição de soldagem 2. Observando a figura 4.3 (B), podemos verificar que os maiores valores de microdureza são encontrados nesta amostra, soldada com adição de metal e sem gás de purga. A adição de metal tem a característica de modificar a composição química da liga e como consequência pode alterar o valor de sua dureza.

#### 4.4 Ensaio de tração

O ensaio de resistência mecânica à tração foi realizado a fim de determinar a variação dessa propriedade mecânica em cada uma das condições de soldagem utilizadas na união dos tubos de teste. Os valores do limite de resistência à tração fornecidos pelo equipamento estão mostrados na tabela 4.2 (média dos 3 ensaios realizados para cada amostra com desvio padrão). Nesta mesma tabela, os valores de alongamento ( $\epsilon$ ) para cada amostra também estão apresentados (estes foram medidos e calculados).

Tabela 4.2 – Resultados do ensaio de tração

Condição	Alongamento		Resistência à tração	
	$\epsilon$ (%)	DP	$\sigma_{\text{máx}}$ (Mpa)	DP
1	29,1	3,7	612,3	36,98
2	32,8	2,3	654,4	40,28
3	34,1	1,6	583,6	47,72
4	38,4	2,8	565,1	69,52
5	38,2	0,5	577,7	61,11
6	37,7	0,8	649,5	11,29

Fonte: Elaborado pelo autor

Após a análise dos resultados da tabela 4.2 pode-se destacar que apesar das diferentes condições de soldagem utilizadas na união dos tubos de teste não se observou variação de resistência mecânica entre os corpos de prova.

Percebeu-se que a ruptura dos CP's ocorreu no cordão de solda em todas as amostras ensaiadas. O cordão de solda é a região mais afetada pelo calor, já que o material sofreu mudança de estado físico. Porém, a adição de metal propicia mudança de composição química e também de propriedades, ou seja, deveria gerar aumento da resistência mecânica. Como os resultados deste ensaio foram semelhantes, constatou-se que a composição química do metal de adição utilizado na soldagem não proporcionou aumento da resistência mecânica da junta.

A utilização do gás de purga em ambos os níveis de vazão, durante a soldagem dos tubos de teste, também não promoveu nenhum efeito na resistência mecânica da junta.

De uma maneira geral, o nível de deformação plástica dos corpos de prova se manteve semelhante e sem grandes alterações em seus resultados.

Baseado no catálogo VILLARES METALS, as propriedades mecânicas em todos os corpos de prova se mantiveram dentro do limite recomendado que é aproximadamente 520 Mpa (Anexo B).

Percebe-se que os resultados de alongamento para as 6 condições de soldagem foram inferiores ao indicado no catálogo VILLARES METALS, que é de 40%. Isto se deve ao fato de que, no catálogo, esta faixa é representativa para um metal base homogêneo. Como após a soldagem 3 regiões distintas são formadas, possivelmente a ZTA que é a região mais crítica teve sua ductilidade diminuída. Além disso, a zona fundida das amostras com metal de adição possui composição química distinta, o que também pode ter afetado a ductilidade do material.

## 5 CONCLUSÃO

O uso do argônio como gás de purga no interior dos tubos durante a soldagem das juntas, proporcionou de forma significativa a redução da aparência oxidada da raiz do cordão de solda, apresentando melhores condições quando comparados aos tubos de teste soldados sem proteção do gás de purga.

Na condição de soldagem sem uso de gás de purga e com adição de metal, percebeu-se a formação de uma raiz com área superficial visualmente maior. Por ser rugosa e oxidada apresenta as piores condições para a indústria de alimentos, isto porque gera maior superfície para potencial acúmulo de resíduos, conforme verificado na literatura. Este é o motivo pelo qual profissionais deste ramo utilizam o argônio como gás de purga para minimizar o aspecto da oxidação das juntas no interior de tubulações.

As vazões do gás de purga utilizadas durante a soldagem, (5 l/min e 10 l/min), apresentaram resultados equivalentes e satisfatórios na qualidade superficial das raízes da solda, justificando-se assim, economicamente, a utilização da menor vazão.

Os perfis dos cordões soldados apresentaram variação em função da vazão de gás de purga e do metal de adição utilizado. As amostras com metal de adição apresentaram maior reforço e a amostra com maior vazão (10l/min) gerou redução da raiz apresentando um perfil mais alinhado com a superfície interna do tubo.

A adição de metal e a ampliação da vazão do gás de purga durante a soldagem dos tubos não alteraram as propriedades mecânicas das juntas.

## REFERÊNCIAS

- AÇO, Revista do. **Gases de Proteção para Soldagem ao Arco Elétrico**. 2018. Disponível em: <<http://www.revistadoaco.com.br/gases-de-protecao-para-soldagem-ao-arco-eletrico/>>. Acesso em: 19 set. 2018.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A-270**: Tubulações. 1 ed. Pensilvânia, 2018. 3 p.
- ARAMAT. **Por que purgar?** 2016. Disponível em: <[aramat.com.br/por-que-purgar/](http://aramat.com.br/por-que-purgar/)>. Acesso em: 17 set. 2018.
- ARCELORMITTAL. **Aços Inoxidáveis: aplicações e especificações**. 2008. Elaborado por: Eng. Héctor Mario Carbó. Disponível em: <<http://guides.com.br/home/wp-content/uploads/2011/12/inonx-apost-tec.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 6892-1**: Materiais metálicos — Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente. São Paulo, 2013. 70 p. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=196800>>. Acesso em: 15 out. 2018.
- ASTM, American Society for Testing and Materials. E – 92. **"Standard test method for Vickers hardness of metallic materials"**. Outubro de 1997.
- AWS, American Welding Society D10.11M/D10.11, **"Guide for root pass welding of pipe without backing"**, maio de 2007.
- AWS, American Welding Society D10.4, **"Recommended practices for welding austenitic chromium-nickel stainless steel piping and tubing"**. Abril de 1986.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 7. ed. São Paulo: Abm, 1998. 599 p.
- DIAS, Juliane. **Por que a solda TIG é a mais indicada para a indústria de alimentos?** 2016. Disponível em: <<https://foodsafetybrazil.org/por-que-solda-tig-e-mais-indicada-para-industria-de-alimentos/>>. Acesso em: 16 ago. 2018.
- ESAB Catalog. 2018. Disponível em: <<https://www.esab.com.br/br/pt/products/filler-metals/tig-rods-gtaw/stainless-steel-rods/ok-tigrod-308l.cfm>>. Acesso em: 15 jul. 2018.
- FLETCHER, M. **"Gas purging optimizes root welds"**. Welding Journal, December, 2006, p. 38-40.
- GALDINO, Laécio Gomes. **INFLUÊNCIA DO GÁS DE PURGA NA FORMAÇÃO DA RAIZ DO CORDÃO DE SOLDA EM TUBOS DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 304**. 2014. 175 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014. Disponível em:

<<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21195/1/InfluenciaGasPurga.pdf>>.  
Acesso em: 18 set. 2018.

GROOVER, Mikell P. **Introdução aos Processos de Fabricação**. Rio de Janeiro: Ltc, 2014. 737 p.

MARQUES, Paulo Villani. **Tecnologia da Soldagem**. Belo Horizonte: O Lutador, 1991. 352 p.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2009. 363 p.

MODENESI, Paulo J. **Soldabilidade Dos Aços Inoxidáveis**. São Paulo: Senai-sp, 2001. 100 p.

POPULAR, Engenharia. **Purga na Soldagem?** 2016. Disponível em: <<http://popeng.com.br/purga-na-soldagem/>>. Acesso em: 17 set. 2018. (POPULAR, 2016)

QUIMATIC. **Tratamento de superfícies**. 2018. Disponível em: <<https://www.quimatic.com.br/produtos/tratamentos-de-superficies/#limpeza-de-metais>>. Acesso em: 16 nov. 2018

SANTOS, Carlos Eduardo Figueiredo dos. **Processos de Soldagem: conceitos, equipamentos e normas de segurança**. São Paulo: Érica, 2015. 152 p.

VEIGA, Emílio. **Processo de soldagem TIG**. São Paulo: Globus, 2011. 188 p.

VILLARES, Metais. **Aço inoxidável austenítico: V304XLUF**. 2019. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Inoxidaveis/Austeniticos/V304XLUF>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. **Soldagem: processos e metalurgia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 494 p.

## ANEXO A – Gás e eletrodo utilizados nos testes

Figura A.1 – A) Argônio utilizado como gás de purga e B) Eletrodo não consumível de tungstênio



Fonte: Autor (2018)

## ANEXO B – Catálogo de aços inoxidáveis VILLARES METALS



## AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO

V304LUF

## Composição Química:

C	Cr	Ni
0,03 máx.	19,00	10,00

## Normas / Similares:

ABNT NBR 5601 Tipo 304L ASTM A 276-92 Tipo 304L UNS S30403 AISI 304L SAE 30304L DIN X 2 CrNi 189 WNr 1.4306 BS 970 :1970 Tipo 304S12 JIS G 4303-81 Tipo SUS e 304L.  
O aço V304LUF (USIFAC) tem composição química semelhante à do V304UF porém com teor de carbono mais baixo.

## Cores de Identificação:

Marrom – Azul – Marrom

## Características gerais:

Aço cromo-níquel inoxidável austenítico de extra-baixo teor de carbono. Amagnético. Não temperável. Possui eventualmente pequenos teores de ferrita, apresentando então um leve magnetismo. Quando deformado a frio, torna-se parcialmente martensítico e ligeiramente magnético.  
Possui boa resistência à corrosão.  
Tem a propriedade de manter boas características de tenacidade até temperaturas extremamente baixas, o que torna um material adequado para aplicações criogênicas sujeitas a choques e impactos. Sob este aspecto, supera o aço V304UF.  
O aço V304LUF, como em geral todos os aços inoxidáveis austeníticos, caracteriza-se por um coeficiente de dilatação térmica linear cerca de 50% superior aos dos aços para construção mecânica.

## Aplicações Típicas:

O aço V304LUF tem um campo de aplicação semelhante ao do V304UF, sendo porém, graças ao baixo teor de carbono, preferido nos casos em que existem condições propícias para a ocorrência de corrosão intercrystalina.

## Estado de fornecimento:

Solubilizado (recozido) com dureza 160 HB aproximadamente. Outras propriedades mecânicas: neste estado, o aço apresenta aproximadamente os seguintes valores:  
Limite de resistência à tração: 520 Mpa ou 520N/mm<sup>2</sup> (53kgf/mm<sup>2</sup>)  
Limite de escoamento: 220Mpa ou 220N/ mm<sup>2</sup> (22kgf/ mm<sup>2</sup>)  
Alongamento: 40%  
Estricção: 60%

## Forjamento :

Aquecer a cerca de 1200°C, manter em temperatura até completa homogeneização e iniciar o forjamento. Não forjar abaixo de 930°C. Reaquecer se necessário.

## Solubilização :

Para obtenção da máxima resistência a corrosão, recomenda-se aquecer a 1.040 °C ou eventualmente um pouco mais, manter em temperatura até completa redissolução dos carbonetos precipitados ( em quantidade muito pequena, no aço V304LUF) e resfriar em água ou ar.

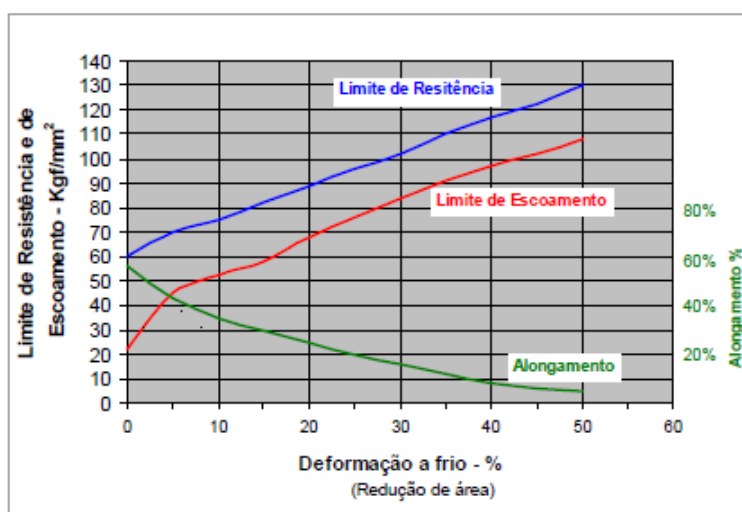
## Endurecimento:

O aço V304LUF não é passível de endurecimento por meio de tratamento térmico. Isso pode ser obtido por encruamento, mediante deformação a frio, como por exemplo uma trefilação no caso de barras.



Diagrama de  
Encruamento:

O diagrama de encruamento apresentado a seguir, a título ilustrativo, mostra de forma aproximada a variação de propriedades mecânicas do aço V304LUF com a redução da área da seção transversal, obtida mediante deformação a frio.



As propriedades mecânicas do aço deformado dependem das características do material original e das condições em que se realiza a deformação. Desse modo, o diagrama acima deve ser considerado como simplesmente orientativo.

Resistência a corrosão:

O aço V304LUF apresenta melhores características de resistência à corrosão no estado solubilizado e com a superfície finamente polida.

**CORROSÃO GERAL**

O aço V304LUF possui resistência à corrosão geral praticamente semelhante à do aço V304UF.

**CORROSÃO INTERCRISTALINA**

Dentro do grupo 18-8, o aço V304LUF é o menos sensível à corrosão intercrystalina. Por isso é recomendado para aplicações sujeitas a permanências mais ou menos prolongadas na faixa de temperaturas entre 400°C e 900°C e que não podem ser submetidas a recozimento, como, por exemplo, conjuntos soldados de maior vulto.

Solda:

Basicamente, o aço V304LUF pode ser soldado pelos processos usuais de solda; entretanto, deve-se evitar, sempre que possível, o uso da solda oxi-acetilênica.

Na grande maioria dos casos, não é necessário realizar qualquer tratamento térmico após a soldagem do aço V304LUF. Contudo, para peças que ficarão expostas ao ataque de agentes agressivos severos, recomenda-se um recozimento para solubilização em seguida à soldagem.

Indicações sobre o tipo de eletrodo mais adequado podem ser obtidos nas firmas especializadas.