

ESTUDO DO USO DE ATMOSFERA DE PROTEÇÃO INTERNA NA SOLDAGEM DE TUBOS PARA A INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA

Thiago Lino Borges (IFSC) E-mail: thiago_1_borges@hotmail.com

Almir Turazi (IFSC) E-mail: almir.turazi@ifsc.edu.br

Cesar Stenger (IFSC) E-mail: cesar.magaiver1971@gmail.com

Resumo: Um dos problemas na fabricação de tubulações para a indústria alimentícia é a formação de defeitos internos gerados durante processo de soldagem. O defeito mais comum ocorre na raiz da solda, devido à oxidação em altas temperaturas, e não permite acesso para posterior processo de acabamento. Uma das formas de controle é a utilização de atmosfera controlada (gás de purga) no interior dos tubos durante a soldagem. O presente trabalho aborda a adequação da utilização de 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 maneira autógena e com adição de metal, tubos de perfil redondo com vazões distintas de gás de purga para proteção da raiz da junta. Após a soldagem foi realizada análise visual da superfície interna dos tubos, macrografia para avaliação do perfil do cordão de solda, além de ensaios de microdureza e de tração visando avaliar as propriedades mecânicas das juntas soldadas. Verificou-se que a utilização do gás de purga contribui para a formação de uma superfície mais limpa na raiz da junta soldada. O aumento da vazão de 5 para 10 l/min gerou níveis de acabamento da raiz semelhantes, indicando que baixas vazões já são suficientes para eliminação do defeito. O uso do metal de adição não gerou aumento significativo das propriedades mecânicas indicando que a soldagem autógena, se bem executada, garante continuidade de propriedades na tubulação.

Palavras-chave: Aço inoxidável, Gás de purga, TIG.

STUDY ON THE USE OF INTERNAL PROTECTION ATMOSPHERE IN PIPE WELDING FOR THE FOOD INDUSTRY

Abstract: A problem in the manufacture of pipes for the food industry is the formation of internal defects generated during the welding process. The most common defect occurs at the weld root, due to oxidation at high temperatures, and does not allow access for subsequent finishing process. One of the control methods is the use of a controlled atmosphere (purging gas) inside the tubes during welding. This study addresses the adequacy of the use of purging gas and the addition of metal during the union of AISI 304L stainless steel tubes through the GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) process. For this purpose, round profile tubes were welded with different purging gas flow rates to protect the joint root. After welding, visual analysis of the internal surface of the tubes and macrography were carried out to evaluate the weld, in addition to microhardness and tensile strength tests, in order to evaluate the mechanical properties. It has been found that the use of purging gas contributes to the formation of a cleaner surface at the weld root. The increase in flow from 5 to 10 l/min generated similar root finish levels, indicating that low flow rates are already sufficient to eliminate the defect. The use of filler metal did not generate a significant increase in mechanical properties, indicating that autogenous welding, if properly performed, guarantees continuity of properties in the piping.

Keywords: Stainless steel, Purging gas, GTAW.

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, 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. Esta classe de materiais (aços inoxidáveis) é caracterizada por apresentar excelente tenacidade, ductilidade e resistência à corrosão em temperaturas elevadas (ASTM, 2018 e DEWAGAN et al, 2015).

Os aços inoxidáveis são ligas ferrosas contendo grande quantidade de elementos de liga em sua composição visando, principalmente, uma elevada resistência à corrosão. Deste modo diferentes microestruturas podem ser observadas nesta classe de materiais. A austenita, a ferrita e a martensita são as diferentes fases que podem existir em um aço inoxidável e são responsáveis por afetar suas propriedades físicas e mecânicas (OKAYASU e ISHIDA, 2019). A composição química é o que define a fase estável da liga, conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos aços inoxidáveis

Tipo de aço	%C	%Cr	%Ni	%Mo
Austenítico	<0,6	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 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. Dentre os aços austeníticos, o aço AISI 304L é muito utilizado na indústria alimentícia. Comumente encontrado na forma de tubos, este aço é recomendado em aplicações onde são necessárias características como facilidade de limpeza e excelente acabamento. É usado ainda na construção de contêineres, barcos, fabricação de aparelhos de cozinha, trocadores de calor e em aplicações criogênicas. Sua composição apresenta extra baixo teor de carbono (0,03%), e além da boa resistência à corrosão apresenta excelente soldabilidade (MODENESI, 2001).

A soldagem é o principal processo de união de tubos metálicos e apesar da sua ampla utilização ela afeta mecânica, térmica e metalurgicamente o material, gerando uma região com mudança microestrutura chamada de ZAC (zona afetada pelo calor). Além disso, pode ocorrer o aparecimento de um elevado nível de tensões residuais e a formação de descontinuidades tanto na ZAC como no próprio cordão de solda (zona fundida) (WAINER et al, 1992 e PRASAD et al, 2014).

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 (VEIGA, 2011).

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 em indústrias alimentícias (TABAN et al, 2014 e RAJEEV et al, 2019).

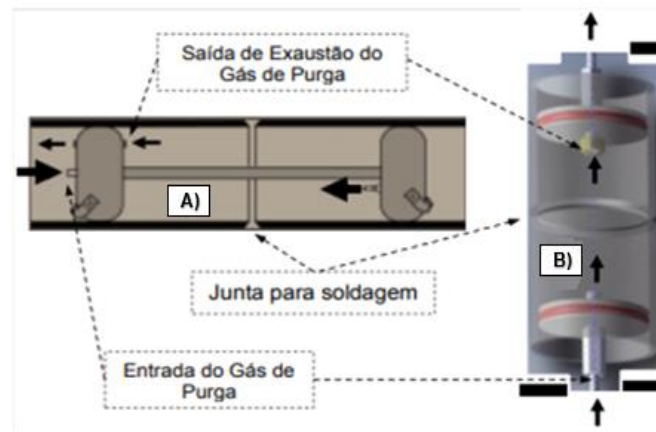
Para a soldagem de materiais cuja composição química apresenta afinidade com o oxigênio como as ligas de alumínio e aços inoxidáveis, a norma AWS D10.4 (1986) recomenda a aplicação de um gás de purga. Ainda segundo esta norma, o gás de purga é um dos meios eficientes que podem proporcionar proteção contra 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 e TABAN et al, 2014).

De acordo com Galdino (2014), no interior de tubos ou vasos de pressão, a remoção mecânica por esmerilhamento e a passivação, muitas vezes, são impraticáveis sendo impossível acessar essas regiões depois da soldagem. Nesses casos, a solução prática é 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. Pressões elevadas podem acarretar em raízes convexas, diminuição de espessura ou até geração de furos na região da solda (AWS, 2007 e GALDINO, 2014).

A figura 1 apresenta esquemas de instalação de sistemas de purga. No caso da figura 1A tem-se um sistema com bexigas infláveis e na figura 1B, discos com anéis emborrachados nas extremidades para vedação, possibilitando a injeção do gás escolhido e uma simultânea vedação da região a ser purgada para proteção da raiz da solda.



Fonte: Fletcher (2006)

Figura 1 – Esquemas representativos de unidades de purga: A) Bexigas e B) Discos

Conhecendo-se as características dos materiais envolvidos no processo de soldagem, o uso deste procedimento tem se mostrado eficiente na proteção de superfícies sem acesso posterior para processo de acabamento. No entanto, poucos são os estudos sobre padronização do mesmo. Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência da utilização de uma atmosfera de proteção interna (gás de purga) durante soldagem pelo processo TIG de tubulações alimentícias, além de avaliar o efeito da adição de metal nas características da raiz da solda e nas propriedades mecânicas da junta.

2 Metodologia

O metal base utilizado no desenvolvimento do presente trabalho foi o aço inoxidável AISI 304L, obtido na forma de tubos de perfil redondo, com diâmetro externo de 50,8 mm e espessura da parede de 1,5 mm, faceados em torno convencional para melhor alinhamento da junta. Sua composição química pode ser verificada na tabela 2.

Tabela 2 – Composição química do aço inoxidável AISI 304L (% em massa)

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

Fonte: Villares Metals (2019)

A soldagem dos tubos foi realizada sob 6 condições distintas, conforme parâmetros mostrados na tabela 3. O equipamento utilizado foi uma fonte do tipo inversora com intensidade de corrente fixada em 40 A para todas as condições.

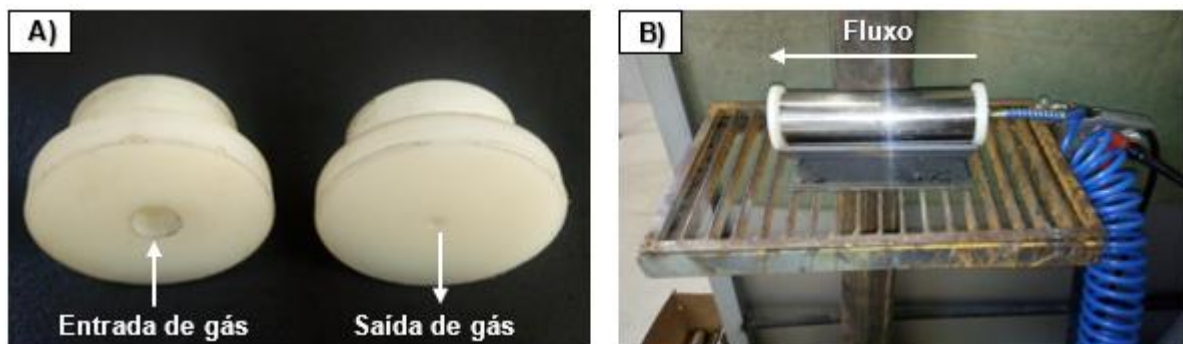
Tabela 3 – Parâmetros utilizados na soldagem dos tubos

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: Autor

Para a proteção das raízes das juntas utilizou-se o argônio como gás de purga e o metal de adição utilizado foi o AWS ER 308L em forma de varetas com diâmetro de 1.6 mm e 1000 mm de comprimento.

O dispositivo utilizado para injeção do gás de purga consistiu em duas tampas de poliamida, usinadas em torno convencional, com encaixe justo no interior dos tubos. Uma das tampas provida de um furo roscado para encaixe da mangueira responsável pela entrada do gás de purga, enquanto a outra tampa continha um furo passante de 3 mm para saída do respectivo gás, conforme ilustra a figura 2.



Fonte: Autor

Figura 2 – Dispositivo para soldagem com injeção de gás de purga: A) Tampas de poliamida usinadas e B) Dispositivo instalado nos tubos

Após a soldagem dos tubos, os mesmos foram seccionado para permitir a avaliação do aspecto visual da raiz das juntas soldadas. Além disso, o perfil do cordão de solda foi analisado através de estereoscópio da marca ZEISS, modelo Stemi 2000 – C, equipado com câmera microscópica Axiocam ERC 5s, em amostras submetidas a procedimento metalográfico padrão.

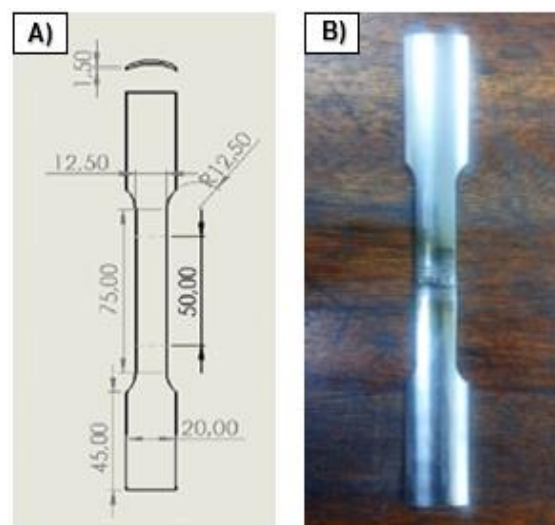
A avaliação da dureza foi realizada nas mesmas amostras submetidas a estereoscopia. Para isso, foram medidos perfis de microdureza, utilizando-se a escala Vickers, conforme recomendação da norma ASTM – E92. Para cada perfil foram realizadas 21 medições com distanciamento de 0,3 mm entre cada uma (conforme ilustrado na figura 3).



Fonte: Autor

Figura 3 – Esquema de obtenção dos perfis de microdureza

Para o ensaio de tração, os corpos de prova foram confeccionados (via processo de eletroerosão a fio), seguindo a norma NBR ISO 6892, mantendo-se os cordões de solda centralizados na posição transversal (conforme mostrado na figura 4). Os testes foram realizados até a ruptura dos CP's em máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL – 10000.



Fonte: Autor

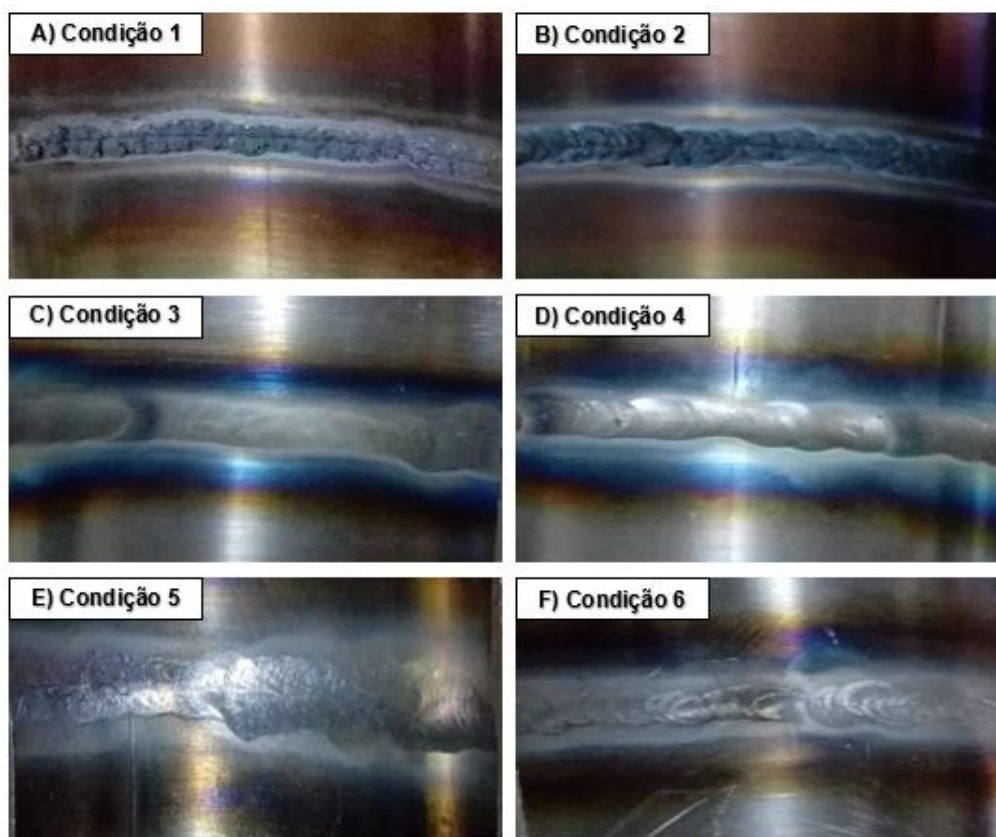
Figura 4 – CP's para ensaio de tração: A) Dimensões dos CP's em mm e B) CP pronto para o ensaio

Para cada condição de soldagem foram confeccionados e testados 3 corpos de prova sendo verificados os resultados de limite de resistência a tração e alongamento para cada amostra.

3 Resultados e discussão

3.1 Análise de oxidação na raiz da junta

A figura 5 apresenta imagens internas dos tubos, obtidas após o corte dos mesmos, onde pode-se observar o aspecto das raízes das soldas para as 6 condições estudadas.



Fonte: Autor

Figura 5 – Aspecto visual das raízes das juntas soldadas

As condições de soldagem 1 e 2 (figuras 5A e 5B), onde as raízes das juntas dos tubos 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, pode-se observar o desenvolvimento de oxidação com uma tonalidade cinza escura e bastante rugosa. Na condição de soldagem 2, que ocorreu com adição de metal, percebe-se um maior volume dessa camada quando comparada com a condição de soldagem 1 (soldagem autógena). Esta rugosidade excessiva é indesejada em tubulações alimentícias por causarem o acúmulo de resíduos e possível geração de bactérias, o que contaminaria o alimento transportado subsequentemente.

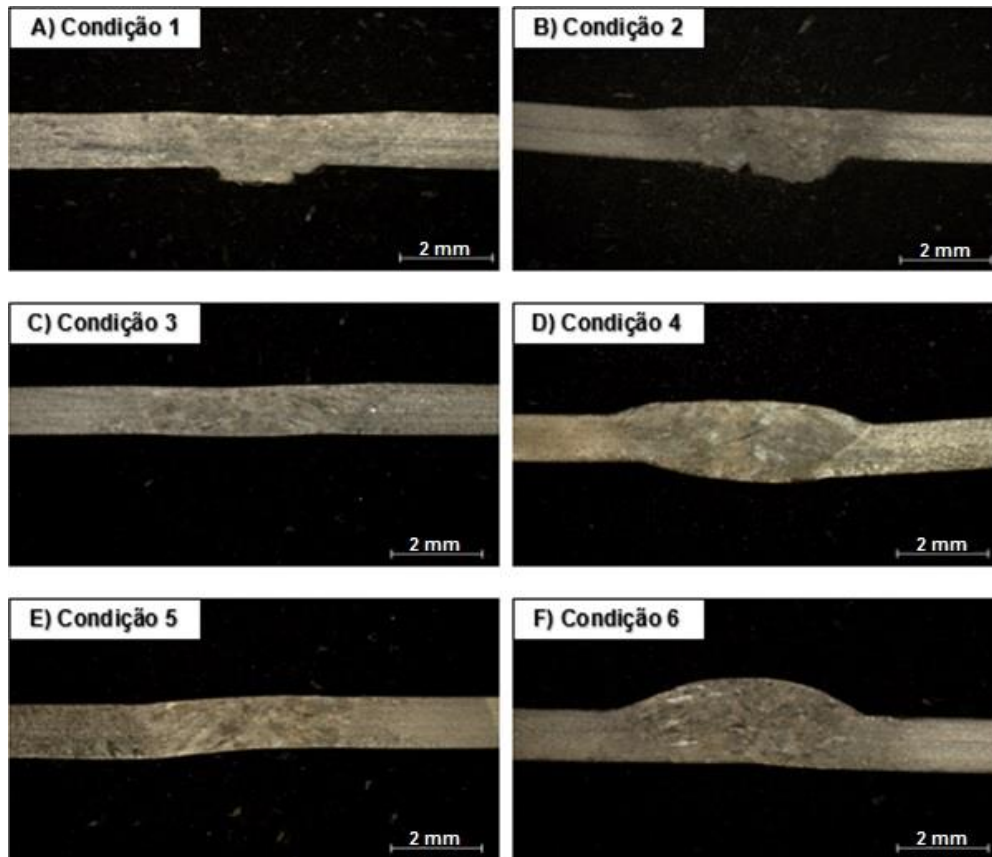
Para as condições de soldagem 3 e 4, cuja vazão do gás de purga foi mantida em 5 l/min, não foi observado o desenvolvimento de oxidação nas raízes das soldas. As raízes dessas juntas, diferentemente das condições de soldagem 1 e 2, apresentaram superfície lisa, limpa e sem porosidade, semelhante ao metal base.

Nas condições de soldagem 5 e 6, onde a purga foi realizada com vazão de gás ajustada em 10 l/min, também observou-se um bom aspecto superficial livre da formação de óxidos. É possível observar acabamento distinto do gerado nas condições 3 e 4, devido a maior pressão gerada no interior dos tubos, porém manteve-se a integridade física da tubulação (sem diminuição da espessura das paredes).

O uso do gás de purga, independente das vazões utilizadas, eliminou o problema causado pela oxidação excessiva na raiz da solda. Ressalta-se, ainda, que a soldagem autógena, sem adição de metal, também atingiu o acabamento desejado nesta superfície.

3.2 Análise do perfil da solda

Para complementar a avaliação do aspecto das raízes das juntas soldadas, o perfil de cada cordão de solda foi avaliado. A figura 6 apresenta as imagens obtidas para as 6 condições de soldagem.



Fonte: Autor

Figura 6 – Perfis dos cordões soldados

Pode-se destacar que nas condições de soldagem 1 e 2 (figuras 6A e 6B), é observada a presença de uma raiz com geometria irregular. Por não serem realizadas com gás de purga, estas condições de soldagem expõem a raiz da solda à atmosfera ambiente durante a solidificação do metal produzindo esta superfície rugosa. Observa-se ainda que a amostra da condição 1 apresentou um menor volume de material na raiz quando comparado com a amostra da condição 2, ou seja, a utilização de metal de adição gerou maior superfície com rugosidade excessiva, propiciando maior probabilidade de acúmulo de resíduos.

Nas amostras das condições de soldagem 3 e 5 (figura 6C e 6E), realizadas de modo autógeno e com gás de purga com vazões de 5 l/min e 10 l/min, respectivamente, observa-se que o perfil das raízes estão uniformes, mantendo as características físicas do metal de base, ou seja, o gás de purga impediu a oxidação da raiz da solda de modo semelhante para ambas as condições. Observou-se, também, falta de reforço nos cordões de solda, o que está relacionado com a não utilização de metal de adição.

Este reforço foi observado nas condições de soldagem com metal de adição (figuras 6D e 6F), onde gerou-se perfis mais robustos dos cordões de solda. Nestas condições (4 e 6) o uso de gás de purga também garantiu um perfil da raiz liso e uniforme ao longo da extensão da junta. Notou-se ainda que a variação da vazão de gás de purga (de 5 para 10 l/min) não apresentou mudança significativa dos perfis das soldas, lembrando que vazões muito altas possuem a tendência de pressionar a poça fundida gerando raízes convexas (AWS, 2007 e GALDINO, 2014).

3.3 Análise de microdureza

Os valores de dureza e as regiões de medição para cada condição de soldagem estão apresentados na tabela 4. Através destes dados os perfis de microdureza foram gerados e estão apresentados na figura 7.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de microdureza Vickers

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
ZAC	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
ZAC	3,9	192,5	200,3	174,0	179,9	179,0	164,6
	4,2	190,9	209,2	168,4	198,4	165,5	164,7
Metal Base	4,5	173,9	202,1	164,0	179,8	177,8	181,6
	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

Pode-se observar, que independente da condição estabelecida, não houve alterações significativas nos valores de microdureza e que o objetivo principal de um processo de soldagem por fusão, que é manter estável as propriedades mecânicas ao longo de todas as regiões da junta soldada (WAINER et al, 1992), foi alcançado.

Pode-se afirmar também que o uso de metal de adição não gerou aumento de dureza no cordão de solda se comparado ao metal base, ou seja, a soldagem autógena (sem metal de adição), que apresentou resultado semelhante, garantiu continuidade de propriedades físicas e mecânicas na junta.

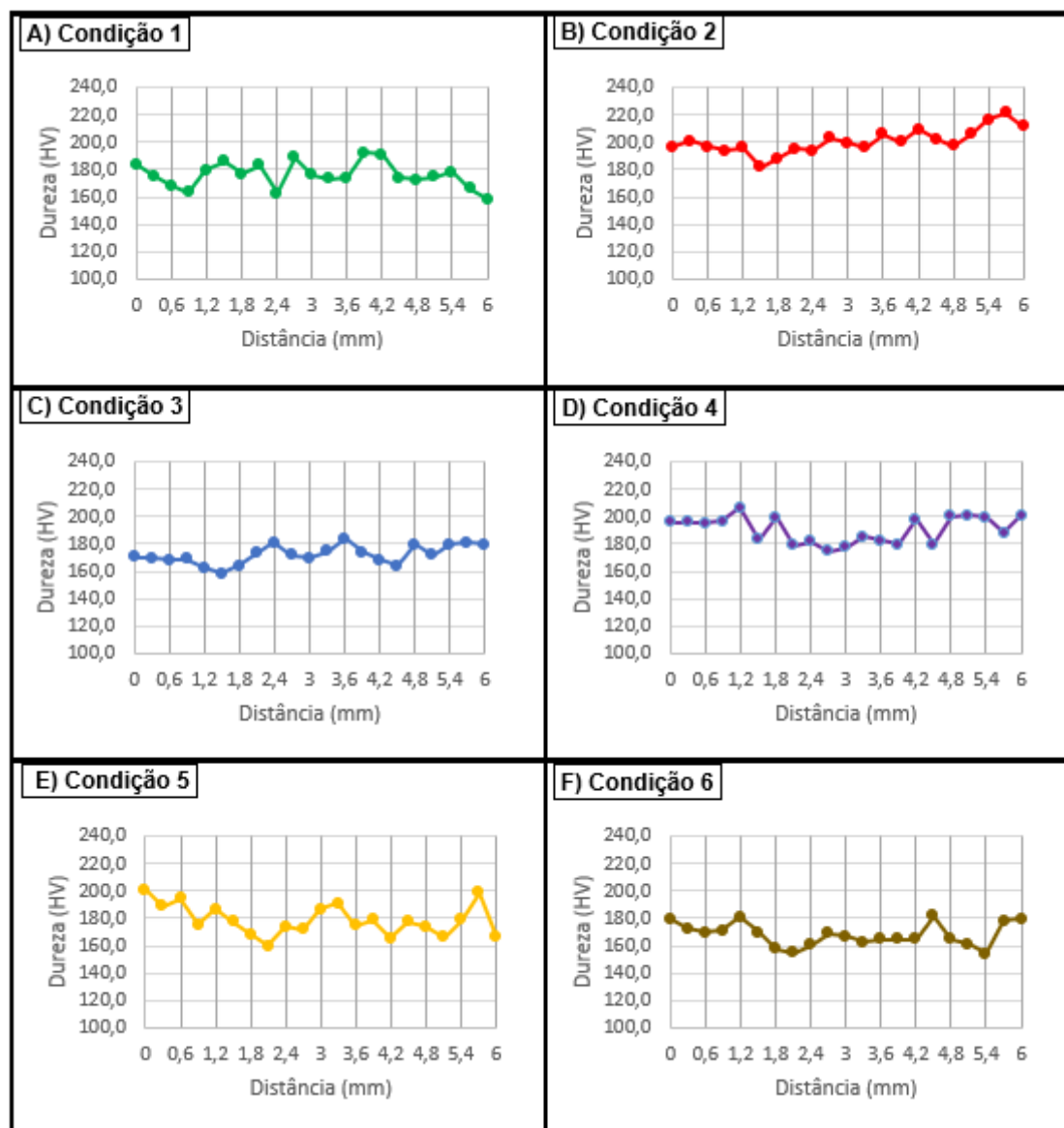


Figura 7 – Resultados da análise de microdureza

3.4 Ensaio de tração

Esta análise visou determinar o efeito da pressão exercida pelo gás de purga e da adição de metal na resistência mecânica à tração da tubulação após soldagem. Os valores do limite de resistência à tração (σ_R) fornecidos pelo equipamento estão mostrados na tabela 5 (média dos 3 ensaios realizados para cada amostra com desvio padrão). Nesta mesma tabela, os valores de alongamento (ϵ) para cada amostra também estão apresentados com seus respectivos valores de desvio padrão (estes foram medidos e calculados).

Percebeu-se nos ensaios que a ruptura dos CP's ocorreu na região do cordão de solda para todas as amostras ensaiadas. O cordão de solda é a região onde o material sofre mudança de estado físico (sólido para líquido) gerando grande quantidade de tensões internas. Em geral, a adição de metal propicia mudança de composição química e também de propriedades desta região, ou seja, tem a capacidade de gerar aumento da resistência mecânica (WAINER et al, 1992). Como tanto nas amostras sem metal de adição como nas amostras soldadas com adição de metal os resultados foram semelhantes, constatou-se que a composição química do metal de adição utilizado na soldagem não proporcionou aumento da resistência mecânica da solda.

Embora a região do cordão de solda tenha sido a mais frágil, os valores de limite de resistência à tração encontrados em todos os corpos de prova se mantiveram acima do limite recomendado para a liga estudada que é de aproximadamente 520 Mpa (VILLARES METALS, 2019).

Tabela 5 – Resultados do ensaio de tração

Condição	ϵ (%)	σ_R (Mpa)
1	29,1 \pm 3,7	612,3 \pm 37,0
2	32,8 \pm 2,3	654,4 \pm 40,3
3	34,1 \pm 1,6	583,6 \pm 47,7
4	38,4 \pm 2,8	565,1 \pm 69,5
5	38,2 \pm 0,5	577,7 \pm 61,1
6	37,7 \pm 0,8	649,5 \pm 11,3

Fonte: Autor

Já os resultados obtidos de alongamento para as 6 condições de soldagem foram inferiores ao especificado para o material (segundo VILLARES METALS, 2019), que é de 40%. Isto se deve ao fato de que a faixa especificada é representativa para um metal base homogêneo. Como após a soldagem 3 regiões distintas são formadas, possivelmente a ZAC, 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 modifica a ductilidade do material.

Constatou-se que o uso de gás de purga, independente das vazões estudadas, não afetou a formação da raiz da solda, o que acarretaria em consequente redução de resistência mecânica.

4 Conclusão

O uso do argônio como gás de purga proporcionou de forma significativa a eliminação da aparência oxidada da raiz do cordão de solda, apresentando melhores condições quando comparados aos tubos 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.

O uso de alta vazão de gás de purga (10 l/min) não afetou a formação da raiz da solda, mantendo as propriedades físicas e mecânicas dos tubos. As duas vazões estudadas (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 do metal de adição utilizado. As amostras com metal de adição apresentaram maior reforço e perfil do cordão de solda mais robusto. No entanto, as propriedades mecânicas não foram aumentadas com a adição de metal durante soldagem, indicando que a soldagem autógena, se bem executada, satisfaz as necessidades deste processo.

Referências

- ASTM.** AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM A-270: Tubulações*. 1 ed. Pensilvânia, 2018. 3 p.
- AWS.** AMERICAN WELDING SOCIETY. *AWS D10.11M/D10.11: Guide for root pass welding of pipe without backing*, 2007.
- AWS.** AMERICAN WELDING SOCIETY. *AWS D10.4: Recommended practices for welding austenitic chromium-nickel stainless steel piping and tubing*. 1986.
- DEWAGAN, A.K.; PATEL, A.D.; BHADANIA, A.G.** *Stainless Steel for Dairy and Food Industry: A Review*. Journal of Material Sciences & Engineering. 2015, 4:5.
- FLETCHER, M.** *Gas purging optimizes root welds*. Welding Journal, December, 2006, p. 38-40.
- GALDINO, L. G.** *Influência do gás de purga na formação da raiz do cordão de solda em tubos de aço inoxidável AISI 304*. 175 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- MODENESI, P. J.** *Soldabilidade Dos Aços Inoxidáveis*. São Paulo: Senai-sp, 2001. 100 p.
- OKAYASU, M.; ISHIDA, D.** *Effect of Microstructural Characteristics on Mechanical Properties of Austenitic, Ferritic, and γ - α Duplex Stainless Steels*. Metallurgical and Materials Transactions A 50, 1380–1388 (2019).
- PRASAD, K. S.; RAO, C. S.; RAO, D. N.** *A Review on Welding of AISI 304L Austenitic Stainless Steel*. Journal for Manufacturing Science and Production. 14. 1-11. 10.1515/jmsp-2012-0007 (2014).
- RAJEEV, C. B.; KUPPUSAMY, M. V.; RAO, B. P. C.** *Localized Purging Methodology to Minimize Oxidation During Gas Tungsten Arc Welding of 304L Stainless Steel Pipes*. Transactions of the Indian Institute of Metals 72, 2947–2951 (2019).
- TABAN, E.; KALUÇ, E.; AYKAN, T. S.** *Effect of the Purging Gas on Properties of 304H GTA Welds*. Welding journal. 93. 124S-130S (2014).
- VEIGA, E.** *Processo de soldagem TIG*. São Paulo: Globus, 2011. 188 p.
- VILLARES METALS.** *Aço inoxidável austenítico - Ficha técnica V304XLUF*. 2019. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Inoxidaveis/Austeniticos/V304XLUF>>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H.** *Soldagem: processos e metalurgia*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 494 p.