

ANÁLISE MICROESTRUTURAL DA SOLDADA SIMILAR DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO 316L COM O AUMENTO DO APORTE TÉRMICO *

Erica Marcelino Freitas de Souza Silva¹

Glaucio Soares da Fonseca²

Lucas Rosate Leite dos Santos³

Resumo

Aços Inoxidáveis Austeníticos (AIA) são largamente utilizados não somente por sua boa resistência à corrosão, mas porque eles são amplamente conformáveis, fabricáveis, duráveis e soldáveis por praticamente todo os processos. À temperatura ambiente, as ligas homogêneas forjadas são, em geral, completamente austeníticas. Entretanto, para muitas aplicações essas ligas necessitam ser submetidas a processos metalúrgicos como a soldagem, que por sua vez pode causar modificações microestruturais. Desta forma, uma liga que antes era completamente austenítica pode apresentar frações de ferrita- δ retida. O presente trabalho investiga a influência do aporte térmico na evolução da microestrutura de solda do AIA 316L submetido à solda similar em dois diferentes aportes térmicos pelo processo TIG Autógeno. A análise microestrutural das amostras soldadas, foi realizada via Microscopia Ótica. Os resultados possibilitaram concluir que o aporte térmico de fato influenciou na microestrutura final do 316L, pois após a soldagem, para ambos aportes aplicados, a microestrutura foi composta de austenita e ferrita- δ e não apenas predominância da austenita como inicialmente apresentava o Metal Base.

Palavras-chave: Aço Inoxidável Austenítico; Soldagem; Microestrutura.

MICROSTRUCTURAL ANALYSIS OF SIMILAR WELD OF 316L AUSTENITIC STAINLESS STEEL WITH HEAT INPUT INCREASE

Abstract

Austenitic Stainless Steels (ASS) are widely used not only due your good corrosion resistance, but because they are widely conformable, manufacturable, lasting and weldable by almost all welding process. At room temperature, homogeneous wrought alloys of this type are usually completely austenitic However for many applications this alloys require to be subjected a metallurgical process like welding, that can cause microstructural changes. Therefore an alloy that before was completely austenitic, can now present fraction of retained delta ferrite. The present work investigates the influence of heat input on an evolution of the ASS 316L weld microstructure subjected to similar welding in two different heat input by autogenous TIG process. The welded sample microstructure analysis carried out by optical microscopy. The results allowed to conclude that heat input really affected on a final 316L microstructure, because, after de welding, for both heat input applied the microstructure was composes of austenite and delta ferrite and not only by austenite predominance like early present the metal base.

Keywords: Austenitic Stainless Steel; Welding; Microstructure.

¹ Engenheira Mecânica/Mestranda em Engenharia Metalúrgica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM), Volta Redonda, RJ- Brasil

² Engenheiro Químico, Doutor em Engenharia Metalúrgica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM), Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Volta redonda, RJ- Brasil

³ Graduando em Engenharia Metalúrgica, Aluno de Iniciação Científica PIBIC/CNPq, Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais (VMT), Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Aços inoxidáveis fornecem superiores propriedades mecânicas e físicas. Esses aços são selecionados basicamente devido a sua boa combinação de propriedades mecânicas, fabricação e resistência à corrosão. O AIA 316L é um aço de alta liga (Fe, Cr, Ni) com baixa quantidade de carbono a fim de evitar reações indesejáveis com o cromo. Essa liga é uma das mais utilizadas devido a sua favorável ductilidade e em geral elevada resistência à corrosão [1-2]. A alta resistência a corrosão é obtida devido à generosa quantidade de cromo e níquel presente em sua composição química [3].

Em princípio, os AIA são formulados e processados termomecânicamente de forma a apresentarem microestrutura austenítica, contudo, ainda que esses aços sejam soldáveis por quase todos os tipos de processos de soldagem, na maioria dos casos, a soldagem resulta em significativa alteração da microestrutura da solda, como Zona Fundida (ZF) e Zona Termicamente Afetada (ZTA), em relação ao Metal Base (MB). Isso pode constituir mudança no balanço da fase desejada [4], pois uma importante fração de ferrita- δ pode ficar retida após a solidificação.

Na soldagem dos AIA, o aporte térmico deve ser baixo para acelerar o tempo de resfriamento da microestrutura da solda. Um aporte térmico elevado leva a junta soldada a resfriar lentamente. O resultado é o favorecimento da precipitação da austenita, de fases intermetálicas e o crescimento do grão [5]. Ao passo que um aporte térmico baixo evita o aparecimento de fases deletérias, porém uma fração de ferrita- δ formada durante a solidificação permanece até a temperatura ambiente, pois não há tempo para a completa estabilização da austenita [6].

O presente trabalho investiga o comportamento microestrutural do AIA 316L submetido ao processo de soldagem TIG Autógeno a fim de avaliar as transformações ocorridas na microestrutura do material soldado e comparar a microestrutura da ZF com o MB.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os materiais utilizados foram dois tubos do AIA 316L com diâmetro externo de 19,15 mm e 2,15 mm de espessura. A composição química é dada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição Química do AIA 316L

Material	Composição Química (%)								
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Fe	Mo
AISI316L	0,03	1,36	0,045	0,03	1,00	17,77	12	68,70	2,19

2.2 Métodos

Os seguintes procedimentos foram realizados: Soldagem similar dos materiais através do processo TIG, utilizando dois diferentes aportes térmicos. Após a soldagem, a caracterização microestrutural das amostras como recebida e soldadas, analisando MB e ZF, além de medida de tamanho de grão austenítico no MB, foram realizadas via Microscópio Ótico (MO) Nikon Eclipse LV150 (Nikon, Tóquio, Japão), Software NIS-Element D versão 3.2 e quantificação das fases presentes na ZF.

2.2.1 Soldagem dos Corpos de Prova

A Figura 1(a) mostra os corpos de prova preparados para a soldagem similar e a Figura 1(b) mostra os corpos de prova após a soldagem. O equipamento de soldagem utilizado foi o MigPulse 4001 DP da Eutectic Castolin. A soldagem dos tubos foi realizada pelo processo TIG Autógeno, em um único passe de solda sem deposição de metal de adição, a fim de se evitar alterações microestruturais. A proteção da poça de solda foi feita utilizando como gás de proteção o argônio puro com vazão de 16 L / min. O eletrodo utilizado foi o Tungstênio Toriádo (WTH-2) com 2,4 mm de diâmetro e ângulo de apontamento de 60° e seu ponto de fusão é de 3410°C. A distância da ponta do eletrodo à peça foi de 2,0 mm. Esses foram os parâmetros fixos adotados e a Tabela 1 apresenta uma síntese dos demais parâmetros de soldagem utilizados nos tubos do 316L. O cálculo do aporte térmico foi realizado com o auxílio da Equação 1.

$$H = \frac{\eta EI}{V} \quad (1)$$

Onde η é a eficiente da transferência de calor. Neste caso, $\eta = 0.80$ [7]; E é a tensão em Volts; I a corrente em Amperes; V a velocidade em mm/s.

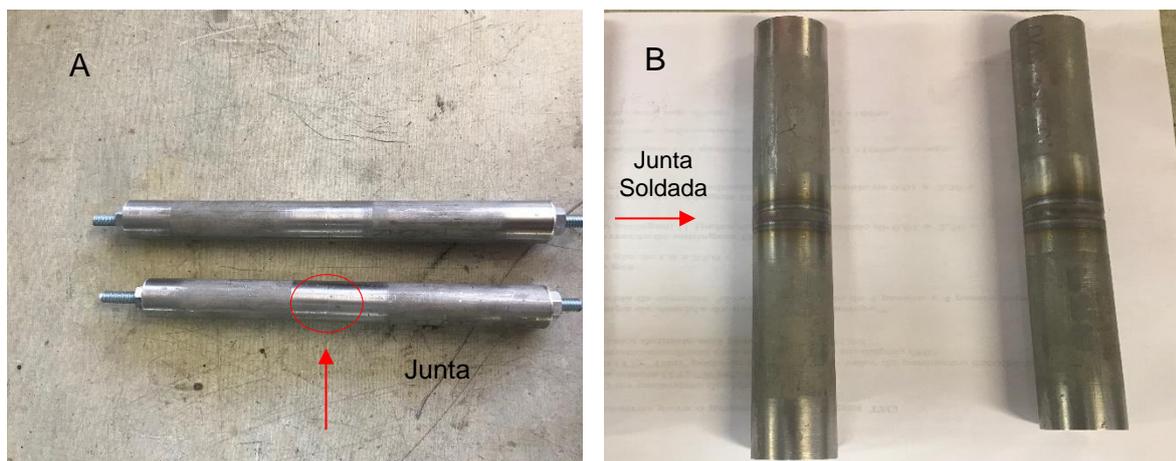


Figura 1: Soldagem do material (a) tubos preparados pra a soldagem similar TIG; (b) solda similar dos tubos.

AIA 316L	Parâmetros de Soldagem			
	I(A)	E(V)	H (KJ/mm)	H (KJ/mm)
316LCR	-	-	-	-
316L S1	51	9,2	2,91	0,13
316L S3	50	11	2,05	0,21

2.2.2 Preparação Metalográfica

Após a soldagem, a preparação metalográfica teve início com o corte das amostras, retiradas de cada aporte térmico, em uma serra mecânica com constante lubrificação, a fim de evitar alterações microestruturais por aquecimento. As mesmas foram lixadas na lixadeira manual em uma sequência granulométrica de lixas de carbo de silício até 4000 mesh com o objetivo de se obter superfícies planas. Posteriormente, foi realizado polimento manual mecânico, utilizando como abrasivo

pasta de diamante de granulometrias 3 μ m e 1 μ m, a fim de alcançar uma superfície espelhada e livre de arranhões, e então, para a análise da microestrutura, as amostras foram atacadas

com reagente Água Régia, cuja composição é apresentada na Tabela 2. O preparo metalográfico foi realizado no Laboratório de Metalografia da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda (UFF-EEIMVR). A Figura 2 apresenta as amostras cortadas e preparadas para análise microestrutural.

Tabela 2: Solução utilizada para ataque
Água Régia

Água destilada	40 ml
HNO ₃	30 ml
HCl 37%	30 ml

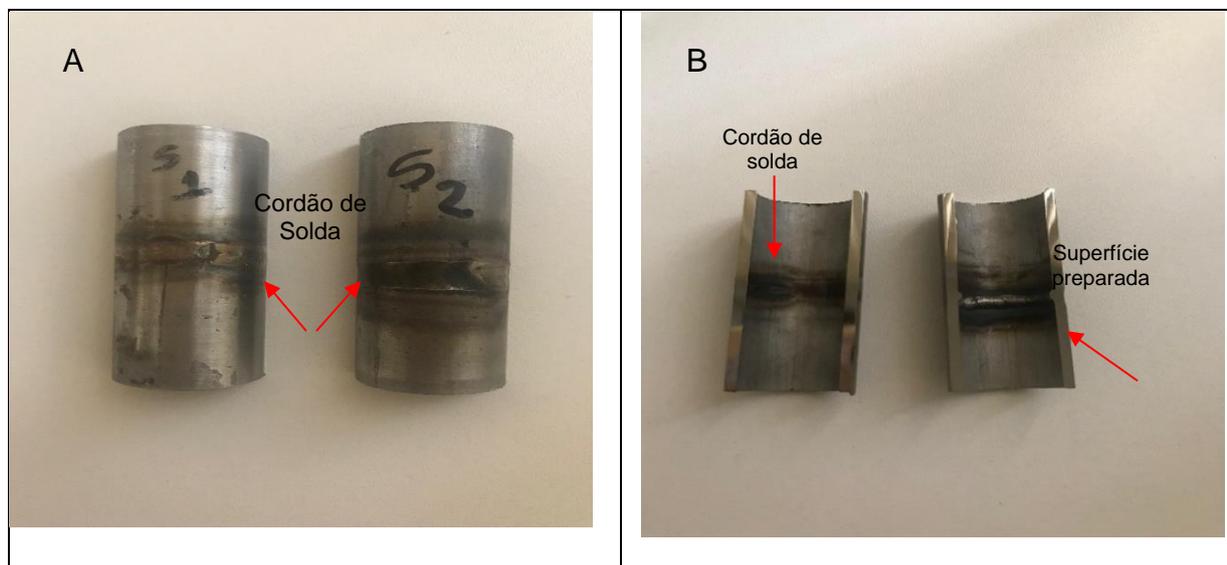


Figura 2: Amostras 316LS1 e 316L S2: (a) amostras cortadas apresentando o cordão de solda (b) Superfície da solda das amostras preparadas metalograficamente para análise microestrutural.

2.2.3 Caracterização Microestrutural

Após realizado o ataque, a microestrutura das amostras referentes aos dois aportes térmicos e a amostra como recebida, foram examinadas por Microscópio Ótico e com o auxílio do Software ImageJ, foi mensurado o tamanho de grão médio do MB, a partir da metodologia baseada na norma ASTM E112-10, traçando-se linhas horizontais sob cinco micrografias da região e contando os interceptos dos contornos de grãos [8].

Para quantificação da ferrita- δ , também cinco micrografias da ZF foram obtidas por MO. Com o auxílio do Software ImageJ a quantificação foi feita aplicando-se a Equação 2, sendo ela uma técnica metalográfica convencional [9]. Nesta, a fração volumétrica (V_V) é igual à fração de área (A_A) ocupada pela fase na micrografia.

$$V_V = A_A \quad (2)$$

3. Resultados e Discussão

Amostras na condição como recebida, bem como as amostras soldadas nos aportes 0,13 KJ/mm e 0,21KJ/mm serão, a partir daqui, retratadas como 316LCR, 316LS1e 316LS2 respectivamente.

3.1 Caracterização Microestrutural da amostra 316LCR e do MB das amostras 316LS1e 316LS2.

A Figura 3 refere-se ao MB do S316LCR e ao MB das amostras 316LS1e 316LS2. Em ambas micrografias, observa-se uma microestrutura austenítica com presença de maclas de recozimento e grãos poligonais, típicos de uma estrutura cúbica de face centrada (CFC), assim como observaram também De Tiedra e Martín, 2013 [10].

O tamanho de grão médio foi de $38,7 \pm 1,7 \mu\text{m}$ para o MB das amostras 316LS1e 316LS3 e $35,3 \pm 0,24 \mu\text{m}$ para 316LCR, demonstrando que não houve alteração no tamanho de grão austenítico.

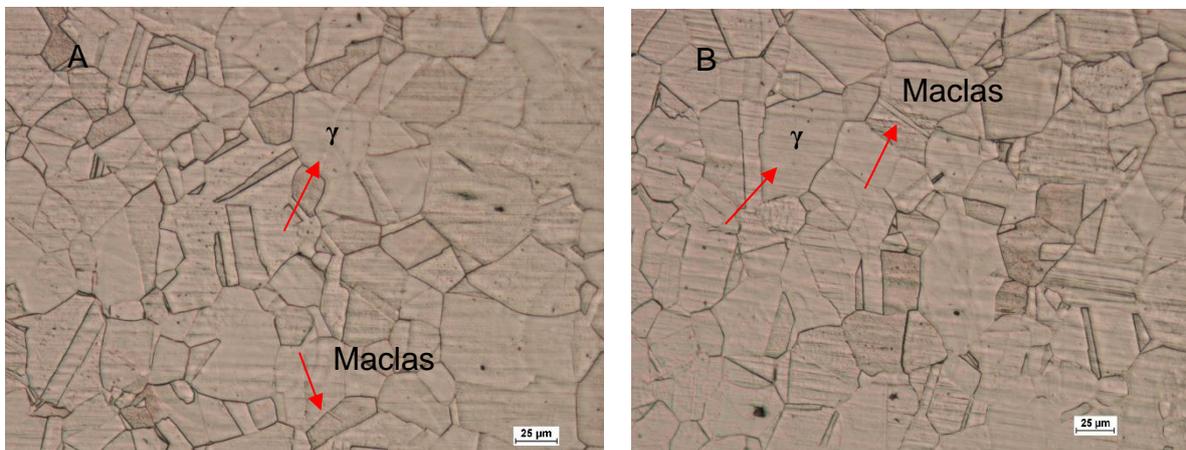


Figura 3: Micrografia do MB do AIA 316L evidenciando grãos austeníticos poligonais e maclas de recozimento: (a) 316LCR e (b) 316LS1e 316LS2

3.2 Caracterização Microestrutural das amostras soldadas

A Figura 4(a) e (b) mostra a microestrutura das amostras 316LS1 e 316LS2, evidenciando a ZF. Observa-se que para ambos aportes térmicos aplicados a ZF se apresentou com estrutura dendrítica. Essa microestrutura é coerente com a literatura e concorda com o de Melo et al., 2007 quando diz que o crescimento dendrítico é a forma mais comum encontrada em materiais fundidos [11]. Essa mesma microestrutura dendrítica do 316L soldado foi encontrada por Guilherme et al, 2014 [12].

Através desta micrografia observa-se que não há mais apenas a austenita na microestrutura do material, há também a distinta presença da ferrita- δ na matriz austenítica. Isso porque segundo a literatura, a solidificação primária dos aços inoxidáveis austeníticos, após a soldagem, ocorre tanto como austenita tanto como ferrita- δ [13] e com o tempo, sob condições de equilíbrio de resfriamento, a ferrita paulatinamente se transforma em austenita. Porém, devido à baixa energia de soldagem imposta aos AIA, não há tempo suficiente para que a ferrita- δ se transforme completamente em austenita e uma certa quantidade dessa fase

permanecerá na microestrutura. Silva et al., 2017 também observou em seu trabalho essa repressão da transformação da ferrita em austenita devido à baixa energia de soldagem imposta aos aços inoxidáveis [13]. Analisando os resultados e foi possível observar que a quantidade de ferrita- δ diminuiu com o aumento do aporte térmico. A amostra 316LS1, Figura 4(a) obteve $7,6 \pm 1,0$ % de ferrita- δ , enquanto a amostra S316LS2, Figura 4(b) $5,1 \pm 1,7$ %. Resultado coerente com a literatura, pois aportes maiores levam a junta a resfriar lentamente proporcionando tempo para a estabilização da austenita e conseqüentemente redução da quantidade de ferrita presente. Fonseca et. al, 2017 observou esse comportamento microestrutural do AIA 304 com relação ao aumento do aporte térmico [13]. A fração volumétrica encontrada está dentro do previsto pela literatura, que prevê de 5 a 10% de ferrita- δ para a microestrutura da solda, sendo esta quantidade, suficiente para evitar trincas de solidificação a quente [14] e de fato nenhuma trinca foi observada nas micrografias.

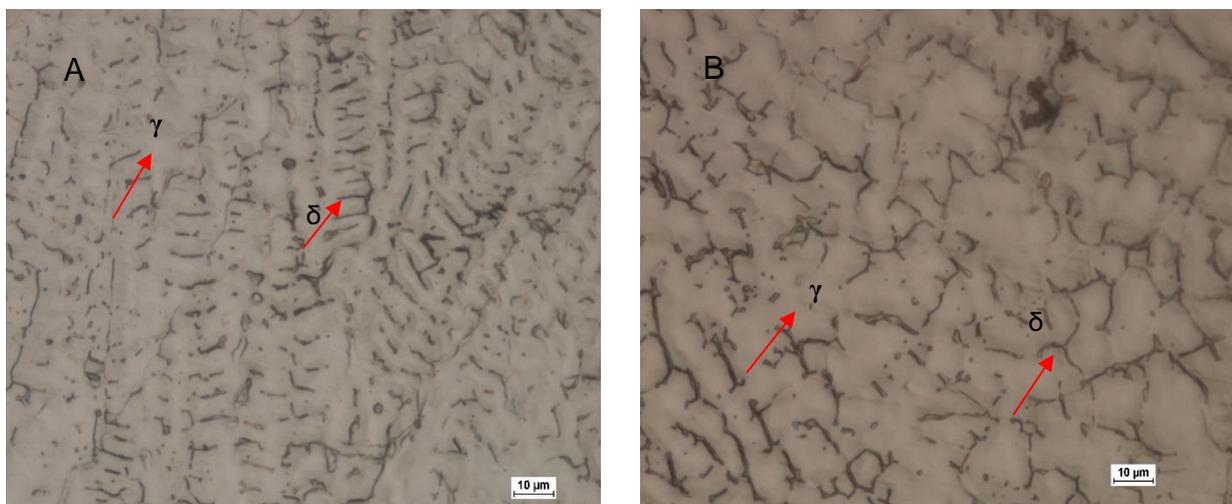


Figura 4: Micrografia da ZF das amostras soldadas evidenciando a presença da ferrita- δ na microestrutura; (a) 316LS1; (b) 316LS2

3 CONCLUSÃO

Baseado nos resultados obtidos neste trabalho, no qual foi analisada a influência do aporte térmico na microestrutura do AIA 316L, foi possível concluir que:

O processo de soldagem influenciou diretamente na microestrutura do 316L pois após a solidificação a microestrutura se deu em uma fina mistura entre austenita e ferrita- δ e não somente predominância da austenita, como inicialmente constava no metal base. O aporte térmico, por sua vez, influenciou na quantidade de ferrita delta retida na microestrutura, pois quanto maior o seu valor, menor foi a quantidade presente. A fração volumétrica da ferrita encontrada está de acordo com a esperada pela literatura e beneficiou a microestrutura no sentido de ser suficiente pra evitar trincas de solidificação a quente.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior-Brasil (CAPES)- Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- 1 Iorga S, Cojocaru M, Chivu A, Ciuca S, Burdusel M, Badica P, et al. Influence of the Carbo-Chromization Process on the Microstructural, Hardness, and Corrosion Properties of 316L Sintered Stainless Steel. *Metallurgical and Materials Transactions A*. junho de 2014;45(7):3088–96.
- 2 Pardo A, Merino MC, Coy AE, Viejo F, Carboneras M, Arrabal R. Influence of Ti, C and N Concentration on the Intergranular Corrosion Behaviour of AISI 316Ti and 321 Stainless Steels. *Acta Materialia*. abril de 2007;55(7):2239–51.
- 3 Biehler J, Hoche H, Oechsner M. Corrosion Properties of Polished and Shot-peened Austenitic Stainless Steel 304L and 316L with and without Plasma Nitriding. *Surface and Coatings Technology*. março de 2017;313:40–6.
- 4 Lippold JC, Kotecki DJ. *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. Hoboken, NJ: John Wiley; 2005. 357 p.
- 5 Fonseca CS, Pinheiro IP, Silva SN da. Influência do Aporte Térmico sobre a Morfologia da Austenita e na Quantidade das Fases em Chapas Soldadas de Aço Inoxidável Duplex SAF2205. *Matéria (Rio de Janeiro)*. março de 2016;21(1):227–34.
- 6 Silva MA, Barbosa RP, Amaral EC. Avaliação da Influência do Aporte Térmico na ZTA de Juntas Soldadas de Aço Inox Duplex em Comparação entre os Processos de Soldagem TIG E FCAW. *Anais do Enemet - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas*. setembro de 2017;1577–84.
- 7 Da Fonseca G, Barbosa L, Ferreira E, Xavier C, de Castro J. Microstructural, Mechanical, and Electrochemical Analysis of Duplex and Superduplex Stainless Steels Welded with the Autogenous TIG Process Using Different Heat Input. *Metals*. 1o de dezembro de 2017;7(12):538.
- 8 E04 Committee. ASTM E112-10 Standard Test Methods for Determining Average Grain Size [Internet]. ASTM International; 2010 nov [citado 23 de janeiro de 2019]. Disponível em: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?E112-10>
- 9 Russ JC, DeHoff RT. *Practical stereology*. 2. ed. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publ; 2000. 381 p.
- 10 De Tiedra P, Martín Ó. Effect of Welding on the Stress Corrosion Cracking Behaviour of Prior Cold Worked AISI 316L Stainless Steel Studied by Using the Slow Strain Rate Test. *Materials & Design*. agosto de 2013;49:103–9.
- 11 Melo M de LNM, Pereira NHA, Penhalber CA de L, Lima CRP de, Santos CA dos. Análise dos Modelos Utilizados para a Previsão dos Parâmetros Microestruturais Obtidos Durante a Solidificação Direcional do Aço Inoxidável Austenítico AISI 304. *Revista Escola de Minas*. março de 2007;60(1):135–40.
- 12 Guilherme LH, Rovere CAD, Kuri SE, Oliveira MF de. Resistência à Corrosão de Junta Dissimilar Soldada pelo Processo TIG Composta pelos Aços Inoxidáveis AISI 316L e AISI 444. *Soldagem & Inspeção*. março de 2014;19(1):42–50.
- 13 Fonseca CS, Silva IPP, Brant GSC. Influência do Aporte Térmico sobre a Microestrutura em Juntas Soldadas de Aço Inoxidável AISI 304. *Engevista*. 30 de janeiro de 2017;19(1):1. Estrutura de referência de artigo: Autor(es). Título do artigo. Título do periódico. Ano; volume(número): página inicial e final do artigo.

- 14 Raja KS, Rao KP. Effect of Applied Potentials on Room Temperature Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steel Weldments. CORROSION. agosto de 1992;48(8):634–40.