

AValiação DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX SAF 2205 APÓS SOLDAGEM¹

Thaís da Silva Leite Garcia²
 Gláucio Soares da Fonseca³
 Tânia Maria Cavalcanti Nogueira³

Resumo

Os aços inoxidáveis duplex são conhecidos por apresentarem bons comportamentos de resistência mecânica e à corrosão. Este trabalho tem como objetivo analisar a resistência à corrosão de um aço inoxidável duplex SAF 2205 (UNS S31803) soldado por um processo MIG/MAG. A característica deste aço inoxidável é apresentada por sua microestrutura conter de 50% de ferrita e 50% de austenita, o que confere ao aço excelentes propriedades de resistência mecânica e à corrosão. Os aços inoxidáveis duplex apresentam propriedades químicas de elevada resistência à corrosão por isso são considerados para trabalhos em ambientes críticos aquosos que contêm íons cloreto. Devido a isso, é amplamente utilizado em indústrias químicas e principalmente em petroquímicas. Foram realizados ensaios de polarização potencioestática para verificação da resistência à corrosão por pites das amostras de aços SAF 2205 soldadas, avaliando se o processo de soldagem interfere nos potenciais de pite, de corrosão e na densidade de corrente de pite do aço SAF 2205.

Palavras-chave: Microestrutura; Aço inoxidável duplex; Soldagem; Corrosão.

EVALUATION OF CORROSION RESISTANCE OF DUPLEX STAINLESS STEEL SAF 2205 AFTER WELDING

Abstract

The duplex stainless steels are known by their good behavior in mechanical strength and corrosion resistance. This study aims to analyze the corrosion resistance of a duplex stainless steel SAF 2205 (UNS S31803) by a soldier MIG/MAG. The characteristic of this stainless steel is shown in its microstructure contains from 50% ferrite and 50% austenite, which gives the steel great strength properties and corrosion. The duplex stainless steels have properties of high chemical resistance to corrosion so are considered critical to work in aqueous environments containing chloride ions. Because of this, it is widely used in chemical and mainly petrochemical industries. Assays were performed to verify the potentiostatic polarization resistance to pitting corrosion of steels SAF 2205 samples welded by evaluating whether the welding process interferes with the pitting potential, the corrosion current density and pitting of steel SAF 2205.

Key words: Microstructure; Duplex stainless steel; Welding; Corrosion.

¹ *Contribuição Técnica ao 68º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Belo Horizonte - MG, 30 de julho a 02 de agosto de 2013.*

² *Mestranda do curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda - Universidade Federal Fluminense, thais.slgarcia@yahoo.com.br*

³ *Prof. D. Sc., Escola de Engenharia Industrial e Metalúrgica de Volta Redonda - Universidade Federal Fluminense*

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis duplex fazem parte de uma classe especial de aços. Esse aço são caracterizados por apresentarem microestrutura bifásica composta por fases ferrítica e austenítica em quantidades praticamente iguais (1:1).⁽¹⁾ A combinação de microestrutura faz com que os aços duplex apresentem as qualidades de ambas as fases como elevada resistência mecânica e à corrosão.⁽²⁻⁴⁾ Caso ocorra desbalanceamento de fases suas excelentes características podem ser prejudicadas. Porém, se a fração volumétrica (V_V) de ferrita estiver na faixa de 30 a 70%, a resistência à corrosão por pites do aço inoxidável duplex SAF 2205 não é comprometida.⁽⁵⁾

A presença de ferrita confere ao material melhor resistência mecânica que os aços que contêm uma única fase. A dureza, por exemplo é aumentada quando há maior quantidade de ferrita nos aços duplex. A fase austenítica melhora a tenacidade do aço e resistência à fragilização pelo hidrogênio, assim como aumenta a resistência à corrosão por pites do material.⁽⁶⁾

A elevada resistência à corrosão dos aços duplex se dá pela presença de níquel em sua composição química pelo fato deste elemento ser estabilizador de austenita. Ou seja, a austenita é a fase responsável pela elevada resistência à corrosão de aços duplex.

Em aços inoxidáveis duplex solubilizados, o pite pode surgir em ambas as fases, porém a ferrita é mais susceptível à corrosão por pite que a austenita, pois tem menor quantidade de nitrogênio que a austenita.⁽⁵⁾ Os pites se propagam na ferrita e depois para a austenita, que é mais resistente a meios contendo cloreto que a ferrita.⁽⁷⁾

Cerca de 42% dos casos de falhas em plantas industriais são causadas por corrosão dos materiais, sendo 29% causada por corrosão direta, 7% de corrosão por altas temperaturas e 6% de corrosão sob tensão ou fadiga combinada com corrosão e fragilização por hidrogênio.⁽⁶⁾

Quando aços inoxidáveis duplex necessitam passar por processos de soldagem, os tipos mais indicados são aqueles nos quais o produto tenha um metal de adição com menos teor de oxigênio, no caso os tipos MIG e TIG.⁽⁶⁾

Devido ao processo de soldagem podem ocorrer variações referentes às qualidades do aço devido a variação de temperatura no qual o material está submetido. As condições do processo podem ocasionar o surgimento de novas fases na microestrutura do material (ou regiões de precipitações), levando a um desbalanceamento das fases causando uma diminuição da resistência à corrosão em aços inoxidáveis duplex.⁽⁸⁾ A formação de fases ou precipitados intermetálicos pode ser motivado por falta de controle da velocidade de resfriamento do material após soldagem: em um resfriamento rápido a transformação de ferrita para austenita é prejudicada além de favorecer a formação de nitreto de cromo. Para o caso de resfriamento lento pode haver precipitação de outras fases intermetálicas.⁽⁶⁾

Em processos como o de soldagem MIG além do metal base (MB - que é o metal como recebido) há formação de mais duas regiões sobre o MB: a zona fundida - ou ZF -, na qual é caracterizada pela deposição do metal de adição (eletrodo utilizado na soldagem) e a zona termicamente afetada - ou ZTA - que é uma pequena região intermediária à ZF e ao MB.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento eletroquímico das três regiões formadas após soldagem MIG/MAG (MB, ZTA e ZF) e, assim verificar se o

aumento de temperatura devido a soldagem prejudicou as características de resistência à corrosão por pites desses aços.

Alguns trabalhos^(9,10) que objetivaram a análise do comportamento da corrosão de aços inoxidáveis duplex soldados disponíveis na literatura não realizam a separação das regiões formadas pelo processo de soldagem, fazendo uma medição da amostra soldada como um todo, não sendo assim, possível a identificação do comportamento das regiões referentes à corrosão por pites.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foram utilizadas amostras de aço inoxidável duplex do tipo SAF 2205 e o tipo de soldagem utilizado foi MIG/MAG. Na Tabela 1 estão apresentadas as composições químicas do aço inoxidável duplex SAF 2205 utilizado e denominado como metal base (MB) e do metal de adição que foi depositado sobre o metal base, também chamado de zona fundida (ZF). O eletrodo utilizado na soldagem foi do tipo Autrod 2209, no qual apresenta maior teor de níquel que o metal base, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1. Composições químicas

ELEMENTO (%p)	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N
METAL BASE	0,023	1,85	0,32	0,03	0,001	22,05	5,3	2,9	0,03	0,166
METAL DE ADIÇÃO	0,01	1,6	0,6	0,01	0,01	23	9	3	-	0,1

A composição do metal de adição está de acordo com a literatura que exige que o metal de adição tenha um maior teor de nitrogênio que o metal base, para que o balanceamento da zona fundida seja mantido.⁽¹¹⁾

Com base na composição química do metal base e do metal de adição, verifica-se um maior teor de níquel no metal de adição que no metal base. Como o níquel é um elemento gamagênico, sua presença favorece a formação de austenita na ZF.⁽¹²⁾

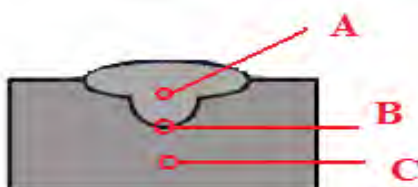
Para o processo de soldagem foram utilizadas três amostras com espessuras de 10 mm. O gás de proteção utilizado na soldagem das amostras foi o Ar-CO₂-N₂. Os gases de proteção usados na soldagem de aços duplex que contêm nitrogênio em sua composição química devem apresentar teor desse elemento de até 2%, pois deste modo ele ajuda a manter o balanceamento das fases equilibrado. Caso o teor de nitrogênio seja maior que 5% poderá haver precipitação de nitretos de cromo, indesejáveis para as propriedades desses materiais.⁽⁶⁾

A energia de soldagem foi variada dentro dos valores pré-determinados pela literatura para aços inoxidáveis duplex (0,5 a 2,5 kJ/mm),⁽⁶⁾ sendo os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de soldagem.

AMOSTRA	GÁS DE PROTEÇÃO	ENERGIA DE SOLDAGEM (kJ/mm)
4	Ar-CO ₂ -N ₂	1,23
5	Ar-CO ₂ -N ₂	1,64
6	Ar-CO ₂ -N ₂	1,93

As regiões formadas nas amostra podem ser visualizadas através da Figura 1 (MB, ZTA e ZF).



A - Zona fundida, B - ZTA, C - Metal base

Figura 1. Demonstração das três regiões distintas das amostras após soldagem.

As amostras utilizadas foram preparadas metalograficamente utilizando lixas com granulometria de 200 até 1200 mesh e polidas com pasta de diamante de 6 e 3 μ m. Depois de polidas, foram realizados ensaios de polarização potencioestática anódica, na qual foi utilizada uma solução corrosiva de 3,5% NaCl inserida em uma célula a três eletrodos (feita de acrílico) especialmente produzida para a realização dos ensaios. Essa célula possui uma abertura circular com diâmetro de 4 mm que faz com que haja contato da solução corrosiva com o eletrodo de trabalho (a amostra a ser estudada), prensado pela célula eletroquímica. O eletrodo de referência utilizado foi o de Calomelano a 1M e o contra-eletrodo, a platina. Foi utilizada velocidade de varredura anódica de 1mV/s, e a realização do experimento foi à temperatura ambiente.

Foram medidos os potenciais à circuito aberto e após sua estabilização foi dado início à polarização anódica, gerando curvas de polarização necessárias para o estudo da resistência à corrosão nas amostras de aço duplex soldadas.

Para verificação do comportamento das três regiões da amostra apresenta maior susceptibilidade à formação de pite, a varredura foi interrompida quando o potencial elétrico do sistema alcançou 1,3V. Isso foi necessário para analisar se alguma região apresentaria valores de densidade de corrente superior às demais em um mesmo potencial elétrico.

Para confirmação da formação de pites nas amostras foram obtidas imagens por sinal de elétrons secundários via microscopia eletrônica de varredura, com magnitude de 4000 vezes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2, 3 e 4 ilustram as curvas de polarização potencioestática produzidas nos ensaios de polarização anódica das amostras de aço inoxidável duplex SAF 2205 inseridas em solução de 3,5% NaCl. Todos os ensaios foram pausados quando o potencial do sistema atingiu 1,3 V, visto que a partir deste ponto era visível a formação do produto de corrosão (de coloração amarela), indicando a ocorrência do processo de corrosão. Para as três regiões de todas as amostras houve formação de pites, indicada pela aumento crescente de corrente gerada pela variação do potencial elétrico do circuito. O objetivo de se interromper o ensaio neste potencial

foi para a verificação da densidade de corrente final de cada região, pois quanto maior a densidade de corrente final do sistema menor resistência à corrosão por pites a determinada região apresenta.

As informações obtidas referentes à ZTA de todas as amostras é uma representação do comportamento da amostra soldada no geral, pois mesmo que o diâmetro de abertura da célula eletroquímica fosse diminuto (4 mm), não foi possível a separação de apenas a região da ZTA. Isto quer dizer que na ZTA também há influência do metal base e da zona fundida do material. Dessa forma, os resultados obtidos na região da ZTA são comparados com os trabalhos nos quais não são feitas as distinções de regiões da amostra.

Na Figura 2 podem ser visualizadas as curvas de polarização das regiões de MB, ZTA e ZF da amostra 4 nas quais são relacionadas as densidades de corrente (A/cm^2) versus o potencial elétrico (E) aplicado no sistema. As densidades de corrente finais do MB e da ZTA são muito aproximadas e ligeiramente inferior ao valor de ZF, então foi considerado que as duas regiões apresentam comportamento semelhante e melhor que o da ZF. Ou seja, mostra indícios de que a ZF é mais susceptível à corrosão por pites que o MB, ou seja, há uma maior tendência da formação de pites nesta região.

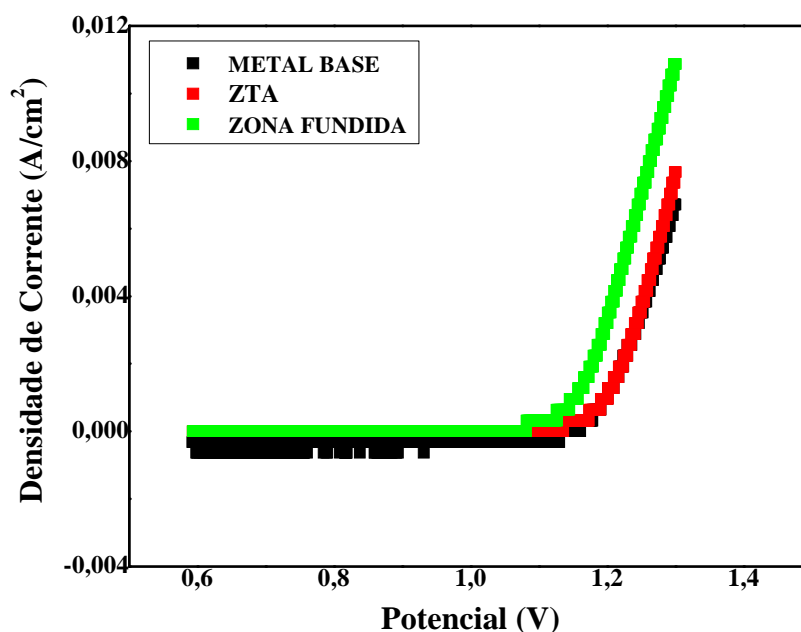


Figura 2. Curvas de polarização da amostra 4 soldada (três regiões - MB, ZTA, ZF).

O comportamento quanto à corrosão por pites das amostras soldadas 5 e 6, são mostradas pelas Figuras 3 e 4 respectivamente. Na Figura 3, as densidades de corrente de todas as regiões da amostra 5 se mostraram menores do que as obtidas pela amostra 3 (de menor energia de soldagem), sendo portanto, menos susceptível ao ataque por pites do que as amostras soldadas com uma energia menor. Assim como ocorrido na amostra 4, dentre as três regiões da amostra, a que apresentou maior corrente final foi a ZF.

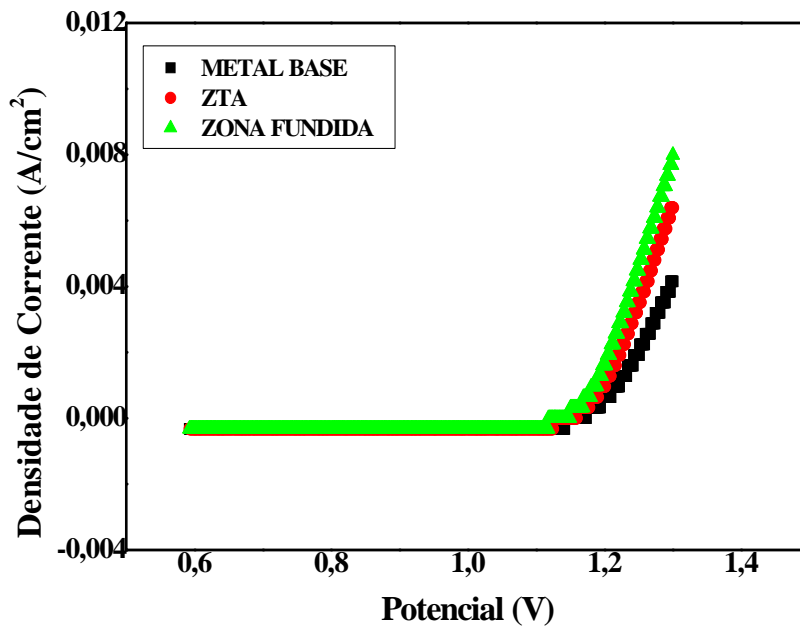


Figura 3. Curvas de polarização da amostra 5 soldada (três regiões - MB, ZTA, ZF).

Na Figura 4 também fica evidente a superioridade da resistência à corrosão do MB, ou seja, do material que não sofre tanta influência do processo de soldagem, sendo mais uma vez apresentado que a densidade de corrente final desta área é menor com relação às demais apresentadas pelas curvas de polarização.

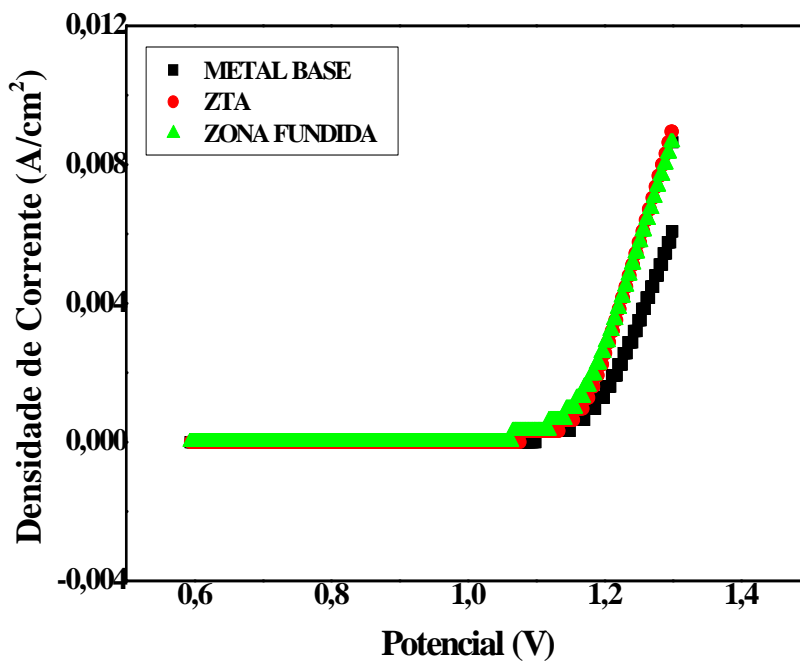


Figura 4. Curvas de polarização da amostra 6 soldada (três regiões - MB, ZTA, ZF).

Para comprovação da formação de pites nas amostras soldadas foram obtidas imagens via microscópio eletrônico de varredura utilizando elétrons secundários, como pode ser visto pela Figura 5 que apresenta a microestrutura bifásica da amostra 4 com pites de diferentes tamanhos, mas com o mesmo formato circular. Pode ser observado que os pites se nucleiam e crescem sem locais específicos, ou seja, ocorrem tanto na ferrita e nos contornos de grão austenítico/ferrítico.

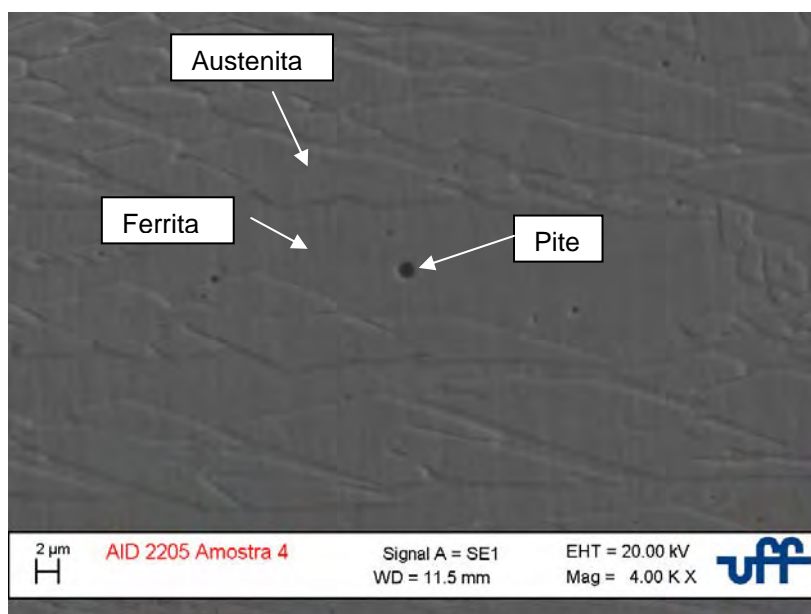


Figura 5. Imagem de elétrons secundário de pites na ZF (Matriz ferrítica e ilhas de austenita).

4 CONCLUSÃO

Com base nas curvas de polarização obtidas no trabalho, pode se afirmar que a ZF é a região que tem menor resistência à corrosão por pites que as demais, mostrando que o MB é fracamente afetado pelo processo de soldagem.

Pôde ser concluído que o fato de muitos trabalhos não realizarem a separação das regiões quando se objetiva estudar o efeito da soldagem na resistência à corrosão desses aços se faz pelo fato de que o comportamento das regiões ser muito semelhante: uma média de $4 \cdot 10^{-3} \text{ A/cm}^2$ de diferença do MB para a ZF.

A variação da energia de soldagem nos valores utilizados no trabalho não afetou significativamente a resistência à corrosão por pites nos materiais.

Os pites formados a partir da polarização ocorreram tanto nos contornos de grão de austenita/ferrita quanto na ferrita, pelo fato da ferrita ser menos resistente à corrosão por pites que a austenita.

Agradecimento

Os autores agradecem à Capes pelo apoio financeiro fornecido à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 MARTINS, M., CASTELETTI, L. C. Obtenção e caracterização dos aços inoxidáveis duplex e superduplex, FS - Fundição e Serviço, v.169, p.108-119, 2007.
- 2 SILVA, A. L. V., MEI, P. R. Aços e ligas especiais. 2ª Edição, Edgard Blucher, 2006.
- 3 MODENEZI, P. M., GIRÃO, I. F., MAGNABOSCO, R. Caracterização da tenacidade e resistência à corrosão por pite do aço inoxidável UNS S31803 (SAF 2205) após soldagem. Disponível em:
http://www.nucleinox.org.br/upfiles/arquivos/downloads/inox08/pg_213-218.pdf. Acesso em 19 jul. 2012.
- 4 RIBEIRO, R. B. et al. Análise morfológica da corrosão por pites em aço inoxidável austenítico AISI 310S submetido à exposição em névoa salina. Revista Matéria, v.14, p.957-964, 2009.
- 5 Use of Duplex Stainless Steel in the Oil Refining Industry, API Technical Report 938-C, **American Petroleum Institute**, First Edition, May 2005.
- 6 SANTOS, N. B. et al. Aços inoxidáveis duplex e superduplex: Aspectos de metalurgia física, soldagem e corrosão. Congresso Anual da ABM, 62., p. 1088-1097, 2007, Vitória.
- 7 KORDATOS, J. D., FOURLARIS, G., PAPANIMITRIOU, G. the effect of cooling rate on mechanical and corrosion properties of SAF 2205 (UNS S31803) duplex stainless steel welds. Scripta Materialia, v.44, p.401-408,2001.
- 8 ROVERE, C. A. D., RIBEIRO, C. R., KURI, S. E. Susceptibilidade à corrosão intergranular de juntas soldadas de aços inoxidáveis super13Cr. Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17., 2006, Foz do Iguaçu. p. 5721-5732.
- 9 GIRÃO, I. F. Caracterização da resistência à corrosão por pite do aço inoxidável duplex UNS S31803 após soldagem. Centro Universitário da FEI, 2008.
- 10 YANG, Y. et al. The effect of heat input on the microstructure and corrosion behavior of simulated heat affected zone in 2205 duplex stainless steel. Corrosion Science, v.53, p. 3756-3763, 2011.
- 11 SOUZA, J. P. B. et al. Análise da resistência à corrosão por pites em soldas de reparo pelo processo TIG em aço inoxidável superduplex UNS S32750. Soldag. Insp., v.16, n.2, p.104-113, 2011, São Paulo.
- 12 BRANDOLIN, P, PINHO, A. Z. Avaliação de diferentes gases de proteção na soldagem de aço inoxidável superduplex pelo processo (GTAW) gas tungsten arc welding orbital. Seminário Brasileiro do Aço Inoxidável, 11., 2012, São Paulo.