

ESTUDO COMPARATIVO DE JUNTAS SOLDADAS DE AÇO S355NL POR FCAW COM ARAME TUBULAR NACIONAL E IMPORTADO*

Camila Fagundes de Paula Guedes¹
Gláucio Soares da Fonseca²
Lucas Rosate Leite dos Santos³

Resumo

Os aços estruturais são aços com bastante aplicabilidade industrial, pois possuem boa resistência mecânica e fácil soldabilidade. As aplicações estão voltadas para diversas áreas como: naval, petroquímica, tubulações, construção civil entre outras. O arame tubular importado já vem sendo utilizado nos processos de soldagem da montagem interna de um submarino, um estudo comparativo entre o arame importado e nacional seria de grande valia para comparação de propriedades. Sendo assim o presente trabalho tem por objetivo a caracterização microestrutural de material de aço estrutural grade S355NL soldado pelo processo FCAW com arame tubular nacional, visando analisar suas micrografias e macrografias, assim como as propriedades mecânicas e de corrosão. Para se obter os resultados foram realizados ensaios metalográficos, ensaios mecânicos como tração, dureza e impacto a fim de obter a analogia entre os consumíveis.

Palavras-chave: Caracterização microestrutural; Aço S355NL; Arame tubular; FCAW.

COMPARISON OF WELDED STEEL JOINTS S355NL BY FCAW WITH NATIONAL AND IMPORTED TUBULAR WIRE

Abstract

Structural steels are steels with good industrial applicability, as they have good mechanical strength and easy weldability. The applications are focused on several areas such as: naval, petrochemical, pipelines, civil construction among others. The imported tubular wire has already been used in the welding processes of the internal assembly of a submarine, a comparative study between imported and domestic wire would be of great value for comparison of properties. The objective of the present work was to characterize the structural microstructure of S355NL grade structural steel welded by the FCAW process with national tubular wire, in order to analyze its micrographs and macrographs, as well as the mechanical and corrosion properties. To obtain the results were carried out metallographic tests, mechanical tests such as traction, hardness and impact in order to obtain the analogy between consumables.

Keywords: Microstructural characterization; Steel S355NL; Tubular wire; FCAW.

¹ Engenheira Metalurgista, Graduada, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ, Brasil.

² Engenheiro Químico, Doutor em Engenharia Metalúrgica, Professor Titular, Metalurgia Física, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ, Brasil.

³ Engenheira Metalurgista, Graduando, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os aços são produzidos em grande variedade de tipos e formas, atendendo cada aplicação. Esta variedade decorre da contínua necessidade de adequação do produto e as exigências em função do mercado, através da composição química, propriedades específicas e forma final do produto, por exemplo.

Os chamados aços estruturais têm bastante aplicação para as indústrias, pois eles possuem resistência mecânica, boa trabalhabilidade e soldabilidade. As aplicações dos aços estruturais estão voltadas para construção civil, tubulações, estruturas off-shore, em indústria naval e etc. Para aplicações como tubulações de pressão e área naval para este aços estruturais existem alguns quesitos que se fazem levar em conta na combinação de propriedades de resistência, soldabilidade e tenacidade [1,2]. A microestrutura do aço S355 é conhecida como ferrítica-perlítica, como se pode observar na Figura 1 [3]. O arame tubular importado vem de origem francesa e já vem sendo utilizado nos processos de soldagem da parte interna na montagem de um submarino, e este processo de soldagem com o material importado já foi homologado devido apresentar boa qualidade de forma geral, contudo essa importação torna altos os custos de fabricação e lento a espera para chegada do produto importado.

Desta maneira, para desenvolver fabricantes nacionais na área de consumíveis, surgiu à possibilidade de desenvolver consumíveis que mantivessem de forma similar propriedades microestruturais, mecânicas e físicas em relação ao importado, ou seja, a fim de proporcionar confiabilidade e soldas de boa qualidade.

2 DESENVOLVIMENTO

I. Materiais e Métodos

O proposto trabalho utilizou como base para estudo a chapa de aço estrutural grade S355NL que é encontrado na norma DIN EN10025-3, com 10 mm de espessura, o processo de fabricação foi laminação a quente. O material foi fornecido para fabricação de equipamentos internos de um submarino.

Este material possui as seguintes características de propriedades mecânicas e ensaio de impacto como recebido, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Limite de escoamento, limite de resistência, alongamento e ensaio de impacto do aço S355NL

Propriedades mecânicas		Ensaio Charpy (-40°C)
Limite de escoamento (MPa)	422	27J
Limite de resistência (MPa)	551	
Alongamento (%)	27	

A composição química do material fornecido para o estudo encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química do material S355NL

Elemento (% em peso)	C	Si	Mn	P	S	N	Cu	Mo	Ni	Cr	V	Nb	Ti	Al-T
	0,151	0,379	1,57	0,012	0,0011	0,0027	0,026	0,011	0,036	0,026	0,001	0,027	0,002	0,031

Os consumíveis de soldagem que utilizados serão denominados consumíveis A e B, que se diferenciam em material nacional e importado.

O consumível de soldagem nacional (A) e importado (B) que serão utilizados são arames tubulares com classificação AWS A5.29: E81T1 – GMH4 do tipo flux cored, com diâmetro de 1,2 mm para ambos os materiais.

As Tabelas 3 e 4 com as características e propriedades do arame.

Tabela 3 - Características e propriedades do arame tubular nacional (A)

Propriedades mecânicas		Ensaio Charpy (-40°C)
Limite de escoamento (MPa)	470-600	27-55 J
Limite de resistência (MPa)	550-690	
Alongamento (%)	19	

Tabela 4 - Características e propriedades do arame tubular importado (B)

Propriedades mecânicas		Ensaio Charpy (-40°C)
Limite de escoamento (MPa)	≥ 460	≥ 47 J
Limite de resistência (MPa)	550-590	
Alongamento (%)	≥ 23	

A composição química dos arames tubulares (A) e (B) estão na Tabela 5 e 6.

Tabela 5 - Composição química do arame tubular nacional (A)

Elemento	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	V	Cu	B	Hidrogênio difusível (mL/100g metal depositado)
(% em peso)	*	0,50	1,00	0,03	0,03	0,50	0,30	0,20	0,10	*	*	4,0 máx.

* não especificado

Tabela 6 - Composição química do arame tubular importado (B)

Elemento	C	Mn	Si	S	P	Ni
(% em peso)	0,06	1,2	0,40	≤ 0,015	≤ 0,015	0,7

O processo de soldagem que foi utilizado é FCAW, em uma chapa de aço estrutural S355NL de 10 mm de espessura e com seguintes dimensões de 200x450 mm. A disposição do tipo de junta que foi utilizada é de topo com chanfro em V, com ângulo de bisel igual a 25° e abertura de raiz equivalente a 6 mm.

O gás que foi utilizado possui 82% de Argônio e 18% de CO₂ e a vazão do gás foi de 18 L/min, segue a norma EM ISO 14175 M21/C1. A máquina de solda usada foi a OrigoFeed 304N P4 ESAB. Para que a tocha fique fixa em relação ao material de base foi utilizado um dispositivo denominado “tartaruga” da Marca Bug-O Systems 280 Technology DR.

A soldagem foi feita na posição plana e com polaridade inversa. Antes da soldagem foi realizado um ponteamento com o mesmo material de adição e o material de base e foi instalado em um apêndice para se iniciar a soldagem pela parte de fora, abaixo da abertura de raiz ou gap foi colocado um *back* de cerâmica que possuía 9 mm de profundidade.

A cada passe foi retirado o excesso de escória com limpeza por meio de uma escova. A sequência de soldagem foi de 4 passes onde o passe 1 representa a raiz, 2 é o reforço, 3 e 4 são passes de acabamento. Na raiz foi depositado 3 mm de solda, já no reforço 4 mm e nos passes de acabamento também foram 3 mm.

Após a soldagem, realizou-se análise macrográfica de seção transversal à solda, em amostras atacadas com reativo químico nital 8%. Nesta mesma seção, foi realizado o mapeamento de dureza Vickers com carga de 5 kgf e distância entre impressões de 1,0 mm, na direção horizontal, de forma a evidenciar a variação de dureza provocada pelo ciclo térmico de soldagem. A análise microestrutural das juntas soldadas também foi realizada a partir da seção utilizada na análise macrográfica. Para isto, selecionou-se uma região do lado externo da junta, em que o metal base foi afetado pelo ciclo térmico de um único passe. Foi avaliada, via microscopia ótica (MO) e após ataque químico com reativo nital a 3%.

Os ensaios de tração foram realizados conforme a norma ASTM A 370-03^a e ISO 6892-1:2009 (E), os corpos de prova cilíndricos foram usinados 12,5 x 50 mm.

Utilizou-se a máquina de ensaios PANTEC 1000 KN, a velocidade nos ensaios foi de 3 mm/min. até atingir 5% de deformação e a partir deste ponto passou a ser 10 mm/min. até a ruptura dos corpos de prova. Os ensaios foram realizados com corpos de prova retirados na posição longitudinal no centro da solda.

Os ensaios de impacto foram realizados conforme a norma NF EN 10045-1, os corpos de prova foram usinados 10,0 x 7,5 mm, com entalhe em V (2 mm) e a temperatura nos testes foi de -40°C.

Utilizou-se a máquina Charpy Nº PEN-12. Os ensaios foram realizados com 6 corpos de prova, sendo 3 retirados do centro da solda e os outros 3 da ZTA.

II. Resultados e Discussões

a. Macrografia e Microestrutura

Para as amostras do consumível nacional e importada (Amostra A e B) percebe-se que houve uma distribuição homogênea nos cordões, e não houve nenhuma descontinuidade na região soldada, como visto na Figura 1.

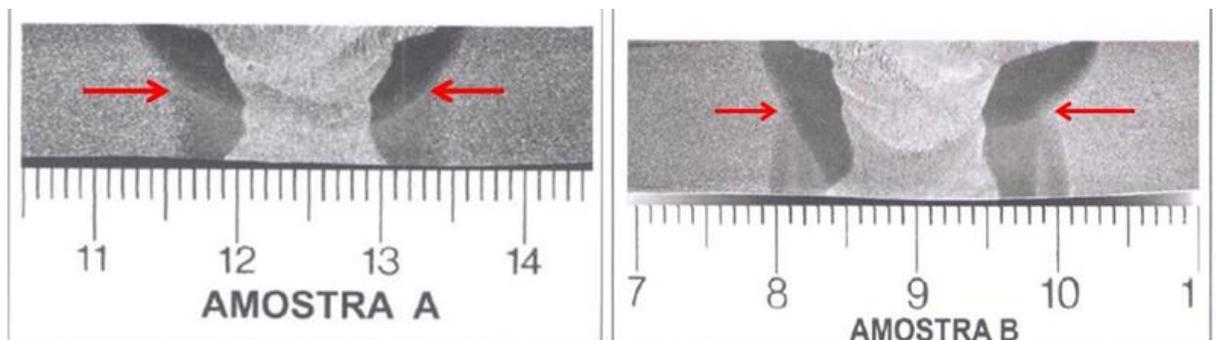


Figura 1 - Foto da macrografia da Amostra A (à esquerda) e Amostra B (à direita).

Na Figura 1, tem-se a micrografia do material de base S355NL com aumento de 200x. A micrografia apresenta grãos equiaxiais ferríticos e pontos de perlita.

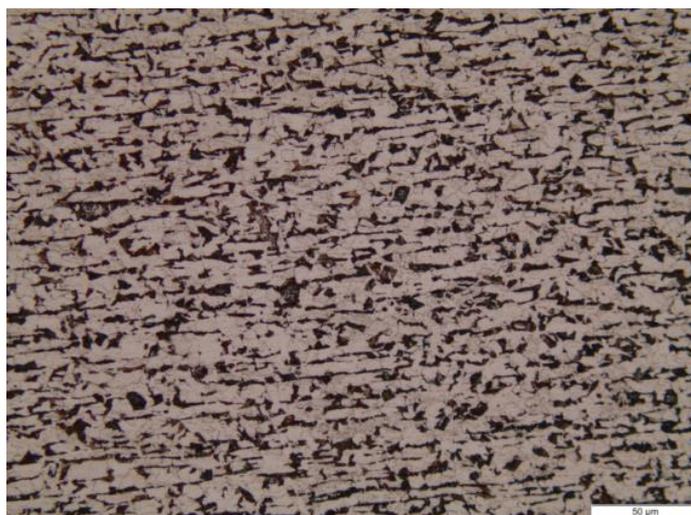


Figura 1 - Foto da micrografia do metal de base com grãos ferríticos e pontos de perlita

b. Ensaio Mecânicos
 • Ensaio de Dureza

O perfil de dureza é útil para estimar as variações de propriedades ao longo do metal base, ZTA e do metal de solda, uma vez que os valores de dureza podem ser correlacionados com a resistência mecânica e com a susceptibilidade à ocorrência de trincas.

Para a Amostra A, como na Figura 2, os pontos de dureza apresentou valores de 170 a 220 HV com alguns pontos na face inferior acima de 200 HV.

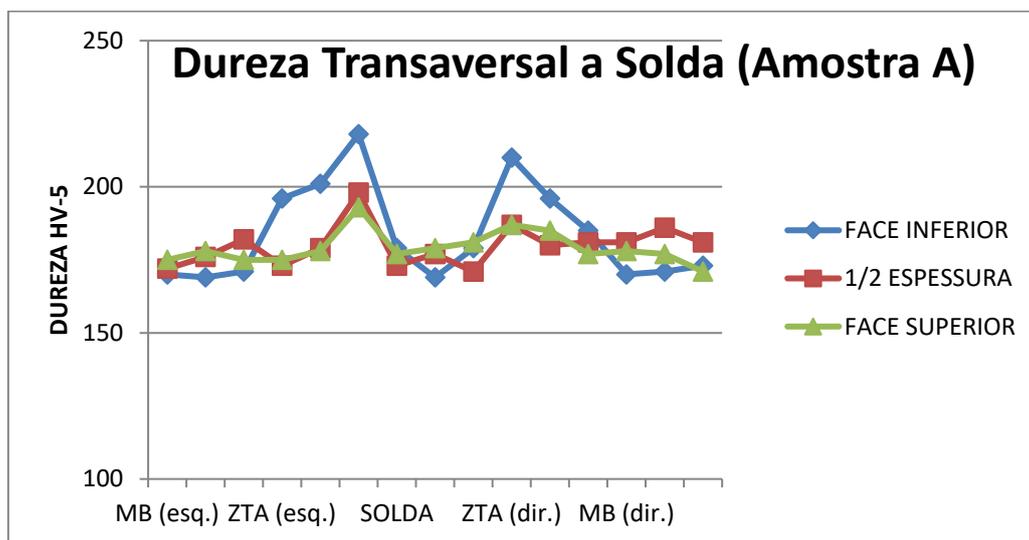


Figura 2 – Resultado do Ensaio de Dureza da Amostra A

Na amostra B os pontos de dureza obtiveram uma faixa um pouco maior em relação a amostra A, variando de 170 a 245 HV. A face superior é que teve alguns pontos superiores a 200 HV na região da ZTA, de acordo com a Figura 3.

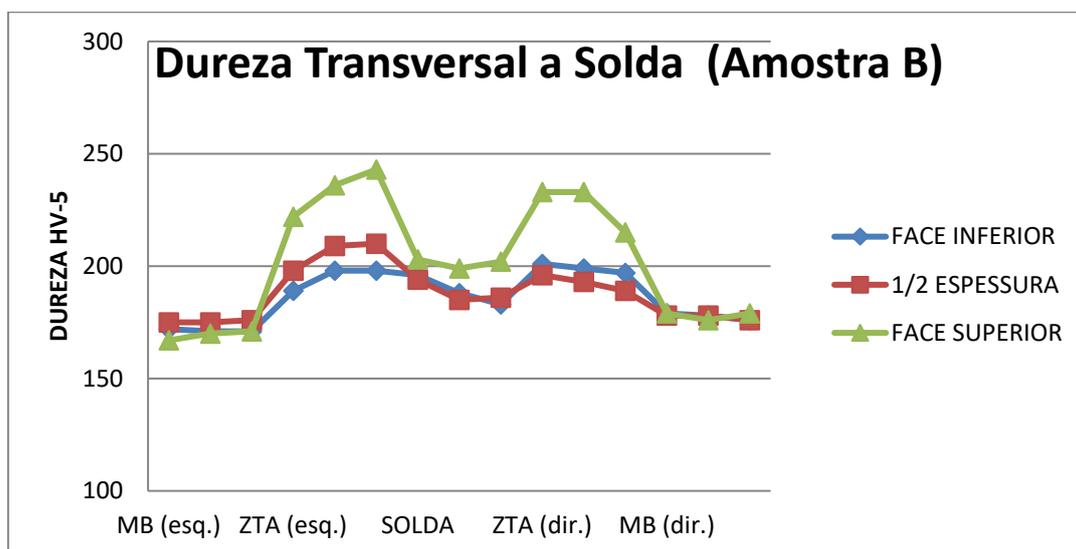


Figura 3 – Resultado do Ensaio de Dureza da Amostra B

As regiões para ambas as amostras com pontos de alta dureza na ZTA demonstra que essa região sofreu um resfriamento rápido e brusco, tornando mais duros estes pontos. A dureza prevista segundo a literatura varia entre 150 a 300 HV.

- **Ensaio de Tração**

Como visto na Figura 4, o material da Amostra A e B tiveram um comportamento dentro do desejável. Os valores indicados de limite de resistência pelo fabricante entre 550 a 690 MPa e o valor encontrado foi de aproximadamente 626 MPa, na amostra A. E na amostra B, que o fabricante trabalha na faixa de 550-590MPa, obteve-se um resultado de 686 MPa.

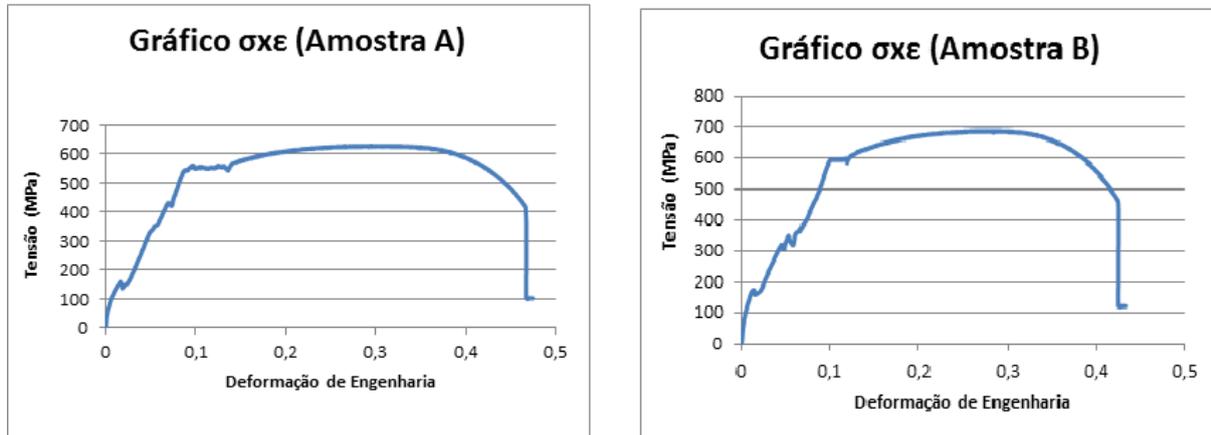


Figura 4 – Curva tensão x deformação da Amostra A (à direita) e Amostra B (à esquerda)

Após o ensaio de tração foi possível obter o expoente ou coeficiente de encruamento (n), pois em alguns metais e ligas desde o surgimento da deformação plástica até o ponto onde tem início o empescoçamento do CP tem-se a seguinte relação:

$$\sigma = K \cdot \varepsilon^n \quad (1)$$

Onde: K é o coeficiente de resistência;
n é o coeficiente de encruamento.

Equacionando a expressão tem-se:

$$\frac{n = \log \sigma - \log K}{\log \varepsilon} \quad (1)$$

Como valor de K, usou-se K equivalente a 530MPa (para aços baixo carbono) para ambas as amostras (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores usados no cálculo de obtenção do coeficiente de encruamento (n)

	σ (MPa)	ε	n
Amostra A	442	0,46	0,23
Amostra B	483	0,42	0,10

Com os resultados de n pode-se perceber que a Amostra B é mais dura que a A, pois quanto maior o valor de n mais macio será o material.

- **Ensaio de Impacto**

Com relação ao ensaio de impacto Charpy das juntas soldadas, os valores de energia absorvida devem satisfazer aos mesmos requisitos especificados para o metal base (27 J a -40 °C). Os resultados obtidos atenderam a esses requisitos, conforme ilustrado na Figura 7 e 8, para amostra A e B respectivamente. Todos os resultados, independente do tipo de aço, foram superiores ao mínimo especificado para os materiais avaliados.

Tabela 8 – Resultado obtido no ensaio de impacto da Amostra A

Amostra A	Localização	Temperatura (°C)	Energia absorvida (J)	Média (J)	% Fratura Frágil
1	Centro de Solda	-40	62,95	54,50	69
2		-40	34,60		69
3		-40	65,95		69
4	ZTA	-40	73,83	66,00	62
5		-40	60,73		62
6		-40	63,45		62

Tabela 9 – Resultado obtido no ensaio de impacto da Amostra B

Amostra B	Localização	Temperatura (°C)	Energia absorvida (J)	Média	Fratura Dúctil (%)
1	Centro de Solda	-40	74,09	73,26	69
2		-40	62,21		69
3		-40	83,48		69
4	ZTA	-40	60,73	46,87	62
5		-40	39,05		62
6		-40	40,84		62

3 CONCLUSÃO

Como resultado da aplicação do conceito de aço estrutural aplicado para projeto de um submarino, foi possível:

- Com ensaio de dureza percebeu-se que para amostra A e B, ficaram com valores de dureza dentro do tolerável, variando de 150-300HV conforme a literatura;
- Após ensaio de tração foi possível notar os limites de resistência para as duas amostras apresentaram-se dentro da faixa para a amostra A e acima do previsto na amostra B, ou seja, o material soldado apresentou uma compatibilidade com o arame tubular nacional e importado;
- Obter um aço de alta resistência e tenacidade para ambas às amostras, com temperatura de transição dúctil-frágil negativa (inferior a -40°C), permitindo a aplicação em diversos ambientes e localizações;
- Nota-se que houve uma heterogeneidade na parte microestrutural e mecânica das duas amostras, tornando usual a nacionalização do arame tubular da amostra A, que se comportou de forma homogênea na junta soldada.

REFERÊNCIAS

- 1 Gestor Instituto Aço Brasil. Construção em aço. Aços Estruturais. [acesso em 29 abr. 2018]. Página 1. Disponível em <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-acos-estruturais.php> .
- 2 ARZOLA, N.; ARAQUE, O.; Prediction of fatigue life for transverse fillet welded joint and analysis of the influence of crack eccentricity on the failure. Universidad de Ibagué, 2013.
- 3 FIGUERÔA, D.W.; Influencia do teor de CO₂ e do metal de adição na soldagem hibrida laser-GMAW em aço estrutural grau S355, Recife, 2015.
- 4 TU, H.; SCHMAUDER, S.; WEBER, U.; Numerical study of electron beam welded butt joints the GNT model, Germany, June, 2012.