



CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL EM CHAPAS NOVAS E DESMANTELADAS DO AÇO ASTM A131 GRAU A PARA REUTILIZAÇÃO NAVAL

Rodrigues, T. G – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/Brasil,

Posso, M.M – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/Brasil,
millenaposso@gmail.com

da Silva, A. V. R - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/Brasil,

Werner, H.F - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/Brasil,

Vasconcelos, C. H. M – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro/Brasil,

Gurova, T - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/Brasil

RESUMO

Um navio é construído para operar de 20 a 30 anos. O descomissionamento de navios é o ato de encerrar a operação de uma embarcação, enquanto o desmantelamento é o ato de fazer o desmonte. O aço provindo do desmantelamento é vendido como sucata ou reutilizado. O trabalho teve como objetivo avaliar uma junta soldada via MAG de chapas provindas de sucata naval. A Fluorescência de raios X (FRX) mostrou que o material recebido estava de acordo com a norma para o aço ASTM A131. As microestruturas resultantes foram ferrita acicular, ferrita de contorno de grão, ferrita de Widmanstätten e martensita na Zona Fundida; ferrita, ferrita poligonal e bainita granular na Zona Termicamente Afetada; e perlita com ferrita no Metal Base. A dureza dessas regiões foi congruente com as fases constituintes. Com os resultados obtidos, confirmou-se a contingência de soldagem da sucata naval pelo processo MAG para fins de reutilização.

Palavras-chave: aço ASTM A131, descomissionamento, desmantelamento, soldagem MAG.

ABSTRACT

A ship is built to operate for 20 to 30 years. The decommissioning of ships is the act of ending the operation of a vessel, while dismantling refers to the process of taking it apart. The steel obtained from dismantling is sold as scrap or reused. The aim of this work was to evaluate a MAG welded joint of plates originating from naval scrap. X-ray Fluorescence (XRF) showed that the material received was in accordance with the ASTM A131 steel standard. The resulting microstructures were acicular ferrite, grain boundary ferrite, Widmanstätten and martensite in the Heat Affected Zone; ferrite, polygonal ferrite and granular bainite in the Heat Affected Zone; and pearlite with ferrite in the Metal Base. The hardness of these regions was congruent with the constituent phases. With the results obtained, the contingency of welding the naval scrap by the MAG process for reuse was confirmed.

ferrite, and martensite in the Fusion Zone; ferrite, polygonal ferrite, and granular bainite in the Heat-Affected Zone; and pearlite with ferrite in the Base Metal. The hardness of these regions was consistent with the constituent phases. With the results obtained, the feasibility of welding naval scrap using the MAG process for reuse purposes was confirmed.

Keywords: ASTM A131 steel, decommissioning, dismantling, MAG welding

1. INTRODUÇÃO

A vida útil de um navio varia geralmente entre 20 e 30 anos (ÖNAL, 2023). O descomissionamento é o processo de retirar um navio do serviço ativo. Esse procedimento pode ser motivado por vários fatores, como a obsolescência da embarcação, o tempo de operação, alterações operacionais ou mudanças nas regulamentações. Frequentemente, após o descomissionamento, os navios são vendidos para outros países, armazenados ou deixados no mar (Barua et al., 2018; GUNBEYAZ et al., 2023), como é o caso dos navios no cemitério de navios localizado na Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro.

O desmantelamento de navios envolve a desmontagem das estruturas de uma embarcação quando ela chega ao final de sua vida útil. Embarcações desativadas são muitas vezes enviadas para estaleiros especializados em desmantelamento, com o objetivo de recuperar e reciclar metais e equipamentos eletrônicos para venda em diversas indústrias (Barua et al., 2018; GUNBEYAZ et al., 2023; ÖNAL, 2023), embora, em alguns casos, possam ser simplesmente descartadas e sucateadas (OZTURKOGLU et al., 2019). O ideal seria reutilizar o aço obtido do desmantelamento em reparos e na construção de novas embarcações, favorecendo uma economia circular.

O aço utilizado na construção naval, como a liga de aço carbono ASTM A131, é um aço de baixo carbono muito comum na indústria devido à sua alta resistência à tração, ductilidade, tenacidade e boa capacidade de soldagem (BAI et al., 2020; VAHEDI et al., 2020; WANG et al., 2021). O aço A131 está dividido em duas principais categorias: Resistência Comum – Graus A, B, D e E; e Maior Resistência – Graus AH, DH, EH e FH (ASTM INTERNATIONAL, 2019). A categoria Resistência Comum tem um limite de escoamento mínimo de 235 MPa e é considerada de resistência média, enquanto a categoria de Maior Resistência possui subdivisões com limites de escoamento de 315, 350 ou 390 MPa, sendo classificada como de alta resistência (ASTM INTERNATIONAL, 2019; DIAS et al., 2023). O aço DH36 é particularmente utilizado na indústria naval (TOUMPIS et al., 2014).

A composição química dos aços da categoria de Resistência Comum define um teor máximo de carbono de 0,21% para os graus A, B e D, e de 0,18% para o grau E. Para perfis e barras de grau A, o teor de carbono pode chegar a 0,23%. O teor mínimo de manganês (Mn) deve ser duas vezes e meia o teor de carbono para o grau A, e de 0,60% para os graus B e D, e 0,70% para o grau E. Nos aços da categoria de Maior Resistência, como os graus AH, DH e EH, o teor máximo

de carbono é de 0,18%, e o manganês deve estar entre 0,90% e 1,60%. Para o grau FH, os teores máximos são 0,16% para carbono e de 0,90% a 1,60% para manganês (ASTM INTERNATIONAL, 2019).

As chapas metálicas dos navios são unidas por meio de processos de soldagem, que podem alterar as propriedades microestruturais dos materiais (SINGH et al., 2022; KERÄNEN et al., 2024). A soldagem MIG/MAG, que utiliza um arco elétrico entre a peça e um arame consumível, é conhecida por sua alta produtividade (MARTIM, VILARINHO, 2020). Quando o processo é protegido por um gás ativo, como o CO₂, é denominado MAG (Metal Active Gas); quando protegido por um gás inerte, como o hélio, é conhecido como MIG (Metal Inerte Gás).

Nesse contexto, chapas provindas de sucata naval foram soldadas através do processo MAG com o objetivo de analisar as possíveis mudanças nas propriedades microestruturais e mecânicas oriundas do processo de união.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

O metal base (MB) foi o material em estudo, o aço procedente de sucata naval, espessura 2,0 mm. O preparo das chapas foi realizado na seguinte sequência: (i) corte pelo processo de maçarico oxiacetileno; (ii) chanfro em “I”; e (iii) limpeza das juntas.

O material de adição utilizado para os processos de soldagem foi o eletrodo da classe E7018, diâmetro de 3,25 mm.

2.2. Fluorescência de raios X (FRX)

A análise de Fluorescência de raios X (FRX) é uma técnica baseada na medição da intensidade do raio atômico característico emitido pelos elementos do corpo de prova, quando este é excitado pelas partículas de elétrons, prótons ou íons.

Como a sucata recebida não possuía as informações precisas sobre sua composição química, tornou-se necessário realizar o ensaio de FRX para tomar conhecimento do percentual de cada elemento presente na composição química do material. O equipamento usado na realização desse ensaio foi o

EDX-720 e utilizado nitrogênio líquido para o resfriamento da atmosfera interna durante todo o processo.

2.3. Processo de soldagem

Duas chapas do MB foram soldadas através do processo MAG na posição 4G (plana) e o resfriamento ocorreu em temperatura ambiente. A união foi realizada em passe único.

2.4. Análise Microestrutural

A análise microestrutural de uma seção transversal à solda foi utilizada para obter as micrografias pertinentes as regiões propriamente ditas, Zona Fundida (ZF) e Zona Termicamente Afetada (ZTA), em comparação ao MB e ao aço A131 apresentada na Figura 1.

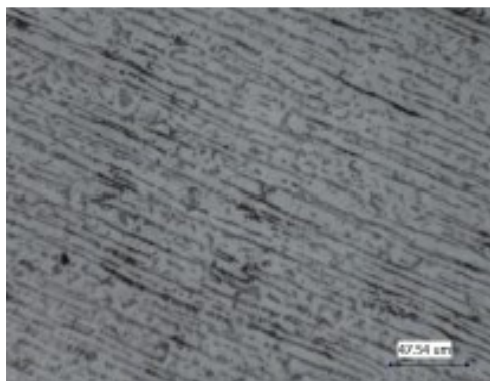


Figura 1 – Microestrutura do aço A131 (100X).

A caracterização consistiu em avaliar uma seção preparada inicialmente por procedimento de lixamento (lixa de granulometria #220, #400, #600, #800, #1200, #2000 e #2400). O lixamento foi continuado de polimento com pastas de diamante de 3 e 1 μm e, em seguida, realizado o ataque químico com Nital 4% através de gotejamento durante 4 minutos. A região foi analisada em microscópio óptico, marca Olympus UC50, com auxílio do Software Stream Essentials para captura de imagem.

2.5. Microdureza Vickers

A análise da propriedade mecânica dureza foi através do ensaio de microdureza Vickers via o equipamento durômetro de bancada, marca Wilson Struments, com carga de 0,5 kg, distância entre indentações 0,5 mm, executando uma linha central em relação à espessura conforme a Figura 2. O perfil de dureza da junta soldada foi determinado a partir do centro da mesma com 15 indentações e relacionado com as microestruturas do MB, da ZF e da ZTA.

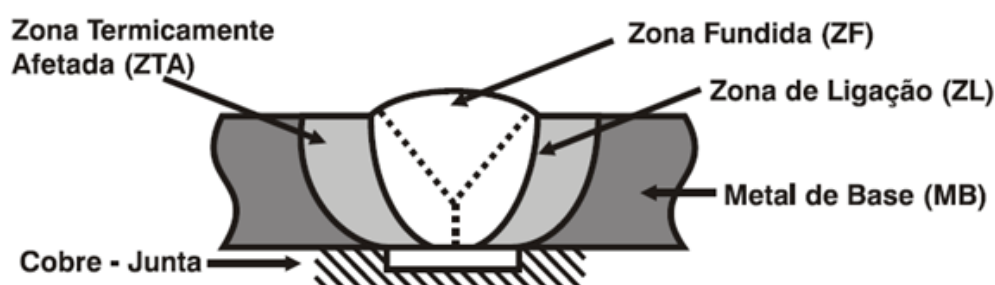


Figura 2 – Níveis de observação de microdureza na junta soldada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Fluorescência de raios X (FRX)

A composição química resultante da análise de FRX é mostrada na Tabela 1. De acordo com o resultado, ficou comprovado que o material em estudo se enquadra na norma do aço ASTM A131 para aço estrutural de casco de alta resistência (ASTM International 2019). O balanço em porcentagem (%) dos elementos fósforo (P), cromo (Cr), níquel (Ni), alumínio (Al), cobre (Cu) e cobalto (Co) foram inferiores a 0,1 %, portanto não foram inseridos na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química (% em peso) do MB e do Aço A131.

Tipo de Material	Fe	C	Si	Mn
Metal Base	98,70	0.17	0.18	0.68
Aço A131	98,50	0,18	0,25	0,75

3.2. Análise microestrutural

A análise microestrutural foi realizada nas três regiões principais da junta soldada: ZF, ZTA e MB. A Figura 3 mostra o resultado da microestrutura obtida na ZF, composta de ferrita acicular, ferrita de contorno de grão, ferrita de Widmanstätten e martensita. Essas fases foram formadas pelos produtos da decomposição da austenita em ferrita durante o resfriamento em temperatura ambiente do cordão de solda, que depende da porcentagem de ferro e carbono presentes na amostra e da taxa de resfriamento (CALLISTER 2016).

A Figura 4 exibe a microestrutura identificada na ZTA, a qual é constituída de ferrita, ferrita poligonal e bainita granular. A ferrita poligonal se forma quando a austenita possui um tamanho de grão significativamente maior do que a ferrita formada em seus contornos. Na ZTA, observa-se um crescimento de grão em relação a ZF, o que eleva a temperabilidade do aço e propicia a formação de

microconstituintes em baixas temperaturas, como a bainita granular (CALLISTER 2016).

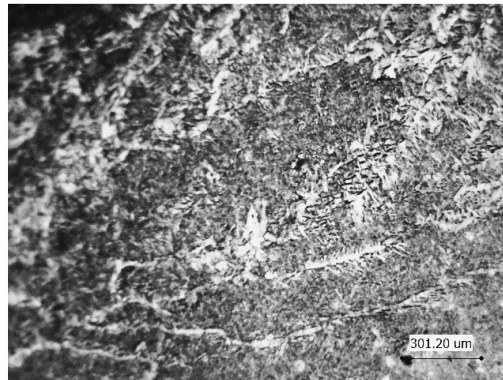


Figura 3 – Microestrutura da ZF (100X)

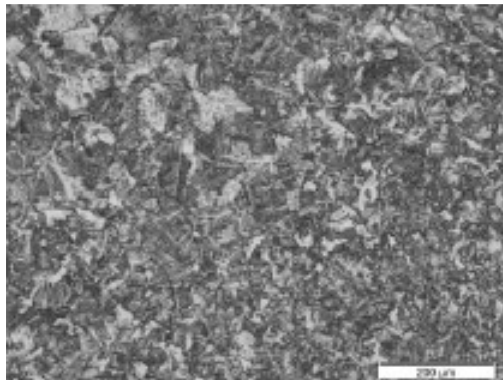


Figura 4 - Microestrutura da ZTA (200X).

A Figura 5 apresenta o resultado verificado no MB, cuja microestrutura não sofreu nenhuma transformação devido o processo de soldagem. As fases presentes são perlita e ferrita e ambas se encontram orientadas no sentido da laminação da chapa. Essa microestrutura é a esperada para aços carbono comum (CALLISTER 2016).

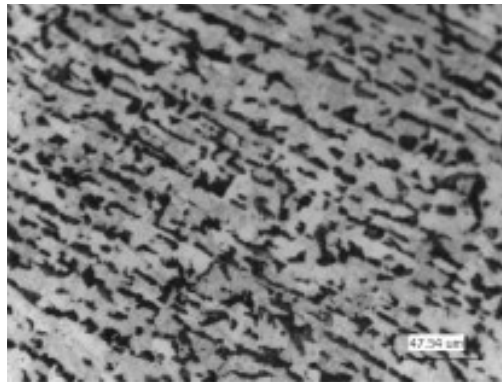


Figura 5 – Microestrutura do MB (200X)

3.4. Microdureza Vickers

As indentações realizadas na junta soldada durante o ensaio de microdureza Vickers são exibidas na Figura 6 e o perfil de dureza dessa junta soldada é apresentado na Figura 7, onde a partir do mesmo pode-se observar que a dureza varia conforme as características do material que compõe a respectiva região.

A ZF apresentou a maior dureza em relação as outras regiões. Isso pode ser relacionado a microestrutura característica da região. Sabe-se que grãos mais refinados e mudanças de fase contribuem para uma maior resistência mecânica nos materiais (CALLISTER 2016), e essa foi a região com maior quantidade de fases obtidas e grãos mais refinados.

Como era esperado, na ZTA obteve-se o valor de dureza intermediário em comparação as outras. Isso ocorre por ser a região que sofre mudanças microestruturais por causa do aumento da temperatura durante o processo de soldagem. Como o grão da ZTA é maior que o da ZF, era esperado que sua dureza seria menor, uma vez que grãos mais grosseiros geram valores menores de durezas, devido à presença de menos contornos de grão, que agem como dificultadores do movimento das discordâncias (CALLISTER 2016).

Já o valor da microdureza do MB foi o menor dentre as regiões. O valor foi dentro do esperado para essa classe de aços (ASTM International 2019) e esse valor menor pode ser relacionado com a não influência da temperatura de soldagem na região, além de não ter sofrido nenhuma mudança microestrutural.

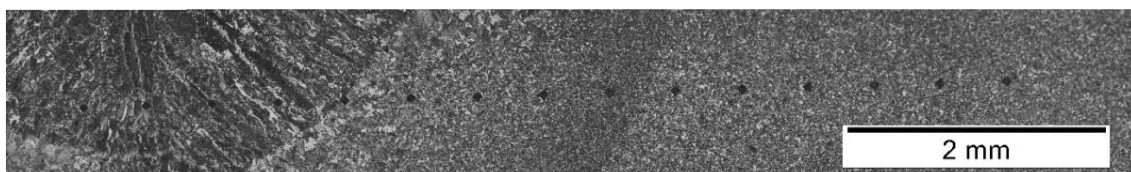


Figura 6 – Macrografia das indentações realizadas na junta soldada durante o ensaio de microdureza

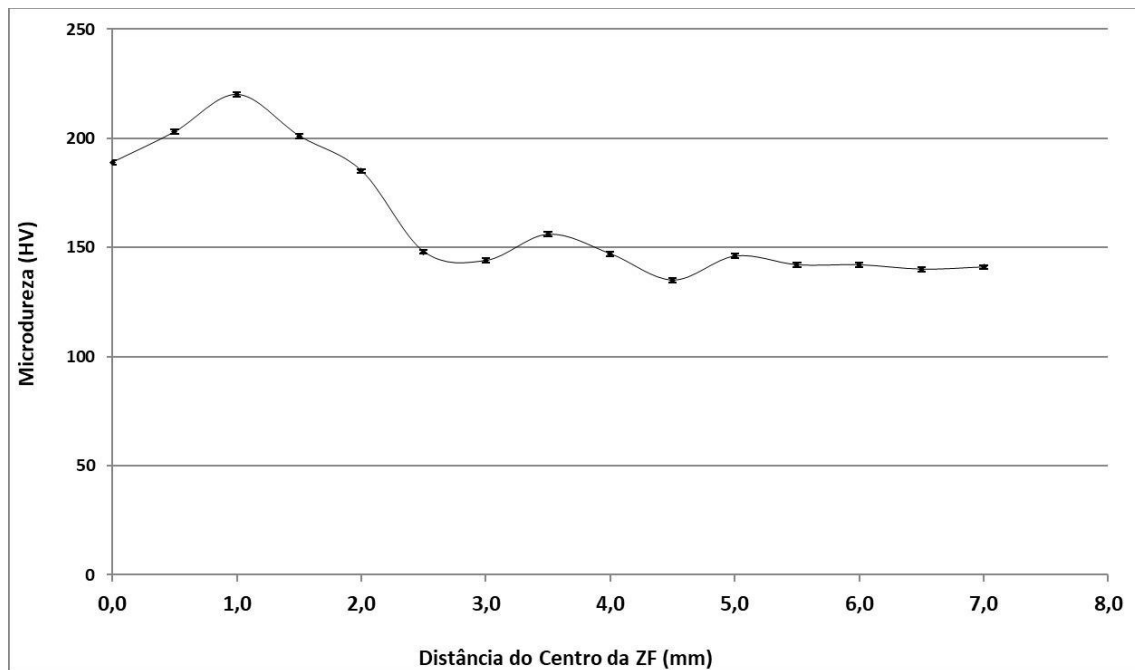


Figura 7 – Gráfico do perfil de dureza da junta soldada

4. CONCLUSÕES

Neste estudo, uma caracterização metalúrgica foi realizada na solda de aço procedente de sucata naval e analisada detalhadamente. As conclusões são as seguintes:

- Alterações pouco significativas na composição química do MB, mesmo com o longo tempo de uso e exposição;
- A dureza de cada região da junta soldada varia conforme as características do material predominante que compõe a respectiva região;
- O processo MAG e o parâmetro utilizado são viáveis e adequados para a soldagem do aço estudado;
- Fases da microestrutura de um aço baixo carbono compostas de grãos refinados contribuem para uma maior resistência mecânica; e,
- As compostas por grãos mais grosseiros geram valores menores de dureza, devido à presença de menos contornos de grão, que agem como dificultadores do movimento das discordâncias.

5. REFERÊNCIAS

BAI, Y.; CHAUDHARI, A.; WANG, H. Investigation on the microstructure and machinability of ASTM A131 steel manufactured by directed energy deposition. Journal of Materials Processing TechnologyElsevier BV, , fev. 2020.

BARUA, S. et al. Environmental hazards associated with open-beach breaking of end-of-life ships: a review. *Environmental Science and Pollution Research* Springer Science and Business Media LLC, , 14 set. 2018.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 9 ed. Rio de Janeiro: LCT, 2016.

DEY, A.; EJOHWOMU, O. A.; CHAN, P. W. Sustainability challenges and enablers in resource recovery industries: A systematic review of the ship-recycling studies and future directions. *Journal of Cleaner Production* Elsevier BV, , dez. 2021.

Dias, J.M.S., dos Santos Paes, L.E., Santos, A.G.M. et al. A methodology for multipass gas metal arc welding of shipbuilding steel plates with different thicknesses. *Int J Adv Manuf Technol* 127, 751–773 (2023).

GUNBEYAZ, S. A. et al. Workers' exposure to dust and potentially toxic elements during steel cutting in two ship dismantling cases. *Ocean Engineering* Elsevier BV, , fev. 2023.

GÜVENÇ, O.; LIZARDE, R.; TASAN, C. C. Solid-state steelmaking by scrap consolidation: A processing pathway with minimal energy and CO2 burdens. *Journal of Cleaner Production* Elsevier BV, , maio 2024.

KERÄNEN, L. et al. Residual stresses of MAG-welded ultrahigh-strength steel rectangular hollow sections. *Engineering Structures* Elsevier BV, , abr. 2024.

LIU, Y.; CUI, M.; GAO, X. Building up scrap steel bases for perfecting scrap steel industry chain in China: An evolutionary game perspective. *Energy* Elsevier BV, , set. 2023.

MARTIM, H. C.; VILARINHO, L. O. *Avaliação da Geração de Campos Magnéticos em Soldagens MIG/MAG no Modo Curto-circuito Convencional e Controlado*. Soldagem & Inspeção FapUNIFESP (SciELO), , 2020

ÖNAL, M. Ship recycling perspective on environmental impacts - A case study for the ships in service. *Heliyon* Elsevier BV, , out. 2023.

SINGH, S. et al. Variant of MIG welding of similar and dissimilar metals: A review. *Materials Today: Proceedings* Elsevier BV, , 2022.

Specification for Structural Steel for Ships. ASTM International, , [s.d.]. 2019.

TOUMPIS, A. et al. Development of a process envelope for friction stir welding of DH36 steel – A step change. *Materials & Design (1980-2015)* Elsevier BV, , out. 2014.

VAHEDI NEMANI, A.; GHAFFARI, M.; NASIRI, A. Comparison of microstructural characteristics and mechanical properties of shipbuilding steel plates fabricated by conventional rolling versus wire arc additive manufacturing. *Additive Manufacturing* Elsevier BV, , mar. 2020.

WANG, J. et al. Microstructure and mechanical properties of ASTM A131 EH36 steel fabricated by laser aided additive manufacturing. Materials CharacterizationElsevier BV, , abr. 2021.