



ANÁLISE DA VIABILIDADE PRÁTICA NA REUTILIZAÇÃO DIRETA DE CHAPAS DE AÇO DH36 DESCOMISSIONADAS NO REPARO NAVAL.

Silva, B. H. S. M.¹ ; Covas, L. A. C.¹ ; Cunha, B. A.² ; Werner, H. F.² ; Gurova, T.³

¹ Graduando na Universidade do Estado do Rio de Janeiro

² Mestrando na Universidade Federal do Rio de Janeiro

³ Professor na Universidade do Estado do Rio de Janeiro

brunohdsms@gmail.com - Bruno H. dos Santos

luiz.arthur00@gmail.com - Luiz Arthur

angelici.bruna@gmail.com - Bruna Angelici

heitorwerner@oceanica.ufrj.br - Heitor Werner

gurova@lts.coppe.ufrj.br - Tetyana Gurova

RESUMO: O descomissionamento e o Ship Recycling são processos cruciais na indústria naval. Em um cenário onde a sustentabilidade e a economia circular ganham cada vez mais destaque, a falta de estudos sobre a viabilidade da reutilização dos materiais provenientes do desmantelamento torna-se evidente. O objetivo é comprovar a viabilidade prática da reutilização direta dessas chapas de aço no reparo de embarcações, assegurando que mantenham suas propriedades necessárias sem comprometer a segurança ou eficácia e promovendo uma abordagem mais sustentável para o desmantelamento naval reduzindo os impactos ambientais. A pesquisa utilizou amostras do aço ASTM DH36 descomissionadas e novas, submetidas a um entalhe vazado seguido de deposição de material com eletrodo revestido 7018. Análises incluíram metalografia, ensaio visual, dimensional, líquido penetrante, dureza e tensão residual. Os resultados indicaram que as chapas desmanteladas mantêm características essenciais como resistência à deformação, integridade superficial e boa soldabilidade, sugerindo sua viabilidade para reutilização, o que promove práticas mais sustentáveis na indústria naval e reduz impactos ambientais.

Palavras-chave: Desmantelamento, Ship Recycling, Economia circular, Tensão Residual

ANALYSIS OF THE PRACTICAL FEASIBILITY IN THE DIRECT REUSE OF DECOMMISSIONED DH36 STEEL PLATES IN NAVAL REPAIR

ABSTRACT: Decommissioning and ship recycling are crucial processes in the maritime industry. In a context where sustainability and the circular economy are increasingly emphasized, the lack of studies on the feasibility of reusing materials from dismantling becomes evident. This study aims to demonstrate the practical feasibility of directly reusing these steel plates in ship repairs, ensuring they retain the necessary properties without compromising safety or efficiency, while promoting a more sustainable approach to naval dismantling and reducing environmental impacts. The research utilized samples of decommissioned and new ASTM DH36 steel, subjected to notching followed by material deposition using a 7018 coated electrode. Analyses included metallography, visual and dimensional testing, liquid penetrant inspection, hardness, and residual stress testing. The results indicated that the dismantled plates retain essential characteristics such as deformation resistance, surface integrity, and good weldability, suggesting their feasibility for reuse, which supports more sustainable practices in the maritime industry and reduces environmental impacts.

Keywords: Dismantling, Ship Recycling, Circular Economy, Residual Stress, DH36.

1. INTRODUÇÃO:

Questões como a Descarbonização e a Engenharia de portos verdes são temas que vêm ganhando cada vez mais destaque no mundo contemporâneo. E um dos principais objetivos é a redução das emissões de CO₂ pelas empresas e pelas pessoas. Visando essa redução, a prática da reutilização direta do material descomissionado tem sido uma alternativa bastante atrativa e sustentável para a indústria naval. Este presente estudo tem o objetivo maior comprovar a adequação técnica do aço proveniente de uma embarcação descomissionada para manutenção e reparo naval, promovendo práticas sustentáveis e incentivando a criação de normas e regulamentos. Além de minimizar os impactos ao meio ambiente e aos

operários, a reutilização direta do aço desmantelado se torna uma opção economicamente viável.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

2.1. Corpos de Prova

Foram confeccionadas duas amostras simulando uma situação de reparo, uma na chapa de aço nova, nunca utilizada, e outra em uma chapa desmantelada, ambas do aço ASTM DH36. Buscando assim encontrar uma correlação entre essas duas situações.

A amostra nova será denominada amostra 1. Ela é oriunda de uma chapa nova, que não foi submetida à tensão ou trabalho anteriormente. Ela foi cortada com maçarico de oxi-gás obtendo assim dimensões de 300 mm de comprimento, 150 mm de largura e 9,5 mm de espessura. Então, foi feito um entalhe vazado de 170 mm de comprimento no centro da peça.

Figura 1 - Amostra 1 / chapa nova



A amostra descomissionada, denominada 2, foi removida da sucata do costado de uma embarcação que foi descomissionada e estava em processo desmonte, onde essa chapa foi cortada com maçarico oxi-gás e ao final do corte a chapa foi obtida com dimensões de 370 mm de comprimento, 160 mm de largura e 6 mm de espessura. Então foi feito o entalhe de 190 mm de comprimento no centro da peça.

Figura 2 - Amostra 2 / chapa desmantelada



Posterior ao entalhe vazado de ambas amostras, houve a deposição de material através método de eletrodo revestido, utilizando o eletrodo 7018 com 2,5 mm de diâmetro, 5 mm de profundidade, voltagem 30V, corrente 80A, a velocidade de soldagem foi em torno de 170 mm/min. Os parâmetros de soldagem citados anteriormente foram os mesmos para os 3 passes efetuados, assim como para a contra-solda das amostras 1 e 2.

2.2. Ensaios e equipamentos

2.2.1 Ensaio visual e Dimensional e Líquido Penetrante (LP)

O ensaio Visual e o Dimensional são os primeiros ensaios realizados na amostra. Essas técnicas proporcionam um meio de detectar e analisar uma variedade de descontinuidades superficiais, como contaminação, acabamento superficial e trincas superficiais de maneira efetiva e com mais rapidez que outros END (Sampaio, 2009).

Já a técnica de LP é amplamente utilizada na inspeção de peças soldadas e visa detectar descontinuidades superficiais em materiais não porosos como metais, cerâmicas e plásticos. A seleção do tipo de penetrante e do método de remoção deve considerar a natureza do material a ser inspecionado e o tipo de descontinuidade que se busca detectar (Roberge, 2007). Para a realização deste ensaio foi utilizado líquido penetrante Spotcheck® SKL-WP e o líquido revelador Spotcheck® SKD-S2, observados na figura 3.

Figura 3 - Líquido penetrante e revelador da marca Spotcheck



2.2.3. Ensaio de Dureza

A dureza é uma propriedade mecânica indispensável na caracterização de materiais. Entre os métodos de medição, o ensaio de dureza Vickers é conhecido pela precisão e versatilidade. Para a realização deste trabalho, foi utilizado o Durômetro Portátil Digital Metrotokyo, mostrado na figura a seguir:

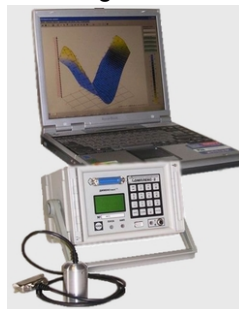
Figura 4 - Durômetro Portátil Digital Metrotokyo



2.2.4. Ensaio de Tensão Superficial Relativa - Mapeamento magnético

Para a realização do mapeamento do estado das tensões foi utilizado um equipamento magnético portátil STRESSVISION (figura 5).

Figura 5 - Equipamento Magnético Portátil STRESSVISION



O equipamento usa o efeito inverso de magnetostricção com um sensor MAS (magneto-anisotrópico). Esse efeito altera a magnetização de materiais

ferromagnéticos quando submetidos a tensões mecânicas, modificando a estrutura dos domínios magnéticos. O mapeamento mostra a diferença relativa entre as tensões principais, especificamente a tensão cisalhante máxima, de acordo com o critério de escoamento de Tresca-Guest. Outra opção para visualizar o estado das tensões é o mapa de concentração das tensões cisalhantes máximas, obtida também através do método magnético (Gurova et al., 2020).

2.2.3. Ensaio de difração de Raio-X

Os valores absolutos das tensões residuais serão medidas com equipamento portátil de raios-X que utiliza o método de dupla exposição e radiação $K\alpha$ do Cr, (Teodosio, 1997).

Figura 6 - Equipamento portátil de raios-X para medição de tensões mecânicas



Na tensometria por raios-X, os princípios se baseiam, por um lado, na teoria de difração de raios-X para materiais cristalinos, e por outro em mecânica dos materiais e, em particular, na teoria da elasticidade do corpo sólido (Cullity, 1967, Noyan, 1987).

As tensões foram medidas utilizando o equipamento portátil de raios-X RAYSTRESS, que opera com o método de dupla exposição e radiação $K\alpha$ do Cr. Para garantir a precisão dos resultados, foi realizado um polimento mecânico nas amostras, removendo revestimentos, tintas, oxidações ou outras deposições superficiais que pudessem interferir na medição. Posteriormente, foi aplicado um polimento eletrolítico nos pontos de medição, com profundidade de 0,2 mm, eliminando tensões mecânicas induzidas durante a fabricação ou o polimento mecânico. A análise de raios-X utilizou um plano difratante $\{211\}$ de ferrita e um feixe de raios-X com seção de 0,5 x 6 mm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Ensaios Visual e Dimensional e Líquido Penetrante

Durante a execução dos ensaios, foram realizadas medições das dimensões de ambas amostras 1 e 2 e conduzida uma inspeção visual dos cordões de solda e contra-solda.

As amostras foram lixadas e escovadas para remover a escória da soldagem e depois limpas com pano umedecido. O líquido penetrante Spotcheck® SKL-WP foi aplicado em spray, seguido pela remoção do excesso com panos limpos. Em seguida, o líquido revelador Spotcheck® SKD-S2 foi aplicado para revelar descontinuidades na superfície.

A amostra nova não apresentou descontinuidade.

Figura 7 - LR sobre a amostra 1



Já na amostra de reparo 2, foram identificados pequenos pontos de descontinuidades superficiais, porém, no preparo para os ensaios subsequentes, essas descontinuidades foram removidas.

Figura 8 - Pontos de descontinuidade na amostra 2



3.2. Ensaio de Dureza Vickers

Os resultados são apresentados nas tabelas a seguir, começando com os dados das amostras de reparo 1 e 2. Os valores de dureza Vickers são fornecidos em HV, com uma margem de erro de ± 5 HV.

Figura 9 - Tabela de resultados de dureza nas amostras 1 e 2

Nº	Amostras de Reparo	Dureza em HV	
	Pontos Medidos	Amostra 1	Amostra 2
1	MB1	132	125
2	MB2	141	108
3	MS	216	172
4	MB3	125	107
5	MB4	116	120

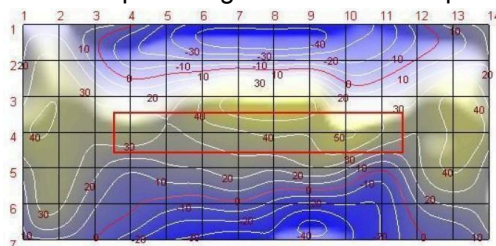
Observa-se que os valores máximos de dureza Vickers estão localizados no MS, com uma amplitude entre os máximos das amostras variando em até 44 HV a mais para a amostra de reparo nova. Os valores mínimos estão nos MB2 e MB3, sendo que a amostra nova apresenta dureza superior à descomissionada. Os valores para MB1 e MB4 são intermediários, com MB1 seguindo o padrão da amostra nova e MB4 mostrando maior valor na amostra de reparo 1.

3.3. Tensão Superficial Relativa

- Amostra 1 / Amostra de chapa nova

As figuras a seguir apresentam os resultados referentes à amostra nova, mostrando o mapeamento realizado na face da solda de topo e contra-solda.

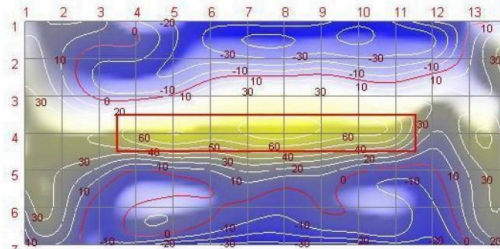
Figura 10 - Mapa da região da solda de topo na amostra nova



Observa-se uma concentração de tensões na região central da amostra, correspondente ao cordão de solda. Na área acima do cordão, especialmente na linha 3 entre os pontos 6 e 9, há uma elevação significativa das tensões na Zona Termicamente Afetada (ZTA). As tensões diminuem em direção ao metal base em ambos os lados do cordão de solda. A mudança para um estágio de tensões mais baixas ocorre próximo às linhas 2 e 6, perto do final da amostra. Essa distribuição é típica da solda de topo, que aplica mais energia. Uma pequena concentração

observada próximo às colunas 2 e 13 pode ser resultado do corte da amostra e, portanto, pode ser desconsiderada.

Figura 11 - Mapa da região da contra-solda da amostra nova

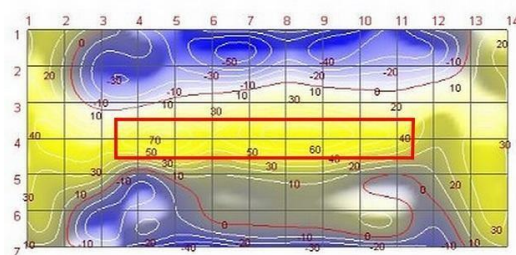


Neste mapa, observa-se um padrão semelhante de concentração de tensões na região central da amostra, associada ao cordão de solda. A mudança para um estágio de tensões mais baixas ocorre próximo às linhas 3 e 5, com a concentração de tensões mais próxima do cordão de solda e menos dispersa do que no mapa anterior. Essa dispersão é característica da solda de raiz, que utiliza menos energia. Novamente, uma pequena concentração próxima às colunas 2 e 13 pode ser resultado do corte da amostra e, portanto, pode ser desconsiderada.

- Amostra 2 / Amostra de chapa desmantelada

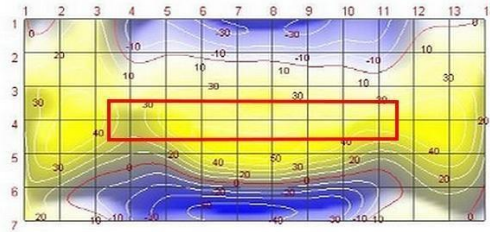
Adiante são apresentadas as figuras referentes à amostra de reparo descomissionada, mostrando o mapeamento realizado na face da solda de topo e contra-solda

Figura 12 - Mapa da região da solda de topo na amostra desmantelada



Para o mapeamento da amostra 2, observa-se o mesmo padrão de concentração de tensões encontrado na amostra 1, mas com uma intensidade maior. As marcas nas laterais confirmam as tensões introduzidas pelo corte. Em relação ao cordão de solda, a redução das tensões ao longo da peça é menos homogênea: na parte superior, as tensões diminuem rapidamente para perto de zero relativo, enquanto na parte inferior, o zero relativo só é alcançado quase no final da amostra.

Figura 13 - Mapa da região da contra-solda da amostra desmantelada

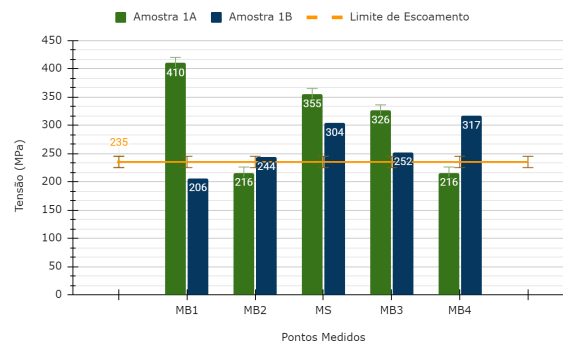


Neste último mapa para a amostra de reparo 2, notamos o mesmo padrão narrado para o lado da solda de raiz da amostra de reparo 1, com a ressalva de que aqui a concentração encontra-se mais elevada.

3.4. Análise de tensões Efetivas

As tensões efetivas são fundamentais na indústria naval, pois indicam as tensões que realmente causam deformações ou falhas em um determinado material. No contexto de reparo e manutenção naval, a análise dessas tensões torna-se crucial. O gráfico da figura 18 ajuda a compreender melhor os valores das tensões efetivas das amostras em relação ao limite de escoamento. As amostras analisadas incluem a amostra de chapa nova (1A) e a amostra chapa descomissionada (1B).

Figura 14 - Gráfico de resultados das tensões Efetivas para Amostras de Reparo.



A tensão efetiva é crucial neste estudo experimental. A análise revelou que a amostra 1 apresentou uma tensão efetiva 93 MPa maior do que o máximo da amostra 2, enquanto o valor mínimo foi apenas 10 unidades menor. Os valores médios também seguem esse padrão, com a amostra 1 registrando 305 MPa e a amostra 1B 265 MPa, uma diferença de 140 unidades. Esse comportamento sugere uma possível viabilidade para a reutilização do material descomissionado.

Nas diferentes regiões analisadas, a amostra 1 exibiu tensões efetivas maiores na parte superior do metal base, enquanto na inferior, a diferença foi menor. No Metal de Solda, embora a amostra nova tenha tensões ligeiramente superiores, a diferença é pequena. Observou-se que quase todas as tensões foram tratativas e

acima do limite de escoamento, exceto para a amostra 2 no MB1 e a amostra 1 no MB4.

4. CONCLUSÃO:

Esta pesquisa avaliou a viabilidade de reutilização de aço naval ASTM DH36, proveniente do desmantelamento de embarcações, por meio de ensaios qualitativos e quantitativos que compararam amostras novas e desmanteladas. Os resultados mostraram que as amostras desmanteladas mantiveram características mecânicas e estruturais, como resistência à deformação e integridade superficial, equiparando-se às amostras novas. Além disso, as chapas desmanteladas apresentaram boa soldabilidade e ausência de descontinuidades significativas, sugerindo que o aço desmantelado pode ser reutilizado no reparo naval, promovendo práticas sustentáveis no setor.

5. REFERÊNCIAS:

ANGELICI CUNHA, B.; MELO, B.; WERNER, H.; HENRIQUE CRAVEIRO DE SOUZA QUEIROZ, M.; GUROVA, T. Descomissionamento e economia circular: estudo da viabilidade prática da reutilização de aço descomissionado ASTM A131 no reparo de embarcações. In: 23º CONEMI, 2023, Vitória. Anais do Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial, 2023.

BRUNO, M.; COVAS, L. A. C.; WERNER, H. F.; GUROVA, T. Descomissionamento: uma avaliação da situação atual. In: 23º CONEMI, 2023, Vitória, ES. Anais do Congresso Internacional de Engenharia Mecânica e Industrial, 2023.

CULLITY, B. D.; NOYAN, I. C.; COHEN, J. B. Residual stress: Measurement by diffraction and interpretation. Springer-Verlag, 1987. 276 p.

GUROVA, T.; ESTEFEN, S.; LEONTIEV, A.; SILVA, H. W.; GOMES, L. S.; PERIPOLLI, S. B. Reparo por Solda em Tubos de Aço X-60. Análise das Tensões Residuais. In: CONAEND 2020, 2020, São Paulo. CONAEND 2020. São Paulo: ABENDI, PROMAI, 2020, v. 1, p. 1-10.

NGO SHIPBREAKING PLATFORM. Annual Report 2022.

Roberge, P. R. Handbook of Corrosion Engineering. McGraw-Hill, 2007.

SAMPAIO, R. Fundamentos da Inspeção Visual. Manual de Ensaios Não Destrutivos, 5ª ed., São Paulo: ABENDI, 2009.