

## UTILIZACAO DA LIGA DE ALUMÍNIO SUBSTITUINDO A LIGA DE AÇO EM EMBARCACOES.

EMMANUELLE DE OLIVEIRA SANCHO<sup>1</sup>, ALESSANDRO MOREIRA PINHEIRO<sup>2</sup>, ADRIANA PEREIRA DO NASCIMENTO<sup>3</sup> e PEDRO DE MORAES OLIVEIRA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Dra. em Engenharia e Ciência dos Materiais, Professora UNIFOR, IFCE, Fortaleza-CE, Sobral-CE, emmanuellesancho@hotmail.com;

<sup>2</sup>Especialista em Engenharia Naval e Offshore, UCP, Petrópolis-RJ, jbaysandro@gmail.com;

<sup>3</sup>Me. em Ciências Marinhas Tropicais, Professora UNIFOR, Fortaleza-CE, adria@unifor.br;

<sup>4</sup>Engenheiro Mecânico, UNIFOR, Fortaleza-CE, pedro.de.moraes.oliveira@gmail.com.

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
15 a 17 de setembro de 2021

**RESUMO:** Foi analisado se a liga de alumínio naval atendia as exigências mecânicas como um melhor substituto para a liga de aço naval. Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o assunto para verificar as maiores necessidades. Foram coletadas amostras das ligas diretamente da linha de produção de embarcações do estaleiro INACE – Indústria Naval do Ceará, que foram cedidas gentilmente para realização desse estudo. Com essas amostras foram realizados ensaios de tração, impacto Charpy e dureza Rockwell B no intuito de estudar as propriedades mecânicas que influenciam a resistência mecânica de cada liga. Foram analisadas as microestruturas das amostras de liga de alumínio naval através de microscópio óptico, e, com o auxílio de pesquisas bibliográficas, determinou-se os elementos que compõem essas ligas, chegando-se a conclusões a respeito da sua resistência. Dessa forma foi demonstrado a viabilidade da substituição da liga de alumínio naval na fabricação em embarcações de médio porte, substituindo a liga de aço naval.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensaios mecânicos, propriedades mecânicas, alumínio naval e aço naval.

### USE OF ALUMINUM ALLOY REPLACING STEEL ALLOY IN VESSELS.

**ABSTRACT:** *It was necessary to resolve the naval aluminum alloy met the requirements as the best substitute for naval steel alloy. Initially, a bibliographic survey was carried out on the subject to verify the greatest needs. Samples of the alloys were collected directly from the production line of vessels of the shipyard INACE - Indústria Naval do Ceará, which were kindly provided for this study. With this prototype, mechanical tests were carried out, impact B Charpy and hardness in order to study how mechanical properties that intend the mechanical strength of each alloy. Some of the aluminum alloys and the selected elements of specific structures were selected, and, with the help of specific structures, which determine these alloys, arriving at a selection of a respect of their resistance. In this way, the feasibility of replacing the medium naval aluminum alloy in the replacement of a naval steel alloy was demonstrated.*

**KEYWORDS:** *Mechanical tests, mechanical properties, naval aluminum and naval steel.*

### INTRODUÇÃO

Na história da indústria naval, desde a confecção de embarcações em períodos antigos, a busca pelo melhoramento e desenvolvimento dos materiais que são utilizados nas construções das embarcações é constante. A escolha da madeira para as embarcações já era um desafio, pois não poderia escolher qualquer madeira, tinha que ser a madeira mais resistente possível. Com essa exigência havia uma limitação a certas espécies de árvores. Não é diferente nos tempos modernos, onde existe a busca para se chegar a uma melhor liga metálica para a construção de embarcações.

Nos primórdios do século XX, os materiais ferrosos eram o tipo de material básico na construção dos meios navais, hoje em dia os materiais ferrosos ainda têm sua parcela nesse ramo, mas

novas ligas metálicas já estão sendo utilizadas para esse fim. Material como o alumínio vêm se destacando principalmente na construção de embarcações de médio porte, e, por esse motivo ele foi objeto deste estudo.

As ligas de aço na utilização em embarcações de médio porte tornaram-se obsoletas, pois o custo-benefício da liga de alumínio tornou-se mais vantajoso em diversos aspectos. Podemos citar por exemplo, a facilidade de se trabalhar com o alumínio na linha de produção devido ao menor peso da liga dispensa o uso de guindastes, pórticos e pontes rolantes com grande poder de içamento, além de reduzir o tratamento contra a corrosão no período de armazenagem das chapas e durante a vida útil da embarcação. O consumo de combustível requerido pela mesma também é de fundamental importância para o sucesso do projeto, e, a possibilidade de utilização de alumínio secundário reduz-se ainda mais seu custo, ou seja, o alumínio proveniente de reciclagem, sendo esse último um dos principais fatores pelo qual o alumínio é um material que ajuda na diminuição na emissão de poluentes, já que é cem por cento reciclável, contribuindo para a sustentabilidade ambiental (Silva, 2006).

O objetivo deste estudo foi verificar se o alumínio poderia substituir as ligas de aço na construção de embarcações navais de médio porte, logo houve a realização de ensaios mecânicos e químicos, e, análise dos resultados de ambas as ligas para eventuais comparações entre ambas.

A metodologia da pesquisa foi um estudo de caso, onde foram coletados os materiais utilizados na construção de embarcações navais de médio porte em um estaleiro local, e, com esses materiais foi realizado ensaios de tração, impacto, dureza e metalografia. Justifica-se a realização da pesquisa devido à necessidade de se ter embarcações mais leves conseqüentemente mais rápidas, com menor consumo de combustível, apresentando assim uma melhor eficiência energética, além de contribuir com uma menor emissão de poluentes. Aliado a isso, uma estrutura que possua uma maior resistência corrosão, além de não perder a tenacidade em águas a baixas temperaturas (Leite, 2018).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A liga utilizada para os ensaios mecânicos demonstrados nesse capítulo foi cedida pela INACE, fato que torna algumas informações sigilosas, como quais séries pertencem as ligas de alumínio naval e aço naval. Por meio dos ensaios mecânicos obtidos e pela metalografia que foi realizada, saberemos um pouco mais sobre a série que as ligas pertencem. Espera-se que a liga de alumínio naval utilizada pela a empresa seja das séries 5XXX ou 6XXX, ambas as ligas têm o principal elemento de liga o magnésio. Para a liga de aço naval seja a liga A36 a que mais é utilizada no meio naval e principalmente no casco das embarcações (Callister, 2018).

A liga foi submetida ao ensaio de tração na máquina universal de ensaios INSTRON, modelo 4484, do laboratório de materiais da Universidade de Fortaleza-UNIFOR. Foram confeccionados 6 corpos de provas da liga de alumínio naval, como também foram confeccionados 6 corpos de provas do aço naval. Tal corpos de provas foram submetidos ao ensaio de tração para serem observadas, analisadas e medidas as propriedades mecânicas dos mesmos. Os corpos de prova confeccionados seguindo a norma ABNT, somente as espessuras foram diferentes das duas ligas, por serem as dimensões utilizadas na embarcação.

As ligas foram submetidas ao ensaio de dureza Rockwell B, no durômetro da marca Industécnica e modelo Fixo Teste, conseqüentemente tendo os seus valores convertidos para a dureza Brinell e após isso se chegou ao valor da resistência a tração do material. O ensaio de dureza Rockwell é um ensaio por penetração, foi introduzido em 1922 por Rockwell, que leva o seu nome e oferece algumas vantagens significantes, que fazem esse tipo dureza ser de grande uso internacional (Garcia, 2012).

Para a realização dos ensaios de impacto Charpy, foram confeccionados cinco corpos de prova da liga de alumínio naval de acordo com a norma, utilizando o entalhe tipo A, em forma de V.

Para a análise metalográfica a amostra foi cortada em uma cut-off ou policorte da marca Arotec, modelo C-40, com um disco de baixa granulometria para que a abrasão do disco em contato com o material não causasse deformação plástica, o que comprometeria a observação metalográfica. A policorte utilizada tem um sistema de lubri-refrigeração, pois, durante o corte, a abrasividade do disco de corte com o metal gera aquecimento e isso poderia acarretar em alterações na microestrutura do material, alterando assim as suas propriedades originais. Devido a esse risco o processo de corte tem que ser mantido em uma temperatura abaixo de 100°C. E, além disso, a lubri-refrigeração proporciona um melhor acabamento na amostra reduzindo assim o tempo de lixamento.

Devido ao pequeno tamanho das amostras foi realizado um embutimento a quente, para facilitar a observação no microscópio ótico. Para isso utilizou-se uma embutidora a quente de marca Arotec, modelo PRE 30M, garantindo um processo mais prático e eficiente.

Logo em seguida as amostras foram lixadas, com a redução da granulometria da lixa de forma sucessiva, sempre obedecendo a mudança da posição do material em 90° em cada troca de lixa. Foi utilizado uma lixadeira elétrica da marca Arotec, modelo AROPOL 2V, também com sistemas de lubri-refrigeração. A etapa de polimento vem em seguida a de lixamento, com auxílio de pasta diamantada com duas diferentes granulometrias em um pano de polimento, para garantir um melhor acabamento superficial, com isso tem-se melhores condições para analisar as microestruturas do material.

Para melhor visualização das microestruturas foi realizado ataque químico com solução de hidróxido de sódio a 10% para o alumínio naval, que em seguida foi levada ao microscópio ótico da marca Sony, onde a imagem da amostra foi ampliada 500X do seu tamanho real. Nesse aumento foi possível visualizar os grãos e os contornos de grão e analisar a composição da microestrutura do material.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos valores do limite de resistência a tração dos seis corpos de prova da liga de alumínio naval ao qual foram submetidos ao ensaio de tração, apresentaram valores aproximados um dos outros, resultando na confiabilidade do ensaio. A média do limite de resistência a tração foi de 314,6 MPa. As demais propriedades mecânicas também tiveram seus valores aproximados, como observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do alumínio naval.

Alumínio naval				
Limite de resistência a tração (MPa)	Alongamento percentual (%)	Tensão de escoamento (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)	Modulo de elasticidade (MPa)
322	16,50	203,2	313,3	7153
327,6	16,41	214,7	318	6656
302,2	14,59	189,8	299	6929
312,7	14,46	203,1	306,8	6675
302,4	17,67	185,1	291,1	6875
320,5	16,03	200,5	310,5	6881

Fonte: O Autor

Como no ensaio de tração da liga de alumínio naval, as ligas de aço naval apresentaram os valores aproximados, garantimos uma maior confiança no ensaio. Comparando-se as propriedades das ligas, e, verificou-se que não existe uma diferença muito grande da resistência a tração entre elas. A liga de alumínio naval apresentou o limite a resistência a tração um pouco abaixo da liga de aço, ressaltando assim, que a liga de alumínio naval é viável em termos de resistência. O alongamento percentual demonstrou que a liga de aço naval possui uma deformação plástica maior que a liga de alumínio naval, o que não estava sendo esperado já que o alumínio é um material que apresenta maiores valores de ductilidade. A consequência para tal fato foi o tratamento de envelhecimento por precipitação, já que a grande quantidade de precipitados de magnésio faz com que a resistência mecânica da liga aumente consideravelmente, reduzindo significativamente a sua plasticidade.

Uma característica que reflete esse aspecto da liga de alumínio naval é a fratura do corpo de prova que possui a característica de uma fratura frágil, cisalhamento de forma abrupta, enquanto a liga de aço naval apresenta uma fratura dúctil, apresentando estrição perceptível. O módulo de elasticidade da liga de aço naval é maior que a da liga de alumínio naval, o que pode ser observada nas tabelas 1 e 2, sendo assim a liga de aço possui uma maior resiliência do que a liga de alumínio naval. A tensão de escoamento da liga de aço é maior, o que explica a forma da sua fratura do corpo de prova possuir um aspecto dúctil, enquanto a liga de alumínio naval tem-se uma fratura de corpo de prova com característica frágil, como visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do aço naval.

Limite de resistência a tração (MPa)	Alongamento percentual (%)	Aço naval		
		Tensão de escoamento (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)	Modulo de elasticidade (MPa)
375,3	19,76	178,7	259,2	15980
404,4	21,84	234,5	286,6	14040
406,8	20,01	247,7	291,3	13430
411,3	21,68	250,5	304,2	13150
417,7	20,42	255,9	303,9	13570
412,5	20,01	254,1	297,4	13220

Fonte: O Autor

Os ensaios de impacto Charpy têm por finalidade avaliar a tenacidade dos materiais de forma qualitativa. Todos os corpos de provas de alumínio naval ensaiados apresentaram absorção de energia de 4 Joules, o que comprova uma característica frágil da liga de alumínio, já que a sua tenacidade é baixa. Uma possível explicação para essa característica da liga de alumínio naval ter essa baixa tenacidade é observar o que a ocorre em sua microestrutura, pois o tratamento de envelhecimento gera uma grande quantidade de precipitados fazendo com que haja um endurecimento na liga por precipitação, ocorrendo assim, um carregamento excessivo de magnésio em sua estrutura cristalina, e, aumentando a resistência do material (Garcia, 2018).

Não obstante, devido a essa sobrecarga de magnésio, a estrutura fica com pouco espaço intersticial dentro da rede para haver deslocamento, e, assim a liga só consegue absorver pouca energia, pois, o seu espaço intersticial é pequeno e não permite um maior deslocamento da rede. Com essa precipitação de magnésio na estrutura cristalina, ocorre um aumento de tensão no interior dela, devido ao acúmulo de energia. Assim, uma estrutura cristalina com excesso de energia não tem como absorver muita energia provenientes de fontes externas, pois, o deslocamento da rede em sua estrutura cristalina fica muito limitado. Ambas as ligas foram submetidas ao ensaio de dureza Rockwell B e os resultados das endentações são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de dureza Rockwell B e Brinell.

Alumínio naval (HRB)	Aço naval (HRB)	Alumínio naval (HB)	Aço naval (HB)
44	71	78	124
49	75	87	133
42	64	76	119
46	70	80	121
49	79	87	144

Fonte: O autor

Para se chegar ao valor de resistência a tração do material é necessário realizar uma conversão com a equação;  $\sigma_B = \alpha \times HB$ , onde  $\sigma_B$  é o valor de resistência a tração do material,  $\alpha$  é o fator de conversão para cada liga ou constante experimental e HB é o valor da dureza Brinell encontrada nos ensaios, foi encontrado uma média de 326,4 MPa para o alumínio naval, e, 423,1 MPa para o aço naval. Os valores de limite de resistência a tração encontrados utilizando a dureza Brinell e logo após fazendo o uso da equação de conversão, ficaram muito próximos dos valores encontrados nos ensaios de tração, o que corrobora que os resultados encontrados em ambos ensaios e métodos utilizados, possuindo uma boa confiabilidade.

Foi realizada a metalografia da liga de alumínio naval, mostrada na Figura 1. Para a análise da sua microestrutura e com isso determinar a provável causa do seu endurecimento e decorrente desse ganho de endurecimento a perda da sua tenacidade, contando com o auxílio da bibliografia de Colpaert (2008) para identificar essas microestruturas.

Figura 1 – Microscopia da liga de alumínio naval ampliada em 250X



Fonte: O autor

Como podemos observar na microscopia, os pontos e veios enegrecidos são precipitados de magnésio originados pela adição de magnésio como elemento de liga e pelo tratamento de envelhecimento artificial. O tratamento de envelhecimento artificial promove a aglomeração de magnésio, surgindo assim os precipitados. Esses precipitados promovem o endurecimento da liga, fazendo com que a mesma eleve a sua resistência mecânica, porém, acaba perdendo tenacidade e plasticidade pela sobrecarga de magnésio na microestrutura.

## CONCLUSÃO

Com a realização de ensaios de tração e dureza observou-se que os resultados destes ensaios com a relação à resistência mecânica da liga de alumínio naval e da liga de aço naval, não sofreu grandes variações, os valores foram aproximado um dos outros, o que indica a confiabilidade deste estudo.

A resistência mecânica da liga de alumínio naval mostrou-se um pouco menor do que a liga de aço naval, salientando assim que a liga de alumínio naval, possui uma boa resistência mecânica em projetos de embarcações, sendo melhor ainda devido ao seu menor peso do que a liga de aço naval. No entanto, o emprego da liga de alumínio naval, só é viável em embarcações de médio porte ou para uso em embarcações militares, onde ambas, necessitam desenvolver maiores velocidades, sendo o fator peso é fundamental para se ter essa característica.

O ensaio de impacto Charpy demonstrou que a liga de alumínio naval possui uma característica frágil, absorvendo pouca energia de impacto, desenvolvendo fratura de uma certa forma rápida e os fragmentos dos corpos de provas comprovaram essa fragilidade devido ao cisalhamento abrupto da liga. Esse fato se dá pela grande quantidade de precipitados de magnésio contidos no espaço intersticial na estrutura cristalina do material, restringindo significativamente o deslocamento da rede para absorção de impacto.

O ensaio metalográfico mostrou a grande quantidade de precipitados de magnésio presente na liga, o que corroborou com a explicação do fato que a liga de alumínio naval tem a sua resistência elevada significativamente, mas acaba perdendo na mesma proporção a sua tenacidade e plasticidade.

## REFERÊNCIAS

- Callister Jr., William D.; Rethwisch, David G.. Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- Colpaert, H. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns, Tradução de André Luís V. da Costa e Silva. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2008.
- Garcia, Amauri; Spim, Jaime Alvares; Santos, Carlos Alexandre dos. Ensaio dos Materiais. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012.
- Silva, Andre Luis da C.; Mei, Paulo. Aços e Ligas Especiais. 2. ed. São Paulo: Eletrometal S.A, 2006.
- Marinha do Brasil. (28 de abril de 2020). Fonte: Base Naval de Val de Cães - Belém - Pará: <https://www.marinha.mil.br/bnvc/node/12>
- Leite, S. L.,. “O Alumínio nas Indústrias Naval e Offshore”, Rio de Janeiro: Universidade Católica de Petrópolis, Engenharia de Construção Naval e Offshore (Monografia, Pós Graduação), 2018.
- Garcia, A.; Goulart, P.; Bertelli, F.; Spinelli, J. E.; Cheung, N. Hypoeutectic Al Fe Alloys: Formation and Characterization of Intermetallics by Dissolution of the Al Matrix Editora: CRC Press – 2018.