

## **CARACTERIZAÇÃO DO REVESTIMENTO SOLDADO PELO PROCESSO SMAW EM EIXO NAVAL DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 316 L**

CÍCERO ALBERTO PEREIRA BELÉM<sup>1\*</sup>; PAULO D'ANGELO COSTA ASSUNÇÃO<sup>2</sup>.  
ALESSANDRO DE CASTRO CORRÊA<sup>3</sup>; ELZA MONTEIRO LEAO FILHA<sup>4</sup>; CLÁUDIA CANTO DE SOUZA LEÃO<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Eng. Mecânico, Mestrando, PPGEI, Instituto de Tecnologia, UFPA, Belém-PA, [calbertopb@yahoo.com.br](mailto:calbertopb@yahoo.com.br);

<sup>2</sup>Me. em Engenharia Mecânica, Doutorando na Universidade Federal do Para, UFPA, Belém-PA, [dangeloassuncao@gmail.com](mailto:dangeloassuncao@gmail.com);

<sup>3</sup>Dr em Administração, Prof. Titular, PPGEMAT/UFPA e PPGEI/UFPA, Belém-PA  
[alessandro.correa4@gmail.com](mailto:alessandro.correa4@gmail.com);

<sup>4</sup>Dr. em Eng. Mecânica, PPGEI/UFPA, Belém-PA, [elza.filha@ifpa.edu.br](mailto:elza.filha@ifpa.edu.br);

<sup>5</sup>Eng. de Produção, Mestranda, PPGEMAT, UFPA, Belém-PA, [claudialeaoep@hotmail.com](mailto:claudialeaoep@hotmail.com)

Apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017  
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** Neste artigo, buscou-se analisar o procedimento de retificação do eixo propulsor, elemento responsável pela transmissão de força e potência para os hélices do Navio, e que frequentemente, apresentam problemas de desgaste devido ao atrito entre o eixo e seus pontos de apoio (mancais). Em virtude do intenso uso deste tipo de transporte é frequente a manutenção do maquinário dessas embarcações, havendo a necessidade de uma análise que verifique se os métodos utilizados seguem padrões normatizados e que passem por testes de qualificação. A relevância regional do estudo se justifica pelo potencial hidrográfico da Região Amazônica que possui bacias como o Solimões-Amazônas e Rios Madeira que servem como vias de acesso e transporte de pequenas, médias e grandes embarcações, seus afluentes são verdadeiras estradas fluviais, sendo um modal hidroviário de importância histórica e cultural. A retificação seguiu as etapas de Análise Dimensional, Análise de Deformação Plástica e Soldagem de Revestimento para a recuperação e preenchimento do material perdido durante o funcionamento do Sistema Propulsor. Após o procedimento de retificação, os parâmetros do processo de soldagem foram coletados e replicados em laboratório, a fim, de se obter peças que foram submetidas aos ensaios mecânicos por Líquido Penetrante (LP), Metalografia e Microdureza. Os resultados demonstraram que a metodologia desenvolvida na retificação é apropriada e eficiente para a recuperação de eixos propulsores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eixo propulsor; Soldagem; Líquido penetrante; Metalografia; Microdureza.

### **SMAW WELDED COATING'S CHARACTERIZATION OF NAVAL SHAFT MANUFACTURED IN STAINLESS STEEL TYPE AISI 316 L**

#### **ABSTRACT:**

The aim of this study was to analyze the propeller shaft's rectification procedure, which is responsible for the transmission of strength and potency to the ship's propellers, those often present wear problems due to the friction between the shaft and its bearing points. Because of the intense use of this type of transport, the maintenance of the machinery of these vessels is frequent, and there is a need for an analysis that verifies if the used methods follow standards and are submitted to qualification tests. The regional relevance of the study is justified by the hydrographic potential of the Amazon Region, which has basins such as the Solimões-Amazônas and Madeira Rivers that serve as access routes for small and medium-sized and large vessels, their tributaries are like true river routes, historical and cultural important. The rectification followed the steps of Dimensional Analysis, Plastic Deformation Analysis and Coating Welding for the recovery and filling of the material, that was lost during the

Propulsion System's operation. After the rectification procedure, the parameters of the welding process were collected and replicated in the laboratory, in order to obtain parts that were submitted to the mechanical tests by Penetrant Liquid (PL), Metallography and Microhardness. The results demonstrated that the developed rectification methodology for the recovery of propeller shafts are both appropriate and efficient.

**KEYWORDS:** Propeller shaft. Welding. Penetrant Liquid. Metallography. Microhardness.

## INTRODUÇÃO

Com a intensificação da navegação de longo curso e cabotagem no Brasil, é necessário um grande esforço da Marinha do Brasil para manter a segurança na navegação, e um desses são a pesquisa e manutenção das cartas náuticas que é utilizado como guia tanto pela Marinha de guerra, Marinha mercante e praticarem.

De uma forma geral, as máquinas novas, quando bem projetadas, satisfazem os requisitos de operação, entretanto, com desgastes, acomodação de fundações, má utilização, falta ou inadequação da manutenção, as máquinas têm suas condições de funcionamento alteradas. Com isso, os eixos desgastam e se tornam desalinhados, peças se danificam, rotores ficam desbalanceados, etc. Todos esses fatores são refletidos na diminuição de rendimento e, conseqüentemente, no aumento do nível de vibração e ruído (Da Silva, 2006).

Este trabalho tem como foco o campo processual onde a proposta é apresentar um estudo voltado para o material do eixo naval, Aço Inoxidável 316 L, e sua relação com a retificação feita pelo processo SMAW, visto que as empresas na Região Norte, realizam essa atividade de forma empírica.

Os tratamentos superficiais, como a nitretação, podem ser um opção viável para esses aços. Entretanto o processo de nitretação não pode ser realizado em temperaturas superiores a 550°C, devido à intensa precipitação de nitretos complexos de cromo na zona de difusão (Venkatesan et al., 1997, Larisch et al., 1999, Czerwiec et al., 2000, Liang et al., 2000).

O processo de soldagem utilizado para fazer o preenchimento do eixo é o SMAW conhecida como processo eletrodo revestido, que é considerado um dos processos mais versátil e mais barato em relação a equipamentos. A soldagem com eletrodos revestidos obtém a união das peças pelo seu aquecimento localizado com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico consumível, recoberto com um fluxo (eletrodo revestido), e as peças.

O revestimento é consumido junto com o eletrodo pelo calor do arco desempenhando uma série de funções fundamentais ao processo de soldagem como, por exemplo, a estabilização do arco, a proteção do metal fundido pela formação de escória e de gases e a adição de elementos de liga e de desoxidantes à poça de fusão (Modenesi, 2012).

Segundo Brandi (1988), o eletrodo revestido consiste de uma vareta metálica, chamada alma, trefilada ou fundida, que conduz a corrente elétrica e fornece o metal de adição para o preenchimento da junta.

O ensaio por líquidos penetrantes está voltado para a detecção de descontinuidades superficiais e que possuam obrigatoriamente aberturas na superfície, tais como trincas, poros, dobras e etc., podendo ser aplicado em todos os materiais sólidos e que não sejam porosos ou com superfície muito grosseira, assim como, em materiais não magnéticos como alumínio, magnésio, aços inoxidáveis austeníticos, ligas de titânio e zircônio, além dos materiais magnéticos, sendo também possível realizá-lo em cerâmica vitrificada, vidro e plásticos. Estes parâmetros são definidos pelas Normas ABNT NM 327 (Brasil, 2011).

As durezas por choque e por penetração são as mais utilizadas na engenharia, sendo que esta é a mais largamente utilizada e citada nas especificações técnicas. Deste modo, o ensaio por choque ou por rebote conforme (Garcia, et al, 2002), o ensaio é classificado dinâmico devido à impressão na superfície ser efetuada mediante a queda livre de um êmbolo com uma ponta padronizada de diamante. A dureza por penetração é o tipo de ensaio mais comum na caracterização das propriedades mecânicas. Seus tipos mais comuns são dureza Rockwell e Brinell, e microdureza Vickers e Knoop.

Tratando-se de microdureza, este tipo de ensaio favorece situações onde as condições práticas necessitam determinar a dureza de corpos de prova de pequenas áreas. Exemplos dessas ocorrências são as medidas do gradiente de dureza em peças cementadas e também na determinação da dureza individual de microconstituintes de uma estrutura metalográfica, conforme as afirmações de (Garcia, et al, 2002).

Segundo Colpaert (1974), o controle de qualidade de um produto metalúrgico pode ser estrutural e dimensional. O segundo preocupa-se em controlar as dimensões físicas de um determinado produto, denominado Metrologia. O primeiro preocupa-se com o material que forma a peça, sua composição, propriedade, estrutura, aplicação, etc. Pode ser: físico, químico, metalográfico e especial. Neste Material enunciaremos a prática Metalografia no que diz respeito à preparação de amostras.

Ensaio metalográfico procura relacionar a estrutura íntima do material com as suas propriedades físicas, com o processo de fabricação, com o desempenho de suas funções e outros. Pode ser: Macrográfico ou Micrográfico.

Ensaio Macrográfico ou Macrografia examina-se a olho nu ou com pouca ampliação (até 50X) o aspecto de uma superfície após devidamente polida e atacada por um reagente adequado. Por seu intermédio tem-se uma idéia do conjunto, referente à homogeneidade do material, a distribuição e natureza das falhas, impureza e ao processo de fabricação, qualidade de solda profundidade de tratamentos térmicos entre outras características.

Ensaio Micrográfico ou Micrografia consiste no estudo dos produtos metalúrgicos, com o auxílio do microscópio, onde se pode observar as fases presentes e identificar a granulação do material (Tamanho de grão), o teor aproximado de carbono no aço, a natureza, a forma, a quantidade, e a distribuição dos diversos constituintes ou de certas inclusões (Colpaert, 1974).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Após a desmontagem do conjunto propulsor o eixo é colocado em um torno mecânico para análise de “empeno”, utilizando um relógio comparador do tipo ETALON com capacidade de 1 (UM) mm por volta, anti-choque marcação do mostrador 0/25/50 e força de medição de aproximadamente 1 NN, onde é feita medições em toda estrutura do eixo.

Sendo evidenciado que esse eixo tenha desconformidade nas medições, é feito o desempenho utilizando oxiacetileno.

A reposição do material perdido, pelo desgaste sofrido pelo eixo, foi realizada por meio de soldagem de revestimento.

Definidos os parâmetros de soldagem foi possível reproduzir em laboratório o procedimento, utilizando-se uma chapa de mesmo material de fabricação do eixo propulsor. A reprodução foi necessária devido à impossibilidade de retirada de amostras do próprio eixo para a realização dos ensaios, porém todos os dados e parâmetros foram replicados, garantindo, assim, confiabilidade aos resultados esperados.

Para a soldagem da chapa foi utilizada a máquina de solda para eletrodos revestidos da marca IMC Soldagem, modelo DIGIplus A7 e o material de adição foi o eletrodo E312-17 da Castolin Eutectic.

O Ensaio por Líquido Penetrante (LP) foi realizado no laboratório de materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará. O ensaio de LP seguiu as etapas conforme as recomendações da ABNT NM 327.

Após a limpeza da área soldada, foi realizada a aplicação do LP, removido o excesso e aplicação do talco revelador.

O método utilizado para medir as durezas das regiões que compõe a junta soldada Metal de Base, Zona Termicamente Afetada e Zona Fundida (MB, ZTA, ZF) seguiram os termos da Norma ASTM E384-16.

O procedimento iniciou-se com a limpeza e polimento/lixamento da peça, utilizando-se a ferramenta de polimento Politriz/lixadeira metalográfica PLO2 ET, com uso de lixas d'água de granulometrias de 80 a 120 grãos. Em seguida o corpo de prova foi “atacado” por um agente químico, Marble, para revelar as diferentes fases da peça que seria submetida ao ensaio. A dureza do material

foi medida a partir de linhas que atravessassem o cordão de solda de uma extremidade a outra do metal de base, os pontos tem a distancia de 1,0mm de um para o outro.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A remoção do eixo do sistema propulsor permitiu uma visão geral do estado que o mesmo se encontrava e proporcionou a realização da retificação do mesmo.

Análise dimensional apontou níveis de empeno provocados pelo desalinhamento do sistema, a área mais afetada apresentou um sulco com profundidade máxima de 08,02 mm e comprimento de 420 mm.

Análise de deformação plástica constatou deformações anormais e amorfas na região de contato com o mancal de sustentação mais a ré, entre a gaxeta de vedação e o eixo. A deformação ocorreu devida o mancal de sustentação mais a vante te se despreendido do seu alojamento, permitindo que o eixo fica-se apoiado apenas pelo mancal mais a ré e pelas gaxetas de vedação, associadas ao malhete de conexão.

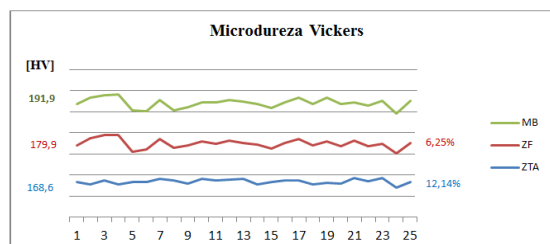
A região deformada do eixo necessitou ser usinada em dois estágios, inicial e pós soldagem, pois o eixo apresentava na região deformada uma superfície totalmente irregular e não uniforme. Após o procedimento a superfície do eixo recuperou as dimensões especificadas pelo fabricante.

A soldagem para o preenchimento do material perdido foi realizada de acordo com os principais parâmetros recomendados pelo fabricante do metal de adição. Fazendo a comparação com os dados coletados na soldagem de preenchimento do eixo, verifica-se que o procedimento está dentro do recomendando e, assim, foi possível reproduzi-lo em laboratório. Os resultados obtidos nos ensaios mecânicos de LP e Microdureza, realizados no corpo de prova, mostraram que o processo foi realizado de forma satisfatória e de boa soldabilidade.

O ensaio por Líquido Penetrante apontou que não ocorreram descontinuidades na superfície do material, assim como não apresentou trincas, fissuras ou dobras, qualificando a soldagem quanto aos padrões de aceitação técnicas do Departamento de Manutenção de algumas empresas da Região Norte.

Após a realização de 25 endentações em cada região do MB, ZF e ZTA. O ensaio de Microdureza apresentou resultados esperados, pois houve um decréscimo de 6,25% de dureza na zona fundida quando comparado ao metal de base. Essa redução garante um bom desempenho para operação, uma vez que, se esperava depositar um revestimento com propriedade mecânica próxima ao do metal de base, não podendo ser superior, pois causaria o desgaste precoce da bucha polimérica. Na região da Zona Termicamente Afetada, houve uma redução da dureza de 12,14% em relação ao metal de base, isto se justifica pelo fato desta região, durante a soldagem, atingir alta temperatura, o que causa aumento do tamanho dos grãos e após a soldagem há um resfriamento brusco do material, o que diminui a resistência desta região, causando um enfraquecimento da mesma e redução da dureza, todavia esse resultado da ZTA não inviabiliza o projeto, pois se trata de uma ZTA muito pequena, além do material soldado não sofrer solicitação extrema de tração. A Figura 2 ilustra os resultados do ensaio.

Figura 2: Gráfico de dureza apresentado na peça nas regiões de MB, ZTA e ZF.



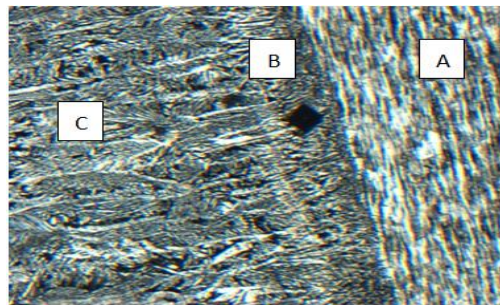
Os valores de dureza medidos estão em unidade Vickers [HV] e dentro das normas de aceitação para este tipo de material, Os valores à esquerda do gráfico são as médias, enquanto que, os



valores à direita ilustra redução, em porcentagem, da dureza na ZF e ZTA, em relação ao Metal de Base.

A Figura 3 ilustra micrograficamente as regiões de endentações, sendo a região “A” o metal de base, a região “B” a ZTA e a região “C” a Zona Fundida.

Figura 16: Zonas de realização do ensaio de microdureza.



## CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de se qualificar o procedimento de retificação de um eixo propulsor de material aço inoxidável AISI 316 L pelo processo de soldagem SMAW; o acompanhamento de todas as etapas do processo foi de suma importância para a compreensão das atividades realizadas, os resultados obtidos demonstraram que a metodologia desenvolvida na retificação é apropriada e eficiente para a recuperação de eixos propulsores.

O ensaio por líquido penetrante se mostrou muito eficiente para avaliação do revestimento, podendo ser implantado em uso contínuo para esse tipo de manutenção.

Os valores de Microdureza ajudaram a estudar melhor as propriedades mecânicas do revestimento e foi de vital importância para a qualificação do processo de soldagem realizado para a retificação do eixo propulsor.

## REFERÊNCIAS

- ABNT NM 327 Esta Norma define os termos utilizados no método de ensaio não destrutivo por líquidos penetrantes. BRA 2011.
- ASTM E384-16 Esta Norma define os termos utilizados no método de ensaio semi destrutivo por microdureza.
- BRANDI, S. D. *Análise da transferência metálica na soldagem arco Elétrico com eletrodo revestido*. Diss. Tese de mestrado, USP, 1988.
- COLPAERT; Hubertus. *Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns*, 3ª Edição, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo – 1974.
- CZERWIEC, T., RENEVIER, N., MICHEL, H. *Low-temperature plasma-assisted nitriding*. Surface and Coatings Technology, v. 131, p. 267-277, 2000.
- DA SILVA, Décio Alves. *Diagnóstico de Equipamentos de Propulsão Naval Através de Análise de Vibração*. 2006. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.
- GARCIA, A., SPIM, J. A., SANTOS, C. A. *Ensaio dos Materiais. Livros Técnicos e Científicos Editora. Unicamp: Campinas, 2002.*
- LARISCH, B., BRUSKY, U., SPIES, H-J. *Plasma nitriding of stainless steels at low temperatures*. Surface and Coatings Technology, v. 116-119, p. 205-211, 1999.
- LIANG, W., BIN, X., ZHIWEI, Y., YAQIN, S. *The wear and corrosion properties of stainless steel nitrided by low-pressure plasma-arc source ion nitriding at low temperatures*. Surface and Coatings Technology, v. 130, p. 304-308, 2000.
- MODENESI, P. J. *Técnica operatória da soldagem saw*. "Departamento de engenharia metalúrgica e de materiais da universidade federal de minas gerais (ufmg) (2012).
- VENKATESAN, K., SUBRAMANIAN, C., GREEN, L.K., STRAFFORD, K.N. *Influence of chromium content on corrosion of plasma-nitrided steels*. Corrosion, v. 53, p. 507-515. 1997.