

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA JUNTA DE SOLDA DE UM CASCO COM METAL BASE ASTM A 131 E DE ADIÇÃO AWS 5.20 - E 71T1

Roberto Horlo Evaristo Oliveira ⁽¹⁾ (robertohorlo@outlook.com), Rafael da Silva Aragão ⁽¹⁾ (rafaelara-gao360@gmail.com), Marcus Renato Pinheiro Mattos ⁽¹⁾ (marcusrenato.eng@outlook.com)

⁽¹⁾ Centro Universitário do Norte (UNINORTE)

RESUMO: *Esse estudo aborda o comportamento de juntas soldadas dos cascos de embarcações durante as navegações, onde as mesmas são submetidas a cargas que podem ocasionar falhas estruturais e/ou perda da embarcação. Por esse motivo, este projeto se propôs a realizar uma análise através da técnica de elementos finitos sob a soldadura de aço ASTM A 131 (metal de base-MB) e AWS 5.20 - E 71T1 (metal de adição-MA). Diante disso, foi produzido um corpo de prova real oriundo da soldadura descrita para a realização de ensaios de microdureza e metalográfico os quais auxiliaram a investigar as propriedades da junta soldada. Além disso, a partir do auxílio do módulo CAE no software Inventor 2024, foram realizadas simulações com base nos cálculos os quais seguem as normas de padronização da Det Norske Veritas (DNV), que ajudaram a compreender o comportamento do corpo de prova sob a atuação de determinadas cargas. Dessarte, com a exceção de leves variações na zona fundida (ZF), a junta soldada apresentou características similares ao metal base com alta resistência a fadiga, alto módulo de elasticidade e ótima tenacidade que são atributos cruciais na construção de embarcações seguras.*

PALAVRAS-CHAVE: *Junta Soldada, Microdureza, Metalografia, Análise de Cargas, Inventor.*

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF THE WELD JOINT OF A SHELL WITH ASTM A 131 BASE METAL AND AWS 5.20 - E 71T1 ADDITION

ABSTRACT: *This study addresses the behavior of welded joints in vessel hulls during navigation, where they are subjected to loads that can cause structural failures and/or loss of the vessel. For this reason, this project proposed to carry out an analysis using the finite element technique when welding ASTM A 131 steel (base metal-MB) and AWS 5.20 - E 71T1 (filler metal-MA). Therefore, a real test piece was produced from the welding described to carry out microhardness and metallographic tests, which helped to investigate the properties of the welded joint. Furthermore, with the help of the CAE module in the Inventor 2024 software, simulations were carried out based on calculations that follow the standardization rules of Det Norske Veritas (DNV), which helped to understand the behavior of the test specimen under the action of certain loads. Therefore, with the exception of slight variations in the fused zone (ZF), the welded joint presented characteristics similar to the base metal with high fatigue resistance, high modulus of elasticity and excellent toughness, which are crucial attributes in the construction of safe vessels.*

KEYWORDS: *Welded Joint, Microhardness, Metallography, Load Analysis, Inventor.*

1. INTRODUÇÃO

Os rios amazonenses são grandes pilares na economia do estado do Amazonas, de modo que a região detém cinco dos maiores estaleiros do norte do Brasil, demonstrando grande força na construção naval. Nessa conformidade, tais empresas estão em busca da melhoria de seus produtos devido à dinâmica do mercado na região. A melhoria contínua é um processo focado na inovação incremental e ininterrupta (Caffyn e Bessant, 1996). Mediante isso, é de suma importância que se disponham diversas pesquisas e estudos na área naval para o desenvolvimento de embarcações estruturas confiáveis a fim de atender as necessidades da região.

Nesse contexto, os softwares de engenharia assistida por computador (CAE) são ferramentas essenciais para o projeto de simulação de cargas externas. À vista disso, com o auxílio da utilização dessa tecnologia, os engenheiros podem originar um modelo a ser analisado e conceber cenários os quais auxiliam a entender as cargas atuantes nos mesmos, de modo a obter dados que sirvam de parâmetro para identificar riscos ou melhorias de projeto, e podendo aumentar a durabilidade do sistema. Além disso, existe um ganho com relação ao tempo comparado aos métodos tradicionais para a análise de cargas.

Em suma, esse estudo se propôs a realizar ensaios mecânicos no corpo de prova de determinada junta soldada — a fim de compreender as propriedades do material no cordão de solda — de modo a complementar as informações simuladas obtidas pelo software de engenharia assistida por computador (CAE) em que foi possível a realização de um levantamento comparativo acerca dos resultados obtidos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- Realizar uma análise acerca do comportamento da junta soldada, do casco de uma embarcação, quando submetida a cargas em pontos críticos de tensão.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Obter uma junta soldada de aços utilizados na industrial naval.
- Realizar o ensaio metalográficos da soldadura.
- Realizar ensaio de dureza por toda a junta.
- Realizar simulação CAE.

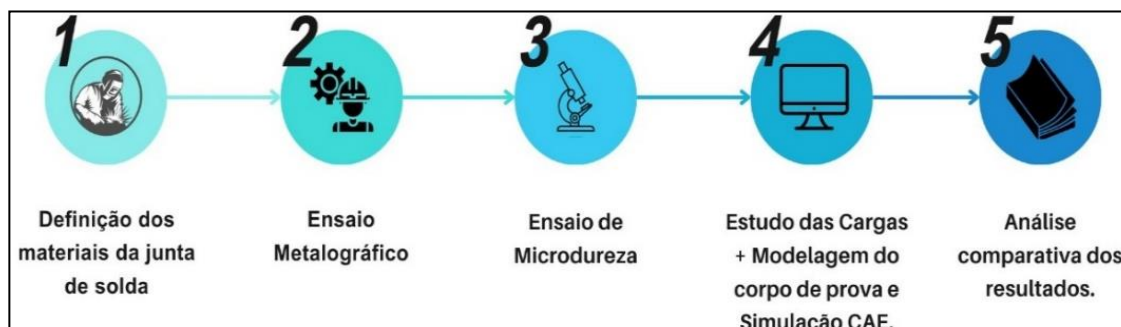
1.2 Justificativas

Esse trabalho é relevante para a investigação das propriedades dos materiais metálicos os quais são utilizados em cascos de embarcações sujeitos a cargas externas quando em navegação, dessa forma prevendo possíveis pontos críticos de tensão que podem acarretar uma falha na estrutura da embarcação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida a partir da problemática explorada, onde a proposta implica em uma análise comparativa da junta soldada usada no casco de embarcações. Dessa forma, as etapas do estudo seguiram o fluxograma descrito na Figura 1.

FIGURA 1. Fluxograma do projeto.



Fonte: Os Autores (2023).

2.1 Definição dos materiais da chapa e junta de solda

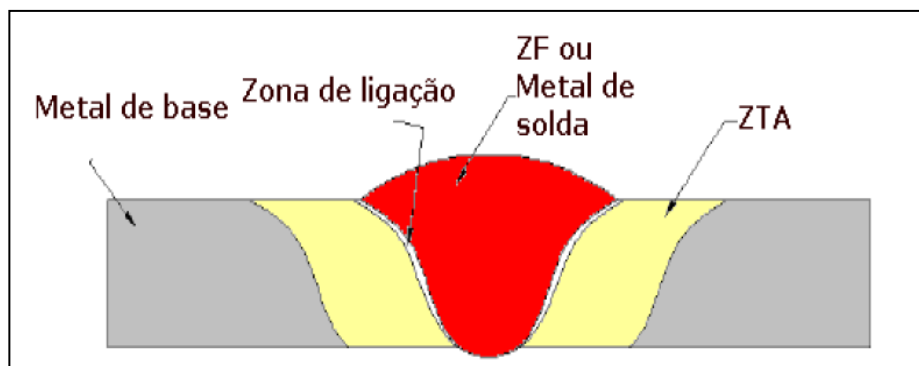
Inicialmente, foi realizado um estudo acerca dos materiais utilizados na construção de embarcações de grande porte, sendo feita uma abordagem em campo no Estaleiro Erin Rio Negro localizado em Manaus. Assim sendo, é conhecido que os aços são as principais matérias primas, contudo existem múltiplas categorias levando em consideração sua composição química, propriedades mecânicas e processo de fabricação. Posto isto, para a definição do metal base e de adição foram coletadas informações de aplicação, custo e propriedades intrínsecas para a produção do corpo de prova real do qual será submetido a um ensaio de microdureza bem como de metalografia.

2.2 Ensaio metalográfico

Projetando um resultado mais embasado, foi realizado um ensaio metalográfico com o propósito de averiguar a microestrutura bem como da morfologia dos metais, objetivando informações a respeito da composição da liga ferrosa tal qual referências do desempenho do material na sua aplicação. A microscopia, etapa em que se visualizara a estrutura do corpo de prova resultante, foi realizada com um microscópio Olympus CX41.

Diante disso, foram atentadas as regiões da zona fundida (ZF) — região que ocorre a coalescência da junta e o metal de adição —, da zona termicamente afetada (ZTA), área adjacente à zona de fusão que experimenta mudanças na microestrutura devido ao aquecimento durante o processo de soldagem, além do metal de base (MB) da junta soldada, Figura 2.

FIGURA 2. Regiões de Uma Junta Soldada.

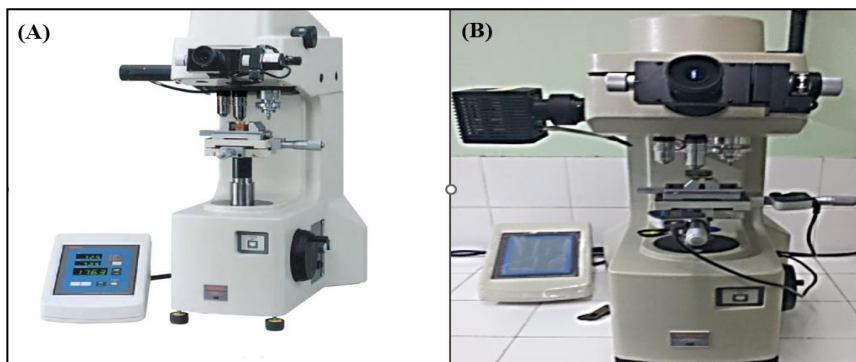


Fonte: Adaptado Paulo (2008).

2.3 Ensaio de microdureza Vickers

O ensaio de microdureza é importante para investigar a propriedade mecânica dureza nas regiões que compõem o corpo de prova, especialmente em aplicações onde a resistência e a durabilidade são críticas. Por isso, os resultados obtidos oferecem uma visão detalhada da dureza localizada, mas também servirão como base para correlações com outras características mecânicas do corpo de prova real. Assim, a realização do ensaio de microdureza Vickers foi realizada no durômetro Mitutoyo 810-125 HM-102, Figura 3.

FIGURA 3. Mitutoyo 810-125 HM-102. (A) Fabricante. (B) Localizada no laboratório.



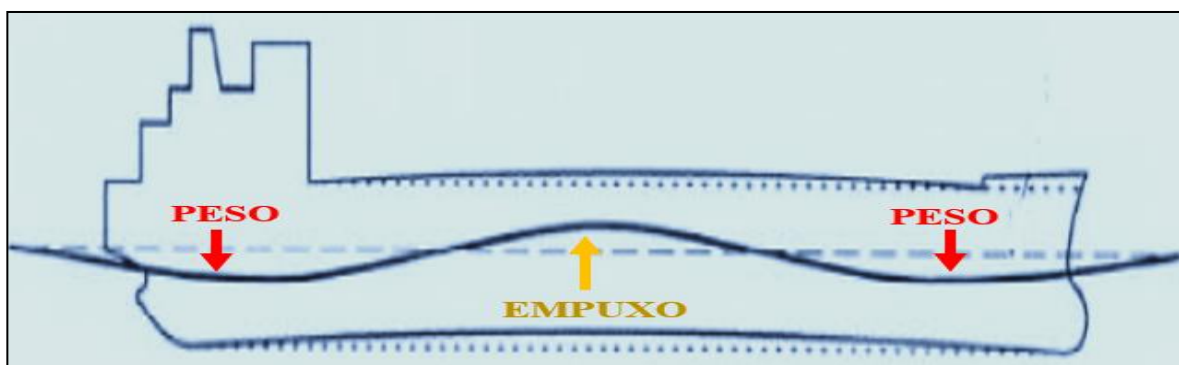
Fonte: Os Autores (2023).

2.4 Estudo das cargas; Modelagem e simulação CAE

Nessa etapa, foi realizado um levantamento acerca das cargas atuantes nos pontos críticos de tensões em embarcações, bem como a pressão do mar juntamente aos impactos causados no casco e a dureza do material. É importante salientar que a diferença nas forças ao longo do comprimento de uma embarcação cria um momento fletor que leva à flexão do casco contribuindo para a condição de alquebramento (Rawson e Tupper, 2001) conforme descrito na Figura 4, situação ocorre quando a força peso nas extremidades ficam maior que a força de empuxo, em contraponto ao aumento do empuxo da água em relação a força peso no meio-navio tendendo a embarcação a se curvar.

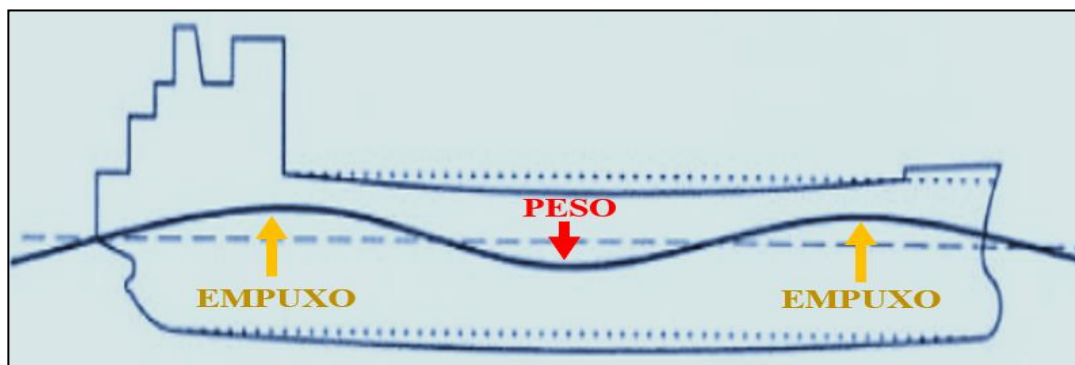
Quando ocorre o oposto — cenário em que nas extremidades a força peso fica menor que a força de empuxo, e por sua vez no meio do navio a força de empuxo fica menor e a força peso — é denominado condição de tosamento, Figura 5.

FIGURA 4. Condição de Alquebramento.



Fonte: Augusto (2004).

FIGURA 5. Condição de Tosamento.



Fonte: Augusto (2004).

Levando em consideração essas condições, é importante ressaltar o comportamento da pressão do mar em relação a toda estrutura da embarcação. Nessa conformidade, a análise levará em conta as duas principais cargas atuantes em cascos de embarcações segundo a norma DNV (Det Norske Veritas) – sociedade internacional de registros e classificação credenciada no meio náutico e naval – tais como; a pressão de impacto hidrodinâmico (p_{si}) bem como a pressão hidrostática (p_{ab}). Assim, o primeiro cálculo a se realizar é da aceleração vertical inicial (a_{cgi}) por intermédio da Equação (1), empregando uma velocidade de navegação de 25 nós, além de adotar demais parâmetros específicos de acordo com a norma (Det Norske Veritas - DNV, 2015).

$$a_{cgi} = \frac{8,38g_0k_T}{\left(\frac{L_{pp}}{\Delta^{1/3}}\right)^{0,35}} \left(\frac{H_{si}}{B_{WL2}} + 0,084 \right) (50 - \beta_{cg}) \ln(F_{Nv}) V_i \sqrt{L_{pp}} \frac{B_{WL2}^2}{1000\Delta} (m/s^2) \quad (1)$$

Onde g_0 é a aceleração da gravidade (m/s^2); L_{pp} vem a ser a distância entre perpendiculares; Δ é o peso em toneladas; H_{si} altura da onda (metros); B_{WL2} é a boca da embarcação e sua unidade é metros; β_{cg} é o ângulo “v” da seção transversal; V_i é a velocidade inicial dado em Knots; e onde k_T e F_{Nv} deverão ser calculados da seguinte maneira:

$$K_T = 1,5 - 0,046 \frac{V_i}{\sqrt{L_{pp}}} \quad (2)$$

$$F_{Nv} = 0,5144 \frac{V_i}{\sqrt{g_0 \Delta^{0,333}}} \quad (3)$$

A partir disso, é possível calcular a pressão de impacto hidrodinâmico (p_{sl}) onde é obtida pela Equação (2), também seguindo parâmetros da norma DNV.

$$p_{sl} = \frac{a_{cg} \Delta}{0,14 A_{ref}} K_{red} K_1 K_\beta \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (4)$$

Onde a_{cg} é a aceleração vertical; A_{ref} é a área de referência das cargas de impacto; K_{red} é fator de redução da área de carga; K_1 é o fator de distribuição longitudinal; e K_β é o fator de correção para o ângulo "v" da posição analisada.

Por conseguinte, mantendo-se os valores de referência, calcula-se a pressão hidrostática (p_{ab}) abaixo da linha d'água, que de acordo a DNV tal valor é encontrado resolvendo-se a seguinte Equação (3).

$$p_{ab} = a \left(10h_0 + \left(k_s - 1,5 \frac{h_0}{T} \right) C_w \right) \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (5)$$

Onde C_w é calculado como:

$$C_w = 0,08 L_{pp} f_r \quad (6)$$

Onde a fator de intensidade de carga; h_0 é distância vertical, em metros, da linha d'água no calado até o ponto de interesse; K_s é fator de distribuição de carga do oceano; T é tamanho do calado da embarcação; e f_r é a classe da embarcação.

Por fim, definiu-se o software Autodesk Inventor 2024 para a realização da modelagem e ensaios, recorrendo a técnica dos métodos de elementos finitos na junta soldada. Contudo, o software não possui os metais selecionados em sua biblioteca de materiais, e mediante a isso, foi realizada a exportação das características do metal base e de adição para o software, Figura 6, a partir da consulta dos dados fornecidos pela ASTM (American Society for Testing and Materials) e AWS (American Welding Society).

FIGURA 6. Propriedades exportadas.

Editor de material: AWS 5.20 - E 71T1 Flux Cored Wire

Identidade

Aparência

Propriedades físicas

Informações

Comportamento

Térmico básico

Comportamento

Isotrópico

Térmico básico

Condutividade térmica

5,190E+02 w/ (m · k)

Calor específico

0,472 J/ (G · ° C)

Coefficiente de expansão térmica

13,900 µm/ (m · ° C)

Mecânico

Módulo de Young

200,000 GPA

Coefficiente de Poisson

0,29

Módulo de cisalhamento

80000,000 MPa

Densidade

7,870 g/cm³

Coefficiente de amortecimento

0,00

Resistência

Resistência ao escoamento

545,000 MPa

Resistência à tração

586,000 MPa

Editor de material: Aço ASTM A 131

Identidade

Aparência

Propriedades físicas

Informações

Comportamento

Térmico básico

Comportamento

Isotrópico

Térmico básico

Condutividade térmica

5,200E+01 w/ (m · k)

Calor específico

0,470 J/ (G · ° C)

Coefficiente de expansão térmica

12,000 µm/ (m · ° C)

Mecânico

Módulo de Young

210,000 GPA

Coefficiente de Poisson

0,29

Módulo de cisalhamento

81999,999 MPa

Densidade

7,800 g/cm³

Coefficiente de amortecimento

0,00

Resistência

Resistência ao escoamento

355,000 MPa

Resistência à tração

550,000 MPa

OK

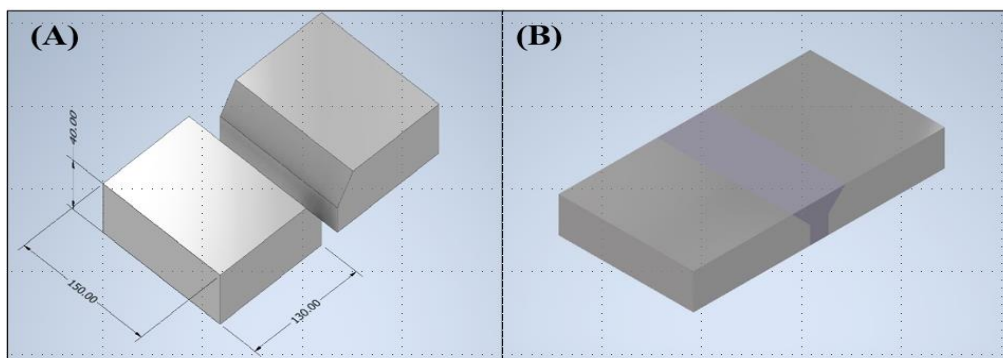
Cancelar

Aplicar

Fonte: Os Autores (2023).

Após esse processo, foi efetuada a modelagem do corpo de prova, respeitando as características do material, com 130mm de comprimento, 150mm de largura e 40mm de espessura, Figura 7.

FIGURA 7. (A) Modelagem sem o cordão de solda. (B) Modelagem completa.



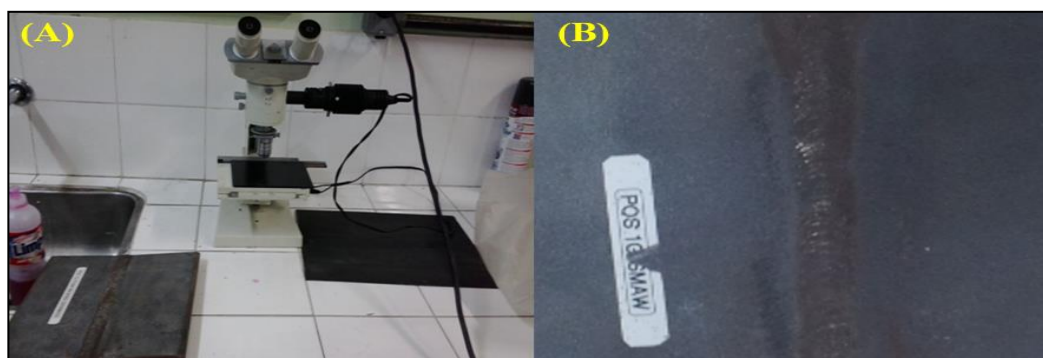
Fonte: Os Autores (2023).

3. RESULTADOS

3.1 Definição dos materiais da chapa e junta de solda

A partir das diligências realizadas nos estaleiros de Manaus, decidiu-se pela utilização da junta soldada constituída do metal base (MB); o aço ASTM A 131 que é bastante utilizado na construção de navios (Rexton Steel & Alloys, 2020). Por conseguinte, a mesma também é constituída por um cordão de solda realizada por um eletrodo AWS 5.20 - E 71T1 Flux Cored Wire como metal de adição, visto que é empregado para soldagem de estruturas de aço carbono e estrutural de baixa liga (Xiang Welding Industrial, 2020). Ademais, o mesmo também é amplamente utilizado na construção naval, Figura 8.

FIGURA 8. (A) Modelagem sem o cordão de solda. (B) Modelagem completa.

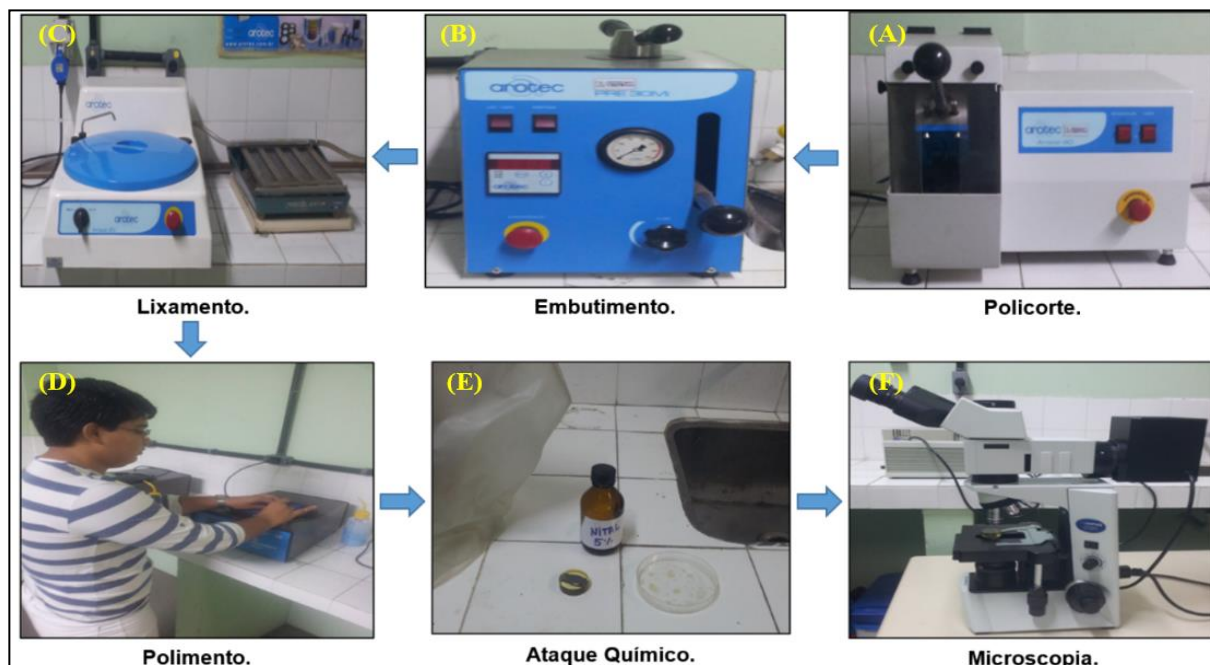


Fonte: Os Autores (2023).

3.2 Ensaio Metalográfico

Em seguimento, deu-se o início à realização de etapas para o tratamento do corpo de prova real para então poder executar o ensaio metalográfico, conforme ilustra o fluxograma da Figura 9.

FIGURA 9. Fluxograma das etapas da metalografia.



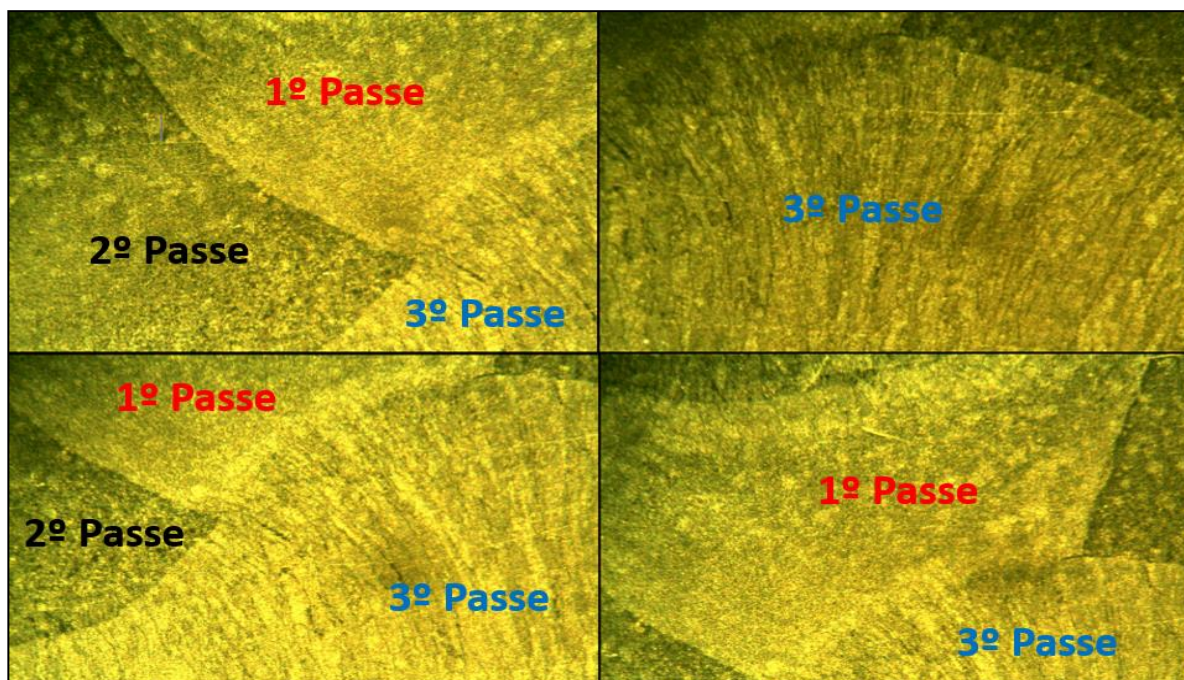
Fonte: Os Autores (2023).

Assim sendo, o processo se iniciou com o policorte em que a soldadura foi cortada para a obtenção do corpo de prova, Figura 9 (A). Após isso, foi realizado o embutimento onde a resina bem como o catalisador são utilizados para proteção da amostra nas fases de lixamento e polimento Figura 9 (B). Posteriormente, a etapa de lixamento – utilizada para a eliminação de riscos na superfície da amostra – sucedeu com o emprego de lixas d’água em discos rotativos com granulometria de 100, 220 e 320 respectivamente, Figura 9 (C). Em seguida, para execução do polimento foi utilizada a politriz metalográfica bem como alumina líquida (Al_2O_3) para a remoção de arranhões, marcas e demais imperfeições da superfície da amostra, resultando em uma superfície lisa e espelhada Figura 9 (D).

Em ato contínuo, foi desempenhado o ataque químico com o reagente Nital 5% com o intuito de revelar a microestrutura de ligas metálicas em que o ácido nítrico (HNO_3) ataca preferencialmente as áreas com diferentes composições químicas ou microestruturas, revelando grãos, fases, inclusões e segregações amostra Figura 9 (D).

Por fim, foi feita a microscopia Figura 9 (E), permitindo a análise da microestrutura do corpo de prova. Assim sendo, é possível aferir a presença predominante da fase ferrita do ferro (α), descrita em coloração amarela, e perlitas – lamelas alternadas de ferritas (α) e cementita (Fe_3C) – nos 3 passes realizados no cordão de solda, configurando a partir dessa análise um aço hipoeutetóide, conforme Figura 10.

FIGURA 10. Microscopia do corpo de prova real.

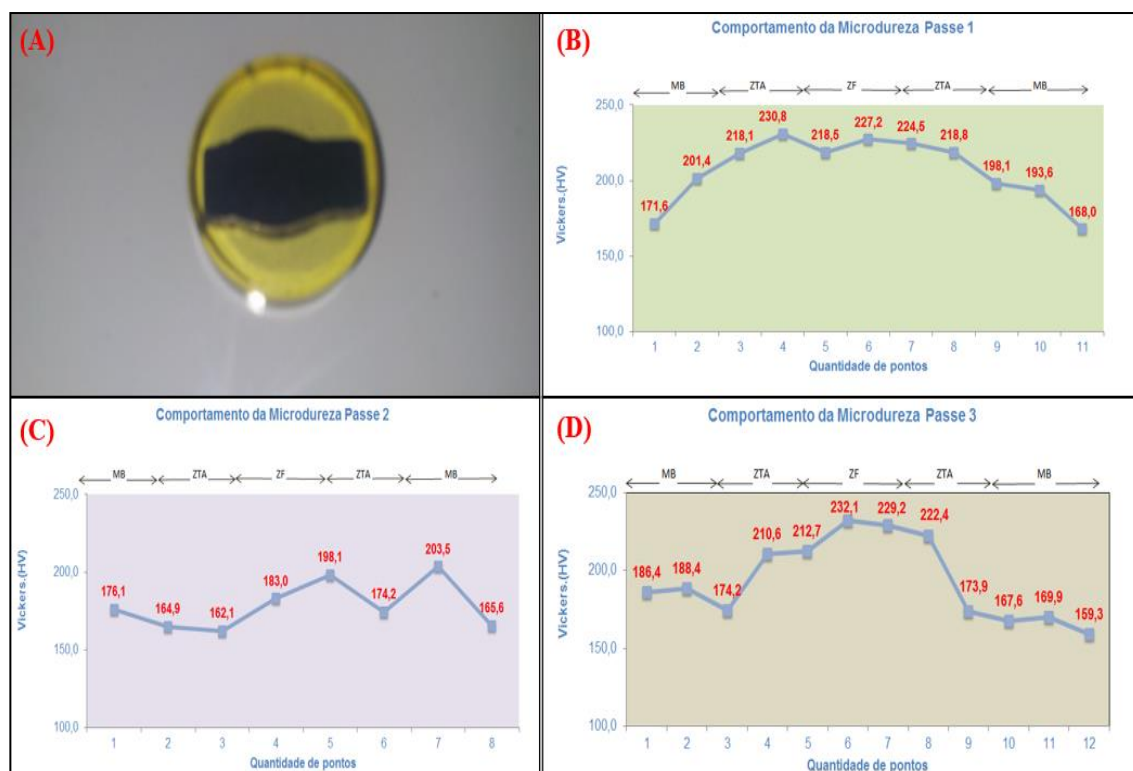


Fonte: Os Autores (2023).

3.3 Ensaio de microdureza Vickers

Nessa fase, a carga aplicada em cada ponto dos 3 passes superficiais da amostra foi de 1 kgf, com distância de 3 mm entre os mesmos. Desse modo, foram obtidos os resultados descritos na Figura 11.

FIGURA 11. (A) Amostra embutida. (B) Microdureza passe 1. (C) Microdureza passe 2. (D) Microdureza passe 3.



Fonte: Os Autores (2023).

À vista disso, o valor máximo de dureza avaliado foi de 232,1 HV na Zona Fundida (ZF) e o de menor dureza foi 159,3 HV situado no Metal de Base (MB) ambos presentes no passe 3, Figura 11(D). Além disso, é possível constatar uma variação de dureza principalmente nas ZTA's e na ZF nos respectivos efeitos dos passes que foram executados no corpo de prova, contudo é uma variação com padrões aceitáveis que não apresentaram características prejudiciais a integridade estrutural da soldadura com relação às forças de impacto que a mesma será submetida. Isso se atribui a diversos fatores relacionados ao processo de soldagem e às mudanças microestruturais as quais ocorrem durante a solidificação e o resfriamento do material.

Além do mais, determinadas razões habituais para essa variação incluem o gradiente de temperatura que pode resultar em alterações na taxa de resfriamento, afetando a microestrutura, dureza e a Tensão Residual, onde a soldagem pode introduzir tensões residuais no material, especialmente nas zonas afetadas pelo calor em que essas tensões podem influenciar na dureza, tornando algumas regiões mais suscetíveis à deformação plástica do que outras. Desse modo, com relação a esse ensaio, se assemelha aos resultados obtidos por Assunção em que ocorre um aumento da dureza a partir das ZTA's e atingindo a máxima dureza na ZF (Assunção *et al.*, 2019, p. 6).

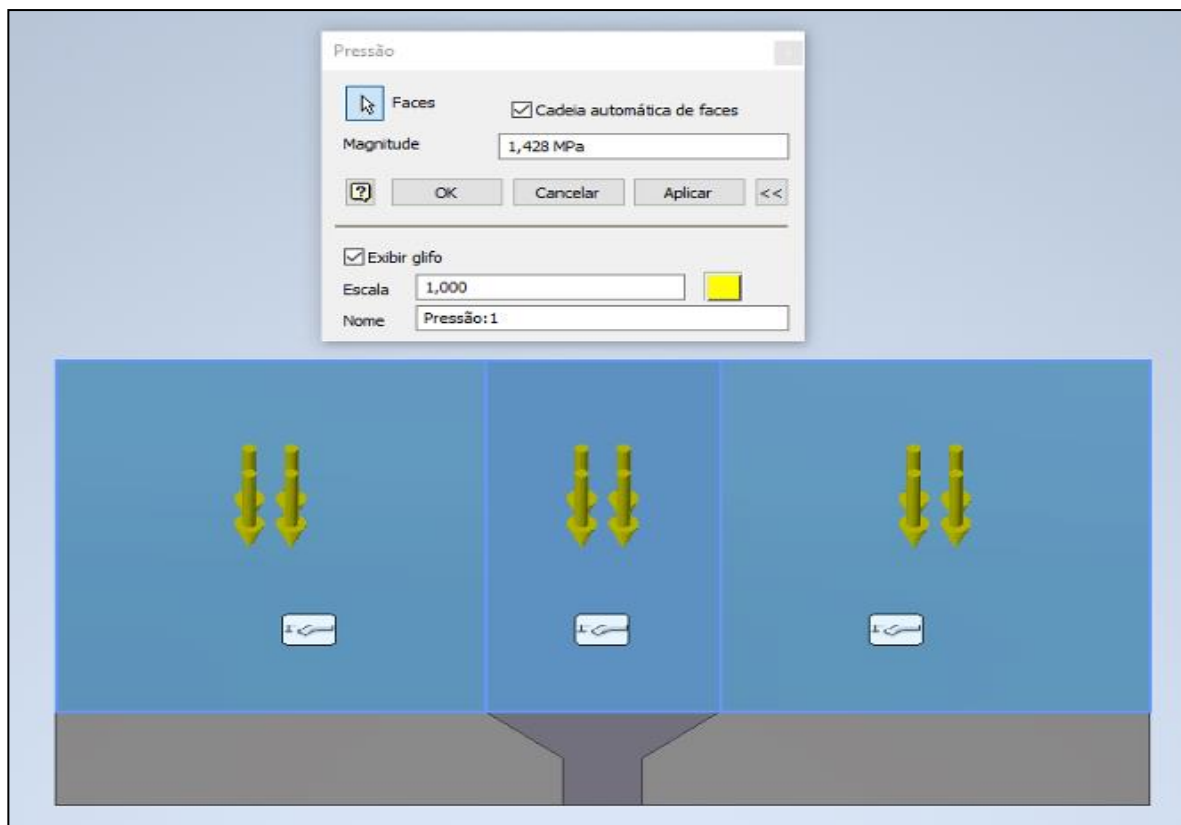
3.4 Estudo das cargas; Modelagem e simulação CAE

Após a utilização das Equações (1), (4) e (5), foram encontrados os valores de a_{cgi} , p_{sl} e p_{ab} os quais resultaram em $158,993 \text{ m/s}^2$, $1259,3395 \text{ kN/m}^2$ e $168,6484 \text{ kN/m}^2$ respectivamente. Sendo assim, para a obtenção da pressão resultante exercida sobre a junta soldada, será considerada o somatório da pressão do impacto hidrodinâmico (p_{sl}) e a pressão hidrostática abaixo da linha d’água p_{ab} , conforme a equação (7):

$$p_f = p_{sl} + p_{ab} \quad (7)$$

O resultado da pressão resultante (p_f) foi de $1427,9879 \text{ (kN/m}^2\text{)}$. Nessa conformidade, foi realizada a simulação do corpo de prova em módulo CAE do software Inventor 2024. Assim, a obtenção dos resultados foi alcançada a partir da simulação das cargas na junta soldada, em que foi fixada a região inferior da chapa, e foi aplicada a carga “ p_f ” na região superior da mesma, Figura 12.

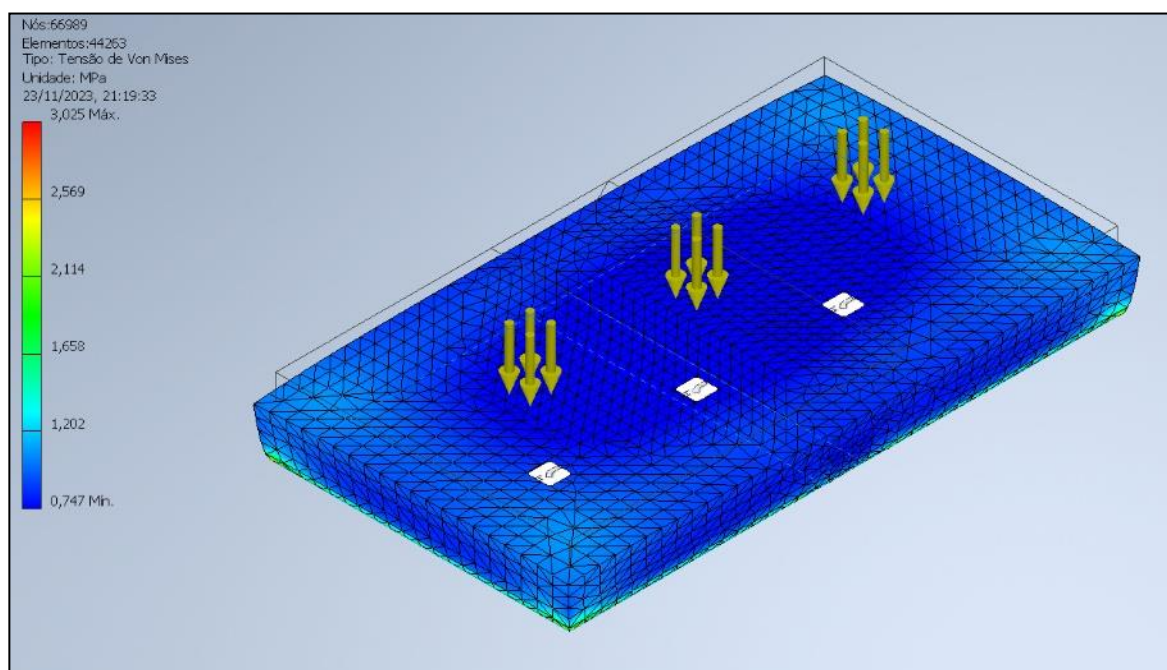
FIGURA 12. Simulação de pressão no software Inventor 2024.



Fonte: Os Autores (2023).

Após a realização da simulação, foram encontrados valores de tensão, deformação e demais variáveis. Por consequência, a Figura 13 descreve os valores máximos e mínimos da tensão de Von Mises em que a mesma estima se haverá escoamento do material devido aos carregamentos de aplicação. À vista disso, sucedeu uma variação de 0,747 Mpa até 3,025 Mpa, revelando que o casco não apresentará falhas por deformação plástica em condições reais de navegação, visto que segundo a ASTM (American Society for Testing and Materials, 2019) o limite de escoamento do grupo A131 é de, no mínimo, 235 Mpa.

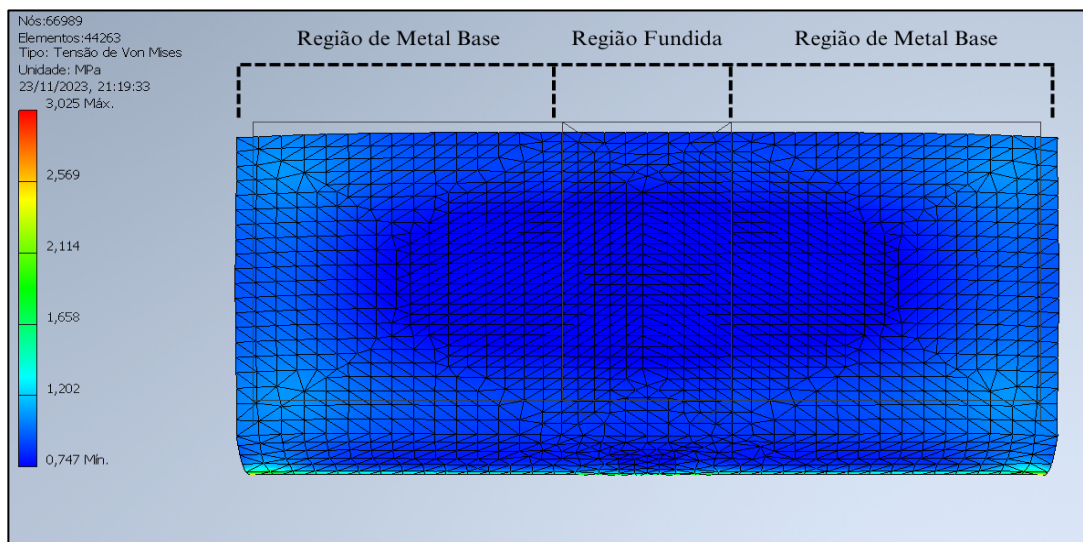
FIGURA 13. Tensão de Von Mises no Corpo de Prova.



Fonte: Os Autores (2023).

Além do mais, por intermédio da Figura 14, é exequível examinar os comportamentos das regiões da soldadura sob o efeito da pressão exercida, consequentemente é concluso que o material de adição não apresenta diferenças significativas em relação ao material base, haja vista que ambos apresentam valores similares de resistência à tensão.

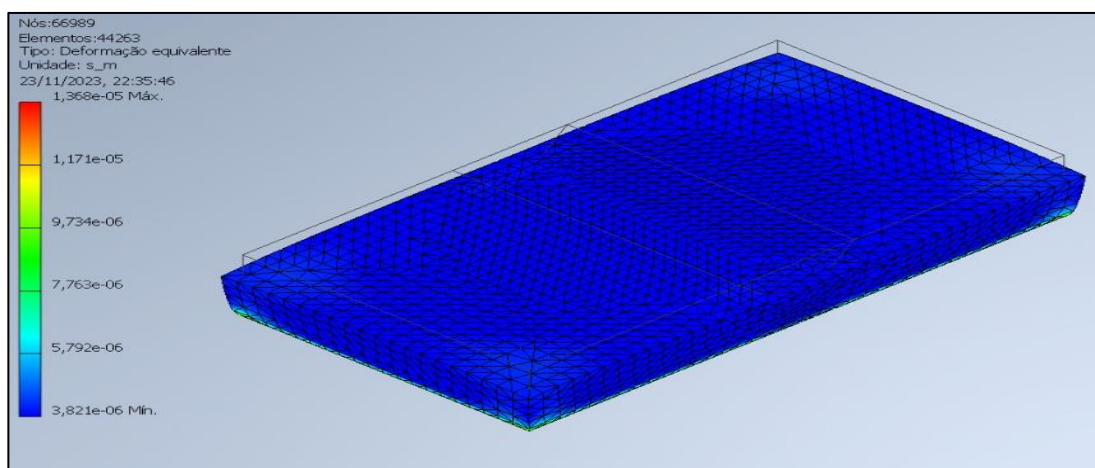
FIGURA 14. Tensão de Von Mises vista superior, vista superior.



Fonte: Os Autores (2023).

A Figura 15 destaca valores de deformação em metros em que os valores obtidos apresentaram uma variação entre $3,821 \times 10^{-6}$ m e $1,368 \times 10^{-5}$ m.

FIGURA 15. Deformação no Corpo de Prova.

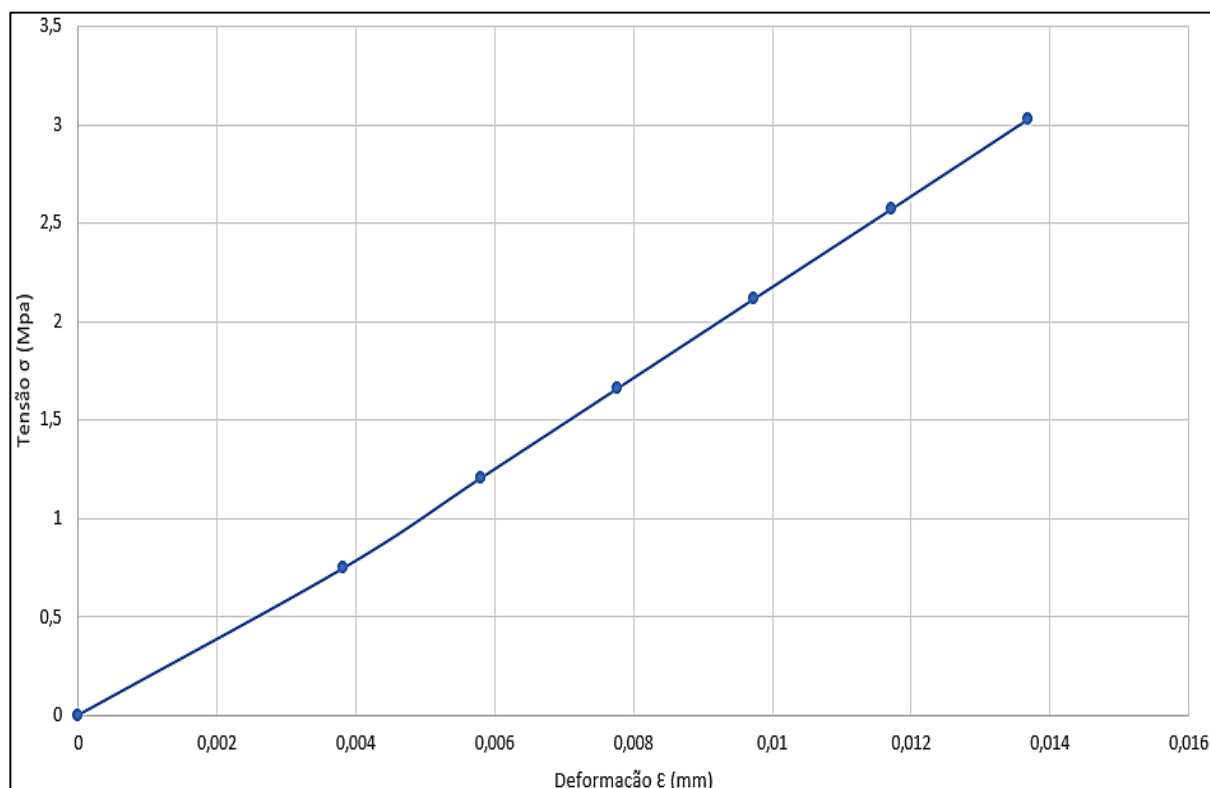


Fonte: Os Autores (2023).

Sendo assim, é concebível investigar que o casco sofre pouca deformação, pois os materiais os quais o compõe possuem um elevado limite elástico. Um ponto a se destacar é que embora os materiais apresentem diferentes valores de resistência ao escoamento isso não afetaria a estrutura, pois o valor do limite elástico é superior àqueles que incidirão sobre o casco. O que o torna um material ideal para embarcações de grandes temporadas por conta da sua resistência a fadiga elevada,

características que são cruciais na construção das embarcações. Nessa conformidade, por intermédio das variáveis, tensão e deformação, foi possível constituir um gráfico Tensão x Deformação, Figura 16.

FIGURA 16. Gráfico Tensão-Deformação.



Fonte: Os Autores (2023).

Dessarte, a Figura 16 indica que a junta soldada atende a Lei de Hooke dentro da região elástica em que a deformação é diretamente proporcional à tensão aplicada. De modo geral, o material se encontra em um estado ideal para a confecção, já que um componente mecânico soldado precisa desempenhar de forma adequada, o que ficou evidenciado a partir dos resultados obtidos que são coerentes com a literatura, conforme os aspectos do comportamento em serviço de soldas (Modenesi *et al.*, 2012).

4. CONCLUSÕES

Diante das informações apresentadas nessa produção, é viável conjecturar que a soldadura se comportou com características similares ao metal base, de acordos com as análises realizadas. Nessa conformidade, a microestrutura revelada – a partir do ensaio metalográfico – consistia em fases

esperáveis de um aço hipoeutetóide com a presença predominante de ferrita e perlita. Em relação ao ensaio de microdureza Vickers, foi constatada variações entre 159,3 e 232,1 HV no passe 3 as quais não afetaram as características da chapa a ponto de influenciar na sua vida útil. Por conseguinte, os ensaios em módulo CAE possibilitaram as análises das tensões e deformações por intermédio da carga de pressão de $1427,9879 \text{ kN/m}^2$, obtida por equações descritas durante a abordagem, evidenciando que não ocorreram deformações plásticas na soldadura simulada.

Assim, isso implica aceitáveis propriedades mecânicas da junta soldada constituída do aço ASTM A 131 e do metal de adição AWS 5.20 - E 71T1 Flux Cored Wire. Por fim, foi realizado um levantamento comparativo que forneceram base de sustentação teórica ao estudo, pois os resultados encontrados nos ensaios foram coerentes com os de outras literaturas. Além do mais, cabe a manutenção uma verificação acerca do estado do material com relação a problemas de corrosão e vibrações que podem provocar problemas de vida útil da embarcação, variáveis que não foram levadas em consideração nesse estudo de caso.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard Specification for Structural Steel for Ships ASTM 131/A 131M – 014. West Conshohocken, PA, EUA, 2019.

AUGUSTO, O.B. A estrutura terciária do navio. São Paulo: Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

ASSUNÇÃO, G.S.; ANDRADE, E.P.; SANTOS, W.A.; FELIZARDO, I.; BRACARENSE, A.Q. Caracterização mecânica da região soldada de Tailor Welded Blanks (TWB) a partir do perfil de microdureza. Soldagem & Inspeção, 2019.

CAFFYN, S.; BESSANT, J. A capability-based model for continuous improvement. Proceedings of 3º International conference of the EUROMA, London, 1996.

DET NORSKE VERITAS (DNV) – “Hull Structural Design Ships with length 100 meters and above, January 2015”, 2015.

MODENESI, P.J.; MARQUES, P.V.; SANTOS, D.B. Introdução à Metalurgia da Soldagem, Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

RAWSON K.J.; TUPPER E. C. Basic Ship Theory. 5º ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.

REXTON STEEL & ALLOYS. EH 36 Pressure Vessel Steel Plate, EH 36 Steel Plates Stockists in Mumbai, EH 36 Ship Building Steel Plate, EH 36 Steel Plate, EH 36 Plate, EH 36 Boiler Quality Plates Supplier, 2020. Disponível em: <https://www.rextonsteelalloys.com/eh-36-sheet-plate-manufacturer.html>

XIANG WELDING INDUSTRIAL CO LTD. Flux Cored Welding Wire Classification: A5.20: E71T-11, 2020. Disponível em: https://www.xiangind.com/a5_20__e71t_11