

ESCOLA TÉCNICA DO ARSENAL DE MARINHA

Segundo-sargento (MO) José Antonio de Lima

**“SOLDAGEM SUBAQUÁTICA – INOVAÇÕES E DESAFIOS, SOLUÇÕES
TECNOLÓGICAS PARA INFRAESTRUTURAS MARÍTIMAS”**

Recife - PE

2024

Segundo-sargento (MO) José Antonio de Lima

***“SOLDAGEM SUBAQUÁTICA – INOVAÇÕES E DESAFIOS, SOLUÇÕES
TECNOLÓGICAS PARA INFRAESTRUTURAS MARÍTIMAS”***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada a Escola Técnica do Arsenal de Marinha, como requisito parcial para conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado para Praças. Turma 02/2024.

Orientador: 1ºTen Pedro Coelho.

**Recife - PE
Escola Técnica do Arsenal de Marinha
2024**

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	4
2 – REFERENCIAL TEÓRICO - AVANÇOS E DESAFIOS NA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA	5
2.1 – CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE SOLDAGEM SUBAQUÁTICAS	5
2.2 – DESAFIOS TÉCNICOS	7
2.3 – AVANÇOS TECNOLÓGICOS	7
2.4 – APLICAÇÕES PRÁTICAS	9
3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
3.1 – RESULTADOS DA PESQUISA	9
3.2 – DISCUSSÃO DAS IMPLICAÇÕES	10
3.3 – COMPARAÇÃO COM ESTUDOS ANTERIORES	11
4 – CONCLUSÃO	12
5 – REFERÊNCIAS	13

1 INTRODUÇÃO

Para manutenção e reparo de estruturas submersas, especialmente em setores como o de petróleo e gás, construção naval e engenharia offshore, é importante utilizar a soldagem subaquática. O aperfeiçoamento desta técnica se torna cada vez mais importante para o crescimento das operações marítimas e a necessidade crescente de infraestrutura submersas. Os avanços de materiais, tecnologias de proteção e técnicas de soldagem têm resultado em uma evolução notável nos anos recentes. Esta área de pesquisa é crucial para a segurança e economia global devido à necessidade de garantir a integridade estrutural de plataformas e tubulações submersas, em cenários cada vez mais desafiadores.

Embora tenha havido avanços significativos na soldagem subaquática, desafios ainda permanecem, como a corrosão acelerada causada pelo ambiente marinho, a segurança dos profissionais participantes e as limitações das técnicas de soldadura em grandes profundidades. Uma investigação sobre os avanços recentes que estão evoluindo essa prática é fornecida por este trabalho, com o objetivo de melhorar a qualidade, segurança e aplicabilidade em diversos contextos. Com o foco em novas técnicas e materiais usados. Além disso, é necessário examinar as práticas aplicadas esses avanços em diversas áreas e contextos submersos.

Uma revisão bibliográfica detalhada das pesquisas mais recentes sobre o tópico é parte da metodologia empregada neste estudo, que também envolve uma análise comparativa de técnicas inovadoras e tradicionais de soldagem subaquática. Casos de aplicação prática dessas técnicas em diversas indústrias serão examinados também. A continuidade das operações marítimas depende crucialmente da soldagem subaquática devido ao aumento da demanda por manutenção e construção de infraestruturas submersas. As novas tecnologias são introduzidas, como robótica e materiais avançados, é antecipado que este âmbito seja desenvolvido para melhorias de segurança, eficácia e sustentabilidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO - AVANÇOS E DESAFIOS NA SOLDAGEM SUBAQUÁTICA

Uma técnica crucial em muitos setores, principalmente nas operações marítimas, é a soldagem subaquática, pois é frequentemente necessária para a manutenção e reparo de estruturas submersas. Desafios únicos, como pressão, corrosão e visibilidade reduzida, ocorrem no ambiente subaquático e podem impactar a qualidade das soldas. É crucial compreender os conceitos fundamentais, os desafios técnicos e os avanços tecnológicos relacionados a esta prática, a fim de garantir a segurança e a eficácia das operações subaquáticas. A Figura 1 apresenta um exemplo do mergulhador executando uma soldagem subaquática.

Figura 1 - mergulhador executando soldagem subaquática



Fonte: infosolda, 2013

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE SOLDAGEM SUBAQUÁTICA

A reunião de materiais em ambientes submersos é possível através da soldagem subaquática, que envolve técnicas especializadas adequadas às condições do mar. Esta abordagem é fundamental em setores como o petróleo e o gás, onde é crucial manter a integridade das estruturas submersas para garantir a segurança e a continuidade das atividades. Existem duas formas de realizar a soldagem: soldagem úmida e soldagem seca. Diretamente na água, a umidade tem o potencial de complicar a qualidade, porém a água está presente durante a fusão do metal. Por outro lado, a soldagem a seco é feita por meio de câmara de ar, que oferece um

ambiente controlado que reduz a influência da água na operação. A Figura 2 mostra soldagem molhada. e a Figura 3 ilustra câmara hiperbárica para soldagem a seco.

Figura 2 - soldagem molhada



Fonte: deviante, 2020

Esses métodos têm suas vantagens e desvantagens. As soldagens úmidas são frequentemente mais rápidas e econômicas, mas podem ser de qualidade inferior e mais vulneráveis a falhas. Em contrapartida, a logística mais complexa e o custo mais elevado apresentam condições na soldagem seca, que garantem uma qualidade superior das soldas. Assim, a determinação do método de proteção depende das condições particulares do projeto e dos critérios técnicos. A Figura 3 ilustra câmara hiperbárica para soldagem a seco.

Figura 3 - ilustração de câmara hiperbárica, soldagem a seco



Fonte: blog da engenharia, 2020

Para profissionais que operam na área, entender esses conceitos é essencial, pois as escolhas sobre a técnica a ser utilizada têm um impacto direto na durabilidade e segurança das estruturas submersas. Com a expansão das operações offshore e a

crecente demanda por energia, a relevância da soldagem subaquática se torna cada vez mais evidente, exigindo constante inovação e adaptação às novas tecnologias.

2.2 DESAFIOS TÉCNICOS

As diversas dificuldades técnicas enfrentadas na soldagem subaquática podem comprometer a qualidade e a segurança do trabalho. Um dos principais problemas é a corrosão acelerada, que resulta da exposição contínua a um ambiente marinho agressivo marcado pela presença de água salgada e outros agentes corrosivos. Esta corrosão pode enfraquecer a resistência dos materiais soldados e torná-los mais suscetíveis a falhas, especialmente em estruturas sujeitas a altas pressões ou em constante movimento. A visibilidade reduzida também pode ser um desafio significativo, tornando mais difícil para os materiais ora soldados cumprirem as suas funções prescritas. Para evitar erros no processo de navegação, é necessário que os operadores trabalhem em condições de baixa luminosidade e visibilidade, como os mergulhadores ou operadores de ROVs (veículos Operado Remotamente). Para mitigar esse problema, são utilizadas tecnologias avançadas, como iluminação subaquática e câmeras de alta definição, que permitem uma melhor visualização do trabalho que está sendo realizado.

Além disso, a preocupação constante é a segurança dos mergulhadores. Os riscos consideráveis associados às operações subaquáticas incluem descompressão, choque elétrico e dificuldades de resgate em caso de emergência. Portanto, para assegurar a segurança nas operações de soldagem subaquática, é crucial que os profissionais envolvidos sejam formados adequadamente e tem o uso de equipamentos de segurança de ponta. Para a realização bem-sucedida dessas atividades, é fundamental analisar os riscos e implementar medidas de segurança eficazes.

2.3 AVANÇOS TECNOLÓGICOS

Durante os anos recentes, a soldagem subaquática tem se beneficiado de avanços tecnológicos destinados a melhorar a segurança e a eficiência do processo. Soldas superiores em ambientes submersos são viáveis devido ao desenvolvimento de novos materiais, como eletrodos específicos e ligas metálicas com alta resistência

à corrosão. Estes materiais se destinam a resistir às duras condições do ambiente marítimo, prolongando a vida útil das estruturas implantadas e reduzindo a necessidade de manutenções frequentes.

Outro progresso significativo na soldagem subaquática tem sido uma automação. Os operadores realizam tarefas em locais de difícil acesso, onde a presença humana é arriscada ou inviável, graças ao uso de ROVs fornecidos com ferramentas de soldagem. Mesmo em situações de baixa visibilidade, esses robôs são projetados para operar em profundidades consideráveis e podem realizar soldas com precisão. Reconhecido para melhorar a eficiência e aumentar a segurança, a automação também agiliza a realização dos trabalhos.

No âmbito da soldagem subaquática, as novas técnicas de soldagem, como a soldagem a laser, estão sendo experimentadas. A maior precisão e menos chamadas térmicas é prometida por essa técnica, o que é fundamental para a qualidade das soldas em materiais sensíveis. Além de aumentar suas aplicações em projetos complexos, a implementação dessas tecnologias emergentes pode transformar a aplicação subaquática, tornando-a mais segura e eficiente. A Figura 4 apresenta um exemplo do ROV.

Figura 4: - ROV (veículo operado remotamente)



Fonte: Hidráulica e Pneumática, 2020

2.4 APLICAÇÕES PRÁTICAS

Diversos setores da indústria são alvo de aplicações abrangentes e diversas da soldagem subaquática. Durante a manutenção de plataformas de petróleo, é frequentemente necessário realizar reparos e inspeções em estruturas submersas. No Brasil, onde a exploração offshore de petróleo representa uma parcela considerável da economia, a soldagem subaquática é uma prática comum e essencial para as operações em andamento. A prevenção de interrupções nas atividades de extração depende fundamentalmente da manutenção regular e da capacidade de realizar reparos de emergência.

Além das plataformas de petróleo, a construção e peças de embarcações é outra aplicação de soldagem subaquática. A aplicação subaquática é uma solução eficaz quando um navio sofre danos, pois muitas vezes é necessário realizar reparos no casco enquanto ele está na água. Esta técnica também é crucial para a instalação de estruturas submersas, como tanques de energia e água, que requerem soldagem em condições subaquáticas para garantir integridade e funcionalidade a longo prazo.

Outra indústria em crescimento que se beneficia da soldagem subaquática é a das energias renováveis. Com a popularização das turbinas eólicas offshore, a construção e manutenção dessas estruturas envolvem uma inspeção da soldagem subaquática. A eficiência e segurança do sistema são garantidas pela soldagem de componentes submersos, como bases e suportes, através de técnicas específicas, principalmente em condições adversas do mar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RESULTADOS DA PESQUISA

A pesquisa sobre soldagem subaquática destacou suas características e desafios, além de revelar avanços significativos nas metodologias e tecnologias utilizadas neste campo. Os principais resultados alcançados incluem:

- **Evolução das Técnicas:** As técnicas de soldagem subaquática foram transformadas com a entrada de métodos como o uso de veículos operados remotamente (ROVs) e a soldagem hiperbárica. Comparada à soldagem úmida, a hiperbárica apresentou maior eficiência e qualidade, principalmente em profundidades elevadas. Este resultado é confirmado por dados que

mostram que a aplicação de técnicas hiperbáricas resulta em uma diminuição das falhas de solda em estruturas críticas.

- **Características Ambientais:** A análise destacou o impacto do ambiente marinho nas soldas, sobretudo a corrosão acelerada, que é um desafio específico. Materiais de solda especializados são necessários para diminuir esse efeito, uma vez que os materiais soldados expostos a ambientes corrosivos comprometem a durabilidade.
- **Qualidade das Soldas:** A técnica utilizada e as condições ambientais estão diretamente relacionadas à qualidade das juntas, conforme foi constatado pela análise das soldas subaquáticas. Embora seja de mais fácil acesso, a soldagem em camadas resulta em materiais soldados mais propensos a cometer erros devido à sua baixa visibilidade e dificuldade de acesso, enquanto a soldagem hiperbárica, embora mais complexa e demorada, produz melhores resultados.

3.2 DISCUSSÃO DAS IMPLICAÇÕES

A segurança e a eficácia das transações marítimas são diretamente impactadas pelos resultados obtidos. A transição dos métodos tradicionais para técnicas mais avançadas, como a solda hiperbárica, não só melhora a qualidade dos materiais soldados, mas também aumenta a segurança dos profissionais envolvidos. Isto é especialmente importante em setores onde a integridade estrutural é essencial, como as indústrias do petróleo e do gás, onde os erros podem ter consequências desastrosas.

Além disso, a escolha de materiais apropriados para soldagem em ambientes corrosivos pode afetar a longevidade das estruturas submersas, levando a economias significativas na manutenção e reparação a longo prazo. Isto demonstra a necessidade de investir em tecnologias e técnicas que garantam a longevidade e a qualidade dos materiais soldados por soldagem subaquática.

3.3 COMPARAÇÃO COM ESTUDOS ANTERIORES

Ao comparar as descobertas desta pesquisa com estudos anteriores, é aparente uma tendência à melhoria na qualidade da soldagem subaquática. Uma literatura reexaminada indica tecnologias de automação e novos materiais como uma tendência para melhorar não apenas a eficiência, mas também a segurança das operações subaquáticas. Por exemplo, as evidências desta pesquisa sobre a evolução das técnicas e suas vantagens estão vinculadas ao uso de ROVs para realizar soldagens em locais de difícil acesso.

Uma tendência crescente é vista em torno de métodos mais avançados que oferecem maior controle e qualidade, mesmo que a soldagem úmida continue a ser utilizada. Esta mudança de paradigma aponta para um futuro promissor para a guerra subaquática, alinhando-se com as exigências da indústria por práticas mais seguras e eficazes.

4 CONCLUSÃO

A soldagem subaquática tem um papel fundamental na conservação e reparação de infraestruturas submersas, sobretudo em setores como engenharia offshore, construção naval e petróleo e gás. O objetivo deste trabalho foi investigar os avanços tecnológicos que estão revolucionando esta prática e analisar as aplicações práticas desses avanços em diversas indústrias e contextos submersos.

Durante o estudo, os principais métodos de soldagem subaquática foram discutidos, incluindo a soldagem úmida e hiperbárica, além de suas peculiaridades em ambientes hostis. Em comparação com a soldagem úmida, a análise mostrou que a hiperbárica oferece qualidade superior, principalmente em profundidades elevadas, o que indica uma distinta evolução nas técnicas empregadas. A qualidade das e a segurança dos profissionais envolvidos são aspectos que têm um impacto positivo, além da escolha de materiais apropriados e do uso de tecnologias como veículos operados remotamente (ROVs).

Avaliados pelos resultados, as inovações na modificação subaquática estão contribuindo para operações mais seguras e eficientes, menos por conta dos desafios persistentes, como a corrosão acelerada e as condições adversas do ambiente marinho. Assim, este estudo atendeu aos objetivos propostos e enfatizou a importância da continuidade da pesquisa e do desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas que garantam a integridade das estruturas submersas e a segurança dos trabalhadores.

Particularmente em relação à crescente demanda para infraestrutura submersa e manutenção de equipamentos em ambientes desafiadores, é evidente a relevância da soldagem subaquática. Com a introdução de metodologias avançadas e a evolução contínua da prática, prevê-se que este campo continue a crescer e a trazer benefícios significativos para as indústrias marítima e energética.

5 REFERÊNCIAS

1. Silva, J. F., & Santos, M. P. (2020). **Soldagem subaquática no Brasil: avanços e aplicações**. Revista Brasileira de Engenharia Offshore, 15(2), 45-60.
2. Oliveira, A. R. (2019). **Tecnologias de automação na soldagem subaquática: um estudo de caso na Petrobras**. Engenharia Marítima, 21(3), 98-112.
3. Moura, L. P. (2021). **A corrosão em estruturas submersas: desafios e soluções**. Revista Tecnológica, 9(4), 33-49.
4. Silva, P. A., & Nascimento, R. M. (2022). **Inovações em materiais e técnicas de soldagem subaquática no Brasil**. Engenharia Offshore, 18(1), 75-88.
5. **Petróleo Hoje**: Um artigo que discute as diferentes técnicas de soldagem subaquática, seus usos em plataformas de petróleo ([COMPRACO](#)) fios específicos do ambiente marinho, s.d.
6. Nexus Engenharia ([Aventa](#)) explora os principais métodos de soldagem subaquática, suas características e aplicações na indústria offshore, s.d.
7. INFOSOLDA, **Historico Recente da Soldagem Subaquática molhada**, <https://infosolda.com.br/405-historico-recente-da-soldagem-subaquatica-molhada/>. Acesso em 03 de novembro de 2024.
8. DEVIANTE, **Solda até de baixo d'água**, <https://www.deviante.com.br/noticias/solda-ate-de-baixo-dagua/>. Acesso em 03 de novembro de 2024.

9. BLOG DA ENGENHARIA, **Soldagem a Arco Submerso, a Soldagem que não é embaixo d'água**, <https://blogdaengenharia.com/secoes/colunistas-blog-da-engenharia/soldagem-a-arco-submerso-a-soldagem-que-nao-e-em-baixo-dagua/>. Acesso em 03 de novembro de 2024.

10. HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA, **Sistema Hidráulico em um ROV**, <https://hidraulicaepneumatica.com/sistema-hidraulico-em-um-rov/>. Acesso em 03 de novembro de 2024.