

O FATOR HUMANO NO PRIMEIRO SUBMARINO NUCLEAR BRASILEIRO: PREPARAÇÃO E DESAFIOS DO DESEMPENHO HUMANO OPERACIONAL



Capitão de Corveta (RM3-T) Valéria Cristina de Faria
Capitão de Corveta (S) Priscila dos Santos Bunn
Capitão-Tenente (FN) Guillermo Brito Portugal
Primeiro-Tenente (RM2-T) Leonardo Mendes Leal de Souza
Capitão-Tenente (RNR-T) Maria Elisa Koppke Miranda
Capitão de Corveta (RM3-T) Bruno Ferreira Viana

1. INTRODUÇÃO

A Marinha do Brasil opera atualmente uma frota de submarinos composta por embarcações das classes “Tupi”, “Tikuna” e “Riachuelo” (MARINHA DO BRASIL, 2025). Esses meios são fundamentais para a defesa do território marítimo nacional, em especial da chamada Amazônia Azul, região estratégica rica em recursos naturais e de importância geopolítica significativa (MARINHA DO BRASIL, 2025). Com a modernização da frota e a necessidade de fortalecer o poder naval dissuasório, o Brasil deu um passo decisivo com a implementação do Programa de Desenvolvimento de Submarinos, o PROSUB (ANDRADE; ROCHA; HILLEBRAND, 2019).

Criado em 2008, o PROSUB representa um marco na capacitação tecnológica e na autonomia estratégica do País. Por meio da parceria com a França, o Brasil está construindo quatro submarinos convencionais e desenvolvendo o primeiro Submarino Nuclear Convencionalmente Armado (SNCA), o *Álvaro Alberto*. Essa iniciativa fortalece a capacidade da Marinha de operar em águas profundas e de aumentar sua permanência submersa, algo que diferencia de maneira substancial os submarinos convencionais dos nucleares (FONSECA JUNIOR, 2014).

A principal diferença entre essas embarcações está na sua autonomia operacional. Submarinos convencionais possuem limitação de tempo submersos devido à necessidade de recarga de baterias e ao consumo de oxigênio pela tripulação. Já os submarinos nucleares podem permanecer em

imersão por períodos muito mais longos, pois sua propulsão independe de oxigênio atmosférico e sua fonte de energia é praticamente ilimitada. Essa diferença impacta diretamente as exigências físicas e psicológicas impostas aos tripulantes (ANDRADE; ROCHA; HILLEBRAND, 2019).

Embora a literatura nacional especializada discuta de forma ampla os aspectos técnicos da formação dos submarinistas para operar embarcações nucleares (ANDRADE; FRANCO; HILLEBRAND, 2019), pouco se fala sobre a preparação física e psicofisiológica desses militares. Esse fator humano, no entanto, é crucial para a eficiência e segurança operacional a bordo (BEARDSLEE; LAWSON; REGIS, 2019). Conhecida pela Marinha Norte-Americana como medicina submarina, essa área é um campo único e estrategicamente relevante, que surgiu em resposta aos desafios específicos enfrentados pelos submarinistas (BEARDSLEE; CASPER; LAWSON, 2023). Nesse contexto, destaca-se o papel do Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes (CEFAN), uma Instituição de Ciência e Tecnologia (ICT) dedicada à pesquisa e ao desenvolvimento de programas voltados para a saúde e o desempenho físico dos militares.

O CEFAN dispõe do Laboratório de Ciências do Exercício e Performance (LABOCE), que tem entre suas principais áreas de estudo a investigação dos efeitos do ambiente confinado sobre o corpo humano. O confinamento prolongado impacta fatores fisiológicos, como resistência cardiorrespiratória, força muscular e saúde mental (ABELN

et al., 2022). No âmbito da Marinha do Brasil, há diferentes níveis de confinamento operacional, que vão desde unidades de superfície até submarinos, sendo o submarino nuclear possivelmente a forma mais extrema desse isolamento.

Diante desse cenário, este artigo objetiva analisar o que já se sabe na literatura nacional e internacional sobre a capacitação física dos submarinistas, bem como apresentar os estudos conduzidos pelo LABOCE nessa área e discutir os próximos passos para aprimorar a preparação física e psicofisiológica desses militares.

2. CAPACITAÇÃO FÍSICA DOS SUBMARINISTAS: O QUE DIZ A LITERATURA?

A capacitação física dos submarinistas desempenha um papel fundamental na manutenção da saúde, do desempenho operacional e da prontidão militar, em especial diante das condições desafiadoras do ambiente submarino (BEARDSLEE; CASPER; LAWSON, 2023; BEARDSLEE; LAWSON; REGIS, 2019). A literatura especializada evidencia que as restrições de espaço e mobilidade a bordo impactam de maneira direta a capacidade de exercício desses profissionais, exigindo estratégias adaptadas para mitigar os riscos associados à redução da atividade física, alterações metabólicas e privação de sono (CHABAL; MARKWALD; CHINOY, 2024; HU et al., 2022; AUFAUVRE-POUPON et al., 2021; TROUSSELARD et al., 2015; KANG; SONG, 2017; BRASHER et al., 2010).

Os submarinistas operam em um ambiente confinado, isolado e extremo, o que apresenta diversos desafios à manutenção da aptidão física. Segundo Beardslee, Lawson e Regis (2019) o espaço disponível para atividades físicas é extremamente limitado e, em muitos casos, há apenas uma esteira e uma bicicleta ergométrica para mais de 120 tripulantes, tornando a prática de exercícios um desafio logístico. Bondi e Dougherty (1985) investigaram a atividade física de submarinistas durante patrulhas de submarinos nucleares, utilizando pedômetros para medir a quantidade de movimento diário e identificaram que a atividade física diminuiu em torno de 50%. Além disso, durante longas missões, a ingestão calórica muitas vezes excede o gasto energético, aumentando o risco de síndrome metabólica e obesidade (KANG; SONG, 2017).

Apesar das restrições ambientais, a literatura aponta benefícios significativos da prática regular de exercícios físicos a bordo dos submarinos. A atividade física contribui para a manutenção da função cognitiva, regulação do humor e controle do estresse, além de auxiliar na adaptação sensorial e postural em um ambiente fechado e de constante movimento (MARTIN-KRUMM et al., 2021). Pode, ainda, mitigar os efeitos da privação de sono, favorecendo a recuperação mental e fisiológica. No entanto, fatores como ruído constante e iluminação artificial a bordo podem comprometer essa relação e dificultar a obtenção de um descanso adequado (HU et al., 2022).

Os estudos revisados revelam achados relevantes sobre a prontidão física e a saúde dos submarinistas. Apesar das dificuldades impostas pelo ambiente submarino, um estudo retrospectivo indicou que submarinistas apresentam taxas de reprovação mais baixas no Teste de Prontidão Física quando comparados a marinheiros embarcados em porta-aviões (GREGG II; JANKOSKY, 2012). Mohanty et al. (2023) realizaram um estudo comparativo entre submarinistas e pessoal naval baseado em terra, encontrando uma maior prevalência de síndrome metabólica entre os submarinistas. Além disso, submarinistas apresentaram indicadores de saúde metabólica menos favoráveis, como maior índice de massa corporal (IMC), níveis de glicemia e pressão arterial, em comparação com o grupo de controle. Entretanto, esses resultados não apresentaram diferença estatística.

Diante dos desafios apresentados, diversas estratégias têm sido sugeridas para minimizar os impactos do confinamento na aptidão física dos submarinistas. A implementação de protocolos de exercício otimizados para espaços reduzidos, com foco em exercícios funcionais, resistência muscular e flexibilidade, pode ser eficaz para mitigar os impactos da inatividade (BEARDSLEE; CASPER; LAWSON, 2023).

A capacitação física dos submarinistas é, portanto, essencial para garantir sua saúde, bem-estar e desempenho operacional em condições extremas e confinadas. Embora o ambiente submarino imponha desafios significativos à prática de exercícios físicos, a literatura sugere que estratégias bem planejadas podem minimizar os efeitos negativos da inatividade e melhorar a prontidão física desses militares.

O desenvolvimento de intervenções eficazes, baseadas em evidências científicas, é essencial para aprimorar a saúde e o desempenho dos submarinistas ao longo de suas missões.

3. O PAPEL DO LABOCE E PESQUISAS JÁ REALIZADAS

O LABOCE foi criado em 2013 com o objetivo inicial de oferecer assistência técnica aos atletas da Marinha do Brasil, com foco no aprimoramento do desempenho físico e na prevenção de lesões. Ao longo do tempo, suas atividades se expandiram, e, após a publicação do documento *Estratégia de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha do Brasil*, em 2017 (MARINHA DO BRASIL, 2017), revisado em 2021 (MARINHA DO BRASIL, 2021), o LABOCE consolidou-se como um laboratório de pesquisa e inovação dedicado ao desempenho do combatente. Em 2020, o CEFAN foi reconhecido como ICT, o que fortaleceu ainda mais o papel estratégico do LABOCE nesse processo.

Com a missão de realizar pesquisas científicas voltadas à capacitação física, o laboratório atua de maneira multidisciplinar, abordando áreas como treinamento físico, prevenção de lesões e reabilitação, sempre com o objetivo de otimizar o desempenho humano operacional. Seu trabalho visa garantir que os combatentes da Marinha estejam sempre prontos para atender às exigências rigorosas do serviço.

A Portaria nº 1.112/2024, publicada pelo Ministério da Defesa, definiu as áreas tecnológicas prioritárias para a Defesa Nacional, destacando a capacitação física e o aprimoramento do desempenho dos combatentes (BRASIL, 2024). Neste cenário, o LABOCE reafirma sua posição como um ponto estratégico para o desenvolvimento de pesquisas e soluções inovadoras, desempenhando um papel crucial no apoio ao Comando do CEFAN e contribuindo para o avanço das Forças Armadas brasileiras.

Entre seus diferentes temas de pesquisa, o laboratório tem desempenhado um papel fundamental na investigação dos impactos do confinamento em submarinistas militares, abordando aspectos como condicionamento físico, saúde, estresse e qualidade do sono. As pesquisas então realizadas têm sido importantes para compreender os efeitos adversos do ambiente confinado e isolado dos submarinos sobre a saúde e o desempenho dos militares, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação.

Entre os estudos já realizados, destaca-se a revisão sistemática conduzida por Miranda et al. (2022), que analisou os impactos do confinamento no condicionamento físico e na saúde dos submarinistas. Os resultados apontaram alterações negativas na composição corporal, desempenho aeróbico, perfil lipídico, marcadores de função óssea e reguladores endócrinos, o que reforça a importância da prática regular de atividade física para mitigar esses efeitos. Além disso, outra revisão sistemática de Miranda et al. (2023) investigou os efeitos do confinamento sobre os níveis de estresse dos submarinistas, identificando altos índices de estresse ocupacional, organizacional, psicossocial e estresse pós-traumático. A pesquisa sugeriu que a implementação de programas de apoio psicológico pode reduzir de modo significativo esses impactos negativos.

Outro estudo relevante foi realizado por Miranda et al. (2024), que desenvolveu um modelo para prever o nível de estresse em submarinistas militares, considerando variáveis como condicionamento físico e qualidade do sono. A equação preditiva incluiu qualidade do sono, aptidão cardiorrespiratória e número de agachamentos, demonstrando que a melhora da aptidão física pode reduzir de forma considerável o nível de estresse. Outro estudo de Miranda et al. (2024) buscou prever a qualidade do sono em submarinistas militares, utilizando variáveis como composição corporal, estresse e aptidão física. A equação preditiva incluiu nível de estresse e potência dos membros inferiores, indicando que a redução do estresse e o aprimoramento do condicionamento físico são estratégias eficazes para otimizar a qualidade do sono.

As pesquisas realizadas pelo LABOCE têm desempenhado um papel crucial no desenvolvimento de estratégias voltadas para a promoção da saúde e do bem-estar dos submarinistas militares. Ao investigar os impactos do confinamento e desenvolver modelos preditivos para estresse e qualidade do sono, o laboratório tem contribuído substancialmente para a formulação de estratégias de mitigação e a implementação de programas de suporte, que se propõem a melhorar tanto a qualidade de vida quanto o desempenho operacional desses profissionais. A continuidade dessas investigações é essencial para garantir que os submarinistas possam enfrentar os desafios do seu ambiente de trabalho de maneira saudável e eficiente.

4. PERSPECTIVAS E PRÓXIMOS PASSOS

O desenvolvimento e aprimoramento da capacitação física e psicofisiológica dos submarinistas são áreas de crescente relevância para a Marinha do Brasil, sobretudo com a inclusão do primeiro submarino nuclear na frota. As pesquisas realizadas pelo LABOCE e a análise dos impactos do confinamento sobre a saúde e o desempenho dos submarinistas fornecem uma base sólida para intervenções e programas destinados a mitigar os efeitos adversos desse ambiente extremo. Porém, há ainda muitos desafios a serem superados e diversas oportunidades para otimizar o bem-estar e a prontidão operacional dos militares. Uma das perspectivas mais promissoras é a continuidade do desenvolvimento de modelos preditivos e protocolos de intervenção para prevenir e minimizar os efeitos do confinamento prolongado. A integração de novas tecnologias, como sensores vestíveis e sistemas de monitoramento remoto, pode proporcionar dados mais precisos sobre os aspectos fisiológicos e psicológicos dos submarinistas durante as missões. Esses dados podem ser utilizados para personalizar os programas de treinamento e saúde, oferecendo soluções ainda mais eficazes para a manutenção da saúde física e mental dos militares a bordo.

Ademais, a implementação de estratégias inovadoras, voltadas à melhoria da qualidade do sono, controle do estresse e promoção da saúde mental, continua a ser uma área-chave de desenvolvimento. A partir das pesquisas realizadas pelo LABOCE, que demonstram a relevância da aptidão física e do suporte psicológico, há uma oportunidade de expandir o uso de intervenções personalizadas, como programas de treinamento funcional adaptados às limitações do ambiente submarino, além de estratégias de bem-estar mental, como a integração de atividades de relaxamento e apoio psicológico contínuo.

Outro passo vital será o fortalecimento da colaboração entre diferentes instituições de pesquisa e o intercâmbio de conhecimento com outras Marinhas que operam submarinos nucleares. Isso possibilitará a troca de experiências e a adaptação de boas práticas para o contexto brasileiro, garantindo que as soluções desenvolvidas sejam adequadas às particularidades da Marinha do Brasil.

Por fim, a formação contínua e o treinamento específico para os tripulantes do submarino nuclear são primordiais para garantir não apenas a adaptação ao ambiente confinado, mas também a maximização da eficiência operacional da embarcação. A implementação de programas de capacitação física avançada e suporte psicológico durante todas as fases da operação do submarino nuclear será essencial para que a Marinha do Brasil esteja preparada para enfrentar os desafios impostos pela nova fase da operação subaquática nacional.

Essas perspectivas, acompanhadas de ações sistemáticas, garantirão que os submarinistas possam operar com máxima eficiência, saúde e segurança, desempenhando um papel vital na defesa do território nacional e contribuindo para o sucesso do PROSUB e da Marinha do Brasil como um todo.

REFERÊNCIAS

ABELN, V. et al. Chronic, acute and protocol-dependent effects of exercise on psycho-physiological health during long-term isolation and confinement. **BMC Neuroscience**, v. 23, n. 1, p. 1-24, 2022.

ANDRADE, Israel de Oliveira; ROCHA, Antônio Jorge Ramalho da; HILLEBRAND, Giovanni Roriz Lyra. **O programa de desenvolvimento de submarinos como programa de Estado**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2019. Nota Técnica, n. 45. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/331177587>. Acesso em: 10 out. 2023.

ANDRADE, Israel de Oliveira; FRANCO, Luiz Gustavo Aversa; HILLEBRAND, Giovanni Roriz Lyra. **Ciência, tecnologia e inovação nos programas estratégicos da Marinha do Brasil**: texto para discussão. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, abr. 2019.

AUFAUVRE-POUPON, Charlotte; MARTIN-KRUMM, Charles; DUFFAUD, Anais; LAFONTAINE, Adrien; GIBERT, Lionel; ROYNARD, Fabien; ROUQUET, Christophe; BOUILLON-MINOIS, Jean-Baptiste; DUTHEIL, Frédéric; CANINI, Frédéric; PONTIS, Julien; LECLERQ, François; VANNIER, Alexandre; TROUSSELARD, Marion. Subsurface confinement: evidence from submariners of the benefits of mindfulness. **Mindfulness**, v. 12, p. 2218-2228, 2021.

BEARDSLEE, Luke A.; LAWSON, Ben D.; REGIS, David P. **An overview of the unique field of submarine medicine**. Groton, CT: Naval Submarine Medical Research Laboratory, 2019. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1082304.pdf>. Acesso em: 3 out. 2023.

BEARDSLEE, L. A.; CASPER, E. T.; LAWSON, B. D. Submarine medicine: an overview of the unique challenges, medical concerns, and gaps. **Undersea Hyperbaric Medicine**, v. 48, n. 3, p. 263-278, 2021.

BRASHER, Kate S.; DEW, Angela B. C.; KILMINSTER, Shaun G.; BRIDGER, Robert S. Occupational stress in submariners: the impact of isolated and confined work on psychological well-being. **Ergonomics**, v. 53, n. 3, p. 219-240, mar. 2010.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Portaria nº 1.112, de 24 de janeiro de 2024**. Estabelece as áreas tecnológicas de interesse da defesa nacional. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 25 jan. 2024. Disponível em: https://sinaer.dcta.mil.br/images/ngi/Diretrizes_Setoriais/PORTARIA_GM-MD_N_1112_DE_4_DE_MARO_DE_2024_-_PORTARIA_GM-MD_N_1.pdf. Acesso em: 9 mar. 2025.

BONDI, Kenneth R.; DOUGHERTY, James H. **Physical activity aboard nuclear submarines as measured by pedometry**. Groton, Conn.: Naval Submarine Medical Research Laboratory, 1985.

CHABAL, Sarah A.; MARKWALD, Rachel R.; CHINOY, Evan D. Life onboard a submarine: sleep, fatigue, and lifestyle behaviors of sailors on a circadian-aligned watchstanding schedule. **Applied ergonomics**, [s. l.], v. 104321, p. 1-30, 2024.

FONSECA JUNIOR, Pedro. **Dossiê: Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB)**. 2014. Instituto de Estudos Estratégicos, Programa de Pós-Graduação em Estudos Estratégicos, Niterói, 2014.

GREGG II, Marion A.; JANKOSKY, Christopher J. Physical readiness and obesity among male U.S. Navy personnel with limited exercise availability while at sea. **Military Medicine**, v. 177, n. 11, p. 1302-1309, 2012.

HU, Chaoqun; LIU, Yuan; ZHAO, Fangjie; XU, Zhenqing; ZHANG, Lulu. The self-perceived mental health status and factors that influence the mental health of Chinese submariners in the South China Sea: a cross-sectional study. **Military Medicine**, v. 187, n. 5/6, p. e696, 2022.

KANG, Jihun; SONG, Yun-Mi. The association between submarine service and multimorbidity: a cross-sectional study of Korean naval personnel. **BMJ Open**, v. 7, e017776, 2017.

MARINHA DO BRASIL. **Estratégia de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha do Brasil**. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2017.

MARINHA DO BRASIL. **Estratégia de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha do Brasil: Revisão 2021**. Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, 2021.

MARINHA DO BRASIL. **Meios navais**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/meios-navais>. Acesso em: 9 mar. 2025.

MARTIN-KRUMM, Charles; LEFRANC, Barbara; MOELO, Alan; POUPON, Charlotte; PONTIS, Julien; VANNIER, Alexandre; TROUSSELARD, Marion. Is regular physical activity practice during a submarine patrol an efficient coping strategy? **Frontiers in Psychiatry**, v. 12, 2021.

MIRANDA, M. E. K.; BUNN, P. S.; RODRIGUES, A. I.; VALE, R. G. S. Efeitos do confinamento sobre o condicionamento físico e saúde de militares submarinistas: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício**, v. 21, n. 3, p. 195-203, 2022.

MIRANDA, M. E. K.; BUNN, P. S.; DA SILVA, G. C. P. S. M.; VIANA, B. F.; VALE, R. G. S. Efectos del confinamiento sobre el nivel de estrés en submarinistas: una revisión sistemática. **Cuerpo, cultura y movimiento**, v. 14, n. 1, 2023.

MIRANDA, M. E. K.; TOURINHO, P. M.; PORTUGAL, G. B.; TADDEI, U. T.; LEAL DE-SOUZA, L. M.; VIANA, B. F.; BUNN, P. S.; VALE, R. G. S. Prediction of stress level in military submariners, based on physical conditioning and sleep quality variables. **Retos**, n. 48, p. 505-510, 2024.

MIRANDA, M. E. K.; PORTUGAL, G. B.; VIANA, B. F.; BUNN, P. S.; VALE, R. G. S. Prediction of sleep quality in military submariners. **Archivos de Medicina (Manizales)**, v. 24, n. 2, 2024.

MOHANTY, C. S.; KODANGE, C.; BHUTANI, S.; SARKAR, S.; RAJPUT, G. R.; CHAUDHARY, D. K. Comparison of prevalence of metabolic syndrome in submariners with shore-based naval personnel. **Journal of Marine Medicine Society**, v. 25, p. 175-181, 2023.

PEREIRA, Roger. O que é Amazônia Azul e por que o Brasil quer se tornar potência militar no Atlântico. **Gazeta do povo**, Curitiba, 1 nov. 2019. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/republica/amazonia-azul-brasil-potencia-militar-atlantico/>. Acesso em: 9 mar. 2025.

TROUSSELARD, Marion et al. Sleeping under the ocean: despite total isolation, nuclear submariners maintain their sleep and wake patterns throughout their under sea mission. **PLoS ONE**, v. 10, n. 5, p. e0126721, 27 maio 2015.