

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE ALEXANDRINO

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
TECNOLOGIA NUCLEAR

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SUGESTÕES PARA ELABORAÇÃO DE UM ARRANJO DE SALA DE CONTROLE DE
SUBMARINO NUCLEAR FUNDAMENTADA EM ANÁLISE ERGONÔMICA DO
TRABALHO: uma análise da sala de controle do Submarino “Humaitá”



PRIMEIRO-TENENTE PHELPE DE OLIVEIRA SOARES

Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE PHELIPE DE OLIVEIRA SOARES

SUGESTÕES PARA ELABORAÇÃO DE UM ARRANJO DE SALA DE CONTROLE DE
SUBMARINO NUCLEAR FUNDAMENTADA EM ANÁLISE ERGONÔMICA DO
TRABALHO: uma análise da sala de controle do Submarino “Humaitá”

Monografia apresentada ao Centro de Instrução
Almirante Alexandrino como requisito parcial à
conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em
Tecnologia Nuclear.

Orientador:

Prof. Marcos Coelho Maturana, PhD

CIAA
Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE PHELIPE DE OLIVEIRA SOARES

SUGESTÕES PARA ELABORAÇÃO DE UM ARRANJO DE SALA DE
CONTROLE DE SUBMARINO NUCLEAR FUNDAMENTADA EM ANÁLISE
ERGONÔMICA DO TRABALHO: uma análise da sala de controle do Submarino
“Humaitá”

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Tecnologia Nuclear.

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

Prof. Marcos Coelho Maturana, PhD – DDNM



CT Leonardo Oldani Felix, M.Sc.– CIAA

CT (EN) Danilo Pinheiro Faria M.Sc.– DDNM



CIAA
Rio de Janeiro
2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir alcançar coisas grandiosas em minha vida e me abençoar ao longo do presente ano.

Agradeço a minha esposa Marla Catarine e minha filha Maria Paula por todos os momentos que abriram mão da minha presença para que eu pudesse me dedicar ao meu curso de tecnologia nuclear. Também aos meus pais e meus sogros por todo apoio prestado durante o período do nascimento da Maria.

Agradeço ao meu orientador, Marcos Maturana, por todo apoio e tempo despendido em reuniões para orientação no trabalho, por mais que tenha uma rotina extremamente atarefada com o projeto do SCPN, nunca me deixou desamparado.

Meus agradecimentos também ao Primeiro-Tenente Ismael Marques e aos militares do Submarino “Humaitá”, que reservaram um tempo para responder o questionário sobre aspectos ergonômicos de sua sala de controle. Sem essas informações, não seria possível o desenvolvimento dessa monografia.

Por fim, agradeço aos meus colegas do curso de tecnologia nuclear pelo bom convívio e toda ajuda em momentos difíceis. Tenho certeza que as dificuldades que passamos nos fortaleceram para o futuro de nossas carreiras.

“Há uma força motriz mais poderosa
que o vapor, a eletricidade e a energia
atômica: a vontade”

Albert Einstein

Resumo

A ergonomia estuda a integração do homem com sistemas e equipamentos, sendo uma ciência necessária para o desenvolvimento de ambientes que melhorem o desempenho, saúde e bem-estar dos operadores. Em *Three Mile Island*, foi observado que os fatores humanos, juntamente com falhas nos aspectos ergonômicos na concepção da sala de controle da central nuclear, culminaram em acidente. No desenvolvimento dos submarinos, existe o desafio de instalar complexos sistemas em locais restritos de espaço mantendo a funcionalidade e desempenho dos equipamentos. Para os Submarinos nucleares, esse desafio torna-se ainda maior para a instalação do reator, onde todo aparato de equipamentos de uma usina nuclear em terra deve ser compactada para um pequeno espaço e para isso são utilizadas ferramentas ergonômicas, como a análise ergonômica do trabalho que é uma metodologia que permite analisar as atividades realizadas pelos trabalhadores e identificar possíveis problemas ergonômicos. Com base nessa análise, é possível propor soluções para aprimorar o espaço de trabalho que irá estudar a melhor forma de integração na Interface Homem-Máquina (IHM) e também os aspectos do ambiente como temperatura, iluminação e conforto para os operadores. Essa monografia tem por objetivo a sugestão de melhorias no aspecto ergonômico da sala de controle do Submarino “Humaitá”, da classe “Riachuelo”, que o projeto será utilizado para a construção do Submarino Convencionalmente Armado com Propulsão Nuclear (SCPN) “Almirante Álvaro Alberto”, como parte do Programa Nuclear da Marinha (PNM) e o Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB). A pesquisa foi dividida em duas partes, a primeira foi um questionário realizado com 24 militares para coleta de dados e a segunda parte foi conduzida uma análise ergonômica do trabalho, que buscou-se levantar pontos não ergonômicos, que exigem uma ação de melhoria, podendo causar danos à saúde física e mental dos operadores. Para a ergonomia, a opinião durante o desenvolvimento é essencial para a concepção correta do projeto, sendo um assunto que sempre estará em constante adaptação. Por fim, as respostas do questionário foram utilizadas para elaboração da análise ergonômica do trabalho, onde foram apresentadas sugestões de melhorias no aspecto ergonômico a serem empregadas no SCPN.

Palavras- chave: Ergonomia; Submarinos Nucleares; Sala de controle; Análise ergonômica do trabalho.

Abstract

Ergonomics studies the integration of man with systems and equipment, being a necessary science for the development of environments that improve the performance, health and well-being of operators. At Three Mile Island, it was observed that human factors, together with flaws in ergonomic aspects in the design of the nuclear power plant's control room, culminated in an accident. In the development of submarines, there is the challenge of installing complex systems in restricted spaces while maintaining the functionality and performance of the equipment. For nuclear submarines, this challenge becomes even greater for the installation of the reactor, where the entire equipment apparatus of a nuclear plant on land must be compacted into a small space and for this purpose ergonomic tools are used, such as ergonomic work analysis which is a methodology that allows analyzing the activities carried out by workers and identifying possible ergonomic problems. Based on this analysis, it is possible to propose solutions to improve the workspace that will study the best way of integrating the Human-Machine Interface (HMI) and also aspects of the environment such as temperature, lighting and comfort for operators. This monograph aims to suggest improvements in the ergonomic aspect of the control room of the Submarine “Humaitá”, of the “Riachuelo” class, which the project will be used for the construction of the Conventionally Armed Submarine with Nuclear Propulsion (SCPN) “Almirante Álvaro Alberto”, as part of the Navy Nuclear Program (PNM) and the Submarine Development Program (PROSUB). The research was divided into two parts, the first was a questionnaire carried out with 24 military personnel to collect data and the second part was an ergonomic analysis of the work, which sought to raise non-ergonomic points that require improvement action, which could cause harm to the physical and mental health of operators. For ergonomics, opinion during development is essential for the correct conception of the project, being a subject that will always be in constant adaptation. Finally, the answers to the questionnaire were used to prepare the ergonomic analysis of the work, where suggestions for improvements in the ergonomic aspect to be used in the SCPN were presented.

Keywords: Ergonomics; Nuclear Submarines; Control room; Ergonomic work analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Projeto do SCPN brasileiro	19
Figura 2.2 – Sala de controle do simulador de treinamento da CNAAA 1.	20
Figura 2.3 – Sala de controle de máquinas do Submarino Balístico Nuclear francês “Le Redoutable’.....	21
Figura 2.4 – Doze elementos da Engenharia de Fatores Humanos	22
Figura 2.5 – Fatores que influenciam no desempenho	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Distribuição do tempo de embarque no Submarino por Posto/Graduação.....	30
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Principais doenças apresentadas pelos militares	32
Gráfico 4.2 - Melhorias no aspecto ergonômico da sala de controle	35

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABERGO	Associação Brasileira de Ergonomia
AEC	Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos, da sigla em inglês <i>United States Atomic Energy Commission</i>
AEP	Avaliação Ergonômica Preliminar
AET	Análise Ergonômica do Trabalho
AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
BWR	Reator de Água Fervente, da sigla em inglês <i>Boiled Water Reactor</i>
CNAAA	Central Nuclear Almirante Álvaro Aberto
HFE	Engenharia de Fatores Humanos, da sigla em inglês <i>Human Factors Engineering</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
IEA	Associação Internacional de Ergonomia, da sigla em inglês <i>International Energy Agency</i>
ISO	Organização Internacional de Normalização, da sigla em inglês <i>International Organization for Standardization</i>
LABGENE	Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica
MB	Marinha do Brasil
NRC	Comissão Regulatória Nuclear, da sigla em inglês <i>Nuclear Regulatory Commission</i>
PNE	Planta Nuclear Embarcada
PNM	Programa Nuclear da Marinha
PROSUB	Programa de Desenvolvimento de Submarinos
PWR	Reator de Água Pressurizada, da sigla em inglês <i>Pressurized Water Reactor</i>
SB-R	Submarino Classe “RIACHUELO”
SCPN	Submarino Convencionalmente Armado com Propulsão Nuclear
TMI	<i>Three Mile Island</i>
USP	Universidade de São Paulo
USS	Navio dos EUA, da sigla em inglês <i>United States Ship</i>
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Apresentação do Problema	14
1.2 Justificativa e Relevância	14
1.3 Objetivos	15
1.4 Organização da Monografia	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Submarinos Nucleares	16
2.1.1 Programa Nuclear da Marinha do Brasil e o Submarino com propulsão nuclear brasileiro	17
2.1.2 Desenho das salas de controle	19
2.2 Projeto de IHM em instalações nucleares	21
2.2.1 Central Nuclear de <i>Three Mile Island</i>	24
2.3 Ergonomia	25
2.3.1 Avaliação Ergonômica Preliminar (AEP)	27
2.3.2 Análise Ergonômica do Trabalho (AET)	27
3 METODOLOGIA	29
3.1 Dados: Coleta e Tratamento	29
3.2 Limitações do Método e da Pesquisa	29
4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	30
4.1 Coleta de informações com especialistas	30
4.2 Análise dos resultados fundamentada na AET	31
4.2.1 Ergonomia e configuração da sala	31
4.2.2 Mobiliário e equipamentos	32
4.2.3 Ambiente	33
4.2.4 Atividades e tarefas	33
4.2.5 Saúde e bem-estar	34
4.2.6 Comentários finais	34
4.3 Sugestão para melhoria do aspecto ergonômico da Sala de Controle de SB-R aplicado ao SCPN	35

5 CONCLUSÃO.....	37
5.1 Sugestões para Futuros Trabalhos.....	38
APÊNDICE – QUESTIONÁRIO.....	42

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução da tecnologia nuclear, surge a possibilidade de utilizar o urânio como matéria prima para produção de energia. Dessa forma se inicia os testes em reatores nucleares, que através da fissão nuclear do material físsil é produzida energia. Atualmente, há dois tipos principais de reatores: *Pressurized Water Reactor* (PWR) e *Boiled Water Reactor* (BWR).

Durante o período da Guerra Fria, os EUA deram início aos estudos para criar um submarino com propulsão nuclear, visto que após a Segunda Guerra Mundial, a corrida armamentista estava em alta e os submarinos eram a tecnologia de combate mais avançada na época, e foi no momento que o Capitão Rickover e membros da *Atomic Energy Commission* (AEC) desenvolveram o primeiro submarino com propulsão nuclear da história [1].

No Brasil, em 1979 deu-se início ao Programa Nuclear da Marinha que objetiva o desenvolvimento do SCPN, o qual possui dois pilares em seu projeto: domínio do ciclo do combustível e o desenvolvimento de um protótipo em terra da Propulsão Nuclear Embarcada (PNE) [2]. Em 2008, foi assinado um acordo estratégico com a França para início ao PROSUB, o qual contemplava a construção de quatro unidades convencionais e uma unidade com propulsão nuclear [2].

O reforço com a chegada de novos meios navais possibilita a Marinha do Brasil garantir os interesses do País, protegendo seu vasto território marítimo nomeado de “Amazônia Azul”, que conta com uma grande biodiversidade e fonte de recursos naturais além da Zona Econômica Exclusiva (ZEE), itens que são interesse mundial.

No contexto internacional, apenas seis Países detém a tecnologia de submarinos com propulsão nuclear: China, Rússia, Estados Unidos, Reino Unido, França e Índia. A importância do Brasil em figurar nesse grupo seletivo confirma a importância no cenário Sul-Americano de poder e estratégia.

Projetar e construir um submarino nuclear é extremamente complexo e desafiador, por conta da natureza de suas tarefas e sensibilidade de seus diversos componentes [3]. Entre os desafios, vale destacar a garantia da segurança nuclear, pois manter os reatores seguros e sem vazamentos radioativos é de extrema importância e também a integração do sistema de propulsão e distribuição de energia com o reator embarcado.

Nesse contexto, a ergonomia tem um papel importante para elaboração de salas de controle, pois procura melhorar a interação entre os humanos e os sistemas. Quando se trata

de um submarino, o confinamento e espaço reduzido eleva o nível de dificuldade da elaboração de uma sala de controle, pois envolve equipamentos de alta tecnologia, pressão de tempo e alto nível de estresse do pessoal. A sala de controle é o cérebro do submarino, porque nesse ambiente são controladas todas as funções vitais da embarcação e um arranjo bem desenhado e otimizado proporciona segurança e o bem-estar da população para operação do meio. Em um projeto bem executado deve ser levado em consideração a relação entre Homem-Máquina, controles e sistemas, garantindo o melhor desempenho.

1.1 Apresentação do Problema

Otimizar o espaço no submarino é uma tarefa desafiadora, pois há necessidade de embarcar todos os sistemas de propulsão, combate, estações de trabalho para os operadores e um reator nuclear, no caso de um submarino com propulsão nuclear, em um espaço extremamente confinado, e dessa forma a ergonomia atua adaptando o ambiente ao operador.

A avaliação ergonômica procura analisar a coesão da equipe de operadores da sala de controle e os instrumentos, identificando os processos para tomada de decisão da equipe. A ergonomia procura melhorar essa interação Homem-Máquina, de forma a extrair a melhor relação entre as partes, por meio de observações e gravações do ambiente [4].

A avaliação da confiabilidade humana engloba a integração de todas as partes da sala de controle como a equipe, procedimentos e interfaces [4], sendo uma área crítica para garantir a segurança, eficiência e usabilidade em sistemas complexos.

O projeto de submarino nuclear exige um desenvolvimento de IHM levando em consideração o ambiente extremo, a segurança, complexidade de sistemas, treinamento de operadores e a possibilidade de ajustes em todo ciclo de operativo com o intuito de garantir que ela atenda às necessidades do usuário e contribua para a operação segura.

1.2 Justificativa e Relevância

Por conta da complexidade do projeto, a classificação e o cerceamento ao acesso de documentos detalhados sobre projetos de submarinos nucleares são essenciais para proteger a segurança nacional, manter a vantagem tecnológica e cumprir acordos internacionais. Essas informações são estritamente controladas e normalmente só são

acessíveis ao pessoal autorizado do governo envolvido na construção, operação e manutenção desses submarinos.

Uma sala de controle ergonômica apresenta uma série de vantagens significativas, como por exemplo: saúde e bem-estar dos operadores - redução de lesões, menos fadiga, melhoria da saúde mental; aumento da produtividade – eficiência e maior concentração; redução de erros – maior precisão e facilidade de uso; maior segurança – redução de acidentes; e satisfação dos operadores – melhor qualidade de vida no trabalho [4].

1.3 Objetivos

O objetivo é propor uma melhoria da sala de controle Submarino “Humaitá” baseada na Análise Ergonômica do Trabalho (AET), que será utilizada como referência para a concepção de sala de controle do SCPN.

1.4 Organização da Monografia

O Capítulo 2, relata sobre a evolução dos submarinos nucleares e a PNE. Nesse capítulo também será mostrada uma visão geral do PNM, PROSUB e uma breve exposição do Submarino Convencionalmente Armado com Propulsão Nuclear “Álvaro Alberto”, primeiro a ser equipado com uma planta nuclear de tecnologia nacional. Também será discutido sobre as IHM em instalações nucleares, realizando uma comparação entre as salas de controle das centrais nucleares em terra para as de um submarino. Por fim, serão apresentados os conceitos de ergonomia e suas ferramentas de análise.

No Capítulo 3 apresenta-se a metodologia utilizada para coleta de dados e o universo da pesquisa.

No Capítulo 4, mostra a análise sobre os dados apresentados fundamentado na análise ergonômica do trabalho, onde propõe-se aperfeiçoamentos que possam ser aplicados na sala de controle do Submarino “Humaitá” e que posteriormente poderá ser utilizado como base para o SCPN.

Por fim, o capítulo 5 destaca a importância da AET para avaliação e melhorias da sala de controle visando um aprimoramento de desempenho, saúde e bem-estar dos trabalhadores.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No contexto geopolítico, o desenvolvimento de submarinos nucleares garante a proteção dos interesses nacionais e contribuem para a dissuasão e negação do uso do mar [5]. Na Guerra Fria, os países iniciaram uma corrida armamentista para construção dos submarinos com propulsão nuclear, que após anos foram sendo equipados com forte armamento bélico, onde quem os possuem ocupam uma posição superior no cenário internacional [5].

Na história da energia nuclear, houve três grandes acidentes envolvendo reatores nucleares [6]. Esta monografia irá abordar o acidente *Three Mile Island*, pois entende-se que os erros humanos e o arranjo incorreto da sala de controle foram os principais causadores para a falha do reator. Por conta disso, os critérios de licenciamento para usinas nucleares tornaram-se mais rígidos e houve necessidade de reorganização e reconfiguração das usinas que estavam em operação na época, influenciando também nas plantas nucleares embarcadas.

Para construção dos submarinos nucleares, é essencial que os ambientes de trabalho sejam ergonômicos, pois além de benefícios na saúde e bem-estar dos trabalhadores, contribui para melhoria no desempenho operacional, segurança e satisfação [7].

2.1 Submarinos Nucleares

Em 21 de janeiro de 1954, foi lançado o primeiro Submarino Nuclear com propulsão nuclear da história, chamado de USS “Nautilus”, nome escolhido em homenagem à obra literária “Vinte Mil Léguas Submarinas”, escrita por Jules Verne em 1870, que conta a história do Comandante Nemo e seu Submarino, movido a eletricidade na exploração submarina [8].

O USS Nautilus foi o primeiro Submarino desenvolvido com uma propulsão movida a energia nuclear do tipo PWR, com o projeto liderado pelo Capitão Hyman G. Rickover, juntamente com a AEC. A possibilidade de operar por longos períodos sem a necessidade emergir para carregar suas baterias, fez com que o USS Nautilus obtivesse vantagem frente aos submarinos convencionais da época que utilizavam motores a diesel, pois possibilitaria permanecer por mais tempo submerso ficando restrito apenas por condição física de sua tripulação [9].

Segundo Filho [10], com o desenvolvimento da PNE, surgiram três tipos de Submarinos Nucleares: primeiro chamado de Submarino Nuclear de Ataque (SSN), da década de 50 e que em 1970 foi modificado originando o Submarino Nuclear de Ataque rápido, equipado com torpedos e posteriormente com mísseis convencionais. O segundo tipo foi o Submarino Nuclear de Cruzeiro (SSGN), já equipado com mísseis de cruzeiro de longo alcance. Por fim, o Submarino Nuclear Balístico (SSBN), com capacidade de disparar mísseis balísticos com ogivas nucleares [10].

O desenvolvimento da tecnologia nuclear ocorreu fortemente durante o período da Guerra Fria, com a produção e inovações da PNE. A corrida pelo desenvolvimento nuclear deixou de ter foco em bombas e passou a ser produzir submarinos mais potentes e fortemente armados com mísseis balísticos [5]. Assim, os submarinos nucleares desempenham um papel importante na estratégia de defesa e dissuasão, possuindo três principais destaques:

- Projeção de Poder: capacidade de projetar poder sobre terra, realizando apoio;
- Vigilância e Inteligência: possibilidade em manter-se em silêncio em pontos estratégicos para coleta de dados de inteligência e informações sobre alvos marítimos; e
- Dissuasão Nuclear: os SSBN podem ficar longos períodos em pontos estratégicos de qualquer lugar do mar, submersos e indetectáveis, garantindo um contra-ataque a uma investida de um adversário.

Passado o período da Guerra Fria, uma união de fatores políticos, financeiros e estratégicos culminou na redução do número de submarinos nucleares e a assinatura de alguns tratados para mitigar o desenfreado crescimento de armas nucleares [11].

2.1.1 Programa Nuclear da Marinha do Brasil e o Submarino com propulsão nuclear brasileiro

O programa nuclear no Brasil se desenvolveu significativamente no governo do Presidente Ernesto Geisel, com foco na área de energia nuclear [12]. Foi assinado o acordo entre Brasil-Alemanha para construção de usinas nucleares, que contou com o lançamento da primeira em 1982, nomeada de ANGRA I. Além disso, o governo Geisel investiu na Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e na formação de recursos humanos na área nuclear, desenvolvendo essa tecnologia no país [12].

Em 1979, foi criado o Programa Nuclear da Marinha com a proposta do Oficial da Marinha Othon ao governo para o projeto de submarino movido a energia nuclear [12]. Com a construção do primeiro submarino com propulsão nuclear no Atlântico Sul, o Brasil fortaleceria sua posição no cenário internacional figurando entre uma pequena parcela de países que possuíam um meio naval com alta capacidade de defesa e segurança.

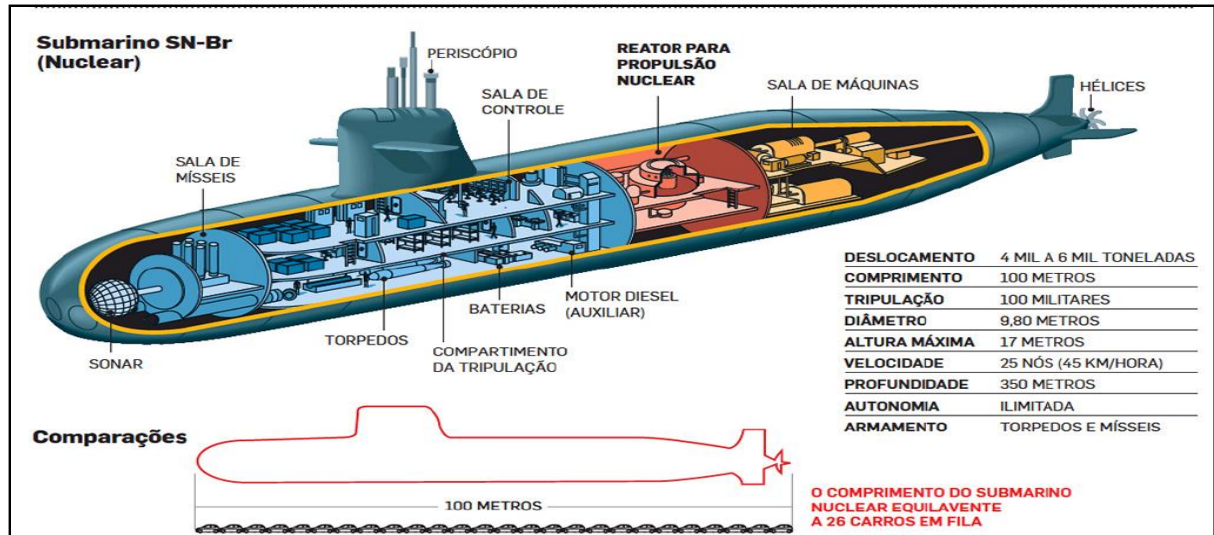
Para desenvolvimento do PNM, a Marinha do Brasil (MB) firmou parcerias com institutos de pesquisas como o Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares (IPEN) e faculdades como a Universidade de São Paulo (USP), com o objetivo de desenvolver a tecnologia do ciclo do combustível e a construção de um protótipo, em terra, do reator nuclear embarcado, para simular o equipamento que será empregado no SCPN, chamado de Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica (LABGENE) com potência térmica de 48 MWth (térmica) [13].

Em 2008, O Brasil assinou com a França o PROSUB, um acordo para o projeto e construção de quatro submarinos convencionais e a consultoria técnica para construção de um submarino com propulsão nuclear, sem a seção do reator, na qual contará com tecnologia totalmente brasileira [2].

Nessa ocasião, a MB construiu em Itaguaí-RJ, uma nova base de submarinos para manutenção e suporte para a cadeia logística dos novos meios, nomeada Base de Submarinos da Ilha da Madeira (BSIM), onde já foram construídos três dos quatro submarinos convencionais previstos e onde será construído o SCPN brasileiro. Na BSIM também será construído o Complexo de Manutenção Especializado que tratará de toda manutenção necessária para o SCPN [2].

A construção do SCPN é importante para contribuição da dissuasão e proteção das riquezas da Amazônia Azul brasileira. Com um território marítimo de 3,5 milhões de quilômetros quadrados (Km²) [14], o SCPN seria capaz de realizar a patrulha de modo silencioso por tempo indeterminado, ficando restrito apenas pela saúde mental de sua tripulação. Na figura 2.1, evidencia-se a estrutura e especificações do SCPN brasileiro.

Figura 2.1 – Projeto do SCPN brasileiro



Fonte: Referência [15].

2.1.2 Desenho das salas de controle

Com avanço da engenharia, houve um aprimoramento dos desenhos da sala de controle dos submarinos possibilitando salas de controle mais sofisticadas e ergonômicas. O fluxo de informações na sala é importante para que a equipe de operadores mantenha o nível de atenção elevado durante o período de operação [16].

O projeto de uma sala de controle é um dos fatores que influencia no desempenho do operador [17]. Para configurar uma sala, onde localizar as estações e como deverá ser o desenho estrutural, devem ser considerados os dados antropométricos a fim de garantir que o operador visualize os alarmes e que botões sejam acessados sem interferências garantindo a segurança da operação.

No estudo realizado por Santos [17], é apresentada a divisão por áreas de uma sala de controle de uma planta nuclear: área de controle principal, área de controle auxiliar, área de comunicação, área de obtenção de dados através do computador de processo, área de documentação, área de facilidades e pela área de isolamento. Essas áreas devem ser integradas a fim de garantir o fluxo de informações e elevar o nível de consciência situacional no ambiente.

Diante da dificuldade de espaço, há necessidade de uma compactação da sala de controle de uma PNE, onde todas as informações e funcionalidades dispostas na sala de

controle de uma usina em terra deverão ser sintetizadas para uma sala de controle menor. Esse é o maior desafio em projetar uma sala de controle para um submarino. A Organização Internacional de Normalização (ISO) publicou sua referência de número 11064 – *Ergonomic design of control centers* [18] que tem a finalidade de orientar quanto ao projeto e configuração de uma sala de controle e divide-se em oito partes.

No ambiente de trabalho serão avaliados dois aspectos importantes: os aspectos organizacionais – recursos humanos, normas gerais – e aspectos ambientais – configuração da sala, conforto ambiental e disposição dos equipamentos [19]. Portanto, é cada vez mais comum o trabalho conjunto da arquitetura com a ergonomia para criar ambientes mais convidativos e confortáveis e que melhorem o desempenho dos operadores em condições críticas.

Pode-se notar a dificuldade e desafio de elaboração de uma sala de controle ergonômica em ambiente fechado. Na figura 2.2, podemos notar um ambiente amplo para elaboração do arranjo da sala, do simulador da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA) 1 que é idêntico à sala real, possibilitando instalar os monitores e cadeiras da melhor forma possível no aspecto ergonômico com pouca preocupação sobre espaço. Já na figura 2.3, temos a arquitetura da sala de controle do SSBN francês “*Le Redoutable*”, comissionado em 1967 e operativo até 1991, quando foi descomissionado.

Nota-se a diferença abrupta de espaço para alocação dos monitores, cadeiras e consoles dos sistemas. Todos os componentes devem ser integrados e adaptados ao ser humano, garantindo um ambiente ergonômico para o trabalho. Destaca-se que na sala de controle de um submarino, por conta da complexidade de operação do meio, há mais pessoas operando simultaneamente que em comparação a CNNNA 1.

Figura 2.2 – Sala de controle do simulador de treinamento da CNAAA 1.



Fonte: Referência [20].

Figura 2.3 – Sala de controle de máquinas do Submarino Balístico Nuclear francês “*Le Redoutable*”.



Fonte: Referência [13].

2.2 Projeto de IHM em instalações nucleares

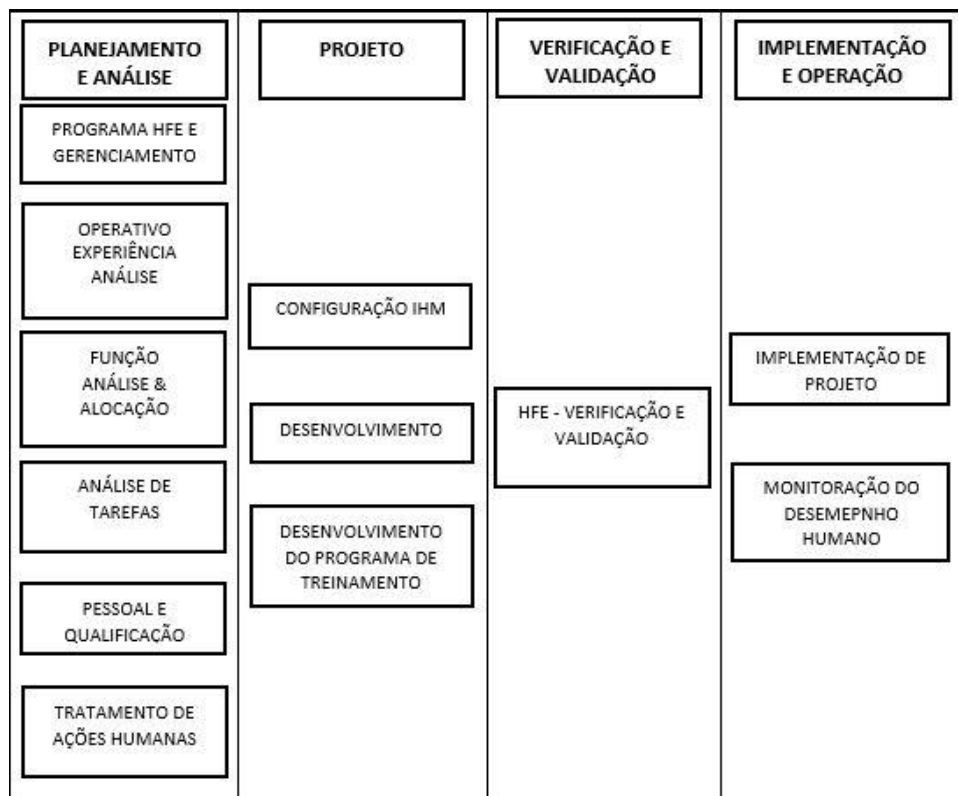
Com a degradação e obsolescência de sistemas, a melhora no desempenho da IHM com o desenvolvimento da tecnologia possibilitou a instalação de sistemas autônomos mais atualizados e sofisticados para funções de segurança em plantas nucleares. De acordo com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), o avanço tecnológico da automação foi promovido por conta da redução dos custos de manutenção e de operação e pelo o aumento da segurança e a melhoria da competitividade [22].

A instalação de sistemas digitais e instrumentos sofisticados para o monitoramento, permite um controle mais seguro da planta, assegurando que as informações

passadas para o operador sejam precisas e confiáveis [22]. Atualmente, os órgãos reguladores exigem que no projeto esteja contido um capítulo sobre Engenharia de Fatores Humanos (HFE), contemplando um estudo sobre a sistemática da aplicação IHM na planta, como testes e simulação da operação. A U.S.NRC ¹, tem publicado três documentos que regem o assunto: NUREG-0800, NUREG-0700 e NUREG-0711.

A NUREG-0711 [23], é referência da forma que o requerente deve desenvolver sua HFE, abrangendo desde o processo de concepção até sua implementação e monitoração contínua do desempenho. O objetivo desse documento é verificar se o requerente é capaz de fornecer uma IHM de forma segura, eficiente e confiável para os operadores. A figura 2.4 expõe os doze elementos da HFE abordados pela referência [23].

Figura 2.4 – Doze elementos da Engenharia de Fatores Humanos



Fonte: Adaptado da referência [23].

Nas Plantas Nucleares, o erro humano pode contribuir para uma falha por falta de conhecimento ou equívoco na interpretação de sinais ou alarmes [17]. O desempenho do fator

¹ U.S.NRC: Comissão Reguladora Nuclear dos EUA. Criada em 1974 pelo Congresso Nacional para garantir a utilização segura de materiais radioativos para fins benéficos.

humano está relacionado com a IHM, onde o melhor entendimento propicia eficiência e operação segura da planta.

A confiabilidade humana pode ser descrita tanto qualitativamente quanto quantitativamente, onde o termo qualitativo descreve o desempenho humano, centrado na sua confiabilidade, já o quantitativo versa sobre índices de falhas [17]. Para melhorar o desempenho humano é necessário que haja uma qualificação do pessoal, a fim de garantir uma operação da planta de forma segura, ou seja, é necessário o desenvolvimento de um programa de formação em energia nuclear.

Nesse contexto, os países com energia nuclear difundida possuem simuladores para auxiliar e melhorar o nível de ensino dos programas, onde são montados com dados reais da planta, projetando uma sala de controle e fazendo que o operador tenha uma experiência antes de operar no ambiente real [24]. Esse fato mitiga o erro humano, pois entende-se que o operador terá a oportunidade de observar e treinar procedimentos das falhas que podem ocorrer na planta, até os mais severos, que eventualmente podem liberar material radioativo para o meio ambiente, como o LOCA². Outra oportunidade dos simuladores é poder observar melhorias de projeto ou procedimentos que foram aplicadas no desenvolvimento.

Conforme a NUREG-0711 [23] aponta, o erro humano tem grande proporção na ocorrência de anormalidades durante a operação de uma planta nuclear e foram desenvolvidos estudos e coleta de informações de outras plantas que elencaram algumas situações em que a falha humana pode levar a um incidente:

1. Teste e manutenção como ocorrido na central nuclear de *Chernobyl*;
2. Operação inadequada;
3. Arranjo falho da sala de controle contrariando os princípios ergonômicos na central nuclear de *Three Mile Island*;
4. Gestão da informação em trocas de turnos; e
5. Sistemas sem redundância.

Uma das medidas para reduzir a probabilidade do erro humano são os chamados Sistemas de Suporte. Esses sistemas são compostos por instrumentos e mecanismos que facilitam o operador, pois convertem diversas informações referentes à alguma anormalidade que estejam espalhadas pela sala de controle para uma única informação na tela de computador à frente do operador, reduzindo o tempo de atuação [4].

² LOCA: *Loss of Coolant Accident*. Acidente severo de perda de líquido refrigerante do Sistema Primário do Reator. Esse acidente pode causar derretimento de material do núcleo liberando material radioativo do inventário. É um dos principais acidentes mais graves que podem ocorrer numa Planta Nuclear.

A automação de sistemas da planta deverá ser analisada de acordo com a tarefa a ser executada, isso potencializará a eficácia da relação Homem x Máquina. O sistema automatizado é capaz de lidar com situações bem definidas, impostas em sua lógica [4]. Enquanto o Humano pode atuar em situações com falta de informações, mal definidas, podendo controlar o sistema em caso de falha da máquina. Desse modo, não é viável a substituição do homem na sala de controle pela total automação do sistema [4].

2.2.1 Central Nuclear de *Three Mile Island*

A central nuclear de *Three Mile Island*, localizada na Pennsylvania - EUA, era composta por dois reatores nucleares, TMI-1 e TMI-2. No dia 28 de março de 1979, houve uma falha na bomba de alimentação do circuito secundário de TMI-2 que foi acentuado por uma série de erros humanos em resposta à falha [25].

Segundo o relatório, há quatro fatores principais para a causa do acidente em TMI-2. O primeiro era a deficiência da formação dos operadores da Central Nuclear em TMI. O segundo era a deficiência dos procedimentos em caso de acidente e isso influenciou de forma negativa nas decisões dos operadores. O terceiro fator foi que as lições aprendidas com acidentes em outras usinas não resultaram em uma elevação de consciência por parte dos diretores de TMI em questões de procedimentos³. O quarto e último fator foi a configuração da sala de controle [25].

O relatório apresentou que havia um grande painel na sala com centenas de alarmes bem como indicadores-chave em locais fora da linha de visão dos operadores. Durante o acidente, eram aproximadamente cem alarmes acionados ao mesmo tempo sem possibilidade de silenciamento dos menos importantes e isso prejudicou a atenção dos operadores do horário. As informações apresentadas no painel também não estavam de forma clara e concisa, como por exemplo os sensores de pressão e temperatura eram mostrados, contudo

³ Cerca de treze meses antes do acidente de TMI, houve um acidente com as mesmas características que foi observada por um engenheiro sênior da Babcock & Wilcox Comapany, que resultou no desligamento do sistema de resfriamento de emergência, tal como ocorrido em TMI. Foi gerado um memorando acerca do caso, contudo as informações contidas nesse documento não foram transmitidas aos operadores de TMI não gerando lições para melhorias.

não havia uma relação de proporção impossibilitando saber que a água de resfriamento estava se transformando em vapor.

O acidente de TMI causou mudanças significativas na segurança e regulamentação das usinas nucleares, tornando o processo mais complexo e demorado. Houve um maior rigor na avaliação da segurança das usinas, onde as agências de licenciamento passaram a exigir uma análise mais detalhada e rigorosa de segurança [25].

As agências exigiram também requisitos de desenho da planta mais aprimorados, sendo submetido a revisões de segurança e em muitos casos tendo que alterar todo seu projeto. A frequência de inspeções também foi elevada, visando garantir as conformidades com os padrões de segurança estabelecidos [25]. Por fim, houve uma melhoria no processo de treinamento e qualificação dos operadores, passando a treiná-los em situações de emergência.

De acordo com o estudo realizado [26], durante um evento a atenção do operador fica voltada e focada nos alarmes e indicações a sua frente, ignorando toda situação ao seu redor. Desvios de atenção por múltiplas tarefas em momentos críticos podem resultar em falhas de procedimentos causadas pela distração, como por exemplo ao tentar anotar dados que surgem na tela de alarmes e um telefone tocar ou algum outro operador na sala solicitar alguma informação.

O trabalho identificou que há uma necessidade de gerenciamento da atenção dos operadores enquanto estiverem em situação caótica, devendo existir uma prioridade de ações e procedimentos a fim de mitigar erros humanos por desatenção. O sistema de automação pode contribuir para o gerenciamento de informações e procedimentos durante uma situação de emergência na sala de controle de uma planta nuclear, pois haverá uma atuação imediata sem depender do operador

2.3 Ergonomia

A Ergonomia, também conhecida como Fatores Humanos, é a integração do ser humano ao trabalho. Ela tem uma ampla atuação, envolvendo as seguintes tarefas [27]:

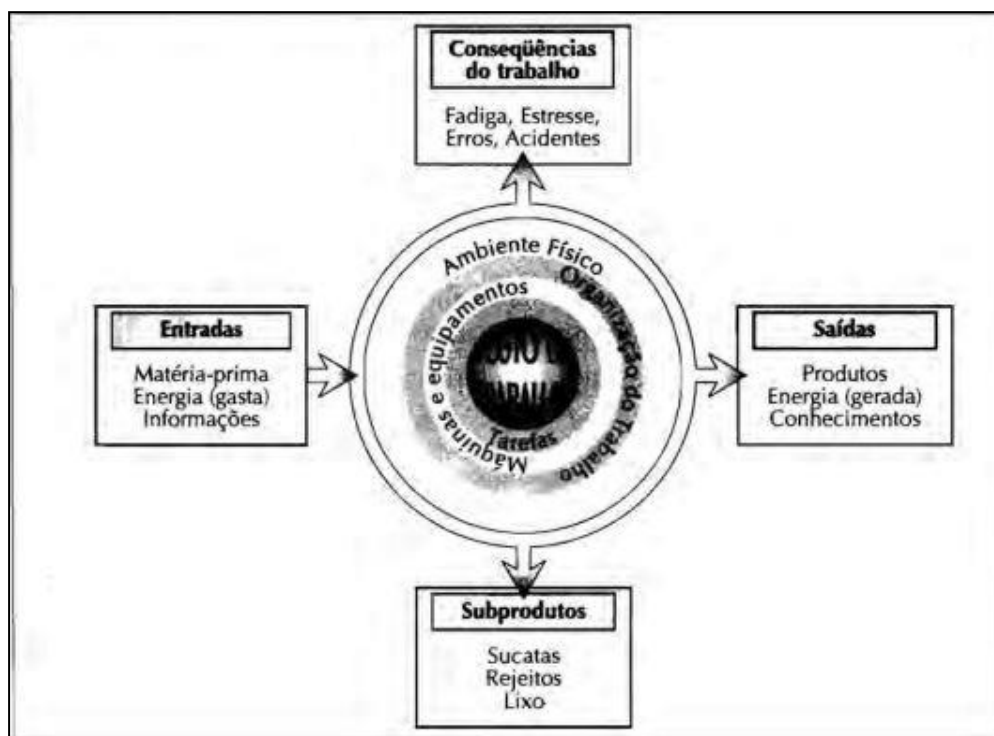
- Planejamento e Projeto, ocorrendo antes da realização do projeto;
- Monitoramento, avaliação e correção, ocorrendo durante a realização do projeto; e
- Análises posteriores.

Essas tarefas são utilizadas para saber se as necessidades foram alcançadas.

Segundo Iida [27], a Ergonomia parte da adaptação da tarefa ao trabalhador, uma abordagem antropocêntrica, onde as máquinas, ferramentas e serviços devem ser fáceis de operar, sem grande esforço para o trabalhador, respeitando suas características e limitações. Pode ocorrer do trabalhador ter que se adaptar ao trabalho, observado quando há uma preocupação prioritária com os aspectos técnicos.

A Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO) ⁴[28] define que a Ergonomia é a disciplina que estuda as interações entre os seres humanos e outros elementos do sistema de trabalho, além de estudar fatores que interferem no desempenho dos trabalhadores. O objetivo da Ergonomia é reduzir o estresse, fadiga, erros e acidentes, propiciando um ambiente seguro e consequentemente eficiente. A Figura 2.5 ilustra alguns fatores que influenciam no desempenho [27].

Figura 2.5 – Fatores que influenciam no desempenho



Fonte: Referência [27].

⁴ Associação Brasileira de Ergonomia: é uma associação sem fins lucrativos, cujo objetivo é contribuir para o avanço da ciência e da prática da ergonomia, assim como, ampliar a sua divulgação, estudando as interações das pessoas com a tecnologia, a organização e o ambiente, considerando as suas necessidades, habilidades e limitações.

Segundo a Associação Internacional de Ergonomia (IEA), a Ergonomia pode ser classificada em:

- Ergonomia Física: estudo da postura no trabalho, manuseio de materiais, movimentos repetitivos, segurança e saúde;
- Ergonomia Cognitiva: estudo da carga mental de trabalho, tomada de decisão, desempenho especializado, Interação Homem-Computador, confiabilidade humana, estresse profissional e a formação; e
- Ergonomia Organizacional: estudo do ambiente de trabalho, recursos coletivos, trabalho em grupo, gestão da qualidade e cultura organizacional.

No Brasil, a Ergonomia é regulamentada pela NR17 [29], que estabelece as diretrizes e os requisitos que possibilita a adaptação das condições psicofisiológicas às condições de trabalho, proporcionando conforto, segurança, saúde e desempenho eficiente.

2.3.1 Avaliação Ergonômica Preliminar (AEP)

Uma Avaliação Ergonômica Preliminar é requerida quando há necessidade de uma adaptação das características psicofisiológica dos trabalhadores, a fim contribuir para a implementação das medidas de prevenção e adequação das ações necessárias, ou seja, quando não se deseja uma análise mais detalhada das situações de trabalho [29]. A AEP pode ser realizada utilizando métodos quantitativos, semiquantitativos, qualitativos ou uma combinação de métodos [29].

2.3.2 Análise Ergonômica do Trabalho (AET)

Quando há necessidade de uma avaliação mais aprofundada acerca das situações de trabalho, lidando com problemas mais complexos, há necessidade da realização da Análise Ergonômica do Trabalho. Segundo [29], a AET deverá ser realizada quando:

- Observada a necessidade de uma avaliação mais aprofundada da situação: a AEP não foi suficiente para solucionar o problema apresentado;
- Identificadas inadequações ou insuficiência das ações adotadas: as ações adotadas não foram suficientes para eliminar os riscos ergonômicos;

- Sugerida pelo acompanhamento de saúde dos trabalhadores, nos termos do Programa de Controle Médico Ocupacional-PCMSO: quando há uma relação de piora das doenças apresentado por trabalhadores por conta das condições de trabalho; e
- Indicada causa relacionada as condições de trabalho: quando há um acidente no ambiente de trabalho que está relacionado com as condições ergonômicas do local.

A AET desenvolve-se em cinco etapas: análise da demanda, análise da tarefa, análise da atividade, formulação de diagnóstico e recomendações ergonômicas [27].

Na análise da demanda, é descrito o problema e a justificativa para uma análise ergonômica no ambiente, podendo ser solicitada pela empresa, trabalhadores ou até por órgãos de fiscalização das condições de trabalho. Nela são apresentadas a origem e o tamanho do problema.

A análise de tarefa busca a relação entre o que está descrito para os trabalhadores executarem, ou seja, o que está de acordo com o cargo de cada um de acordo com manual, procedimentos e regulamentos e a tarefa efetivamente executada pelo trabalhador.

Análise de atividade está relacionada com a forma do trabalhador executar uma tarefa imposta a ele, ou seja, a análise dos métodos utilizados. Tem associado o processo de adaptação e regulação por conta de fatores internos e externos do indivíduo, que tem por definição:

- Fatores internos: Características intrínsecas do indivíduo como sua formação, idade, sexo, motivação e resistência a fadiga; e
- Fatores externos: Condições na qual a atividade é executada. Possui quatro classificações principais: Conteúdo do trabalho, organização do trabalho, meios técnicos e condições ambientais.

A formulação de diagnóstico busca saber quais as causas que provocaram o problema apresentado na análise de demanda. Tem relação a causas relacionadas ao trabalho e à empresa que influenciam na atividade do trabalho [27].

Por fim, as recomendações ergonômicas apresentam as ações que deverão ser tomadas para sanar o problema apresentado, que devem ser claramente especificadas com instruções e etapas a serem seguidas [27].

3 METODOLOGIA

Para fundamentar este trabalho, tomou-se como referência de estudo a sala de controle do SB-R, como apresentado anteriormente, sendo a base de projeto para o SCPN.

3.1 Dados: Coleta e Tratamento

Os dados para o presente estudo foram coletados através de uma pesquisa exploratória por meio de um questionário digital, utilizando a plataforma Google Formulários, com militares do submarino “Humaitá” que operam na sala de controle denominada “COMANDO”. A coleta foi de forma única e anônima por parte dos militares. O questionário aplicado (apêndice), foi elaborado com referência em Iida [27] adaptado para as particularidades de um submarino.

O tratamento dos dados para gerar os resultados dessa pesquisa, foi realizado através da AET, verificando o ponto de vista dos operadores da sala “COMANDO”, sendo crucial para entender as dificuldades e pontos não favoráveis para o conceito ergonômico, e então sugerir melhorias que possam ser utilizadas na concepção da sala de controle do SCPN.

3.2 Limitações do Método e da Pesquisa

A pesquisa limitou-se à avaliação dos aspectos ergonômicos da sala “COMANDO” do submarino “Humaitá”. O questionário foi realizado com os militares que concorrem a escala de serviço na sala de controle. Este foi aplicado a 24 militares de diversas estações de trabalho e diferentes turnos, de forma a avaliar a configuração da sala, fatores ambientais, conforto e bem-estar dos operadores.

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados da pesquisa proposta, detalhando as informações coletadas e análise sobre os resultados encontrados fundamentada em AET. Por fim, apresenta sugestões de melhorias no aspecto ergonômico da sala “COMANDO” do submarino “Humaitá” que poderão ser utilizadas na concepção da sala de controle do SCPN.

4.1 Coleta de informações com especialistas

O formulário, com questões objetivas e subjetivas, foi disponibilizado para preenchimento através da plataforma Google Formulários, durante o período de dois dias e contou com a participação de 24 militares.

As respostas possibilitaram uma análise quantitativa e a possibilidade de melhoria no aspecto ergonômico do ambiente. As perguntas foram divididas em sete partes, que abordaram os seguintes tópicos:

- I. Informações gerais;
- II. Ergonomia e configuração da sala de controle;
- III. Mobiliário e equipamentos;
- IV. Ambiente;
- V. Atividade e tarefas;
- VI. Saúde e bem-estar; e
- VII. Comentários finais.

Sobre o primeiro tópico do questionário, trata-se das informações sobre os militares, delimitando assim a população dessa pesquisa. Na tabela 4.1, apresenta-se o percentual sobre o posto/graduação e tempo de serviço dessa população.

Tabela 4.1 – Distribuição do tempo de embarque no Submarino por Posto/Graduação

TEMPO EMBARCADO NO SUBMARINO	OFICIAL	SO/1SG	2SG/3SG
MENOS DE 1 ANO	25%	0,00%	17%
1 ANO	0,00%	0,00%	0,00%
2 ANOS	50%	0,00%	0,00%
MAIS DE 2 ANOS	25%	100%	83%

Fonte: elaborado pelo autor.

Através da análise de dados apresentados na tabela supracitada, verifica-se que em sua maioria, os militares respondentes da pesquisa possuem dois anos ou mais embarcados, demonstrando assim experiência no guarnecimento do serviço.

4.2 Análise dos resultados fundamentada na AET

A análise ergonômica do trabalho inclui a avaliação da forma que as condições do ambiente afetam a segurança, desempenho e saúde dos trabalhadores. Foi realizado uma análise das demais partes da pesquisa, separadas por áreas de atuação e foram sugeridas possibilidades de melhora no aspecto ergonômico.

Com base no estudo das respostas dos especialistas consultados, foram avaliados os seguintes aspectos: a) ergonomia e configuração da sala; b) Mobiliários e equipamentos; c) Ambiente; d) Atividades e tarefas; e) Saúde e bem-estar; e f) Comentários finais. Esses aspectos são discutidos na sequência.

4.2.1 Ergonomia e configuração da sala

A sala de controle do submarino é composta por uma série de monitores fixados em mesas em que os operadores ficam sentados à frente coletando as informações necessárias para a segurança do submarino. Para 87% dos militares, a posição dos painéis de controle e monitores possibilitam a visualização de todas as informações necessárias.

Quanto ao espaço na estação de trabalho, para 60,9% dos militares é possível se movimentar de forma confortável durante seu serviço sem se ausentar do seu lugar. 30,4% dos avaliados mencionaram que não é possível se movimentar sem a necessidade de se levantar da cadeira indicando que em alguns pontos o espaço fica restrito para movimentação. Por fim, 6,7% não relataram desconforto.

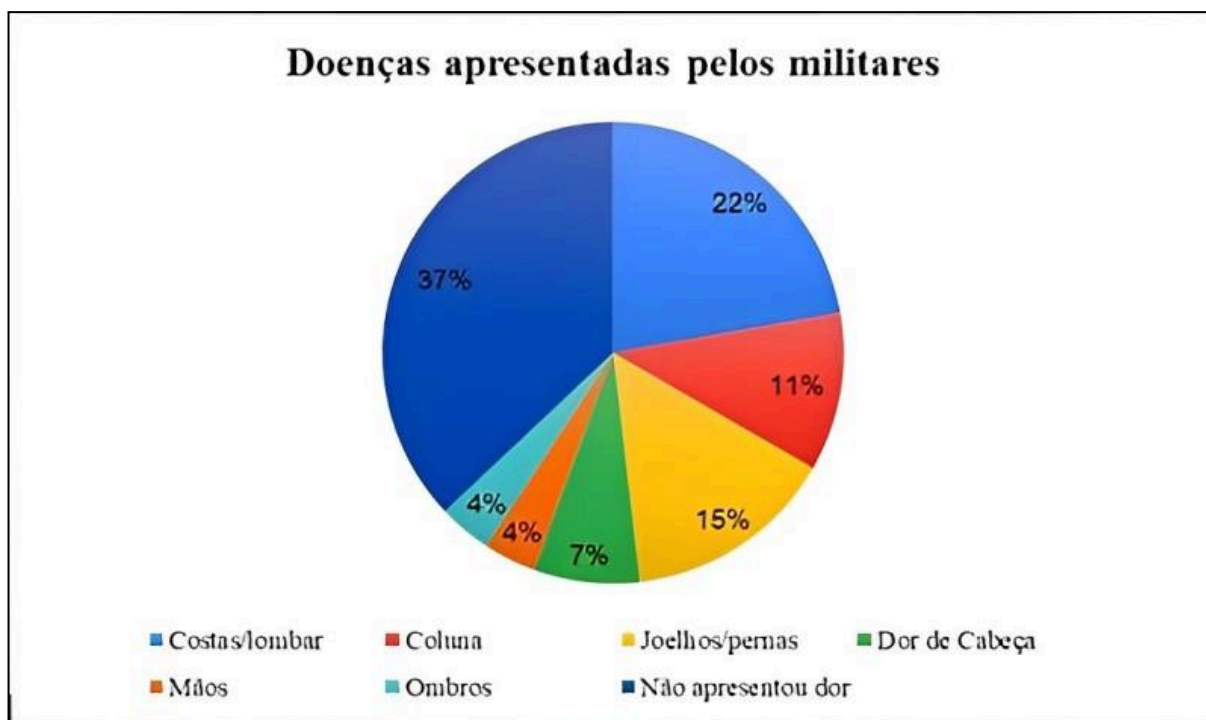
A IHM disposta no Submarino foi considerada satisfatória, com 87% das respostas que é possível alterar as telas de informações dos monitores, indicando que há uma boa interação entre o operador e o sistema.

4.2.2 Mobiliário e equipamentos

Esse foi um dos pontos críticos da análise para a maioria dos militares, relatando que as cadeiras são fixas, não permitindo um ajuste do posicionamento antes do início do período de serviço. Além disso, o material de encosto e assento das cadeiras são compostos por uma espuma densa e rígida, gerando um pouco de desconforto quando utilizada por longos períodos. Foi relatado também que a mesa é de posição fixa, não permitindo ao operador o ajuste e fazendo com que ele envergue sua coluna para realizar alguma atividade, como por exemplo, na navegação.

O gráfico 4.1, apresenta as principais doenças apontadas pelos especialistas após o período que permanecem de serviço. Doenças em comum como nas costas, coluna e joelhos podem indicar uma possível falha na escolha da qualidade do material das cadeiras ou falhas em seu posicionamento para operação.

Gráfico 4.1 - Principais doenças apresentadas pelos militares



Fonte: elaborado pelo autor.

Visto isso, podemos verificar a importância em adquirir um mobiliário ajustável e confortável para a sala de controle, relacionando-se com a saúde, desempenho e conforto dos trabalhadores, além de contribuir para a prevenção de lesões ocupacionais.

Na verificação se os dispositivos de entrada e as telas sensíveis ao toque eram ergonômicas para o serviço, para 60,9% dos militares estavam posicionadas de forma a garantir o trabalho confortável, entretanto alguns militares apresentam dores de cabeça por conta da iluminação dos consoles das IHM, pois em alguns não é possível realizar o ajuste de brilho para conforto ocular.

4.2.3 Ambiente

Por ser um submarino, a iluminação do ambiente é toda de forma artificial, com luminárias com luzes brancas e vermelhas, a depender do horário. A avaliação desse ponto foi considerada satisfatória, o arranjo das luminárias não causa reflexo na tela dos monitores em nenhuma ocasião e não causa desconforto ocular para os operadores.

Foi analisado também o conforto térmico da sala de controle, que para os operadores é confortável. O ar condicionado do submarino permanece ligado durante as 24h em temperatura ajustável e monitorada por todo o ambiente interno através de Unidades Centrais. A sala de controle dispõe de saídas de ar na parte superior e espalhadas uniformemente.

4.2.4 Atividades e tarefas

Por conta da complexidade da tarefa do submarino, na sala de controle há um grande número de tarefas a serem realizadas. Com isso, faz necessário um controle do fluxo de militares transitando no ambiente pois contribuem para a alteração do nível de concentração dos demais.

Nesse contexto, foi questionado sobre a necessidade de levantar da estação para acionar algum controle ou botão, ao passo que para 78,3% dos militares ocasionalmente essa ação é necessária para o andamento do serviço e para 13%, sempre é preciso se levantar da cadeira para realizar algum tipo de tarefa durante o serviço. Ou seja, mais de 91% dos militares necessitam de mobilização dentro do espaço para realização de alguma tarefa,

indicando que em alguns pontos não possuem conceito ergonômico. Isso deve-se por conta da complexidade em equilibrar o espaço disponível com a funcionalidade da estação de trabalho.

O fluxo intenso de pessoas na sala confinada pode levar a desatenção de outros operadores que estão no mesmo ambiente. Nesse sentido o fluxo intenso de informações transitando no ambiente de espaço restrito, torna-se uma das principais causas que influem no erro humano por desatenção [16].

Ainda sobre o tema, foi questionado sobre a possibilidade de fazer pausas e alongamentos durante o serviço, e 82,6% dos militares afirmaram não ser possível, visto que há a necessidade em manter-se focado nos monitores e não possuir outro militar que possa assumir a posição por algum momento.

4.2.5 Saúde e bem-estar

Sobre o tema saúde e bem-estar, sabe-se que em muitas situações o alto nível de estresse afeta consideravelmente a capacidade cognitiva dos militares. Nessas ocasiões, os militares estando muito bem treinados (inclusive sobre situações de crises em ação de combate) estão mais propensos a cumprir os procedimentos previstos, (mesmo com um ambiente/situação fora dos padrões), além de propiciar uma comunicação mais eficaz.

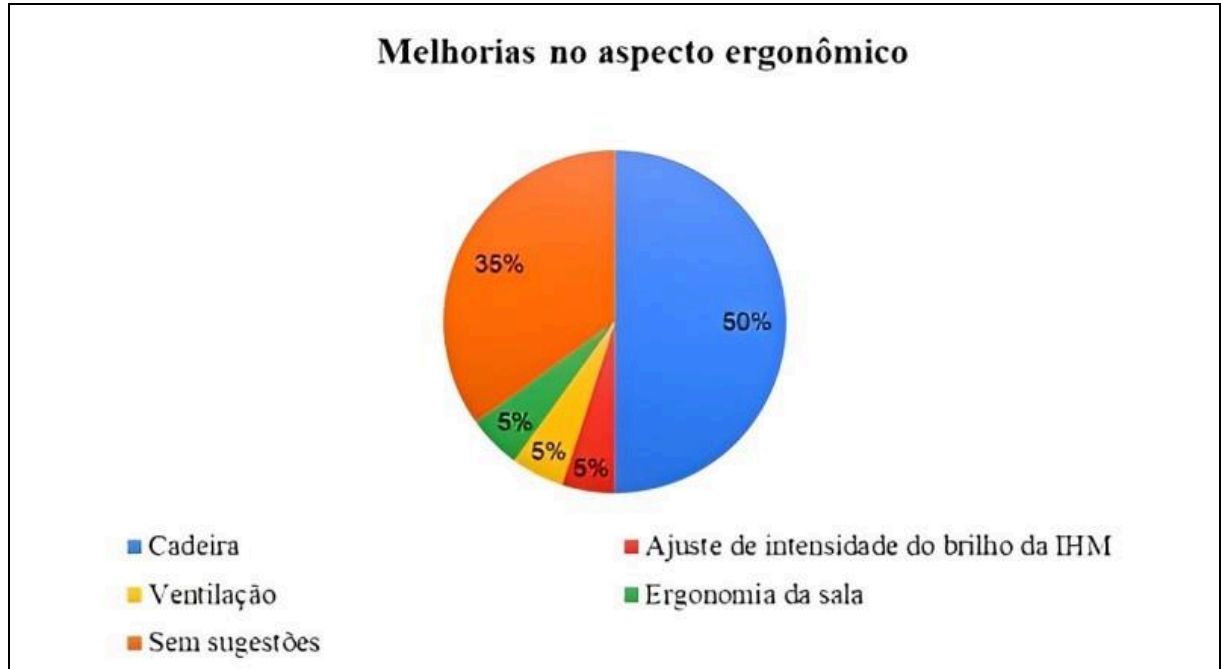
Sobre esta pesquisa, 47,8% dos militares afirmaram sentir desconforto físico e fadiga por conta do serviço. Dentre os desconfortos mais citados estão dores no joelho e na coluna, o que pode estar relacionado com a posição do mobiliário apresentado no item 4.2.2.

4.2.6 Comentários finais

As sugestões recebidas no questionário oferecem percepções sobre as condições de trabalho na sala de controle do submarino. É fundamental que se estabeleça canais de comunicação abertos e eficazes, de forma a facilitar o recebimento de sugestões dos operadores e em seguida, avaliar se é possível a implementação.

O gráfico 4.2 apresenta as opiniões dos operadores para que, na visão deles, se tenha uma melhora dos aspectos ergonômicos do ambiente. A opinião do operador é baseada na experiência prática, identificação de possíveis problemas, melhora contínua e segurança e eficiência.

Gráfico 4.2 - Melhorias no aspecto ergonômico da sala de controle



Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 Sugestão para melhoria do aspecto ergonômico da Sala de Controle de SB-R aplicado ao SCPN

A pesquisa possibilitou um levantamento de pontos em que há necessidade de ação para melhora dos aspectos ergonômicos e foram apresentadas recomendações para o aprimoramento do espaço, fundamentadas na Análise Ergonômica do Trabalho realizada no item 4.2.

1. Substituir as cadeiras por modelos mais confortáveis e que permitam ajustes de sua posição. Isso garante que o operador adote a posição mais confortável para garantir o desempenho e segurança do seu serviço;
2. A mesa de Navegação deverá possuir ajuste de altura fim possibilitar que o operador encontre a melhor posição para realizar a tarefa, visto que um militar com alta estatura realizará um movimento mais agressivo para sua coluna cervical durante seu serviço;

3. Inserir na IHM possibilidade de controlar alguns equipamentos frente a necessidade dos operadores. Isso reduziria a frequência do operador se levantar da estação para atuar em algum sistema, ou também dispor os controles próximos as estações de interesse, reduzindo dessa forma o trânsito de pessoas no ambiente;
4. Inserir nos consoles ajustes de brilho e filtros de tela que possibilitem o conforto ocular, principalmente no período noturno, onde as luzes do ambiente são reduzidas e alteradas para a cor vermelha; e
5. A configuração do arranjo da sala de controle foi considerada satisfatória. Os monitores e a maioria dos painéis estão fixados em locais de interesse para quem os opera. A sugestão é que o arranjo da sala de controle do Submarino “Humaitá” seja tomado como base para o SCPN.

5 CONCLUSÃO

O objetivo da ergonomia é conceber um ambiente que se adapte ao operador e nas suas tarefas, estudando três principais campos: ergonomia cognitiva, organizacional e a física. A integração da IHM se faz necessário para o desempenho e segurança dos operadores em uma sala de controle e deve ser acompanhado desde o início do desenvolvimento e realizando adaptações necessárias ao longo do processo, para que ao final obtenha uma validação eficiente sobre o produto.

A construção de um submarino desafia a arquitetura, a engenharia e a ergonomia, com a necessidade de instalar os sistemas necessários da plataforma em uma sala de controle com espaço restrito e de forma ergonômica. Ao longo do período embarcado, os militares do submarino sofrem esforços cognitivos e físicos, por conta do desgaste da tarefa em manter o nível máximo de atenção e desempenho em diversas tarefas, principalmente para garantir a segurança do meio. Esta pesquisa buscou a opinião dos militares operadores de um submarino, sobre o contexto de ergonomia no ambiente de trabalho, com intuito de visualizar parâmetros para melhoria e otimização do ponto de vista prático dos militares.

O acidente de *Three Mile Island* (EUA), citado nessa monografia, tratou-se da consequência de uma série de pequenos erros de interpretação e procedimentos pelos operadores da central nuclear. Além de não possuírem uma qualificação rigorosa e também não dispor de procedimentos padronizados para situações de emergência, contavam com muitos erros de projeto no arranjo da sala de controle.

Conforme mencionado nessa pesquisa, as normas ISO 11064 [18] juntamente com a NUREG 0711 [23] especificam as diretrizes para elaboração de uma sala de controle nuclear. Para que haja uma validação ao longo do projeto, foram desenvolvidos os simuladores e a realidade virtual, que apresentam características e desenhos idênticos ao de uma sala de controle real para auxiliar na formação e qualificação dos operadores. Dessa forma a Eletronuclear lançou a primeira sala de realidade virtual, montada retratando fielmente CNAAA 1, na América do Sul, aumentando o grau de qualificação e nível de formação de seus operadores.

A Marinha do Brasil recebeu da França, como uma das transferências de tecnologia do contrato do PROSUB, sofisticados simuladores para treinamentos dos seus militares (os quais contam com avaliações de posicionamento e gerenciamento de dispositivos, controle de bombas, válvulas, controle da plataforma, combate e retorno à cota

periscópica) permitindo que os operadores tenham a percepção de estarem em lugares realistas por conta dos sofisticados softwares.

O presente estudo buscou reunir e apresentar a literatura existente sobre sala de controle de um submarino nuclear, com foco em ergonomia, onde foram apresentados resultados obtidos em uma pesquisa de campo exploratória sobre o ponto de vista dos militares desse tipo de embarcação para melhoria da ergonomia no ambiente de trabalho, otimização de processos e qualidade de vida.

Os resultados apresentados pela pesquisa foram recomendações para aumento do conforto e bem-estar dos militares que trabalham na sala de controle do submarino, baseados na AET, de forma a garantir o desempenho e eficiência no serviço.

O ponto principal de conforto foram as cadeiras, que deverão ser compostas por um material macio e confortável para o período do serviço, bem como possibilitar ajustes de acordo com as características antropométricas do militar.

Por fim, conclui-se que a sala de controle do submarino “Humaitá” poderá ser utilizada como base de projeto para o SCPN, com ressalvas nos pontos apresentados no item 4.3.

5.1 Sugestões para Futuros Trabalhos

Para trabalhos futuros, sugere-se os seguintes pontos:

- Ampliar o campo de estudo, ou seja, envolver mais militares da “área” de submarinos e até ampliar a amostragem para militares atuantes em submarinos nucleares já atuantes do exterior;
- Focar em fluxo de informações dentro de um submarino, como otimizar e simplificar, tornando mais eficiente e eficaz a comunicação dentre os militares dos mais diversos setores;
- Estudo sobre a interação IHM para aumento do desempenho dos militares em suas funções, visto que o SCPN será um meio de dissuasão e negação do uso do mar ao inimigo, garantindo nossas riquezas marítimas.

REFERÊNCIAS

- [1] DUNCAN, FRANCIS. **Rickover and the Nuclear Navy: the discipline of technology**. 1. ed. Maryland: Naval Institute Press, 1990. 416 p. ISBN 0-87021-236-2.
- [2] LANA, L. **Submarinos: Defesa e desenvolvimento para o Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Versal editores, 2014. v. 1.
- [3] ALBUQUERQUE, T. R. DE. **Metodologia para tomada de decisão sobre erro humano com base nas medidas de importância da avaliação probabilística de segurança**. Orientador: José de Jesus Rivero Oliva e Pedro Luiz da Cruz Saldanha. 2023. 128 f. Tese (Doutorado) - UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2023.
- [4] SWATON, E. *et al.* Human factors in the operation: Improving the way man and machines work together. **Nuclear power & safety**, [s. l.], v. 4, p. 27-33, 1987.
- [5] POLMAR, N; MOORE, K. J. **Cold War Submarines: the design and construction of U.S and Soviet Submarines**. 1. ed. Virginia: Potomac books, 2004. 432 p. ISBN 978-1-57488-530-9.
- [6] CAVALCANTE, Kleber G. "Acidentes Nucleares"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/acidentes-nucleares.htm>. Acesso em 10 de setembro de 2023.
- [7] FERNANDES, K. C. M. Psicologia de Submarino: ferramenta de adaptação a partir da interface relacional dos fatores humanos. **O Periscópio**, [s. l.], ed. 71, p. 122-126, 2020.
- [8] VERNE, J. **Vinte mil léguas submarinas: Tradução de Júlia Rosa Simões**. 1. ed. São Paulo: Penguin Classics Companhia de letras, 2014.
- [9] Force submarine library and museum association (ed.). history of uss nautilus. *In: History of uss nautilus*. [S. l.]. Disponível em: <https://ussnautilus.org/history-of-uss-nautilus/>. Acesso em: 10 set. 2023.
- [10] FILHO, J.R.M. Visões civis sobre o submarino nuclear brasileiro. **Revista brasileira de ciências sociais**, [s. l.], v. 29, ed. 85, p. 129-224, 2014.
- [11] ALMEIDA, M. M. **A sobrevivência da OTAN no pós-guerra fria: o cenário de mudanças no paradigma das dinâmicas de segurança**. Orientador: Prof. Graciela de Conti Pagliari, PhD. 2012. 77 f. Monografia (Bacharelado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- [12] FILHO, J.R.M. Visões civis sobre o submarino nuclear brasileiro. **Revista brasileira de ciências sociais**, [s. l.], v. 29, ed. 85, p. 129-224, 2014.

- [13] NARRATIVA UM. **Seis décadas do Convênio entre a Marinha do Brasil e a Universidade de São Paulo: 60 anos da primeira turma de engenheiros navais do Brasil**. 1. ed. São Paulo: Narrativa Um Projetos e Pesquisas de História, 2019. 180 p. v. 1.
- [14] PEREIRA, R. **O que é a Amazônia Azul e por que o Brasil quer se tornar potência militar no Atlântico**. [S. l.], 1 nov. 2019. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/economia-azul/noticias/o-que-%C3%A9-amaz%C3%B4nia-azul-e-por-que-o-brasil-quer-se-tornar-pot%C3%Aancia-militar-no-atl%C3%A2ntico>. Acesso em: 23 nov. 2023.
- [15] CALIL, A.; AZEREDO, R. **The Economist: Brasil pode ter submarino nuclear antes da Austrália**. São Paulo: The Economist, 13 out. 2023. Disponível em: <https://www.defesanet.com.br/aviacao/noticia/42371/the-economist-brasil-pode-ter-submarino-nuclear-antes-da-australia/>. Acesso em: 19 set. 2023.
- [16] STANTON, N. A.; ROBERTS, A.P.J. Block off: an examination of new control room configurations and reduced crew sizes examining engineered production blocking. **Cognition, Technology & Work (2020)**, [S. l.], p. 22:29-55, 14 fev. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10111-019-00542-x>.
- [17] SANTOS, I. J. A. L.; CARVALHO, P. V. R. de. A ergonomia no licenciamento de instalações nucleares. **Ação ergonômica**, Rio de Janeiro, v. 2, ed. 1, p. 59-74, 2004.
- [18] _____. **ISO 11064-3 – Ergonomic design of control centres – Part 3: Control room layout**. Geneve, 2002.
- [19] VASCONCELOS, C. S. F. **Ergonomia e projetos de ambiente em salas de controle: um estudo de caso em empresa do setor hidrelétrico**. Orientador: Prof. Marcelo Marcio Soares, PhD. 2009. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.
- [20] PIMENTA, R. **Desastre relembrado na série 'Chernobyl' inspirou protocolos de segurança em Angra**. Rio de Janeiro: O Dia, 1 jul. 2019. Disponível em: https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=40&campo=12465. Acesso em: 21 set. 2023.
- [21] MORRISON, G. **A tour of the ballistic missile submarine Redoutable**. [S. l.]: CNET, 26 jun. 2014. Disponível em: <https://www.cnet.com/pictures/a-tour-of-the-ballistic-missile-submarine-redoutable/>. Acesso em: 22 set. 2023.
- [22] AVELLAR, R.; SCHIRRU, R. Applying Human Factors Engineering Program to the Modernization Project of NPP Control Room in accordance with U.S.NRC and KTA Regulations. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, [s. l.], p. 1-10, 2019.
- [23] U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. **NUREG-0711 - Human Factors Engineering Program Review Model**, 3ªREV ed., New York: Office Of Nuclear Regulatory Research, 2012.

- [24] GRECCO, C.H.S. *et al.* Virtual reality technology as a tool for human factors requirements evaluation in design of the nuclear reactors control desk. **International Nuclear Atlantic Conference**, São Paulo, 2007.
- [25] KEMENY, J. G. **The President's Commission on the accident at TMI**. Washington: U. S. Government Printing Office, 2019.
- [26] SANTOS, I. J. A. L.; CARVALHO, P. V. R. de. International conference on the operational safety performance in nuclear installations, 2005, Vienna. **Ergonomics as Aid Tool to Identify and to Analyze Factors That Can Affect the Operational Performance of Nuclear Power Plants** [...]. [S. l.: s. n.], 2005.
- [27] IIDA, I.; BUARQUE, L. **Ergonomia**: Projeto e produção. São Paulo: Blucher, 2016. 850 p. ISBN 978-85-212-0933-1.
- [28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ERGONOMIA. **O que é ergonomia?** Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.abergo.org.br/o-que-%C3%A9-ergonomia>. Acesso em: 15 set. 2023.
- [29] GOVERNO FEDERAL. 2022. **NR - 17**: Ergonomia, [S. l.], 2022.

APÊNDICE – QUESTIONÁRIO

O Questionário está dividido em sete partes, sendo anônimo e busca coletar dados dos militares que concorrem a escala de serviço na sala de controle (CIC/Máquinas/Comando) do Submarino como forma de subsídios para a pesquisa da Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial a conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Tecnologia Nuclear 2023 com título: Proposta de arranjo de sala de controle de Submarino Nuclear fundamentada na AET (Análise Ergonômica do Trabalho).

Parte I - Informações Gerais

1. Qual seu posto/graduação:
 - a. Oficial
 - b. Suboficial/1SG
 - c. 2SG/3SG
 - d. CB
2. Qual sua faixa etária:
 - a. Menos de 20
 - b. 21-30
 - c. 31-40
 - d. Mais de 40
3. Há quanto tempo você está embarcado no submarino?
 - a. Menos de 1 ano
 - b. 1 ano
 - c. 2 anos
 - d. Mais de 2 anos

Parte II - Ergonomia e configuração da sala:

1. A posição dos monitores e painéis de controle possibilitam visualizar todas as informações importantes?
 - a. Sim
 - b. Não
 - c. Não sei
2. Há espaço para você se mover sem necessidade de levantar de sua cadeira, considerando a restrição de espaço no submarino?
 - a. Sim
 - b. Não
 - c. Não sei
3. Você consegue alterar a tela de apresentações dos monitores facilmente?
 - a. Sim
 - b. Não
 - c. Não sei

Parte III – Mobiliário e Equipamentos:

1. A cadeira utilizada é ajustável e oferece suporte adequado a sua coluna, considerando o tempo prolongado na mesma posição?
 - a. Sim
 - b. Não
 - c. Não sei
2. A posição dos monitores ou das mesas podem ser ajustadas de acordo com a altura da pessoa de serviço no horário??
 - a. Sim
 - b. Não
 - c. Não sei
3. Os teclados, mouses e telas touch screen estão posicionados de forma confortável para sua posição natural de serviço, ou seja, você consegue trabalhar de forma confortável?
 - a. Sim
 - b. Não
 - c. Não sei

Parte IV – Ambiente

1. A iluminação do ambiente é adequada para que não haja uma fadiga ocular intensa ou crie reflexos nas telas?
 - a. Sim
 - b. Não
 - c. Não sei
2. A temperatura e a ventilação no ambiente são mantidas confortavelmente, levando em consideração ser um ambiente confinado?
 - a. Sim
 - b. Não
 - c. Não sei

Parte V – Atividades e Tarefas

1. Quais são as principais tarefas ou responsabilidades que você desempenha durante seu serviço?
2. Com que frequência você precisa se levantar para alcançar controles ou botões durante seu trabalho?
 - a. Sempre
 - b. Às vezes
 - c. Nunca
3. Há momentos de alto estresse ou picos de atividade que afetam sua postura e desempenho no serviço? Caso sim, altera sua capacidade de absorver e interpretar informações importantes?

Parte VI – Saúde e Bem-Estar:

1. Você já apresentou algum desconforto físico, fadiga ou dores relacionadas ao seu serviço na sala de controle? Se sim, onde?
2. Você tem oportunidade de fazer pausas regulares e esticar-se durante o serviço?
 - a. Sempre
 - b. Às vezes
 - c. Nunca

Parte VII - Comentários Finais:

1. Você tem alguma sugestão de melhoria nas questões apresentadas nessa pesquisa?