

Marcos William Magalhães Leiras de Carvalho

**ELEMENTOS PARA UM PLANO DE EMERGÊNCIA ENVOLVENDO O
TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIAL FÍSSIL PARA O SUBMARINO
NUCLEAR BRASILEIRO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para obtenção da certificação de Especialista pelo Programa de Pós-Graduação em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas do Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Orientador: Dr. Paulo Fernando Lavalle
Heilbron Filho, D.Sc.

Rio de Janeiro – Brasil

Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia
Nuclear

Coordenação de Pós-Graduação

2019

T
614.876
C331e

Carvalho, Marcos William Magalhães Leiras de
Elementos para um Plano de Emergência envolvendo o transporte
terrestre de material físsil para o Submarino Nuclear Brasileiro / Marcos
William Magalhães Leiras de Carvalho / Rio de Janeiro: IRD/IAEA, 2019.
XIII, 101 f.: il.; gr.; tab.; 29 cm.

Orientador: Dr. Paulo Fernando Lavalle Heilbron Filho

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização (Lato Sensu) em
Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas) – Instituto de
Radioproteção e Dosimetria. 2019.

Referências bibliográficas: f. 77-86

1. Transporte de Material Radioativo.
2. Emergências Radiológicas.
3. Submarino Nuclear.

Marcos William Magalhães Leiras de Carvalho

**ELEMENTOS PARA UM PLANO DE EMERGÊNCIA ENVOLVENDO O
TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIAL FÍSSIL PARA O SUBMARINO
NUCLEAR BRASILEIRO**

Rio de Janeiro, 23 de setembro de 2019.

Prof. Dr. Paulo Fernando Lavalle Heilbron Filho – DIREJ/CNEN

Prof. Dr. Fernando Barcellos Razuck – IRD/CNEN

Prof. Dr. José Ubiratan Delgado – IRD/CNEN

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, sob a orientação do Prof. Dr. Paulo Fernando Lavalle Heilbron Filho.

Ao pequeno David, presente de Deus.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pelo sustento diário e forças para vencer obstáculos.

À toda minha família. Em especial, à minha esposa Mariana, meu filho David e meu próximo filho(a) que está chegando para alegrar a todos. À Sandra Gouvea, sempre disposta a se sacrificar com amor maternal, à minha avó Helena Magalhães e ao meu tio João Carlos Gouvea, pelo grande apoio nas horas difíceis.

Ao Prof. Dr. Paulo Fernando Lavalle Heilbron Filho, pela paciência, suporte e disponibilidade na orientação deste trabalho, pelos valiosos conhecimentos transmitidos e pela confiança depositada.

À Marinha do Brasil, pela oportunidade de estudar e investir no meu crescimento profissional, em especial ao CMG Costa Barros, CMG (T) Leite, CF (EN) Fernanda Leal, CC (RM1-T) Jacqueline, CT (EN) Ciasca, CT (EN) Amilton e CT (EN) Brasil.

Ao Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) e à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), pela oportunidade de realizar o curso, bem como a todo Corpo Docente, pelo conhecimento, respeito, profissionalismo e excelentes valores transmitidos em sala de aula.

Aos amigos e colegas da turma de Especialização de 2019, por transformar nosso ambiente diário de estudo em um local de amizade, cooperação e companheirismo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho tem como foco a identificação de prováveis cenários de emergências radiológicas e nucleares, envolvendo o transporte do elemento combustível do Submarino Nuclear Brasileiro, um material físsil constituído de urânio enriquecido em patamar inferior a 20%, considerando o trajeto de Aramar em Iperó/SP até o EBN-PROSUB, em Itaguaí/RJ. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica, com base em literaturas específicas de Radioproteção e Dosimetria, Energia Nuclear e Ciências Navais. A partir da NE-CNEN 5.01 e de outras normas nacionais e internacionais, aplicadas ao transporte de material radiativo, foi possível descrever as principais etapas inerentes, as premissas e requisitos básicos para um traslado seguro e eficiente, visando a salvaguarda de materiais, do meio ambiente e, principalmente, das pessoas. Como foco do trabalho, foi elaborada uma planilha anexa, contendo todos os cenários identificados e suas respectivas propostas de prevenção e remediação, a fim de levantar elementos que poderão auxiliar futuros planos de gestão de risco e respostas a cenários de emergência na etapa do transporte do combustível.

Palavras chaves: Transporte de Material Radioativo. Emergências Radiológicas. Submarino Nuclear.

ABSTRACT

The present work focuses on the identification of probable radiological and nuclear emergency scenarios, involving the transportation of the fuel element of the Brazilian Nuclear Submarine, a fissile material consisting of nearly 20% enriched uranium, considering the route from Aramar in Iperó/SP to the EBN-PROSUB, in Itaguaí/RJ. For this, a literature review was developed, based on specific literature on Radioprotection and Dosimetry, Nuclear Energy and Naval Sciences. With NE-CNEN 5.01 and other national and international standards applied to the transport of radioactive material, it was possible to describe the main inherent steps, premises and basic requirements for safe and efficient transport, to the safeguarding of the materials, the environment and, especially, of the people. As a focus of the work, an attached spreadsheet, was prepared, containing all identified scenarios and their respective prevention and remediation proposals, to assist future risk management plans and emergency responses to the fuel transportation stage.

Keywords: Transport of Radioactive Material. Radiological Emergencies. Nuclear Submarine.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. DA ANTIGUIDADE CLÁSSICA ÀS GRANDES NAVEGAÇÕES DOS SÉCULOS XV E XVI.....	1
1.2. A IMPORTÂNCIA DO MAR PARA O BRASIL IMPERIAL.....	3
1.3. A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O INÍCIO DA ERA DO ÁTOMO.....	6
2. OBJETIVOS.....	10
3. JUSTIFICATIVA.....	11
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
4.1. A AMAZÔNIA AZUL.....	13
4.2. A GUERRA DA LAGOSTA.....	15
4.3. O PROGRAMA NUCLEAR DA MARINHA.....	17
4.4. O SUBMARINO NUCLEAR.....	20
4.1.1. Características.....	21
4.1.2. Atuação na Guerra das Malvinas.....	23
4.1.3. O Programa de Submarinos (PROSUB).....	25
4.1.4. Logística de Construção e Instalações de Apoio.....	26
4.1.5. O Submarino Nuclear Brasileiro (SN-BR).....	28
5. GENERALIDADES DO TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIAL RADIOATIVO E PREMISSAS BÁSICAS.....	30
5.1. A NORMA 5.01 DA CNEN.....	31
5.1.1. Generalidades.....	31
5.1.2. Classificações e Embalados.....	32
5.1.3. Requisitos Operacionais, Documentações e Sinalizações.....	34
5.1.4. Tipos de Embalados e Requisitos.....	37
5.2. EMERGÊNCIA NO TRANSPORTE.....	39
5.3. NORMAS INTERNACIONAIS E BRASILEIRAS COMPLEMENTARES.....	40
5.3.1. Um Panorama das Normas Internacionais.....	40
5.3.2. Outras Normas Brasileiras.....	42

6. ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS PARA O SUBMARINO NUCLEAR.....	46
6.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS.....	46
6.2. O COMBUSTÍVEL DO SN-BR.....	49
7. ELEMENTOS PARA UM PLANO DE EMERGÊNCIA, CONSIDERANDO AS DIVERSAS ETAPAS DO TRANSPORTE TERRESTRE PARA MATERIAIS FÍSSEIS.....	50
7.1. GENERALIDADES.....	50
7.2. MATERIAIS FÍSSEIS E CRITICALIDADE.....	54
7.3. O BATALHÃO DE DEFESA NUCLEAR, BIOLÓGICA, QUÍMICA E RADIOLÓGICA.....	55
7.4. ETAPAS DO TRANSPORTE TERRESTRE E RISCOS INERENTES.....	57
7.4.1. Embalagens.....	57
7.4.1.1. Requisitos Gerais.....	57
7.4.1.2. Ensaios do Embalado.....	62
7.4.2. Içamento e Fixação no Veículo.....	63
7.4.3. Translado.....	64
7.4.3.1. Riscos e Condições Gerais.....	64
7.4.3.2. Rotas Terrestres.....	66
8. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	70
9. CONCLUSÕES.....	71
ANEXO A – SINTESE DE POSSÍVEIS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA PARA O TRANSPORTE TERRESTRE DO COMBUSTÍVEL DO SN-BR.....	73
ANEXO B – CARTA DE ALBERT EINSTEIN AO PRESIDENTE ROOSEVELT.....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Países detentores da capacidade de projeto, construção, manutenção e operação de submarinos nucleares na atualidade, com a identificação da primeira embarcação e ano de lançamento.....	21
Tabela 2 – Diferenças básicas entre submarinos convencionais e nucleares, em geral, em termos de propulsão, profundidade de operação, tempo máximo de imersão, deslocamento, velocidade e emprego estratégico.....	22
Tabela 3: Tabela demonstrativa da Categoria dos Embalados e do veículo.....	36
Tabela 4: Principais normas internacionais para transporte doméstico e internacional, com porcentagem dos membros que regulam suas atividades utilizando os referidos documentos.....	41
Tabela 5: Cinco documentos da AIEA, da <i>Safety Series</i> , para transporte de materiais radioativos.....	42
Tabela 6: Normas da ABNT para o setor nuclear e radiológico.....	45
Tabela 7: Síntese das faixas de enriquecimento do elemento combustível dos SN.....	47
Tabela 8: Compostos de urânio e seus riscos à saúde humana.....	53
Tabela 9: Apoio para seleção de embalados para materiais físséis.....	60
Tabela 10: Síntese dos possíveis cenários de emergência de transporte, com ações de prevenção e remediação.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Embarcação chinesa dotada de leme de popa, que podia ser erguido ou abaixado, conforme a necessidade. Este invento foi bastante útil para navegações próximas à costa, em portos lotados e canais estreitos e rasos (MESQUITA, 2018).....	3
Figura 2: Pintura a óleo sobre tela do artista catarinense Victor Meirelles (1883), que integra o acervo do Museu Histórico Nacional, retratando a vitória brasileira na Batalha Naval do Riachuelo. Ao centro, o Almirante Barroso (mais tarde <i>Barão do Amazonas</i>), comandante da Força Naval brasileira, que, com coragem e determinação, empregou a Fragata <i>Amazonas</i> no abalroamento e destruição dos navios inimigos, aniquilando, praticamente, toda a Esquadra paraguaia.....	5
Figura 3: Primeiro reator nuclear da história, construído em 1942, na Universidade de Chicago, Estados Unidos.....	8
Figura 4: Representação esquemática da <i>Amazônia Azul</i>	14
Figura 5: O sobrevôo de patrulha da aeronave RB-17G da Força Aérea Brasileira (FAB) sobre o Contratorpedeiro francês Tartu (D636), que se dirigiu ao litoral nordestino.....	16
Figuras 6a e 6b: Fotos tiradas por um sobrevivente do cruzador em uma das balsas de salvamento.....	24
Figura 7: Complexo do PROSUB-EBN em Itaguaí/RJ.....	27
Figura 8: Esquema comparativo entre o submarino nuclear brasileiro (SN-BR) e o submarino convencional da Classe Scorpène, também parte integrante do PROSUB, com informações de deslocamento (tonelagem), autonomia, profundidade máxima de operação e tripulação.....	28

Figura 9: Categorias de sinalizações – Branca I, Amarela II e Amarela III, respectivamente.....	36
Figura 10: Exemplo de um contêiner do Tipo B para combustível nuclear irradiado, utilizado em sistemas de propulsão naval da US Navy (M-290), com 260 toneladas e 9,2m de comprimento, transportado por linha ferroviária; Em suas duas extremidades, os domos limitadores de impacto.....	38
Figura 11: Militares do BtlDefNBQR dotados de armamento portátil para segurança física (<i>security</i>) de fontes radioativas.....	56
Figura 12: Atividade de monitoramento, durante exercício simulado.....	57
Figuras 13a e 13b: Embalado do Tipo A para combustível não irradiado para o CNAAA.....	61
Figuras 14a e 14b: Exemplo de um contêiner do Tipo B, para combustível nuclear irradiado (M-140), transportado por via rodoviária. No detalhe (a), a sinalização do contêiner.....	62
Figuras 15a e 15b: Exemplo de esquema de içamento com ponte rolante e fixação de um embalado do Tipo B (M-290) de combustível irradiado da US Navy, no vagão de um trem.....	64
Figura 16: Mapa abrangendo o relevo e a malha viária entre Iperó/SP (no detalhe em vermelho à esquerda) e Itaguaí/RJ (no detalhe à direita, em vermelho), onde é possível visualizar o relevo mais acidentado da serra próxima ao litoral.....	66
Figura 17: Comboio de elementos combustíveis, no trajeto FCN-CNAAA, através de rodovia rural com baixa movimentação de veículos e pessoas.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BAE	Baixa Atividade Específica
BtlDefNBQR	Batalhão de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica
CBTN	Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear
CDTN	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
CEA	Centro Experimental de Aramar
CINA	Centro Industrial Nuclear de Aramar
CFN	Corpo de Fuzileiros Navais
CNAAA	Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisas
CNUDM	Convenção das Nações Unidas para o Direito do Mar
CTMSP	Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
DCNS	<i>Direction des Constructions Navales Services</i>
EBN	Estaleiro e Base Naval
ECOSOC	<i>Economic and Social Council</i>
EUA	Estados Unidos da América
FAB	Força Aérea Brasileira

FCN	Fábrica de Combustíveis Nucleares
HEU	<i>Highly-Enriched Uranium</i>
HMS	<i>Her/His Majesty's Ship</i>
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>
IATA	<i>International Air Transport Association</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Minerais Renováveis
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
ICC	<i>Interstate Commerce Commission</i>
INB	Indústrias Nucleares do Brasil
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
ISC	Índice de Segurança de Criticalidade
IRD	Instituto de Radioproteção e Dosimetria
IT	Índice de Transporte
LABGENE	Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica
LEU	<i>Low-Enriched Uranium</i>
MN	Milhas Náuticas
MB	Marinha do Brasil
NBR	Norma Brasileira
NRM	Nível de Radiação Máximo
NUCLEBRÁS	Empresas Nucleares Brasileiras
NUCLEP	NUCLEBRÁS Equipamentos Pesados
OCS	Objetos Contaminados na Superfície

ONU	Organização das Nações Unidas
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PNB	Programa Nuclear Brasileiro
PNM	Programa Nuclear da Marinha
PRF	Polícia Rodoviária Federal
PROSUB	Programa de Submarinos
PWR	<i>Pressurized Water Reactor</i>
RMS	<i>Royal Mail Ship</i>
SN	Submarino Nuclear
SN-BR	Submarino Nuclear Brasileiro
SS	<i>Steam Ship</i>
UFEM	Unidade de Fabricação de Estruturas Metálicas
UM	<i>United Nations</i>
UPU	União Postal Universal
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
USEXA	Unidade Produtora de Hexafluoreto de Urânio
USS	<i>United States Ship</i>
WG-HEU	<i>Weapon-Grade Highly Enriched Uranium</i>
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

1. INTRODUÇÃO

1.1 DA ANTIGUIDADE CLÁSSICA ÀS GRANDES NAVEGAÇÕES DOS SÉCULOS XV E XVI

Não há como compreender o desenvolvimento da civilização ocidental sem destacar o papel fundamental que o mar representou neste processo. Foi no entorno do Mar Mediterrâneo, conhecido como *Mare Nostrum*¹ pelos romanos, onde floresceram alguns dos grandes impérios da Antiguidade - egípcios, fenícios, gregos, cartagineses, macedônios, romanos etc. Através dele, a humanidade traçou os rumos da sua história, estabelecendo um palco promissor para o intercâmbio cultural entre os povos, a disseminação de vias comerciais e expansões militares para domínios de novos territórios (SCOPACASA, 2018).

Quando Alexandre, o Grande², iniciou suas incursões militares para a conquista da Pérsia no século IV a.C., obteve um extraordinário êxito nas batalhas terrestres. O rei Dario, percebendo a vulnerabilidade dos gregos na área marítima, voltou então os seus esforços para neutralização da comunicação e do abastecimento das tropas inimigas com a Macedônia, e a invasão do seu território, por meio de contra ataques pela retaguarda, utilizando a sua poderosa esquadra. Alexandre só conseguiu contornar esta desvantagem quando avançou, por terra, através do litoral, dominando os portos da marinha persa, antes de dar continuidade às suas conquistas pelo interior (ALBUQUERQUE et al, 2006).

Através desse relato histórico, Albuquerque (2006, p.29), deixa evidente dois tipos de estratégia militar: *Em um deles, o mar usado para desarticular atividades militares terrestres; noutro, a ação em terra neutralizando o uso do mar. Ambos são aspectos marítimos da defesa nacional.*

1 Expressão *nosso mar*, em latim. Antes de ser usada como referência ao Mar Mediterrâneo, era a forma como os antigos romanos designavam o Mar Tirreno durante as Guerras Púnicas contra Cartago.

2 Alexandre Magno, ou Alexandre III da Macedônia (356 a.C.–323 a.C.), filho do rei Felipe II, foi um dos mais importantes líderes militares da Antiguidade Clássica, tendo conquistado impérios em toda a Ásia Menor. Após a sua morte na Babilônia, o seu reino foi fragmentado (TARN, 1948).

Nos séculos XV e XVI, a busca por novas fontes de riqueza em terras desconhecidas e a necessidade do estabelecimento de rotas comerciais marítimas mais vantajosas impulsionaram as grandes navegações, com destaque para Portugal, Espanha, Inglaterra, França e, a menos conhecida, China, que já dominava, há tempos, a arte da navegação e da construção naval (SDM, 2006).

Em relação a esse poderio chinês, Rêgo (2015, p.8) cita a atuação de um de seus maiores navegadores, o almirante Zheng He³:

Ele serviu aos terceiro e quarto imperadores Ming, Yongle e Xuande, e liderou como almirante as famosas expedições marítimas ao longo de toda a costa do leste asiático, sul, chegando tão longe quanto à costa da África, com evidências apontando que eles teria conseguido inclusive adentrar o rio Congo. Suas viagens, nas quais comandava grandes frotas da marinha chinesa, abasteciam a corte com artigos de luxo, trouxe para a China animais, pessoas, plantas, e coletou presentes, além de estabelecer sólidos contatos diplomáticos diretos em nome da, na época, recém fundada dinastia Ming. Sua viagens vão reviver antigas correntes comerciais e rotas e migração chinesa na região do sudeste asiático e da Índia, até que as missões marítimas foram extintas em 1423.

Os *navios do tesouro*, usados na época de Zheng He, eram embarcações opulentas, com aproximadamente 125 metros de comprimento e 50 metros de seção transversal, capazes de transportar até duzentas toneladas de carga, que permitiram o desenvolvimento das circunavegações, posteriores a Zheng, no continente africano, até Cabo Verde. Outros almirantes chineses alcançariam terras ainda mais longínquas, em toda costa da América do Sul, Caribe e Groenlândia. Exploradores como Hong Bao e Zhou Man seguiram pelo extremo sul do Atlântico, atingindo o Oceano Pacífico por meio do Estreito de Magalhães. Acredita-se que o primeiro tenha enfrentado fortes dificuldades em mares agitados próximos ao Polo Sul, enquanto que Zhou teria logrado êxito no regresso à China pelo Pacífico, aproveitando a corrente Circumpolar Antártica⁴ até a costa da Austrália e Nova Zelândia (PEREIRA et al, 2006).

3 Zheng He (1371-1433) foi um eunuco muçulmano. Com uma das maiores frotas do mundo, realizou grandes navegações no período de 1405 a 1433.

4 A corrente oceânica mais veloz e uma das mais extensas do planeta, que segue próxima à linha de convergência antártica, interligando as bacias do Atlântico, Pacífico e Índico. No estreito de Drake, próximo ao extremo sul da costa chilena, entre o Cabo Horn e a Ilha King George, no Polo Sul, esta corrente pode alcançar velocidades da ordem de 60km por dia (FELÍCIO, 2006).

Dentre as inovações dos chineses, Pereira et al (2006) cita ainda os cascos duplos com compartimentos estanques, técnicas de transporte de água para consumo da tripulação e manutenção dos peixes frescos, além da implantação do leme de popa, muito útil para navegação em águas rasas, podendo ser erguido ou abaixado, conforme a profundidade local (Figura 1, a seguir).

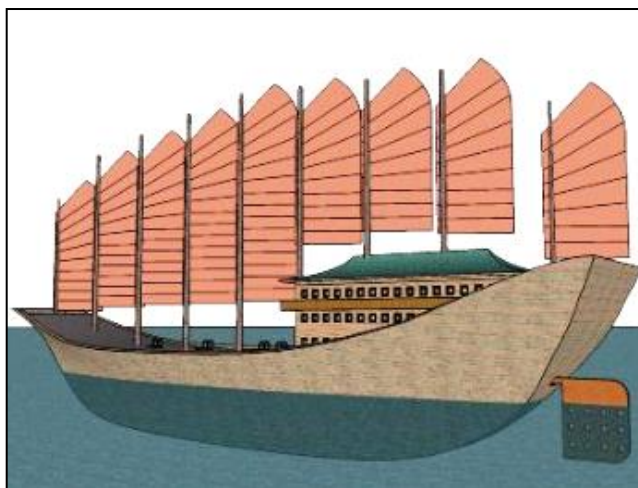


Figura 1 – Embarcação chinesa dotada de leme de popa, que podia ser erguido ou abaixado, conforme a necessidade. Este invento foi bastante útil para navegações próximas à costa, em portos lotados e canais estreitos e rasos.

Fonte: Southbaysail.com.

Posteriormente, a conquista do Atlântico pelos navegantes europeus inaugurou uma nova era de expansões coloniais, que se estabeleceram em áreas muito além do *Velho Mundo*. Seria natural, portanto, que as nações que detivessem um forte poderio naval alcançariam grandes vantagens econômicas, políticas e militares (SOARES, 2010).

1.2 A IMPORTÂNCIA DO MAR PARA O BRASIL IMPERIAL

Quando a família real portuguesa desembarcou no Rio de Janeiro, em 1808, abrindo os portos para as nações amigas, o Brasil já havia sido palco de inúmeros conflitos em seu litoral, seja pelo ataque de piratas e corsários ou pela tentativa de estabelecimento de colônias francesas e holandesas em seu território (FRAGOSO, 2004). Portugal, no entanto, já firmara-se como nação soberana, detentora de uma

potência naval consolidada em décadas anteriores ao desembarque de Cabral em Porto Seguro, tendo alcançado *mares nunca dantes navegados*⁵. Seus feitos estendiam-se desde a conquista de Ceuta⁶, até a exploração de longas faixas na costa oeste da África e o estabelecimento de rotas comerciais na busca por especiarias do Oriente, para além do Cabo da Boa Esperança, em substituição ao Mediterrâneo (POMBO, 1905-1917).

Nos anos seguintes, a então formada Armada Imperial⁷ teve papel vital na consolidação da independência do Brasil, preservando a unidade nacional e eliminando os focos de resistência estrangeira, com destaque para atuação marcante de José Bonifácio de Andrada e Silva⁸. Em relação a este período, Albuquerque et al (2006, p.98), destaca a importância do mar:

O Brasil do início do século XIX tinha graves obstáculos para eficiente comunicação interna. E era preciso levar a pontos distantes da capital (Rio de Janeiro) os elementos capazes de conter e eliminar as resistências [...] Deslocar tropas pelo interior não seria a melhor decisão, e talvez impossível. A única via para um deslocamento rápido seria o mar. O mar não apenas como via para forças terrestres, mas também para forças navais. Por quê? Porque Portugal mantinha em nossas águas navios de guerra seus e, usando o mar, apoiava as tropas de terra que lhe eram fiéis. Impunha-se, de nossa parte, o corte das comunicações marítimas entre a antiga metrópole e seus soldados que aqui estavam. O mar era a única solução!

Para contornar a defasagem do poderio naval brasileiro, o imperador D. Pedro I contou com amplo apoio britânico na disponibilização de, aproximadamente, 400 marinheiros e dezenas de oficiais, sob o comando do Almirante Thomas Cochrane, mais tarde nomeado *Marques do Maranhão*, para organização da esquadra e combate às frentes portuguesas no litoral.

5 CAMÕES, Luís de. *Os Lusíadas*, canto I, 1.

6 Cidade islâmica no norte da África de grande importância política, econômica, social e religiosa, conquistada por João I em agosto de 1415.

7 Como era chamada a Marinha de Guerra durante o período da Monarquia Constitucional (1822-1889).

8 José Bonifácio de Andrada e Silva (1763-1838) foi um naturalista, estadista e poeta luso-brasileiro que recebeu o título de *Patriarca da Ciência* e de *Patrono da Independência do Brasil*. Como ministro do Império, investiu grandes esforços para a criação da Marinha de Guerra Brasileira (POMBO, 1905-1917).

Foi neste período da História do Brasil em que foi organizada a primeira força naval ostentando o pavilhão do Império, sob o comando do oficial norte-americano Davi Jewett e, até 1830, *metade dos marujos e dois terços dos oficiais eram estrangeiros* (ALBUQUERQUE et al, 2006, p.99).

Dado ao seu extenso litoral, suas riquezas naturais incomensuráveis e a sua importância econômica como exportador de matérias-primas, não é de se admirar que o Brasil tenha desenvolvido uma poderosa Marinha, contando com amplo apoio político e popular. Com meios navais construídos nos Arsenais de Guerra existentes no país, a sua participação foi marcante no bloqueio de províncias durante as revoltas do período regencial (Cabanagem, Farroupilha e Sabinada), bem como na Guerra do Paraguai (1864-1870), com atuação heroica e decisiva na Batalha Naval do Riachuelo⁹ (Figura 2).



Figura 2 – Pintura a óleo sobre tela do artista catarinense Victor Meirelles (1883), que integra o acervo do Museu Histórico Nacional, retratando a vitória brasileira na Batalha Naval do Riachuelo. Ao centro, o Almirante Barroso (mais tarde, *Barão do Amazonas*), comandante da Força Naval brasileira, que, com coragem e determinação, empregou a Fragata *Amazonas* no abaloamento e destruição dos navios inimigos, aniquilando, praticamente, toda a Esquadra paraguaia.

Fonte: MARINHA DO BRASIL (2019b).

9 Batalha travada em 11 de junho de 1865, em trecho argentino do Rio Paraná, que garantiu o controle da região pela Tríplice Aliança (Brasil, Argentina e Uruguai), contribuindo decisivamente para a sua posterior vitória sobre as forças de Solano López. Hoje, este importante episódio é comemorado como *data magna* pela Marinha (MARINHA DO BRASIL, 2019b).

1.3. A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O NASCIMENTO DA ERA DO ÁTOMO

Os séculos XVIII e XIX trouxeram ao mundo a Revolução Industrial, alterando profundamente os processos de produção e inaugurando a era do carvão e do petróleo na geração de energia. Na indústria naval, estes novos tempos permitiram a substituição do uso da vela pelas máquinas a vapor, proporcionando um maior rendimento e mobilidade no transporte (CASSON, 1964).

No Brasil, este novo sistema de propulsão, foi introduzido, pela primeira vez, na Marinha de Guerra, em 1825, com a compra do navio-auxiliar *Correio Real*, da Grã-Bretanha. Nos anos 1840, lançávamos, nas águas brasileiras, o navio de combate a vapor *Dom Afonso*, com rodas laterais, dois anos depois da primeira travessia do Atlântico utilizando o carvão como meio de propulsão¹⁰ (ALBUQUERQUE et al, 2006).

Em paralelo às embarcações de superfície, foi no século XIX que se deu a consolidação do uso dos submarinos¹¹, a surgimento e aprimoramento dos motores elétricos e de combustão interna. Este meio, no entanto, teve origem em tempos remotos da Antiguidade, com os sinos de mergulho, utilizados por Alexandre, o Grande, nos cercos à cidade fenícia de Tiro (PEREIRA, 2016). Durante o Renascimento, Leonardo da Vinci idealizou uma nave submarina para explorações subaquáticas que, tornar-se-ia, séculos depois, inspiração para Júlio Verne, em suas *20.000 léguas submarinas*.

10 O navio *Sirius* inaugurou a travessia oceânica de passageiros. Foi o primeiro a chegar à Nova Iorque, partindo de Cork, na Irlanda, em pouco mais de dezoito dias. Conta-se que, por falta de lenha, o comandante utilizou o próprio mobiliário da embarcação como combustível (o que incluía um dos mastros da embarcação). Quatro horas depois, atracou o segundo navio de bandeira britânica, o *Great Western* (ALBUQUERQUE et al, 2006).

11 Com os submarinos norte-americanos *USS Turtle*, de 1775, e o *Nautilus*, de 1800, ambos herdeiros da máquina submarina movida a remo de 1623, do holandês Cornelius Drebbel. Conta-se que este seu invento de madeira de Drebbel, envolvido em couro, permaneceu submerso a quase cinco metros de profundidade no Rio Tâmesa, durante três horas (MUSEU MARÍTIMO, 2019). Disponível em <<https://www.museumaritime.com.br/single-post/2016/12/30/Os-primeiros-submarinos---15781859>>.

O uso amplo dos submarinos, de fato, se deu no primeiro grande conflito mundial (1914-1918), principalmente, a partir de 1917, quando a Alemanha declarou a chamada *guerra submarina irrestrita*¹² e a quantidade de naufrágios cresceu vertiginosamente (SOUNDHAUS, 2017).

O século XX foi inaugurado com a consagração da navegação a vapor, através das grandes linhas intercontinentais de transporte de passageiros, com destaques para os navios britânicos *RMS Lusitania* e *RMS Mauritania*, de 1907, com 240 m, superando as 30 mil toneladas de aço; o *RMS Titanic* e o *RMS Olympic*, de 1912, da companhia *White Star Line*; e, nas décadas de 30 e 40, os gigantes recordistas – o francês *SS Normandie* e o *RMS Queen Elizabeth* da Grã-Bretanha, ambos com 314 m de comprimento e mais de 83 mil toneladas (SIENNA, 2018).

Na Segunda Guerra Mundial (1939-1945), o mundo também foi palco de acelerados avanços tecnológicos no setor militar e pela descoberta do gigantesco poder energético do átomo. Os estudos anteriores de Enrico Fermi¹³ com as transmutações de elementos químicos a partir do bombardeamento de nêutrons, impulsionaram a construção do primeiro reator nuclear da história, em 1942, sob as arquibancadas do estádio de atletismo da Universidade de Chicago (Figura 3). Conhecido inicialmente como a *Pilha de Fermi*, este invento contou com a colaboração de Leo Szilárd, e utilizou cerca de 40 toneladas de urânio, com grafite (como moderador), e barras de cádmio, dotadas de grande seção de choque, para controle do fluxo de nêutrons na pilha. O reator entrou em funcionamento, com uma reação em cadeia autossustentável, tendo produzido uma energia inicial de apenas 0,5 W, que estendeu-se, posteriormente, a 200 W, em curtos espaços de tempo (BIASI, 1979).

12 Foi a etapa da guerra marcada por uma atuação mais agressiva dos submarinos alemães, sem restrições de ataque a navios mercantes e embarcações neutras. Uma tática de guerra que violava a chamada *Prize Rule*, que impunha uma espécie de aviso prévio para ataques submarinos, fornecendo tempo hábil para que a tripulação do meio de superfície a ser torpedeado pudesse recorrer a botes salva-vidas. Esta atuação motivou a entrada dos Estados Unidos na guerra, em abril de 1917, e, em novembro do mesmo ano, a do Brasil, vítima de naufrágios no Atlântico (FERNANDES, 2016).

13 Enrico Fermi (1901-1954), físico italiano, naturalizado norte-americano, ganhador do Prêmio Nobel de Física de 1938. Seus estudos trouxeram grandes contribuições para o desenvolvimento da Teoria Quântica, da Física Nuclear e de Partículas e da Mecânica Estatística (FLEMING, 1996).

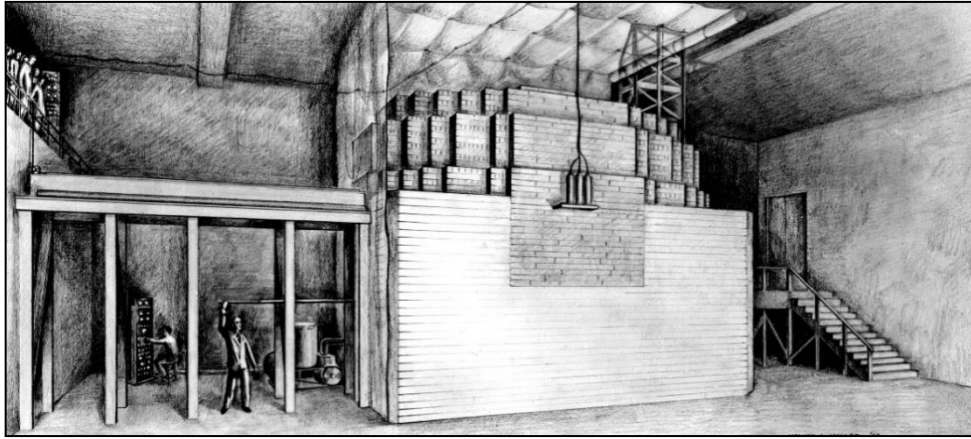


Figura 3 – Primeiro reator nuclear da história, construído em 1942, na Universidade de Chicago, Estados Unidos.

Fonte: Atomic Heritage Foundation.

Os investimentos em pesquisa no setor foram acelerados com a criação do *Advised Comittee on Uranium* (Comitê Consultivo de Urânio), o precursor do Projeto *Manhattan*¹⁴, após esforços dos físicos Leo Szilárd e Albert Einstein (que já gozava de um grande prestígio científico que ultrapassava o meio acadêmico), no alerta ao então presidente norte-americano Franklin Roosevelt, através de uma famosa carta (vide Anexo B), acerca do perigo das pesquisas nucleares alemãs para fins bélicos.

Em paralelo à questão nuclear, o transcorrer da II GM chamou a atenção para o teatro de batalhas navais. A *Royal Navy* da Grã-Bretanha, até então, a mais poderosa do mundo, teve importante atuação na defesa de suas ilhas, no desembarque de tropas no continente e na patrulha do Mediterrâneo. No entanto, as tensões aumentaram com a atuação dos submarinos alemães, que, assim como na primeira guerra, entraram em ação de forma extremamente agressiva, a fim de suprir a enorme defasagem de suas forças de superfície. As batalhas transcorreram mais intensamente no Atlântico Norte, contra as vias de comunicação, comércio e abastecimento dos países aliados.

¹⁴ Programa norte-americano para desenvolvimento dos primeiros artefatos nucleares da história, durante a Segunda Guerra Mundial.

Este poder de ação se estendeu, posteriormente, para todo o oceano, abrangendo, inclusive, a costa brasileira e argentina. Em 1942, o Brasil já havia perdido 13 embarcações (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019a); mas, foi o afundamento de cinco navios mercantes, com a morte de mais de 600 pessoas, pelo *U-507*, que motivou o governo brasileiro, com total apoio de sua população, a declarar guerra contra as nações do Eixo, naquele mesmo ano¹⁵.

A guerra no Pacífico ofereceu grandes desafios à esquadra norte-americana, na superação das enormes dimensões oceânicas. A utilização de navios aeródromos e o desenvolvimento de operações anfíbias foram marcantes. Ao contrário dos alemães, os submarinos japoneses tinham como alvo somente as embarcações militares, poupando toda a frota mercante que utilizava as rotas do Pacífico (WHITE et al, 1989).

As décadas que se seguiram após a rendição dos países do Eixo (1945) foram marcadas pela intensa *corrida nuclear* entre as duas superpotências mundiais hegemônicas que então acendiam – Os Estados Unidos e a União das Repúblicas Socialistas Soviética (URSS). Um acelerado desenvolvimento científico e tecnológico que possibilitou o surgimento dos primeiros meios operativos navais que utilizavam a energia do átomo como propulsão – os submarinos nucleares (em 1954, nos EUA, com o *USS Nautilus*), os navios quebra-gelos (da URSS) e aeródromos (a partir de 1962, com o *USS Enterprise CVN-65*). Essas novas embarcações apresentavam a grande vantagem de possuírem uma autonomia muito superior, quando comparadas com as convencionais.

15 As agressões alemãs iniciaram-se quando o Brasil solidarizou-se com os EUA, após o ataque japonês a *Pearl Harbour*, em dezembro de 1941, tendo em vista os interesses comuns entre as duas nações, materializados no *Tratado do Rio de Janeiro*, que previa a proteção mútua entre as nações das três Américas. A primeira perda brasileira foi do navio mercante *Cabedelo*, em fevereiro do ano seguinte, época em que o país ainda mantinha-se oficialmente neutro no conflito (SDM, 2006).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é estabelecer um estudo do transporte de materiais físséis, visando o combustível não irradiado do Submarino Nuclear Brasileiro, com enfoque nas possíveis situações de emergência, em cada uma de suas etapas de traslado. Estes cenários serão sintetizados em forma de planilha (Anexo A), com propostas de ações de prevenção e remediação.

Foi realizada, no presente trabalho, uma revisão bibliográfica das normas brasileiras e internacionais, com ênfase na norma 5.01 da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), principal referência para o transporte de materiais radioativos no âmbito nacional.

3. JUSTIFICATIVA

Para um país de dimensões continentais, dotado de uma extensa faixa de águas territoriais com riquezas incomensuráveis, como é o caso do Brasil, a utilização de forças navais para negação do uso do mar e neutralização de ações de agressão é de fundamental importância (MARINHA DO BRASIL, 2019a).

Assim sendo, a *Estratégia Nacional de Defesa*, firmada na esfera do Poder Executivo em 2008, apontou a necessidade de investimentos em tecnologias para salvaguarda dos recursos naturais brasileiros, em uma área conhecida como *Amazônia Azul* – uma faixa de águas jurisdicionais que, à semelhança da conhecida da Amazônia Verde, contém riquezas incomensuráveis. Além de toda a vida marinha, ressalta-se a existência de imensas jazidas de petróleo *offshore*, com destaque para o pré-sal.

Para consolidação dos objetivos dessa Estratégia, o Governo Federal, através da Marinha do Brasil, tem aplicado grandes esforços para a ampliação da sua indústria de defesa, a exemplo do Programa de Submarinos (PROSUB). Um empreendimento, firmado em 2008, por meio de um acordo com a França para transferência de tecnologia, que prevê a construção de quatro submarinos convencionais da classe *Scorpène* (um dos quais já foi lançado ao mar em dezembro de 2018) e um nuclear. Para este, o apoio francês se dará somente para questões relativas ao casco da embarcação, pois o reator e seus componentes são tecnologias autóctones (MARINHA DO BRASIL, 2019c).

A escolha pelo submarino nuclear se deu em função do excelente poder de dissuasão, possibilitado pela sua capacidade de ocultação. Em relação às suas diversas vantagens, o Almirante de Esquadra Júlio Soares de Moura Neto (2009, p. 1), Comandante da Marinha à época do acordo, destacou¹⁶:

Os submarinos de propulsão nuclear são fundamentais para a defesa das águas oceânicas. Por possuírem fonte inesgotável de energia e desenvolver altas velocidades, são empregados segundo uma estratégia de movimento. Em face dessas características, podem chegar a qualquer lugar em pouco tempo, o que, na equação do oponente, significa poder estar em todos os lugares ao mesmo tempo. O submarino nuclear é simplesmente o senhor dos mares.

A construção do submarino nuclear no Brasil representa um grande desafio à indústria nacional e permitirá à nação o ingresso em um seleto grupo de detentores desta tecnologia, que inclui a China, os Estados Unidos, França, Reino Unido e Rússia. Trata-se de um empreendimento inédito que depende do domínio do ciclo completo do combustível nuclear e de toda a complexidade de sua logística.

Para que este empreendimento seja possível, a Marinha do Brasil dispõe de instalações de pesquisa em Aramar, no município paulista de Iperó, onde se dará a produção do combustível, e do Estaleiro e Base Naval de Itaguaí, no Rio de Janeiro, em fase atual de construção, que contemplará um Complexo Radiológico para suporte do sistema de propulsão nuclear e gestão de material radioativo.

É nesse contexto que são levantadas questões importantes envolvendo o traslado de materiais físséis. Algo que demandará atividades de planejamento no que tange à gestão de riscos e salvaguarda do material, tornando útil, portanto, o desenvolvimento de estudos aplicados ao transporte de material radioativo em todas as suas etapas.

16 Citado por Viveiros et al (2012) na Revista de Villegagnon, publicação da Escola Naval. Disponível em: <<http://www.redebim.dphdm.mar.mil.br/vinculos/000005/000005af.pdf>> Acesso em 23 ago. 2019.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. A AMAZÔNIA AZUL

O Brasil é considerado um país de dimensões continentais, com uma superfície de mais de 8,5 milhões de quilômetros quadrados, enquadrando-se entre os cinco maiores países do mundo. Em suas macrorregiões, divididas em 26 estados e um Distrito Federal, estão presentes incomensuráveis riquezas naturais, como as duas maiores bacias hidrográficas do planeta – a Amazônica e a Platina – e vastas jazidas minerais para extração de ferro, cobre, alumínio, níquel, manganês, estanho, ouro, nióbio etc.

Em relação aos recursos para a indústria nuclear, o país detém ainda a oitava posição no *ranking* mundial das reservas inferidas e razoavelmente asseguradas de urânio (IAEA, 2018) e amplos depósitos de areias monazíticas, ricas em tório.

O país encontra-se também em uma situação privilegiada em relação às suas bacias de petróleo, capazes de suprir integralmente a demanda interna. A maior parte da produção do combustível localiza-se na plataforma continental¹⁷, na modalidade *offshore*, com destaque para a Bacia de Campos, a mais extensa, além das bacias do Rio Grande do Norte, Sergipe, Recôncavo baiano, Ceará, Espírito Santo e Alagoas. A notícia da descoberta do poço de Tupi nas reservas do pré-sal em águas ultraprofundas, com quantidade estimada de 5 a 8 bilhões de barris (comparadas às reservas de 14 bilhões de todo o país), contribuem ainda mais para ampliação da capacidade produtiva do país (ALMEIDA, 2008).

17 Conforme Art. 76 da *Lei do Mar*, a Plataforma Continental representa uma faixa de mar em que o Estado costeiro exerce o direito de soberania, para exploração dos recursos minerais e recursos vivos, na superfície do leito marinho e em seu subsolo (MARINHA DO BRASIL, 2019). *Nos termos da Convenção, os direitos do Estado Costeiro sobre a plataforma continental são independentes da sua ocupação, real ou fictícia, ou de qualquer declaração expressa* (CNUDM, Art. 76 e 77).

A Amazônia verde, por sua vez, representa um valioso patrimônio de reservas minerais e de biodiversidade, abrangendo cerca de 60% do território nacional. A área do seu complexo regional é conhecida como *Amazônia Legal*, um conceito político importante para o planejamento e desenvolvimento dos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão.

Já a *Amazônia Azul* representa um conceito político estratégico para definir as faixas oceânicas e ribeirinhas sob soberania brasileira. São cerca de 5,7 milhões de quilômetros quadrados que abrangem as águas jurisdicionais brasileiras, definidas na 3ª Conferência da Convenção das Nações Unidas para o Direito do Mar (CNUDM), de 1982, na Jamaica (MARINHA DO BRASIL, 2019a). Os espaços marítimos são constituídos, basicamente, pelo *Mar Territorial*, mais próximo da costa, que se alarga até 12 milhas náuticas (MN)¹⁸, delimitando, a partir da sua linha de base, a *Zona Contígua*, que atinge 24 MN; e a *Zona Econômica Exclusiva* (ZEE), abrangendo uma faixa de até 200 MN (Figura 4).



Figura 4 – Representação esquemática da *Amazônia Azul*.

Fonte: wikiwand.com.

18 1 MN corresponde a 1853 metros.

O termo foi criado em analogia à conhecida Floresta Amazônica, ou *Amazônia Verde*, não apenas pelas suas dimensões, mas por todas as suas riquezas abundantes. Do mar, retiramos 85% do nosso petróleo, 75% do gás natural e 45% do pescado produzido do país. Além disso, 95% do escoamento do nosso comércio exterior se dá por vias marítimas. Da plataforma continental ainda é possível extrair sal, cascalhos, areias, fosforitas, crostas cobaltíferas, sulfetos e nódulos polimetálicos (MARINHA DO BRASIL, 2019a).

4.2. A GUERRA DA LAGOSTA

Em relação à salvaguarda dos recursos da Amazônia Azul, pode-se destacar um episódio passado e pouco divulgado, conhecido como a *Guerra da Lagosta*, onde estivemos muito próximos de um conflito militar com a França.

No início da década de 60, embarcações francesas praticavam, de maneira insistente, a pesca clandestina de lagostas no litoral nordestino, mesmo após sucessivas negativas do governo brasileiro, Braga (2004, p.6), detalha, com as palavras do Almirante Armando Bittencourt, como esta prática nos era perniciosa:

[...] Eles estavam também tirando o emprego de pescadores artesanais brasileiros, que capturam as lagostas corretamente com covos (armadilhas) e têm dificuldades para encontrar outras ocupações na região onde vivem. Pior ainda, era provável que estivessem realizando a pesca com arrastão – o que atualmente seria um crime ambiental. Mas, na época, toda discussão se resumiu em saber se a lagosta era ou não um recurso da plataforma continental, ou seja, se ela dependia do fundo do mar para sua locomoção ou se nadava como os peixes.

As tensões, efetivamente, iniciaram-se em 1962, quando houve a apreensão do pesqueiro *Cassiopé*, pela Corveta brasileira *Ipiranga*, e a interceptação de outras duas embarcações, pouco depois, na costa do Rio Grande do Norte. *Os capitães dos barcos eram convidados a assinar um termo de compromisso para não mais voltar à costa brasileira (embora muitos retornassem)* (POGGIO, 2016, p.1). No ano seguinte, todas as negociações diplomáticas para contratos bilaterais não impediram a chegada de novos pesqueiros ilegais, o que despertou a ampla comoção da opinião pública e da mídia brasileira.

A crise agravou-se quando o então presidente francês Charles de Gaulle enviou para águas brasileiras, em ato de intimidação, o Contratorpedeiro *Tartu* (D636), *desprezando, inclusive, solicitação pessoal de nosso presidente, para que mandasse retornar o navio de guerra* (BRAGA, 2004, p.7) (Figura 5). Não se esperava que este evento despertasse um clima belicoso tão intenso. Na época, a França ainda dispunha de uma Força-Tarefa robusta realizando manobras militares na costa africana que, em poucos dias, poderia chegar à costa brasileira.



Figura 5 – O sobrevoo de patrulha da aeronave RB-17G da Força Aérea Brasileira (FAB) sobre o Contratorpedeiro francês *Tartu* (D636), que se dirigiu ao litoral nordestino.

Fonte: podernaival.com.br.

Felizmente, antes que o primeiro tiro fosse disparado, o embate teve o seu desfecho na esfera diplomática, onde o Brasil saiu-se vitorioso.

Os franceses alegavam que a lagosta poderia ser considerada um peixe, pois ela não se desloca continuamente no leito marinho, mas dando saltos e nadando. Assim sendo, este crustáceo poderia ser pescado sem a necessidade de autorização do governo brasileiro. Na época, o Comandante Paulo de Castro Moreira da Silva, da Marinha do Brasil, em contraposição a esta tese, enunciou, de forma bem humorada, conforme citado por Braga (2004, p.17): *Ora, estamos diante de uma argumentação interessante: por analogia, se a lagosta é um peixe porque se desloca dando saltos, então o canguru é uma ave.*

Apesar de ter sido um episódio bastante atípico, principalmente por envolver duas nações historicamente amigas que lutaram do mesmo lado na Segunda Grande Guerra, ele demonstra como os interesses econômicos e a cobiça, alimentada pela existência de riquezas naturais em nossas águas jurisdicionais, podem sobrepujar boas relações e gerar agressões externas sem precedentes. A *Guerra da Lagosta* serviu também para evidenciar a importância da presença da Marinha do Brasil na Amazônia Azul e a necessidade da constante manutenção operacional das nossas Forças Armadas, para garantia da soberania brasileira sobre todo o seu território.

4.3. O PROGRAMA NUCLEAR DA MARINHA

A Marinha do Brasil tem participado ativamente no desenvolvimento da energia nuclear do Brasil, desde os seus primórdios no pós-guerra, a partir dos esforços do Almirante Álvaro Alberto da Motta Silva, na proteção das reservas nacionais de urânio e tório, bem como no estabelecimento de programas de pesquisas e de transferência de tecnologia estrangeira para o país. Atuou, com dinamismo, como representante brasileiro da Comissão de Energia Atômica (CEA) do Conselho de Segurança da Organização das Nações Unidas (ONU), presidiu o Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) e defendeu a importação de duas ultracentrífugas alemãs para estudo do enriquecimento do urânio em 1953 (BIASI, 1979). Em sua homenagem, o complexo nuclear das usinas de Angra dos Reis recebeu o seu nome. O Submarino Nuclear Brasileiro também fará este tributo.

Assim sendo, é natural que o Programa Nuclear da Marinha (PNM) se confunda com o Programa Nuclear Brasileiro (PNB), que possui atuação em uma esfera mais ampla da sociedade.

No decorrer da década de 50, a criação do *Grupo do Tório* do Instituto de Pesquisas Radioativas de Belo Horizonte (atual CDTN) e da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), desmembrada do CNPq; bem como a instalação do primeiro reator de pesquisa do Instituto de Energia Atômica (IEA), atual IPEN, em São Paulo, impulsionaram fortemente as pesquisas, visando o desenvolvimento das primeiras centrais elétricas nucleares na região sudeste do país (BIASI, 1979). Algo que se concretizaria somente em 1972, com a assinatura de um contrato com a empresa

norte-americana *Westinghouse* para construção do primeiro reator de potência (Angra I), que iniciaria a sua operação dez anos depois. Além disso, o acordo também previa o fornecimento de 500 toneladas de urânio enriquecido para o seu funcionamento, no prazo de 30 anos. Nos dois anos seguintes, a recém criada Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN), realizou estudos de viabilidade para a implantação de dezenas de centrais no país, como complemento às fontes de energia hidráulica, resultando em um plano estratégico que deu origem às Empresas Nucleares Brasileiras (NUCLEBRÁS), em 1974, a partir da CBTN (hoje, INB), para a concretização dos projetos industriais previstos no acordo (BARBOSA, 2009).

Em 1975, foi firmado um importante acordo com a República Federal da Alemanha para cooperação científica e tecnológica entre ambos os países, abrangendo prospecção e processamento de matérias-primas, produção, enriquecimento e reprocessamento de urânio, e desenvolvimento de reatores e instalações nucleares (BARBOSA, 2009). Um acordo necessário, tendo em vista as sérias perturbações na economia internacional pela política de fixação de preços do barril do petróleo pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), demandando uma corrida nacional por fontes alternativas de energia mais baratas. O Brasil impulsionaria a pesquisa nacional e a expansão de sua matriz energética, enquanto que a Alemanha manteria ativa e aqueceria a sua produção interna de equipamentos (SAFFIOTI, 1982).

Assim sendo, em 1976, foi criada uma gama de empresas subsidiárias da NUCLEBRÁS para apoio do setor, com participação binacional (BIASI, 1979):

- NUCLEP (Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A.), para os componentes pesados das usinas nucleares;
- NUCLAM (Nuclebrás Auxiliar de Mineração S.A.), para o setor de mineração de urânio;
- NUCLEI (Nuclebrás Enriquecimento Isotópico S.A.), envolvendo a usina de enriquecimento a jato centrífugo em Resende/RJ (hoje, parte integrante da INB);

- NUCLEN (Nuclebrás Engenharia S.A.), para projetos de usinas nucleares e seus componentes;
- NUCLEMON (Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda.), encarregando-se das pesquisas envolvendo as areias monazíticas, ricas em Tório, incluindo a lavra, industrialização e comercialização dessa matéria-prima;
- NUSTEP (*Trenndüsen Entwicklungs Patentverwertungsgesellschaft mbH & Co.*), sediada na Alemanha, para pesquisas de enriquecimento isotópico; e
- NUCOM, para a construção das centrais nucleares.

Nos anos seguintes das décadas de 1980 e 1990, todavia, o país atravessaria um período de restrições orçamentárias e desaceleração dos esforços para a implantação das demais usinas nucleares previstas, bem como a deterioração dos acordos com a Alemanha, dirigindo os investimentos do setor para a área de pesquisas envolvendo o ciclo do combustível nuclear, com atuação marcante da MB, da CNEN e do IPEN. A NUCLEBRÁS seria dissolvida para criação das Indústrias Nucleares Brasileiras (INB), em 1988, com o controle da agência regulatória, a CNEN; a NUCLEN integraria a ELETROBRÁS¹⁹, e as demais empresas seriam extintas – NUCLEI, NUCLAN, NUCLEMON e NUSTEP (BARBOSA, 2009).

A partir de 2001, com o desencadeamento dos *apagões* no país, evidência de uma forte crise energética, foram retomados os esforços para a concretização da usina de Angra 3 para a geração de 1405 MW²⁰, tendo sido aprovados os estudos preliminares para a conclusão de sua obra. Sete anos depois, o projeto do submarino nuclear brasileiro foi retomado, como parte do Programa Nacional de Defesa, tendo como marco o estabelecimento de contratos de transferência de tecnologia com a França.

19 Fundindo-se, a partir de 1997, ao Departamento Nuclear de FURNAS, para a criação da subsidiária ELETRONUCLEAR.

20 Disponível em <<http://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-3.aspx>>.

O desenvolvimento do PNM foi marcante a partir de 1979, com o objetivo de estabelecer competência técnica autóctone para projetar, construir, operar e manter reatores nucleares, bem como dominar todas as etapas de geração do combustível nuclear, criando subsídios para aplicações em tecnologias de propulsão de meios operativos (como o submarino nuclear).

A década 80, para a Marinha, foi marcada por grandes esforços na implementação de tecnologias para o enriquecimento isotópico do urânio, inaugurando o Centro Experimental de Aramar (CEA), em 1988.

4.4. O SUBMARINO NUCLEAR

Os submarinos nucleares (SN) surgiram durante a chamada *corrida armamentista* da Guerra Fria, um momento histórico marcado pelo antagonismo de duas superpotências que moldaram todo o cenário geopolítico mundial, delimitando alianças militares, coalizões regionais e áreas de influência. Dada a impossibilidade de um conflito generalizado, o que decorreria na destruição mútua de ambos os blocos, foram implementadas, exaustivamente, por ambos os lados, políticas de dissuasão como estratégia dominante de imposição de força e neutralização de possíveis agressões.

Como fruto de um acelerado avanço tecnológico e científico do período, os submarinos nucleares assumiram um papel importante no teatro de operações navais, em substituição aos meios convencionais de propulsão diesel-elétrica, dependentes da captação atmosférica e com menor autonomia de submersão. Os reatores atômicos permitiram também operações com velocidades superiores e menor emissão de ruído, proporcionando uma maior capacidade de ocultação.

O primeiro submarino nuclear a ser construído foi o *USS Nautilus*, da Marinha dos Estados Unidos, em 1954. Desde então, mais de 500 submarinos já foram construídos, a maioria na década de 1980 (MAIA, 2015). Atualmente, apenas 5 países no mundo detêm a capacidade de projetá-los, construí-los, mantê-los e operá-los – Estados Unidos, Rússia, Reino Unido, França e China – conforme Tabela 1, abaixo (GUIMARÃES, 1999).

Tabela 1 – Países detentores da capacidade de projeto, construção, manutenção e operação de submarinos nucleares na atualidade, com a identificação da primeira embarcação e ano de lançamento.

País	Primeira Embarcação	Ano de Lançamento
Estados Unidos	<i>USS Nautilus</i>	1954
Rússia*	<i>K-3 Leninsky Komsomol</i>	1957
Reino Unido	<i>HMS Dreadnought (S-101)</i>	1960
França	<i>Redoutable (S 611)</i>	1967
China	<i>Changzheng (401)</i>	1970

(*) Ex-URSS.

Em relação à atuação dos submarinos nucleares, Ervilha (2011) destacou a função de proteção de áreas de interesse, projeção de poder sobre terra, negação do uso do mar às forças antagônicas, controle de áreas marítimas, execução de ações de inteligência, vigilância e reconhecimento, além da tradicional guerra antissubmarino.

No cenário mundial, o SN consolidou-se como um meio de dissuasão altamente eficaz, capaz de coibir ataques e cobrir extensas áreas geográficas afastadas da costa. Frente à sua ameaça oculta, os agressores optam por não agir, dado o alto custo da ação, em relação ao seu sucesso. Um instrumento de defesa capaz de desaconselhar e desviar os adversários reais ou potenciais de seus propósitos bélicos, mediante a repressão psicológica e a projeção de força.

4.1.1. Características

Desde a sua criação, os submarinos nucleares podem ser classificados em três categorias – os *submarinos nucleares de ataque* (década de 50) e de *ataque rápido* (anos 1970), armados com torpedos e mísseis; os *submarinos nucleares de cruzeiro*, com mísseis de longo alcance; e os *submarinos nucleares balísticos*, também conhecidos como *boomers*, dotados de mísseis nucleares. Em todos os casos, a classificação como submarino nuclear está associada somente ao seu sistema de propulsão, podendo, em alguns casos, existirem até dois reatores por meio (MAIA, 2015).

Assim como as centrais de energia nuclear, os SN, em sua maioria, também utilizam reatores de água pressurizada (PWR – *Pressurized Water Reactor*), com bombeamento sob altas pressões para resfriamento do núcleo no sistema primário. A diferença é que, os submarinos, além de trabalharem com uma potência térmica inferior, de 50 a 150 MWt, utilizam combustível em quantidade de vinte a cinquenta vezes menor que nas usinas, levando em conta que o reator precisa ter dimensões reduzidas, adaptáveis ao espaço limitado de suas seções. As premissas de projeto também são mais rigorosas, por operarem a partir de rampas de potência com variações intensas em um curto espaço de tempo, e estarem submetidos a esforços característicos do meio marítimo, com choques, trepidações, rotações e translações. Essas condições requerem, inclusive, dispositivos de desligamento mais robustos, com materiais para os seus componentes selecionados criteriosamente, tendo em vista a alta salinidade do meio, com elevado risco de corrosão (MAIA, 2005).

A Tabela 2, abaixo, sintetiza em um quadro, as diferenças básicas entre os submarinos convencionais e nucleares.

Tabela 2 – Diferenças básicas entre submarinos convencionais e nucleares, em geral, em termos de propulsão, profundidade de operação, tempo máximo de imersão, deslocamento, velocidade e emprego estratégico.

		
Propulsão	Diesel-elétrica	Nuclear
Profundidade de Operação	Águas Rasas (50 a 500 m)	Águas Profundas (mínimo de 100 m)
Tempo máximo de imersão	Cerca de 5 dias (limitado pela necessidade de ar, pela queima de diesel durante a recarga das baterias)	Indeterminado (limitado apenas pelos estoques de mantimentos)
Deslocamento	1400 t a 1600 t	aproximadamente 6000 t
Velocidade	até 6 nós (aproximadamente 11Km/h)	até 35 nós (aproximadamente 65 Km/h)
Emprego estratégico	Limitado pela posição	Alcance vasto pelo seu rápido deslocamento

Fonte: PET Engenharia Civil UFJF (2019)

4.1.2. Atuação na Guerra das Malvinas

A única ocasião que o submarino nuclear foi empregado na história mundial foi durante a Guerra das Malvinas, em 1982. Também conhecida como *Guerra do Atlântico Sul*, este conflito teve origem em uma antiga reivindicação argentina pela soberania de um arquipélago localizado próximo à sua costa, sob domínio britânico desde o século XIX, formado pelas Ilhas *Falklands* (conhecidas pelos argentinos como *Malvinas*), Geórgia do Sul e Ilhas *Sandwich* do Sul.

Após a recusa das condições propostas pelos britânicos para a transferência do domínio das ilhas²¹, às 00h30 do dia 2 de abril, unidades anfíbias da Armada Argentina desembarcaram em *Soledad*, a 4 km ao sul da capital *Stanley*, e, poucas horas depois, foi realizada uma incursão, a partir do submarino *Santa Fé*, nas proximidades do Cabo *San Felipe*, com o intuito de tomar um farol e apoiar o desembarque de uma tropa no Cabo *San Antonio*. Ao raiar do dia, a região encontrava-se praticamente dominada. Após uma fraca resistência das forças britânicas, oriundas da Base de *Moody Brooke*, ocorreu o cessar-fogo às 09h25, com a rendição do Governador Rex Hunt, ocorrendo, em seguida, o desembarque de veículos blindados e suprimentos, através do aeroporto local (DUARTE, 1986).

A invasão argentina provocou o rompimento imediato das relações diplomáticas com a Grã-Bretanha e a reprovação de toda a comunidade internacional.

Após o esgotamento de todos os canais pacíficos, o que incluíam sanções da Comunidade Econômica Europeia, foi organizada uma Força-Tarefa que atravessaria o Atlântico de ponta a ponta, a chamada *Operação Corporate*, para a retomada do controle das ilhas pelos britânicos.

21 Os britânicos haviam concordado em ceder à Argentina o controle das ilhas, mediante algumas condições que incluíam a manutenção de uma pequena base aeronaval da região de *Stanley*.

O evento mais importante, que culminou no fim da guerra, foi o afundamento do cruzador *Belgrano* pelo SN britânico *Conqueror*, no dia 3 de maio. A embarcação argentina dirigia-se para águas mais próximas ao continente a fim de evitar ataques submarinos em alto mar quando, às 16h01, foi atingida por dois torpedos que neutralizaram completamente a sua operação, paralisando todas as máquinas, sistemas de propulsão e armamentos. Os danos no casco e o início do inevitável naufrágio pela popa obrigaram o comandante a iniciar as manobras de abandono com sua tripulação (Figuras 6a e 6b).



Figuras 6a e 6b – Fotos tiradas por um sobrevivente do cruzador a partir de uma balsa de salvamento.

Fonte: *naval.com.br*.

A presença do submarino nuclear no conflito teve um papel decisivo para o seu desfecho, tendo paralisado, quase que completamente, a atuação da esquadra argentina em águas profundas. Os britânicos foram capazes de impor o seu controle no teatro de operações navais, isolando as tropas oponentes no arquipélago das Malvinas, deixando-as sem apoio de terra e abastecimento marítimo de suprimentos, o que forçaria a sua posterior rendição. Ervilha (2011, p. 43), narra a situação crítica para a Argentina:

[...] após o afundamento do Cruzador argentino Belgrano, torpedeado pelo Conqueror, especialistas afirmam que o SNA executou o controle de áreas marítimas, uma das tarefas básicas do Poder Naval, extrapolando as expectativas iniciais de negar o uso do mar ao inimigo. De qualquer forma, a presença de SNA na área causou um indubitável efeito dissuasório na Marinha argentina.

Em relação a esses efeitos de dissuasão, Duarte (1986, p. 700), complementa a importância do submarino nuclear no conflito, afirmando que *seu papel no bloqueio ultrapassou qualquer expectativa, seja pela própria eficiência, seja pelos aspectos psicológicos que a palavra nuclear provoca.*

4.1.3. O Programa de Submarinos (PROSUB)

A Estratégia Nacional de Defesa, quando criada em 2008, através do Decreto nº 6.703 de 18 de dezembro, traçou diretrizes importantes para o direcionamento de investimentos na indústria de defesa e no consequente reaparelhamento das Forças Armadas, destacando a necessidade de garantia da nossa independência, a partir *do domínio de tecnologias sensíveis, tanto para a defesa, quanto para o desenvolvimento* (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2012a).

No âmbito naval, visando a negação do uso do mar a forças inimigas, o controle de áreas marítimas e a projeção de poder, todos esses esforços se traduziram na criação do Programa de Submarinos, o PROSUB, para o projeto e construção de quatro submarinos convencionais e um de propulsão nuclear. Este, diferente dos demais, requer o domínio de uma tecnologia muito mais complexa, cuja implementação necessitaria de parcerias internacionais para transferência de conhecimento. Assim sendo, em dezembro de 2008, firmou-se um acordo estratégico com a França, através de sete contratos específicos, com a participação do estaleiro DCNS (*Direction des Constructions Navales Services*), abrangendo, além da transferência de tecnologias referentes a submarinos convencionais e nucleares, o projeto e construção de um Estaleiro e Base Naval (EBN), bem como a nacionalização de equipamentos e a capacitação de pessoal (MARINHA DO BRASIL, 2019).

Quanto aos benefícios proporcionados pelo PROSUB, Lana (2014, p.19), ressaltou:

Os efeitos dessa transferência tecnológica e nacionalização são progressivos. O conhecimento absorvido é transformado e se desdobra em aplicações múltiplas e duais. Assim, além da defesa do País, o que o PROSUB está promovendo é um grande avanço na área científica e a formação de uma indústria nacional altamente sofisticada, que não só atenderá às demandas de modernos sistemas e equipamentos para as Forças Armadas, como impulsionará vários setores da economia nacional, podendo aumentar as exportações brasileiras de produtos de alto valor tecnológico agregado.

O PROSUB representa, portanto, o resultado de muitos esforços, aplicados desde 1979, com a criação do Programa Nuclear da Marinha. Certamente, um investimento em defesa condizente com a amplitude das riquezas nacionais, conforme prerrogativa da própria Estratégia Nacional de Defesa (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019c).

4.1.4. Logística de Construção e Instalações de Apoio

As atividades do PROSUB, que abrangem as pesquisas básicas, simulações, fabricação do combustível, montagem das seções, comissionamento, lançamento do submarino etc., concentram-se, basicamente, em instalações localizadas nos estados de São Paulo e do Rio de Janeiro (FONSECA JÚNIOR, 2015).

Em São Paulo, a menos de 100 km do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), localizado na capital paulista, encontra-se o Centro Industrial Nuclear de Aramar (CINA), no município de Iperó, região de Sorocaba. Neste local, funcionam as principais oficinas, usinas e laboratórios do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), com destaque para o Laboratório de Geração de Energia Núcleo-Elétrica (LABGENE), dotado de um reator experimental e um protótipo de terra que simula uma das seções do submarino. Para o enriquecimento isotópico do seu combustível, Aramar contará com o apoio da Unidade Produtora de Hexafluoreto de Urânio (USEXA), uma usina piloto, com capacidade para a produção de 40 toneladas de hexafluoreto de urânio por ano, o suficiente para atender toda a demanda do PROSUB (LANA, 2014).

No município de Itaguaí, no estado do Rio de Janeiro, estão concentradas as instalações do Complexo Industrial de Construção e Manutenção do Submarino com Propulsão Nuclear, dividido em Área Norte e Sul da Base Naval e Estaleiro, com mais de 750 mil metros quadrados. Na área, encontra-se implantada também, desde 2013, a Unidade de Fabricação de Estruturas Metálicas (UFEM), adjacente à NUCLEP (Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A).

A construção do SN-BR terá início na NUCLEP, onde serão fabricados o vaso do reator e os componentes do casco resistente. Em seguida, a UFEM será incumbida da união das subseções do casco, estruturas leves e pré-equipagem.



Figura 7 – Complexo do PROSUB-EBN em Itaguaí/RJ.

Fonte: MARINHA DO BRASIL (2019).

No estaleiro (Figura 7, acima), serão realizados os acabamentos e testes finais do submarino (no *Main Hall*), para, em seguida, ser lançado ao mar através de um elevador – o *ship lift*, com capacidade de 8 mil toneladas. A inserção do elemento combustível, oriundo de Aramar, será realizada no Complexo Radiológico, mediante um dispositivo de troca de combustível (*Mobile*). Ao final do processo, ocorrerão as provas de cais (HAS) e as provas de mar (SAT) (LINS, 2017).

Cabe lembrar que a construção de todas as instalações do complexo de Itaguaí foi respaldada em amplos programas sociais para divulgação dos investimentos e inserção da população local no empreendimento. Dentre eles, pode-se citar a educação ambiental para os trabalhadores da obra; o Programa *Alimento Justo*, para incentivo da agricultura familiar na região; o Programa *Acreditar*, para a promoção de educação profissional e inserção da população local no mercado de trabalho; o *Centro de Atendimento ao Público*, para intermediar a comunicação com a comunidade; etc. (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019c).

4.1.5. O Submarino Nuclear Brasileiro (SN-BR)

Submarino Nuclear Brasileiro (SN-BR), denominado *Submarino Nuclear Álvaro Alberto* (SN-10), assim como a maioria dos submarinos nucleares no mundo, também funcionará com um reator do tipo PWR, com potência aproximada de 50 MW, a ser inserido em um casco com diâmetro de 9,8 m, comprimento de 98 m e deslocamento de superfície de cerca de 6.000 t (MAIA, 2015).

O submarino será dotado de torpedos franceses F21 e mísseis *Exocet SM39*, podendo operar a profundidade máxima de 350 m, em uma velocidade de cruzeiro de 24 a 26 nós - aproximadamente 50km/h (PADILHA, 2014). Seu combustível será de urânio enriquecido a proporções inferiores a 20%.

A Figura 8, abaixo, apresenta um esquema comparativo do submarino nuclear brasileiro (SN-BR) com o submarino convencional da Classe *Scorpène* (adaptado), também parte integrante do PROSUB, com destaque para as diferenças de comprimento, deslocamento, autonomia, profundidade máxima e tripulação.

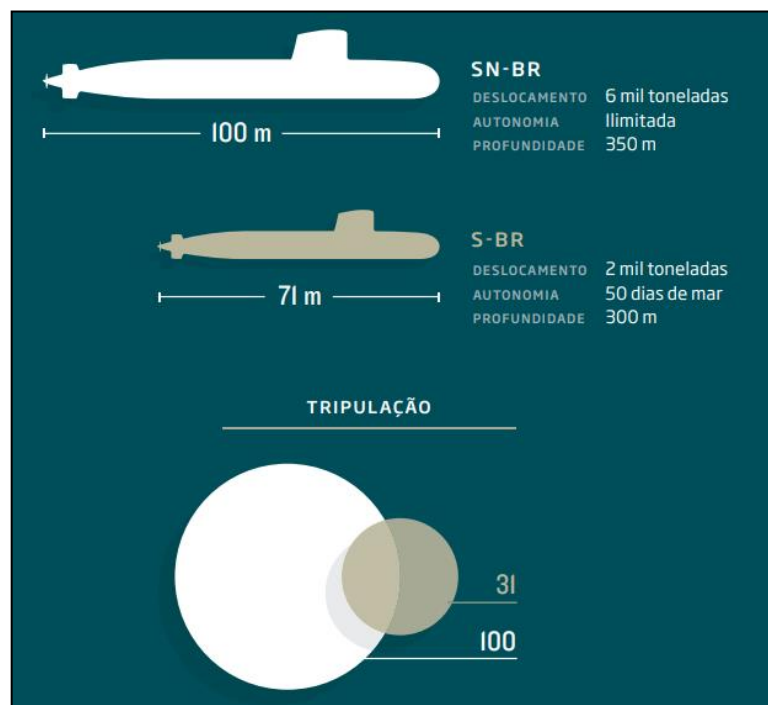


Figura 8 – Esquema comparativo entre o Submarino Nuclear Brasileiro (SN-BR) e o submarino convencional da Classe *Scorpène*, também parte integrante do PROSUB, com informações de deslocamento (tonelagem), autonomia, profundidade máxima de operação e tripulação.

Fonte: MARINHA DO BRASIL (2014).

O SN-BR será um meio operativo autônomo no mar e, ao contrário do que alguns pensam, não consistirá em um submarino nuclear balístico. O Brasil, além de ser signatário do *Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares*, tem, em sua Constituição Federal, a proibição do uso da energia nuclear para fins não pacíficos²².

22 Conforme o Art. 21, inciso XXIIIa, da *Constituição da República Federativa do Brasil* de 1988, *toda atividade nuclear em território nacional somente será admitida para fins pacíficos e mediante aprovação do Congresso Nacional.*

5. GENERALIDADES DO TRANSPORTE TERRESTRE DE MATERIAIS RADIOATIVOS E PREMISSAS BÁSICAS

Com o aumento das atividades envolvendo energia nuclear, é natural que haja uma maior demanda de estudos envolvendo o transporte de materiais radioativos, em todas as modalidades possíveis. Assim sendo, tornou-se necessária a elaboração de normas mais específicas para esse tipo de transbordo.

No Brasil, o transporte rodoviário consiste no modal mais importante, em função da sua grande capacidade de integração com todas as outras vias (ferroviária, aérea e aquaviária) e com a existência de uma extensa malha de estradas federais e estaduais. Em termos de geração de doses coletivas, as potencialidades também são mais elevadas, tendo em vista a existência de indivíduos do público próximos ao veículo, o que não acontece nas outras modalidades (GERULIS, 2013).

Os regulamentos de transporte da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA – *International Atomic Energy Agency*) foram publicados, pela primeira vez, em 1961. Até a década anterior, grande parte dos países ocidentais seguia as recomendações da Comissão de Comércio Interestadual (ICC – *Interstate Commerce Commision*), dos Estados Unidos, que, com o tempo, foram se mostrando obsoletas e inadequadas. As primeiras preocupações com a segurança no transporte tiveram destaque, à proporção que conheciam-se os efeitos nocivos à saúde humana das radiações ionizantes, não apenas pelas experiências bélicas, mas também pelos primeiros acidentes envolvendo o traslado de materiais médicos, ainda na década de 40.

Com o passar das décadas e o desenvolvimento de novas tecnologias nucleares relacionadas à expansão dos parques industriais e o atendimento às novas demandas energéticas, as normas foram sendo revisadas, adaptadas e atualizadas. Itens relacionados à diferenciação dos embalados e testes de controle de qualidade assumiram grande importância na esfera do ciclo do combustível nuclear, principalmente. Ciclo este que envolvia desde os produtos das atividades de mineração, até a destinação final de rejeitos radioativos.

Hoje, os documentos da IAEA possuem uma grande abrangência, com aplicação em atividades que envolvem riscos nucleares e radiológicos, considerando todas as modalidades de transporte, sendo amplamente aceitos como referência por todos os países membros.

No Brasil, a revisão de 1985 da *Safety Series* nº 6 foi utilizada como base para a redação da principal norma brasileira da área de transporte de materiais radioativos, a CNEN-NE 5.01, extremamente necessária para a salvaguarda humana e do meio ambiente. Um documento que aponta o projeto adequado do embalado como fator responsável pela segurança do material (*safety*). Além disso, são enunciados também requisitos operacionais, como a monitoração do nível externo de radiação, o controle da temperatura, a configuração dos embalados, dentre outros (GAIDANO et al, 2014). Para materiais físséis destaca-se a necessidade de manutenção da condição subcrítica.

5.1. A NORMA 5.01 DA CNEN

5.1.1. Generalidades

O transporte de materiais radioativos deve ser realizado de forma a *garantir o nível adequado de controle da eventual exposição de pessoas, bens e meio ambiente à radiação ionizante* (CNEN-NE 5.01/1.1, p.7). Para isso, o Brasil dispõe da norma 5.01 da CNEN, que aplica-se à *preparação, expedição, manuseio, carregamento, armazenamento em trânsito e recebimento do destino final dos embalados* (1.2.1c, p.7). Com aprovação pela Resolução CNEN 13/88 de 19/07/1988, este documento repousa em três premissas básicas:

- Nos cuidados para os embalados de material radioativo, considerando a sua similaridade com os demais produtos perigosos;
- Na dependência da segurança do material com o projeto do embalado, exclusivamente (o que não abrange as condições operacionais de transporte);
e
- Na responsabilidade do expedidor pela segurança no transporte.

5.1.2. Classificações e Embalados

A classificação dos materiais radioativos para fins de transporte tem como base a sua atividade específica mínima de 2nCi/g. Caso o material apresente uma atividade inferior a este valor de referência, ele será classificado como não-radioativo, não estando, portanto, sujeito às delimitações da norma da CNEN.

Os materiais radioativos poderão ser de *forma especial* (A1), como *fonte selada* (encapsulada em metal) ou *sólido indispersível*, que tenham, pelo menos, uma dimensão não inferior a 5 mm; ou de *outras formas* (A2), para objetos contaminados na superfície (OCS I e II), materiais de Baixa Atividade Específica (BAE I, II e III), materiais físséis, fontes líquidas (para Medicina Nuclear), fontes sólidas não-seladas ou fontes gasosas.

Para o primeiro caso (forma especial A1), faz-se necessária a aprovação em testes de resistência²³. Ou seja, o material deverá possuir elevado grau de integridade física, o que se traduz em uma pequena probabilidade de dispersão e contaminação, em caso de acidente²⁴. As fontes seladas deverão ser submetidas aos seguintes três testes de resistência mecânica e um teste térmico:

- *De impacto*, com queda livre da amostra de uma altura de 9 metros, sobre um alvo plano e resistente;
- *De percussão*, com golpeamento vertical por uma barra de aço de seção circular;
- *De flexão*, para fontes longas e seladas posicionadas na horizontal, por meio do golpeamento de uma de suas extremidades; e
- *Térmico*, com aquecimento no ar e posterior esfriamento natural.

As fontes sólidas não dispersíveis, por sua vez, deverão ser submetidas aos ensaios de *lixiviação* e *vazamento volumétrico*.

23 Caso sejam reprovados, serão qualificados como material radioativo de *outra forma* (A2).

24 As fontes seladas e materiais indispersíveis (de classificação A1) apresentam dois cenários de risco de exposição – com radiação gama e partículas beta. Esta, não deverá ser blindada com materiais de alta densidade, devido ao risco de produção de fótons do tipo *bremstrahlung*.

Para as outras formas de material radioativo (A2), os requisitos variam bastante, o que inclui:

- Os materiais de Baixa Atividade Específica (BAE), em suas três classes (incluindo minérios, urânio natural, água com concentração de trítio com atividade de até 1TBq/l, rejeitos de reatores nucleares etc.);
- Os objetos contaminados na superfície, de acordo com diferentes níveis de contaminação;
- Os materiais físséis, com demanda de cuidados específicos, frente ao risco de criticalidade; e
- Outras fontes líquidas, gasosas e sólidas não seladas (como os para-raios radioativos).

A norma 5.01 da CNEN trata também do Sistema Q para limitação da quantidade de material radioativo para embalagens do Tipo A, com base em cálculos probabilísticos para a exposição de um indivíduo à radiação, em caso de acidentes, partindo da premissa da destruição total da embalagem. O sistema enumera cinco valores:

- Q_A , para dose externa devido a fótons (raio X ou gama);
- Q_B , para doses externas devido à partícula beta²⁵;
- Q_C , para dose devido à inalação;
- Q_D , envolvendo dose de contaminação de pele e ingestão; e
- Q_E , associada à dose decorrente da imersão em nuvem radioativa.

25 O decaimento beta (elétrons e pósitrons) ocorre em um espectro de energia, sem um valor específico que teríamos em um cenário monoenergético, e todas as equações que descrevem o fenômeno são todas empíricas.

Os dois primeiros, Q_A e Q_B , envolvem a *Forma Especial* (A1). Já as *outras formas* (A2), envolvem todos os cinco cenários do sistema Q^{26} .

Os valores de A1 e A2 são tabelados, em função do tipo de radionuclídeo, através da Tabela I da norma 5.01. Com base nesses valores, tendo em mãos a atividade e a classificação da fonte, é possível determinar o tipo de embalado mais apropriado, que poderá ser do tipo *Exceptiva*, quando não forem extrapolados os limites impostos na Tabela IV da norma; Tipo A, quando a equação abaixo for inferior ou igual a um; e Tipo B, quando for superior.

Para misturas de materiais radioativos, utiliza-se o somatório:

$$\sum_i \frac{B(i)}{A_1(i)} + \sum_j \frac{C(j)}{A_2(j)}$$

Neste caso, $B(i)$ e $C(j)$ representam, respectivamente, as atividades dos materiais de *Forma especial* e de *Outras Formas*. Ambas as parcelas de somatório serão utilizadas quando houver mistura de materiais radioativos em um mesmo embalado. Caso, haja apenas um único material, utilizar-se-á somente a parcela correspondente à sua classificação.

5.1.3. Requisitos Operacionais, Documentações e Sinalizações

A norma CNEN-NE 5.01 e o Decreto nº 96.044, do Ministério dos Transportes²⁷, enumeram também alguns requisitos operacionais básicos para transporte de materiais radioativos, conforme apresentado a seguir.

26 O valor de A1 é determinado pelo menor valor entre Q_A e Q_B , e o de A2, pelo menor valor entre todos os cinco cenários, de Q_A a Q_E .

27 O Decreto nº 96.044, Seção VI, Art. 22, aprova a Regulamentação para Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, que determina que todo traslado de material perigoso deverá ser acompanhado por uma *Ficha de emergência* e *Envelope de Transporte*, emitidos pelo expedidor, segundo as normas técnicas da ABNT (NBR-7503, NBR-7504 e NBR-8285).

- As documentações de transporte (item 8.2), abrangendo *envelope de transporte* padronizado; *ficha de emergência*, com as primeiras medidas a serem tomadas e informações dos riscos associados ao material transportado; *declaração do expedidor*; e *ficha de monitoração do veículo*, para certificação de que os níveis de dose encontram-se abaixo do limite estabelecido pela CNEN-NE 3.01;
- Os Limites de contaminação de superfície²⁸, levando-se em conta o tipo de embalado, pacote de embalados, contêiner ou meio de transporte, além do tipo de emissão (gama, beta ou alfa);
- As sinalizações do embalado e do veículo;
- A numeração da Organização das Nações Unidas (ONU); e
- O Plano de Transporte.

Para a sinalização do embalado e do veículo, a CNEN-NE 5.01 introduz algumas condições, com base em faixas de valores de *índice de transporte* (IT) e de *nível de radiação máximo em qualquer ponto da superfície externa* (NRM). O primeiro está associado ao um embalado, pacote de embalados, tanque ou contêiner contendo material radioativo, estabelecendo uma série de parâmetros, tais como controle de exposição, limites de conteúdo, categorias para rotulação, requisitos de uso e operação e restrições de misturas (GAIDANO et al, 2014). Assim sendo, o Índice de Transporte é um valor que representa a taxa máxima de dose a distância de 1 m do embalado ou um limite para evitar criticalidade.

A partir da Tabela 3, extraída da CNEN-NE 5.01, p. 82 (Tabela IX – *Categoria de Embalados*) e apresentada a seguir, pode-se determinar o tipo de categoria para sinalização do embalado e do veículo.

28 O item 4.16 da NE-CNEN 5.0, p.14, enuncia que a este tipo de contaminação ocorre com a *presença de substância radioativa em uma superfície em quantidades superiores a 0,4Bq/cm² (10⁻⁵μCi/cm²), para emissores beta e gama, ou 0,04Bq/cm² (10⁻⁶μCi/cm²), para emissores alfa.*

Tabela 3 – Tabela demonstrativa da Categoria dos Embalados e do veículo.

CONDIÇÕES DE NÍVEIS DE EXPOSIÇÃO		CATEGORIA
ÍNDICE DE TRANSPORTE (mrem/h)	NÍVEL DE RADIAÇÃO MÁXIMO (NRM), EM QUALQUER PONTO DA SUPERFÍCIE EXTERNA DO EMBALADO (mSv/h) (*)	
IT = 0	$NRM \leq 0,005$	BRANCA I
$0 < IT \leq 1$	$0,005 < NRM \leq 0,50$	AMARELA II
$1 < IT \leq 10$	$0,50 < NRM \leq 2$	AMARELA III
IT > 10	$2 < NRM \leq 10$	AMARELA III (**)

(*) 1 mSv/h = 100 mrem/h

(**) Neste caso, a categoria do embalado é a Amarela III, porém sob uso exclusivo do veículo.

Uso Exclusivo: *Uso por um único expedidor de um meio de transporte ou de um grande contêiner, de modo que quaisquer operações de carga e descarga sejam realizadas segundo orientação do expedidor ou do destinatário.*

Fonte: CNEN (1988).



Figura 9 – Categorias de sinalizações – Branca I, Amarela II e Amarela III, respectivamente.

Fonte: CNEN (1988).

A norma 5.01 da CNEN teve por base o *Safety Series* nº 6 da IAEA. No IT considerado, não há distinção (separação) entre o nível máximo a 1 m da superfície do embalado e o da criticalidade. Neste caso, deve-se adotar o maior valor entre os dois). A versão mais recente desse documento da agência internacional, o ST-R-2, considera o controle da exposição da radiação e a criticalidade nuclear em separado (um índice para cada um dos casos). Foi criado, inclusive, um índice específico para controle e manutenção do estado subcrítico para materiais físeis durante o transporte, chamado de *índice de segurança de criticalidade* (ISC), demonstrando as preocupações extras da IAEA com este tipo de condição. Este índice é utilizado para

o controle sobre o acúmulo de pacotes que possam se tornar críticos por causa do fator de multiplicação de nêutrons por reflexão e moderação se empilhados juntos (SILVA, 2005).

Todo embalado, pacote, tanque ou contêiner deverá conter o símbolo do *trifólio*, com a categoria do material e o padrão de cores definido, e, ainda, se for o caso, rótulo específico para informações de características adicionais de perigo, a exemplo do transporte de hexafluoreto de urânio (UF₆). Para o veículo, a norma prevê o uso de três placas de aviso, uma na traseira e as outras duas em cada lateral, além da placa indicativa da classe do produto perigoso com a sua correspondente numeração da ONU.

Por fim, o Plano de Transporte deverá conter algumas informações básicas como classificação do material, garantias de seleção da embalagem, requisitos e controle de embalados, modos e meios de transporte e garantias relacionadas aos limites de radiação. Os procedimentos para carga e descarga, bem como para os procedimentos de segurança também deverão ser contemplados.

5.1.4. Tipos de Embalados e Requisitos

Para os tipos de embalagens, a CNEN-NE 5.01 estabelece uma classificação baseada em valores crescentes de resistência mecânica, utilizadas conforme a atividade do material – *Exceptiva, Tipo A, Industrial e Tipo B*²⁹. Todas contendo diversos requisitos de projeto para situações rotineiras de transporte – que sejam de fácil manuseio e transporte, possam ser adequadamente fixadas, apresentar superfície externa livre de saliências capazes de reter material contaminante, suportem cargas inerentes ao transporte etc.

²⁹ A norma brasileira da CNEN não considera o embalado do Tipo C, já enunciado pela IAEA, projetado para resistir a acidentes aeronáuticos.

Para embalagens industriais e do tipo A, destaca-se a necessidade de quatro ensaios específicos – *jato d'água*, de forma intermitente para simulação de chuva; *queda livre*, para testar a segurança contra choques mecânicos; *empilhamento*, com simulação de compressão no embalado; e *penetração*, para simulação de perfuração do embalado.

Para as do Tipo B (Figura 10), com maior resistência mecânica, são exigidos, utilizando um único protótipo, três ensaios mecânicos e um térmico, submetendo a amostra a uma fonte de calor; além de um de imersão³⁰.



Figura 10 – Exemplo de um contêiner do Tipo B para combustível nuclear irradiado, utilizado em sistemas de propulsão naval da *US Navy* (M-290), com 260 toneladas e 9,2m de comprimento, transportado por linha ferroviária. Em suas duas extremidades, os domos limitadores de impacto.

Fonte: *Myles Primm, EastIdahoNews.com*³¹.

Todos os ensaios previstos têm como objetivo a verificação da integridade do embalado projetado (controle de qualidade), a fim de garantir a segurança no transporte, evitando vazamento e dispersão do conteúdo radioativo e perda de blindagem que possa resultar em um aumento superior a 20% do nível de radiação na superfície externa.

30 Maiores detalhes dos ensaios para embalados do Tipo B no item 4.2.1.2 do presente trabalho.

31 Disponível em <<https://www.eastidahonews.com/2017/08/planned-fuel-handling-facility-site-vitally-important-navy/>>. Acesso em 20 ago. 2019.

5.2. EMERGÊNCIA NO TRANSPORTE

Além do próprio controle de qualidade inerente ao uso dos embalados, existem alguns requisitos para a prevenção de situações de emergência envolvendo materiais radioativos, que podem se refletir tanto na adoção de restrições ao veículo e à modalidade, quanto na elaboração de um Plano de Emergência adequado.

Materiais dispersíveis (pós, líquidos ou gases), apresentam um risco elevado, com possibilidade de geração de danos irreversíveis ao meio ambiente e à saúde humana, por meio da contaminação, necessitando, portanto, de uma resposta rápida em casos de acidentes. Materiais não dispersíveis, por sua vez, também oferecem riscos, com a exposição de pessoas a doses elevadas, em caso de rompimento da blindagem.

A gravidade dos efeitos depende do tipo de embalado. As consequências mais brandas são associadas aos exceptivos, que possuem pouca quantidade de material. Os industriais também não oferecem muito perigo, podendo ser enfrentados, com certa facilidade, com pessoal qualificado. A perda de contenção, no entanto, deve ser enfrentada de maneira eficiente para evitar contaminação dos equipamentos, pessoas e meio ambiente. Para os do Tipo A, as consequências podem ser bem mais sérias, em caso de destruição dos embalados e liberação do material radioativo. No Tipo B, as chances de contaminação são mínimas, pois os embalados são projetados para resistirem a choques consideráveis e situações extremas.

Além dos embalados, outros fatores também possuem grande influência na gravidade das consequências, tais como forma física e química dos materiais, radiotoxicidade, quantidade, modo de transporte, severidade do acidente, localização e condições atmosféricas.

Como medidas gerais para acidentes em transporte radioativo, destaca-se a importância do controle de incêndio (capaz de espalhar materiais indispersíveis) e outras medidas que possam minimizar as consequências ruins; o isolamento de áreas, para controle de irradiação e contaminação; e a descontaminação de pessoas, equipamentos e áreas. Cabe lembrar que, a prioridade, em qualquer situação de emergência, é o atendimento ao ser humano.

Para materiais físséis, uma das maiores preocupações é a manutenção do seu estado subcrítico, qualquer que seja a condição externa, levando em conta a possibilidade de vazamentos de água; a perda de eficiência de absorvedores ou moderadores de nêutrons; os possíveis rearranjos do material, o que inclui a redução de espaços (em caso de choque mecânico); imersão em água ou em neve; e mudanças bruscas de temperatura.

5.3. NORMAS INTERNACIONAIS E BRASILEIRAS COMPLEMENTARES

5.3.1. Um Panorama das Normas Internacionais

Dentre os principais documentos das organizações internacionais para o transporte de materiais radioativos, pode-se citar:

- A *Safety Series*³² nº 6, 7, 37, 80 e 87 da IAEA – os documentos mais difundidos e utilizados pelos países signatários da Agência (vide Tabela 3);
- O *Orange Book*, do Conselho Econômico e Social das Nações Unidas (ECOSOC/UN – *The Economic and Social Council of United Nations*), que realizou, pela primeira vez, a classificação de produtos perigosos para fins de transporte em 9 classes³³;
- A *ACTS*, da União Postal Universal (UPU), resultante de uma convenção ocorrida em Berna, na Suíça e, hoje, parte integrante da Organização das Nações Unidas (ONU)³⁴;

32 Nas versões mais atualizadas, esta norma recebeu novas nomenclaturas. Para a *Safety Series* nº 6, base da CNEN-NE 5.01, por exemplo, a versão mais recente, de 2018, recebe o nome de ST-R-2.

33 Das 9 classes de produtos perigosos, os radioativos são fixados como Classe 7. Alguns materiais, no entanto, podem ter mais de uma classificação, a exemplo do UF₆ (Classes 7 e 9 – radioativo e corrosivo).

34 No Brasil, o transporte de material radioativo em via postal é terminantemente proibido pela CNEN-NE 5.01.

- O *Technical Instruction Regulations*, para a modalidade aérea, da Organização Internacional de Transporte Aéreo Civil (ICAO – *International Civil Aviation Organization*) e da Associação Internacional para o Transporte Aéreo (IATA – *International Air Transport Association*);
- *OIMDG Code* da Organização Marítima Internacional (IMO – *International Maritime Organization*), que autorizou, somente na década de 1960 o transporte marítimo de materiais perigosos, o que inclui o radioativo; e
- *ORID (Regulations Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail)* da OCTI (*Central Office for International Carriage by Rail*), para transportes por vias ferroviárias, mais comuns na UE e EUA.

A Tabela 4, abaixo, apresenta todo campo de atuação de cada um desses documentos, bem como a porcentagem de membros que regulam o transporte utilizando esses documentos, para transporte doméstico e internacional (os números em negrito incluem o Brasil):

Tabela 4 – Principais normas internacionais para transporte doméstico e internacional, com porcentagem dos membros que regulam suas atividades utilizando os referidos documentos.

Organização Internacional	Documentos	Campo	Porcentagem dos membros que regulam o transporte utilizando esses documentos	
			Doméstico	Internacional
IAEA	<i>Safety Series (nº 6, 7, 37, 80, 87)</i>	todos	79,2 %	75,5 %
UN / ECOSOC	<i>Orange Book</i>	todos	15,1 %	17,0 %
UPU	<i>ACTS</i>	todos	39,6 %	41,5 %
ICAO	<i>Technical Instructions</i>	Ar	56,6 %	58,4 %
IATA	<i>Regulations</i>	Ar	60,4 %	60,4 %
IMO	<i>IMDG Code</i>	Mar	66,0 %	67,9 %
OCTI	<i>RID</i>	ferrovia	41,5 %	45,3 %

Fonte: IRD (2019).

Como já foi mencionado, a CNEN-NE 5.01 tem como base a *Safety Series* nº 6 da AIEA, versão de 1985. Como pode ser observado na Tabela 3, além dessa norma específica, a Agência Internacional ainda dispõe de outras quatro séries com aplicação no setor de transporte de materiais radioativos. Em relação a este conjunto de normas, a Tabela 5 apresenta os seus cinco documentos, com seus respectivos campos de abrangência.

Tabela 5 – Cinco documentos da AIEA, da *Safety Series*, para transporte de materiais radioativos.

Normas da Safety Series	Título / Assunto	Abrangência
nº 6	<i>Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material.</i>	Com edições de 1973, 1979, 1985 e 1990. É a base da NN 5.01 da CNEN e estabelecem requisitos a serem atendidos
nº 7	<i>Explanatory Material for the AIEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material.</i>	Com a explicação dos requisitos.
nº 37	<i>Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material.</i>	Abrange a maneira dos requisitos serem cumpridos.
nº 80	<i>Schedule of Requirements for the Transport of Specified Types of Radioactive Consignments.</i>	Basicamente, uma síntese do regulamento de transporte aplicável a cada tipo de material radioativo.
nº 87	<i>Emergency Response Planning and Preparedness for Transport Accidents Involving Radioactive Material.</i>	Um suporte na preparação de um plano adequado de atuação em casos de emergências durante o transporte.

5.3.2. Outras Normas Brasileiras

No Brasil, o transporte de produtos perigosos e, em especial, dos materiais radiativos, é objeto de uma enorme gama de publicações e legislações que se desenvolveram à proporção que cresciam as preocupações da sociedade com o meio ambiente. São documentos que, apesar de terem origem em diferentes órgãos do Estado, apontam também a norma 5.01 da CNEN como principal referência, no que tange às substâncias radioativas.

Como exemplo de fontes de regulamentação de transportes perigosos, em seus diversos modais, pode-se citar, na esfera federal, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Minerais Renováveis (IBAMA). O Comando da Marinha, o Comando da Aeronáutica e a Polícia Rodoviária Federal (PRF) também possuem participação importante neste cenário, em função de suas competências legais.

O IBAMA é o órgão federal executor do SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente), sendo responsável pelo licenciamento ambiental de empreendimentos e pelas atividades com significativo impacto ambiental no Brasil (Art. 10, Lei nº 6.938, de 31/08/81). Para o setor nuclear e radioativo, envolve-se em conjunto com a CNEN em áreas que envolvem pesquisa, lavra, produção, beneficiamento, transporte, armazenamento e disposição de material radioativo, em qualquer estágio, ou que utilizem energia nuclear em todas as formas e aplicações (inciso IV do Art. 10), desde que haja impacto significativo no meio ambiente. As competências do IBAMA envolvem sanções penais e administrativas para condutas irregulares envolvendo o meio ambiente (Lei nº 9.605 de 12/02/98), dispondo sobre a especificação das sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao meio ambiente (Decreto nº 31.079 de 21/09/99).

A Polícia Rodoviária Federal (PRF), por sua vez, também contém portarias e decretos específicos para a regulamentação do transporte de produtos perigosos, incluindo os radioativos, bem como a sua fiscalização e disposição sobre multas, em caso de infração. Seus documentos têm como base a sétima versão do *Orange Book* da ONU que, assim como a CNEN-NE 5.01, também reflete o *Safety Series* nº 6 da AIEA.

Na esfera do Ministério da Defesa, destacam-se as normas do Comando da Marinha, aplicadas aos transportes aquaviários, e as do Comando da Aeronáutica, para a modalidade aérea. No primeiro caso, a Diretoria de Portos e Costas, mediante as normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação em Mar Aberto (NORMAN 01) e em águas interiores (NORMAN 02), regula o transporte de materiais perigosos nestes cenários (Portarias 039/DPC/2000 e 04/DPC/2002),

invocando o *IMDG Code*, bem como as normas da CNEN. Já o Departamento de Aviação Civil da Força Aérea Brasileira (FAB), no segundo caso, define, por meio da Portaria 1.577/DGAC/2001, instruções técnicas da ICAO e normas da CNEN, regulamentos de transporte de materiais radioativos por vias aéreas (Instrução de Aviação Civil – IAC 1603 A).

Em complemento aos documentos da FAB, no que tange à aviação civil (comercial e privada), a ANAC impõe condições específicas para o transporte de materiais perigosos que podem representar riscos à saúde, à segurança, à propriedade e ao meio ambiente, através da RBAC nº 175. Para as cargas radioativas (materiais de Classe 7, conforme item 175.41 do Anexo D), este regulamento da agência, em consonância com a CNEN-NE 5.01, impõe condições necessárias para o seu transporte, bem como regras de manuseio dos operadores e condições de segurança específicas.

Como auxílio às diferentes normas existentes, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), também possui referências úteis para o setor nuclear e radiológico, embora, às vezes, seja um pouco redundante, através de algumas normas específicas, conforme sintetizado na Tabela 6, a seguir.

Tabela 6 – Normas da ABNT para o setor nuclear e radiológico.

Norma	Última Versão	Título / Assunto
NBR 7500	2018	Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos.
NBR 7501	2011	Transporte terrestre de produtos perigosos — Terminologia.
NBR 7503	2018	Transporte terrestre de produtos perigosos - Ficha de emergência e envelope para o transporte - Características, dimensões e preenchimento.
NBR 9735	2017	Conjunto de equipamentos para emergências no transporte terrestre de produtos perigosos.
NBR 14064	2015	Transporte rodoviário de produtos perigosos - Diretrizes do atendimento à emergência.
NBR 14095	2008	Transporte rodoviário de produtos perigosos - Área de estacionamento para veículos - Requisitos de segurança.

Fonte: ABNT (2019).

Havendo entendimentos mútuos, as diferentes regulamentações poderão estar referenciadas em uma mesma versão das normas internacionais, evitando informações conflituosas.

6. ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS PARA SUBMARINOS NUCLEARES

O elemento combustível representa um dos componentes mais sigilosos do submarino e o controle de qualidade rigoroso na sua fabricação é um fator imprescindível para o bom funcionamento do meio. Além disso, o conhecimento de suas características básicas é uma premissa fundamental para o projeto de um embalado seguro que não venha a representar riscos durante o seu transporte.

Poucas, no entanto, são as informações detalhadas existentes em fontes ostensivas. Apesar disso, em decorrências das crescentes preocupações com o meio ambiente e, conseqüentemente, com a gestão de resíduos em atividades envolvendo o ciclo do combustível nuclear, bem como os esforços da IAEA para a não proliferação de artefatos bélicos, diversos países detentores de submarinos nucleares tem demonstrado esforços para promoção da transparência e disponibilização de informações antes consideradas segredos militares.

6.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Por possuírem reatores PWR que operam com núcleos de vida longa, em função das grandes dificuldades de recarga³⁵, os submarinos requerem um nível de enriquecimento mais elevado, o que determinará, obviamente, a magnitude da sua densidade energética de potência.

Enquanto usinas de potência utilizam combustíveis com um grau de enriquecimento da ordem de 4%, os submarinos operam com propulsão de urânio enriquecido em proporções superiores a 7%, podendo alcançar patamares bastantes elevados de até 97,3% (IPPOLITO, 1990).

35 Nas recargas em submarinos, há troca integral do elemento combustível, sem *shuffling*.

A Tabela 7, abaixo, apresenta uma síntese das faixas de enriquecimento do elemento combustível. Os submarinos nucleares podem operar com *urânio pouco enriquecido* (LEU – *Low-Enriched Uranium*), com níveis de ^{235}U inferiores a 20%; *urânio altamente enriquecido* (HEU – *Highly-Enriched Uranium*), em patamares superiores a 20%; ou, até mesmo, com combustíveis com nível de enriquecimento superior a 90% (WG-HEU – *Weapon-Grade Highly Enriched Uranium*), também utilizados em artefatos nucleares (MAIA, 2015).

Tabela 7 – Síntese das faixas de enriquecimento do elemento combustível dos SN.

Nomenclatura		Proporção de U-235 (enriquecimento)
LEU (<i>Low-Enriched Uranium</i>)	Urânio pouco enriquecido	Inferior a 20%
HEU (<i>Highly-Enriched Uranium</i>)	Urânio altamente enriquecido	Superior a 20%
WG-HEU (<i>Weapon-Grade Highly-Enriched Uranium</i>)	Urânio enriquecido para Urânio armamento	Superior a 90%

Segundo Ippolito (1990), os Estados Unidos e o Reino Unido detêm hoje submarinos nucleares com combustível enriquecido a, no máximo, 97,3% (WG-HEU), enquanto que a China e a França optaram por níveis mais baixos de enriquecimento (LEU), apesar de possuírem tecnologia para atingirem patamares bem mais superiores. Os russos, por sua vez, operam os seus meios com *urânio altamente enriquecido* (HEU), em proporções entre 21 e 45% (KOPTE, 1997).

O enriquecimento isotópico do urânio é um processo extremamente complexo³⁶ que tem como objetivo o aumento da concentração do isótopo ^{235}U , presente em pequenas quantidades na natureza (aproximadamente 0,7%), em relação ao ^{238}U , mais abundante (cerca de 99,3%). O isótopo 235 é aquele que possui importância para a geração de energia em reatores (SANTOS, 2008).

36 Pois os isótopos ^{235}U e ^{238}U possuem propriedades químicas idênticas (SANTOS, 2011).

O enriquecimento de urânio pode ser realizado através do processo de ultracentrifugação, como é o caso do Brasil, ou mediante outras técnicas, tais como: jato-centrifugação, difusão gasosa, de métodos eletromagnéticos, PCP (utilizando plasma) etc. (SANTOS, 2011).

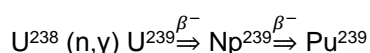
Além da questão das dimensões reduzidas (as varetas do elemento combustível têm comprimento na faixa de 1,2 a 1,8 m, em comparação com as de 4,0 a 5,0 m das usinas) e do intervalo de tempo para recargas, quanto maior o grau de enriquecimento isotópico do combustível, menor será a produção de elementos transurânicos (GUIMARÃES, 1999). Assim sendo, os submarinos nucleares que operam com o WG-HEU praticamente não necessitam de troca de combustível e geram baixíssima quantidade de plutônio-239 no processo³⁷.

Quanto ao tipo de combustível, existem os elementos metálicos, comuns em pequenos reatores com urânio enriquecimento a mais de 90%. São úteis por possuírem maior condutividade térmica, menor folga na geometria e transientes de potência mais elevados.

As ligas de urânio (urânio-alumínio, urânio-zircônio, urânio-molibdênio etc.) têm sido utilizadas mais largamente em substituição ao urânio metálico puro (mais limitado), evitando problemas de conformação mecânica e inchamento anisotrópico sob irradiação, comuns em cenários com altos níveis de irradiação e temperaturas muito elevadas (LONGEN et al, 2014).

Existem também os elementos cerâmicos de dióxido de urânio (UO₂), com uma boa resistência à corrosão e à deformação por irradiação (MAIA, 2015), sendo mais indicado para reatores do tipo PWR (IPPOLITO, 1990).

37 Decorrente de decaimentos radioativos que se iniciam com a captura de um nêutron bastante energético (da ordem de milhões de eV) pelo núcleo de ²³⁸U, em reatores nucleares (SAFFIOTI, 1982), conforme o esquema:



Quanto à geometria, Maia (2015) complementa que os elementos combustíveis em placas são ideais para reatores de submarinos que utilizam urânio altamente enriquecido, por favorecerem a transferência de calor. Os combustíveis em caramelo e em varetas são mais comuns em usinas de potência.

6.2. O COMBUSTÍVEL DO SN-BR

Em agosto de 2016, o IPEN, juntamente com o CTMSP, concluiu o protótipo do primeiro dos dezenove elementos combustíveis metálicos, do tipo placa, para o denominado *Reator Multipropósito Brasileiro* (RMB), em nível de enriquecimento de 19,9%, bastante próximo ao limite da categoria LEU, para ser usado em trabalhos de pesquisa de Física dos Reatores. O conjunto de cascatas existente no CTMSP passou a operar, desde 2016, com capacidade de enriquecimento de até 19,95%, utilizando tecnologia autóctone (DANTAS, 2017).

O combustível do Submarino Nuclear Brasileiro enquadra-se na primeira faixa (*urânio pouco enriquecido* – LEU) (MAIA, 2015). Convém lembrar que este tipo de combustível requer mais da metade do esforço de separação isotópica, quando comparado ao HEU (IPPOLITO, 1990).

Nessas condições, o combustível do SN-BR terá um tempo de vida útil de aproximadamente cinco anos (em um SN com vida útil de trinta anos) e, após este período, será removido através de uma escotilha no casco e armazenado em uma piscina no Complexo Radiológico da Base Naval de Itaguaí (LINS, 2017).

7. ELEMENTOS PARA UM PLANO DE EMERGÊNCIA, CONSIDERANDO AS DIVERSAS ETAPAS DO TRANSPORTE TERRESTRE PARA MATERIAIS FÍSSEIS

Como bem apontam todas as normas nacionais e internacionais para o transporte de material radioativo, existem diversos riscos inerentes a cada uma de suas etapas. Quando este material é um combustível nuclear, com risco de criticalidade, os requisitos tornam-se ainda mais rigorosos, demandando um Plano de Emergência mais detalhado.

Para o SN-BR, este plano deverá ser fundamentado conforme a realidade do cenário existente, envolvendo um traslado de urânio enriquecido a quase 20%, entre Iperó/SP (ponto de partida) e Itaguaí/RJ (destino).

7.1. GENERALIDADES

A análise e o levantamento dos principais riscos associados ao transporte de combustível nuclear, com descrição dos possíveis cenários de emergência e suas potenciais consequências, são partes integrantes de um Plano de Emergência, realizado por meio de um supervisor de proteção radiológica, conforme base no Decreto nº 623 de 1992 da CNEN³⁸ e, de maneira complementar, nos Decretos Internacionais nºs 8 e 9 de 1991³⁹.

O conteúdo desses documentos abrange requisitos, dentre os quais:

- O estabelecimento de responsabilidades e deveres;
- A adoção de procedimentos de alerta e notificação;
- Métodos para esclarecimento da opinião pública;
- A definição de níveis de intervenção para exposição e contaminação;

38 Decreto que regulamentou o Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro (SIPRON), definindo a responsabilidade das instituições do plano para situações de emergência (PSE).

39 Que envolvem os acordos internacionais da Convenção sobre Assistência no Caso de Acidente Nuclear ou Emergência Radiológica e a Convenção sobre Pronta Notificação de Acidente Nuclear.

- Medidas de proteção;
- Procedimentos para atuação;
- Assistência médica para o público e trabalhadores;
- Procedimentos para treinamento, exercícios e atualização do plano; e
- Informações para o público.

Controlar riscos é reduzir a sua probabilidade e impactos, por meio de ações educativas, técnicas, gerenciais, legais ou políticas, de acordo com níveis de poder, responsabilidade e ação (OLIVEIRA et al, 2016 apud LIEGGIO JÚNIOR, 2008). Assim sendo, torna-se natural a realização de minuciosos programas de planejamento, com identificação das atividades mais sensíveis, dos riscos potenciais e das ações mais adequadas, em caso de eventualidades, como providência preliminar ao transporte, assegurando, desta maneira, a proteção radiológica dos profissionais envolvidos.

Em função do grau de periculosidade, no que tange, principalmente, à possibilidade de alcançar a condição crítica, o transporte de materiais físséis irradiados⁴⁰, segue procedimentos similares ao dos irradiadores de grande porte, com necessidade de acompanhamento de um responsável pela radioproteção e de técnicos da CNEN, durante a expedição.

Acidentes com graves consequências ao público e ao meio ambiente, na fase de transporte do combustível nuclear, podem ser evitados através da adoção de restrições específicas previstas em norma. No caso da modalidade terrestre, deve-se evitar, por exemplo, áreas com grande densidade populacional, em rotas que não apresentem boas condições de infraestrutura física e com riscos de desastres naturais.

40 Combustíveis queimados, com atividade elevada, contendo plutônio e outros produtos de fissão. O seu transporte requer, necessariamente, embalagem do tipo B, com resistência mecânica superior e todos os requisitos previstos em norma satisfeitos, tendo em vista um resfriamento prévio (MELDONIAN, 1979).

Para o caso dos combustíveis não irradiados (pastilhas não dispersíveis de UO_2), acidentes com violação do embalado praticamente não oferecem riscos de contaminação do público, exceto em situações de incêndios e explosões, onde a possibilidade de espalhamento de pequenos fragmentos torna-se real. Neste cenário, as consequências poderiam ser mais graves, principalmente em casos de ingestão e/ou inalação, considerando a alta toxicidade química e radioativa do urânio (devido às partículas alfa).

Em relação a este risco, Passareli (1977, p.9-10) apud Chalabreysse (1968), explica que *O dano primário causado pela inalação de compostos solúveis do urânio natural é a toxicidade química para os rins. Para compostos insolúveis, após inalação, o fator crítico é a irradiação dos pulmões e, portanto, a radiotoxicidade.* Assim sendo, os compostos mais solúveis em água, são potencialmente mais perigosos ao ser humano; os pouco solúveis, apresentam toxicidade moderada a baixa; e, os insolúveis, como o dióxido de urânio das partículas de combustível, *possuem potencial muito menor de causar toxicidade sistêmica, mas podendo causar toxicidade pulmonar quando a exposição for por inalação* (SANTOS, 2016, p. 28, apud ZAVÓDSKA, 2013).

Com base nesse trabalho de Zavódska (2013), foi elaborada a Tabela 8, a seguir, apresentando os principais riscos de cada composto contendo este elemento, de acordo com a sua solubilidade.

Tabela 8 – Compostos de urânio e seus riscos à saúde humana.

Compostos de urânio		Solubilidade	Riscos
$UO_2(NO_3)_2$	nitrato de urânio	Alta solubilidade em água	Agentes tóxicos mais potentes, com maiores danos aos rins
UF_6	hexafluoreto de urânio		
UCl_4	tetracloroeto de urânio		
UF_4	tetrafluoreto de urânio	Baixa solubilidade em água	Toxicidade moderada a baixa
$Na_2U_2O_3$	diuranato de sódio		
$NH_4U_2O_7$	diuranato de amônio		
UO_3	trióxido de urânio	Insolúveis em água	Alta toxicidade pulmonar (por irradiação), quando inalado
UO_2	dióxido de urânio		
$UO_4.nH_2O$	peróxido de urânio		
U_3O_8	triurânio octaóxido		

Em relação aos profissionais envolvidos no transporte, destacam-se os carregadores, motoristas, técnicos em radioproteção e fiscais, cada um com um potencial específico de exposição.

Apesar das exposições de um contêiner contendo combustível nuclear serem mínimas ou quase nulas, é importante a utilização de dosímetros fixos e individuais, todos com alarme sonoro. Exposições anormais são possíveis em caso de criticalidade do material. A escolha dos equipamentos (fixos, móveis e portáteis), inclusive, dependerá da disponibilidade, dos níveis de energia, tipos de emissões e do tempo morto. O uso demandará também o domínio das grandezas físicas e unidades associadas, pelo operador, bem como a noção do seu funcionamento correto e calibração.

Gerulis (2013) cita a questão da *monitoração associada à tarefa*, como forma de fornecer subsídios para tomada de decisões. Para isso, é mencionada a *monitoração de rotina*, aplicada ao veículo e ao embalado, para confirmar se o programa monitoração do trabalho é satisfatório ou não; e a *monitoração interventora*, de natureza investigatória, para a elucidação de problemas e definição de procedimentos futuros.

Além da questão da monitoração, todos os profissionais envolvidos no transporte, em todas etapas, deverão dispor de equipamentos de proteção individual usuais para transportes de cargas perigosas (botas, capacetes, luvas, óculos etc.).

Para situações de acidente radiológico, de uma maneira geral, Gaidano et al (2014) enunciam três fases distintas, conforme a gravidade do evento. A *fase inicial*, compreende ações de socorro às vítimas, controle de incêndio, se for o caso, e avaliação preliminar do acidente, possibilitando a tomada de providências adequadas para remediação do problema. Na *fase intermediária* (ou *de controle*), por sua vez, é possibilitada a tomada de decisões, conhecendo-se os radionuclídeos envolvidos e o nível de atividade associada. Por último, na *fase final*, também chamada de *pós-emergência*, são empregadas as ações finais de descontaminação e restauração das áreas afetadas, bem como gerenciamento do material radioativo e acompanhamento médico das vítimas.

7.2. MATERIAIS FÍSSEIS E CRITICALIDADE

Sabe-se que Planos de Emergência para transporte de materiais físséis demandam uma análise mais rigorosa pelo risco inerente de criticalidade – um estado que se dá quando, em um sistema, é desencadeada a reação em cadeia autosustentada – o que pode gerar acidentes graves. Tahuata et al (2014, p. 66), esclarece que:

Esses acidentes ocorrem quando, por algum motivo, uma quantidade de urânio enriquecido suficiente para iniciar uma reação em cadeia é agregada em uma geometria que crie as condições para essa reação. O resultado é a emissão de grande quantidade de radiação e calor

São considerados materiais físséis o ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu e ^{241}Pu ou qualquer combinação desses isótopos (CNEN-NE 5.01), sendo caracterizados pela alta probabilidade de sofrerem fissão por meio da absorção de nêutrons em todas as faixas de energia e pela existência de uma *massa crítica*, necessária para auto sustentação de uma reação em cadeia. O ^{238}U e o ^{232}Th atingem esta condição somente para nêutrons rápidos, com energias na ordem de grandeza de 1 MeV (SILVA, 2005).

O urânio natural (com uma média de cerca de 0,7% de ^{235}U) e o urânio em estado empobrecido, subproduto de processos de enriquecimento, não são considerados materiais físséis, tendo em vista a concentração majoritária do isótopo ^{238}U (IAEA, 2002).

Segundo Spiegelberg (1981), a segurança da criticalidade está associada a algumas variáveis que se relacionam entre si – a massa crítica do sistema, relacionada à produção e à perda de nêutrons; a geometria, que influencia na perda de nêutrons; a moderação, que influi na taxa de fissões e no valor da massa crítica; e a reflexão, com efeitos similares ao da moderação. Além desses, o grau de enriquecimento, a concentração de veneno de nêutrons e a homogeneidade do material também apresentam papéis importantes.

Assim sendo, alguns métodos podem ser adotados para o controle da segurança da criticalidade para o transporte do combustível, como o controle da geometria; a utilização de absorvedores de nêutrons; o controle administrativo (planejamento de utilização, o que inclui o transporte do material); a redundância dos sistemas e/ou processos; e as normas de projetos e operação (SPIEGELBERG, 1981).

As condições de criticalidade do combustível do SN-BR, exigem, portanto, que o projeto do embalado garanta a manutenção de um estado subcrítico, em qualquer circunstância e cenário de transporte, em operação normal ou não.

7.3. O BATALHÃO DE DEFESA, BIOLÓGICA, QUÍMICA E RADIOLÓGICA

No transporte do combustível nuclear, muitas são as preocupações relacionadas à segurança física (*security*) e à segurança radiológica e nuclear (*safety*), necessária à salvaguarda do público e do meio ambiente. Como excelente alternativa para a garantia da integridade do material, considerando ambos os aspectos de segurança, a Marinha do Brasil, através do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN), dispõe de batalhões especializados em defesa nuclear, biológica, química e radiológica (BtlDefNBQR), para apoio em operações em áreas sensíveis (abrangendo áreas de

interesse do PNM e do PROSUB), oferecendo planos de respostas eficientes para eventuais situações de emergência, com ou sem incêndio e explosões.

Em Iperó/SP, a Marinha dispõe hoje do Batalhão de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica de ARAMAR (BtlDefNBQR-ARAMAR) e futuramente, contará com um batalhão similar em Itaguaí/RJ (BtlDefNBQR-ITAGUAÍ). A unidade de Aramar possui, inclusive, em seu organograma, um grupo de apoio de transporte de cargas perigosas.

As Figuras 11 e 12 abaixo, demonstram esta dupla função dos batalhões de Defesa NBQR – segurança física, com militares operando com armamentos portáteis e treinados para respostas rápidas, em diferentes cenários de agressão (Figura 11); e segurança radiológica e nuclear. Na Figura 12, um exemplo de simulação de monitoramento de pessoas para verificação de contaminação.



Figura 11 – Militares do BtlDefNBQR dotados de armamento portátil para segurança física (*security*) de fontes radioativas.

Fonte: Revista TECNOLOGIA E DEFESA⁴¹.

41 Disponível em <<http://tecnodefesa.com.br/mostra-de-ativacao-do-centro-de-defesa-nbqr-dos-fuzileiros-navais/>>. Acesso em 01 jul. 2019.



Figura 12 – Atividade de monitoramento, durante exercício simulado.

Fonte: MINISTÉRIO DA DEFESA (2015d).

7.4. ETAPAS DO TRANSPORTE TERRESTRE E RISCOS INERENTES

7.4.1. Embalagens

As embalagens contendo materiais perigosos são projetadas com grande rigor, de forma a resguardar o público, os materiais e o meio ambiente contra qualquer efeito nocivo. No caso dos materiais radioativos, este cuidado acentua-se à medida que são considerados os riscos de dispersão de radionuclídeos ou, até mesmo, a ocorrência de reações em cadeia auto sustentadas, para o caso dos combustíveis nucleares. Neste caso, quanto mais perigoso for o material, mais rigorosos serão os procedimentos de segurança e exigência dos testes com o embalado.

7.4.1.1. Requisitos Gerais

O subitem 6.1.1, p. 19, da CNEN-NE 5.01 estabelece algumas premissas básicas para o projeto dos embalados para quaisquer materiais radioativos (físseis ou não), dentre as quais:

- a) Ser de fácil transporte e manuseamento;
- b) Permitirem a fixação adequada no meio de transporte;
- c) Todos os dispositivos do embalado, incluindo estruturas de içamento, devem apresentar resistência adequada;
- d) A superfície externa deve ser isenta de saliências e reentrâncias, evitando retenção e acúmulo de água em sua superfície;
- e) Tenham resistência suficiente para os efeitos de aceleração, vibração e ressonância;

- f) Todos os elementos de fixação devem se manter estáveis;
- g) Os materiais serem compatíveis com o conteúdo do material;
- h) Possuírem válvulas de segurança contra operações não autorizadas; e
- i) Os dispositivos complementares que não façam parte do embalado não podem influir negativamente na segurança do material radioativo.

Para embalados de material físsil, em específico, existe o condicionamento dos limites de atividade, requerendo certificado de aprovação do seu projeto, conforme subitens 5.2.2 a 5.2.6, p. 16-19, da CNEN-NE 5.01. Além disso, não é permitido a existência de massa superior e material diferente ao especificado e autorizado (em relação ao conteúdo de forma, estado físico ou químico), conforme subitem 5.2.7.2. O seu transporte também não poderá ser realizado em veículo que contenha outros materiais perigosos e o seu conteúdo deverá ser conhecido em todos os seus pormenores, o que inclui níveis de atividade, tipos de radionuclídeos, distribuição de radioatividade e riscos químicos.

Em se tratando de manipulação e armazenamento, os embalados devem possuir proteção adequada a corrosão e ao fogo, superfície de fácil descontaminação, vedação que impeça qualquer fuga de material (inclusive escapamento de água) e sinalização adequada fixada de maneira clara e visível, contendo o trifólio, além das classificações e informações referentes às suas características físicas, químicas e radiológicas.

No caso do transporte de material físsil, a CNEN-NE 5.01, item 6.6, enuncia requisitos que devem ser satisfeitos (exceto em caso de isenção) para:

- *Embalados não danificados*, conforme condição de projeto, e *danificados*, como se os mesmos fossem submetidos às combinações dos ensaios.
- *Embalados individuais isolados*, onde deve ser admitido o escape de água através de seus espaços vazios, para fins de determinação de subcriticalidade, caso o projeto não incorpore dispositivos especiais que mantenham a sua estanqueidade⁴².

42 Dispositivos estes com alto grau de controle de qualidade, e estanqueidade comprovada através de ensaios especiais, segundo subitem 6.6.3.3 da CNEN-NE 5.01.

A condição subcrítica deve ser mantida mesmo com embalado danificado, tendo em vista a observação de condições para a disposição do material (incluindo situações de escape de uma de suas frações), de modo que a configuração e a moderação permitam a máxima multiplicação de nêutrons, além de ocorrer a reflexão total do sistema de contenção por uma espessura de 20 cm de água ou equivalente.

- *Arranjo de embalados*, com garantia da condição subcrítica, através do valor de N , admitindo-se uma pilha de embalados com 20 cm de revestimento de água ou equivalente no seu entorno. O subitem 6.6.4.2, p. 27, da CNEN-NE 5.01 apresenta as condições que devem ser satisfeitas, neste caso:
 - a) 5 vezes “N” embalados não danificados, sem nada entre eles, constituiriam um conjunto subcrítico; e,
 - b) 2 vezes “N” embalados danificados, com moderação hidrogenada entre eles resultando na maior multiplicação de nêutrons possível, formariam um conjunto subcrítico.

O requisito crucial para a questão do transporte de embalados para materiais físséis, conforme subitem 6.6.1, p. 26, da CNEN-NE 5.01, é a garantia da manutenção da criticalidade, qualquer que seja a condição e o cenário (em operação normal e em caso de acidente), levando em consideração todas as possíveis contingências, tais como vazamento de água (no interior ou no exterior do embalado); redução de eficiência dos absorvedores ou moderadores de nêutrons incorporados; possível alteração no arranjo do conteúdo; redução de espaços; imersão em água ou em neve; e mudanças bruscas de temperatura⁴³.

Para avaliação desse arranjo subcrítico, conforme subitem 6.6.5, p. 28, da CNEN-NE 5.01, no caso em que os dados de irradiação não forem conhecidos, o material nuclear será considerado como não irradiado, caso a multiplicação de nêutrons diminua com a irradiação. Em caso contrário, o material será considerado irradiado ao ponto onde a multiplicação neutrônica for máxima.

43 Tendo em vista que os embalados são projetados para a faixa de temperatura ambiente.

Em caso de desconhecimento da forma química ou física, composição isotópica, massa ou concentração, razão de moderação ou densidade, ou configuração geométrica, como no caso de resíduos e refugos, a avaliação deve ser feita com base na hipótese de que cada parâmetro desconhecido tem o valor que resulta na máxima multiplicação de nêutrons sob condições reais de transporte.

A Tabela 9, abaixo, apresenta os critérios de seleção de embalagens (com todos os seus detalhes), para o transporte de material físsil, conforme o grau de enriquecimento (porcentagem em massa de U-235), máxima quantidade de material físsil (g), classificação do material e máximo nível de radiação. A tabela fornece a numeração para o embalado, o tipo de embalagem e a necessidade de aprovação.

Tabela 9 – Apoio para seleção de embalados para materiais físséis.

	% U-235	Máxima Quantidade de material físsil (g)	Classificação	Máximo nível de radiação	Classificação	Req p/ embalagem físsil	UN	Embalagem	Aprovação
Material Exceptivo -Embalagem Exceptiva -									
<ul style="list-style-type: none"> Se o grau de enriquecimento $\leq 1\%$ e o Nível de radiação na superfície do embalado $\leq 0,005$ mSv/h; Se o grau de enriquecimento $> 1\%$ mas $< 5\%$ e se tiver ≤ 15 g de material físsil Se o grau de enriquecimento $> 5\%$ o embalado deve conter no máximo 10^4 TBq e < 15 g de material físsil 									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> (48Y) 0.72% Nat 12.5 t </div>	$\leq 0,72$	Sem Limite	BAE-I	10 mSv/h	Não físsil	Não	2978	EI-1	Não
	$> 0,72$ e $\leq 1,0$	a menos do NR a 3m	BAE-II	a 3 m do material não blindado	Físsil	Sim Físsil Exceptivo	2978	EI-2	Não
	$> 0,72$	≤ 15 g	BAE-II se o grau de enriquecimento $\leq 5\%$. Se $> 5\%$, BAE-II se a Atividade Específica $\leq 10^4$ Bq/g. Senão NÃO BAE	se BAE-I ou BAE-II e 2 mSv/h na superfície do embalado se não estiver sob uso exclusivo ou 10 mSv/h na superfície do embalado se sob uso exclusivo	Físsil	Sim-Físsil Exceptivo	2978	EI-2 se BAE e Tipo A se não BAE	Não
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> 30B 5% 2.1 t </div>	> 1 e ≤ 5	Limitado p/ Nivel de Rad a 3m	BAE-II	se sob uso exclusivo	Físsil	Físsil	2977	EI-2 e Físsil	multilateral
	> 5		BAE-II Se atividade específica $\leq 10^4$ Bq/g BAE-II, senão não BAE		Físsil	Físsil	2977	EI-2 se BAE ou Tipo A ou B e Físsil	multilateral

Parágrafos 671 e 672 TS-R-1

Fonte: CNEN (2019).

Para o combustível do submarino nuclear, aplica-se a última linha dessa tabela.

As Figuras 13a e 13b, abaixo, apresentam um embalado do Tipo A, utilizado para transporte do elemento combustível não irradiado, da FCN em Resende/RJ

(INB), para as usinas nucleares de Angra dos Reis/RJ. O material consiste em pastilhas de UO_2 , com enriquecimento isotópico na faixa de 2,8 a 3,2%, introduzidas no interior do *zircaloy* (selado com soldas nas extremidades). Antes da inserção do no embalado para transporte, os elementos combustíveis são envoltos em plástico e fixados em suportes metálicos (MELDONIAN, 1979).



Figura 13a e 13b – Embalado do Tipo A para combustível não irradiado para o CNAAA.

Fonte: O GLOBO (2013)⁴⁴.

As Figuras 14a e 14b, a seguir, apresentam uma embalagem M-140, do tipo B(U), bastante robusta, com 175 Ton e 5 m de comprimento, para transporte rodoviário de combustível irradiado, oriundo da *US Navy* (DOE, 2018).

44 Disponível em <<https://blogs.oglobo.globo.com/george-vidor/post/substituicao-de-combustivel-de-angra-2-494429.html>>



Figura 14a e 14b – Exemplo de um contêiner do Tipo B, para combustível nuclear irradiado (M-140), transportado por via rodoviária. No detalhe (a), a sinalização do contêiner.

Fonte: *timesunion.com*⁴⁵.

7.4.1.2. Ensaios do Embalado

Para embalagens do Tipo B para transporte de material físsil, a norma CNEN-NE 5.01 enuncia três testes de resistência mecânica, com as seguintes características:

- *Ensaio de Queda Livre 1*, com uma simulação de queda de uma altura de 9 m, de maneira a submeter a amostra a um dano máximo;
- *Ensaio de Queda Livre 2*, onde a amostra cai de uma altura de um metro sobre um cilindro engastado em um plano perpendicular, com comprimento de 20 cm e um diâmetro de 15 cm; e
- *Ensaio de Queda Livre 3*, para simular um esmagamento, onde a amostra também cai de uma altura de 9 m, sofrendo o maior dano possível com o choque com uma placa maciça de 500 kg, com formato de um quadrado de 1 m de lado.

⁴⁵ Disponível em <https://www.timesunion.com/news/article/Kesselring-refueling-equipment-travels-through-13004115.php#photo-15740988>.

Além dos testes mecânicos, são enunciados também um ensaio térmico e um de imersão em água:

- *Ensaio Térmico*, onde a amostra é submetida a uma fonte de calor, em uma temperatura média de 800°C, durante 30 min, com posterior resfriamento natural; e
- *Ensaio de Imersão*, onde o embalado é imerso a 15 m de profundidade, permanecendo, nessas condições de pressão, durante 8 horas.

As especificidades e o rigor de cada um dos ensaios são importantes para a garantia da salvaguarda do seu conteúdo, qualquer que seja o cenário externo durante a manipulação, transporte e armazenagem dos embalados, incluindo condições com graves erros humanos. Alguns fabricantes, inclusive, submetem embalados do Tipo B a ensaios complementares em situações ainda mais extremas, como em choques envolvendo trem ou caminhões contra um alvo rígido.

Embalagens do Tipo A, por sua vez, são submetidas a ensaios mais simples, com simulações de chuva, queda livre, compressão e perfuração, conforme apresentado no item 3.1.4 do presente trabalho.

7.4.2. Içamento e Fixação no Veículo

O principal risco associado à etapa de içamento e fixação do contêiner do elemento combustível no veículo é a sua queda do equipamento, com a hipótese de danos ao embalado e, em casos mais extremos, ao seu conteúdo. Neste caso, pode-se utilizar uma margem de segurança para a carga de içamento. As Figuras 15a e 15b apresentam um exemplo de içamento de um embalado de 260 toneladas e 9,2 m de comprimento, do tipo B, para combustível irradiado, utilizado em sistemas de propulsão da *US Navy* (DOE, 2018).

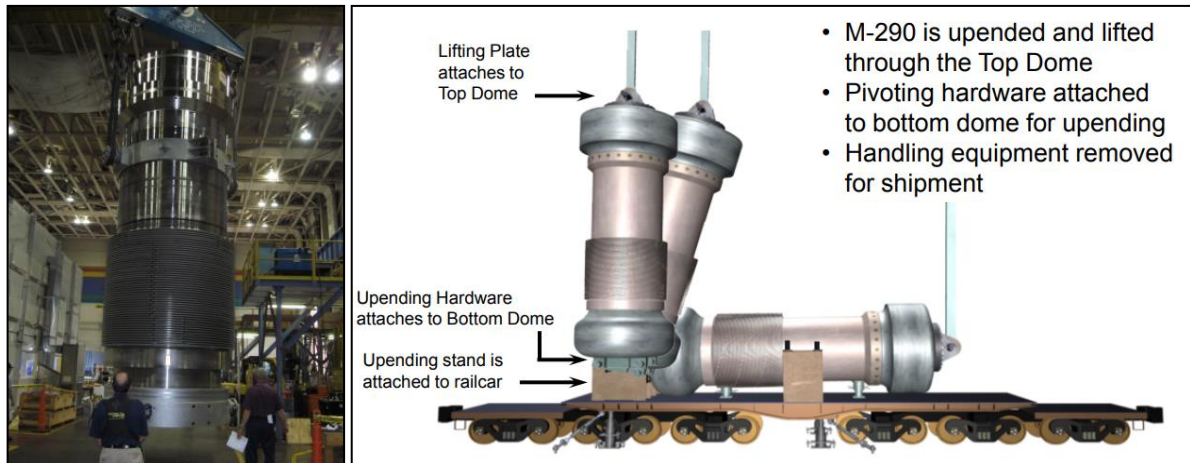


Figura 15a e 15b – Exemplo de esquema de içamento com ponte rolante e fixação de um embalado do Tipo B(M-290) de combustível irradiado da *US Navy*, no vagão de um trem.

Fonte: NRC (2009)⁴⁶.

O porte do veículo deverá ser condizente com as dimensões e o peso do embalado e este, deverá ser fixado de forma adequada, em sistemas redundantes, de maneira a evitar choques e tombamentos.

7.4.3. Translado

7.4.3.1. Riscos e condições gerais

O translado propriamente dito representa a etapa com maior variedade de riscos.

No caso do combustível do submarino, a distância percorrida será superior a 500 km. Como alternativa ao plano de transporte, pode-se consultar as estatísticas de acidentes nas possíveis vias rodoviárias, criando subsídios para um dimensionamento e mapeamento de todos os riscos envolvidos no processo.

Dentre os perigos identificados na etapa de translado para qualquer material perigoso em modalidades rodoviárias que poderiam resultar em um cenário de emergência, pode-se citar, a seguir.

46 Disponível em <<https://www.nrc.gov/docs/ML0932/ML093200020.pdf>>.

- *Condições ruins da pista de rolamento*: Defeitos estruturais e funcionais, o que inclui deformações acentuadas (corrugações e ondulações), remendos mal executados, buracos etc., considerando pavimentos rígidos (de concreto) ou flexíveis (asfálticos).
- *Má sinalização*: Ausência ou deficiência de refletores nas margens da rodovia (importantes para viagens noturnas), placas verticais ou horizontais, de regulamentação ou de advertência, luminosas ou não, dispositivos auxiliares etc.
- *Poucas faixas de rolamento, com ausência de acostamentos (faixa da rodovia destinada aos veículos em condições excepcionais)*: O que maximiza os riscos de colisões, em caso de pane do veículo ou outra situação qualquer que demande a sua parada.
- *Topografia acentuada*: O que inclui alta sinuosidade (com curvas fechadas) e declividade desfavorável; muito comum nas serras da região sudeste do Brasil, o que demanda do motorista uma maior presteza, atenção e cautela.
- *Proximidade com encostas instáveis*: Maciços de solo e/ou rocha, com inclinações variáveis, que, em caso de chuvas torrenciais, podem sofrer ruptura ou escorregamento, transportando quantidades substanciais de materiais a velocidades elevadas. Quando localizados em margens de rodovias, representam um risco em potencial aos seus usuários (soterramentos).
- *Proximidade com áreas urbanas*: Principalmente áreas urbanas com grande densidade populacional.
- *Colisão com outros veículos ou barreiras físicas*.
- *Condições meteorológicas adversas*: Tempestades com ventos fortes, altos índices pluviométricos (chuvas convectivas) e granizo. Comuns na região sudeste nos meses de verão.
- *Incêndio*: Podendo ter como causa fatores internos (combustível do veículo) ou externos (como queimadas no entorno da rodovia, por exemplo).

- *Alto volume de tráfego*: Pistas com retenções frequentes em diferentes horários do dia.
- *Criminalidade e condições ruins de segurança*: Áreas de risco, com alto índice de criminalidade, com roubos, embates armados, latrocínios, ações terroristas etc.

7.4.3.2. Rotas Terrestres

As duas rotas terrestres mais utilizadas para transportes de qualquer natureza, entre Iperó/SP e Itaguaí/RJ, são através da BR-116 (Rodovia Presidente Dutra) e das rodovias BR-478 e RJ-101 (Rodovia Governador Leonel Brizola, mais conhecida como *Rio-Santos*).

As rotas existentes entre esses dois municípios apresentam condições peculiares relacionadas ao relevo da região sudeste, com serras, vales e áreas de instabilidade geológico-geotécnica.

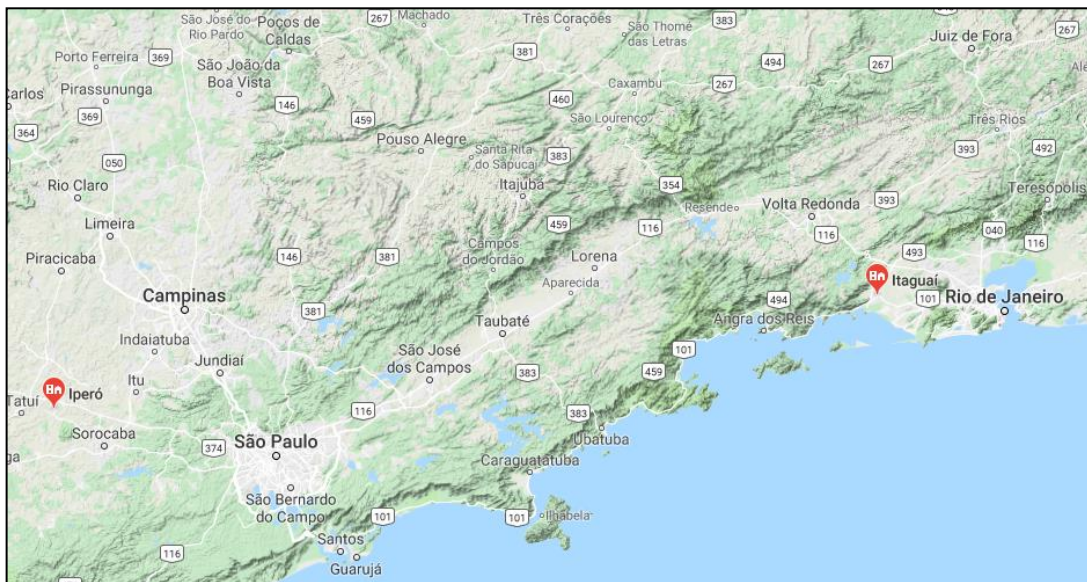


Figura 16 – Mapa abrangendo o relevo e a malha viária entre Iperó/SP (no detalhe em vermelho à esquerda) e Itaguaí/RJ (no detalhe à direita, na mesma cor), onde é possível visualizar o relevo mais acidentado próximo ao litoral.

Fonte: GOOGLE Maps.

A existência de grandes concentrações urbanas com alta densidade demográfica, também é uma característica marcante. No caso dos combustíveis das usinas de Angra, por exemplo, os planejadores do transporte, para minimizar os riscos, utilizam vias alternativas rurais e/ou vias coletoras locais, com menor movimento, como pode ser observado na Figura 17, a seguir. À frente do comboio, uma viatura da Polícia Rodoviária Federal para garantir a segurança física do elemento combustível, oriundo da Fábrica de Combustíveis Nucleares (FCN), em Resende/RJ.



Figura 17 – Comboio de elementos combustíveis, no trajeto FCN-CNAAA, através de rodovia rural com baixa movimentação de veículos e pessoas.

Fonte: IRD (2019).

a) Via BR-116 (Rodovia Presidente Dutra)

A BR-116 é uma rodovia longitudinal brasileira que interliga o município de Fortaleza/CE ao de Jaguarão/RS, totalizando mais de 4.500km de extensão. O trecho de 402 km, compreendido entre Rio de Janeiro e São Paulo, denominado *Rodovia Presidente Dutra*, é considerado o mais importante do país, comportando o maior volume de tráfego em rodovias federais.

A administração da rodovia por um consórcio privado é uma grande vantagem desta alternativa de transporte. A *CCR-Novadutra* (Concessionária da Rodovia

Presidente Dutra S.A.), desde 1995, possui a responsabilidade pela administração, manutenção, recuperação e melhorias do trecho.

As condições de infraestrutura rodoviária (pistas de rolamento, sinalizações, acostamentos, estruturas de apoio, encostas estabilizadas etc.) também são bastante satisfatórias, apresentando capacidade de carga suficientes para receber grandes comboios de carga.

A maior parte da via apresenta condições favoráveis de segurança, nos trechos que cortam o interior do estado de São Paulo e do Rio, com câmeras, pedágios e postos policiais de fiscalização. A exceção se dá na região da Baixada Fluminense, rota do narcotráfico, que tem sido palco da ação de quadrilhas de roubo de carga.

O Trajeto São Paulo-Rio pela BR-116 compreende mais de 40 municípios, com destaque São Paulo (capital), Guarulhos, Jacareí, São José dos Campos, Taubaté, Pindamonhangaba, Guaratinguetá, Resende, Barra Mansa, Volta Redonda e Seropédica. Uma conurbação de núcleos urbanos com grande importância econômica, alta industrialização e grande densidade populacional.

Um trecho sensível desta alternativa, é a descida da Serra das Araras, que possui mão única, com duas pistas de rolamento sem acostamento, declividade mais acentuada, muitas curvas fechadas e um limite de velocidade de 40 km/h. Está sendo estudada a construção de um novo trecho de descida, com melhores condições.

b) Vias BR-478 e BR-101 (Rio-Santos)

A segunda rota mais utilizada de Iperó/SP a Itaguaí/RJ abrange as rodovias BR-478, até a cidade de Juquiá, e, após um curto trecho na Regis Bittencourt (BR-116), a BR-101, através do litoral paulista, passando por Santos (fora do perímetro urbano), Caraguatatuba, Ubatuba e, posteriormente, no estado do Rio, pelos municípios de Paraty, Angra dos Reis e Mangaratiba.

A rodovia BR-101, também conhecida como *Rio-Santos* no trecho estudado, é, juntamente com a BR-116, um dos principais eixos rodoviários longitudinais do país, interligando o município de Touros/RN com o de São José do Norte/RS, passando por 12 estados ao longo de 4.650 km.

A estrada, atualmente, encontra-se em boas condições de operação, porém apresenta uma capacidade de tráfego inferior, com pista de mão dupla dotada de apenas uma faixa de rolamento para cada um dos sentidos, na maior parte do trecho.

Esta segunda alternativa de rota apresenta uma extensão de 710 km, quase 200 km a mais do que através da BR-116.

Dentre as vantagens desta alternativa de rota, destaca-se a menor quantidade de zonas urbanas e áreas densamente povoadas, o menor volume de tráfego e a abrangência de uma zona planejada para respostas a emergências radiológicas no entorno do município de Angra dos Reis.

8. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O transporte de materiais físséis requer um maior rigor de planejamento e projeto, quando comparado com outros produtos perigosos. Além do risco de contaminação interna por ingestão e/ou inalação, em caso de violação do embalado em condições mais extremas, existe também a questão da criticalidade. Em combustíveis com maior patamar de enriquecimento isotópico esta condição é mais facilmente alcançável.

Todas as etapas do transporte terrestre, para qualquer tipo de material, apresentam riscos inerentes, que poderão acarretar em um eventual cenário de emergência, com fontes fora de controle. É no traslado, no entanto, que existe uma maior variabilidade de cenários, em decorrência da utilização de áreas não controladas com presença do público.

Como foco do presente trabalho, foi elaborada uma planilha, apresentada no Anexo A que sintetiza alguns possíveis cenários de emergência identificados para o transporte de um material físsil. Foram propostas, para cada um dos casos, medidas de prevenção e de remediação que poderão, eventualmente, auxiliar na criação de futuras propostas para Planos de Emergência e programas de gestão de risco.

A grande variedade de rotas existentes entre os municípios de Iperó/SP e de Itaguaí/RJ, torna possível o estabelecimento de alternativas bastante seguras para o traslado do combustível nuclear. Como proposta, pode-se considerar toda a logística de transporte dos materiais para as usinas do CNAAB, que tem como base o uso de rodovias rurais e/ou vias urbanas, no interior do estado do Rio, com menor movimento (ainda que o trajeto seja mais extenso).

Uma outra proposta, visando uma configuração de transporte mais controlada e segura, é a realização de traslados durante a madrugada, fora do período de feriados e dias festivos, o que, certamente, evitaria volumes mais intensos de tráfego e retenções.

9. CONCLUSÕES

Todo o progresso das civilizações, ao longo da história humana, está intimamente relacionado ao seu desenvolvimento científico e tecnológico, o que tem permitido, não somente o domínio dos recursos energéticos, mais a garantia dos seus interesses estratégicos. Neste contexto, quando investimentos no setor de defesa são negligenciados, os interesses nacionais acabam sendo postos em cheque, com a possibilidade de agressões externas, motivadas pela cobiça por riquezas naturais.

Não resta dúvidas, portanto, que o PROSUB representa, para o Brasil, um excelente investimento para a salvaguarda de nossos recursos e garantia da soberania nacional em todas as faixas marítimas da Amazônia Azul. Um empreendimento de grande vulto, que tem demonstrado esforços, não apenas para o desenvolvimento de uma esquadra com maior projeção de poder dissuasório, mas também pela possibilidade de transferência de tecnologia e concretização do domínio das várias etapas do ciclo do combustível nuclear – algo que, em poucas palavras, representa independência.

Através do presente trabalho, foi possível realizar uma revisão bibliográfica abrangendo, não apenas as normas da CNEN, mas diversos documentos de caráter regulatório, da esfera nacional e internacional, de interesse para a fase de transporte do combustível do Submarino Nuclear Brasileiro. Vale lembrar da importância da implementação de um bom entrosamento entre os diferentes órgãos públicos, através de cooperações mútuas, a fim de evitar informações contraditórias entre normas elaboradas com base em diferentes bases internacionais.

A utilização de teses, dissertações e outras literaturas do setor de segurança nuclear e radiológica, permitiu, juntamente com a revisão das normas existentes, a identificação de alguns possíveis elementos que poderão ser úteis na delimitação futura de programas de respostas à emergência no transporte.

Foram identificadas, em cada uma das etapas inerentes ao transporte de material físsil, entre os municípios de Iperó/SP e Itaguaí/RJ, situações hipotéticas de emergência, que, por mais improváveis que possam parecer, despertam a atenção para o delineamento e implementação de planejamentos mais conservativos, visando a salvaguarda dos materiais, do meio ambiente e, principalmente, do público. Cada um desses cenários emergenciais foi sintetizado em uma planilha contendo, inclusive, as respectivas propostas de ações de prevenção e remediação, o que representou o foco do presente trabalho de conclusão de curso.

As questões relacionadas ao submarino nuclear são inéditas no Brasil e muitos estudos possuem um caráter pioneiro. Assim sendo, como proposta para futuros trabalhos no setor, pode-se citar: a simulação de um ambiente de emergência, para casos extremos, envolvendo dispersão de materiais radioativos na atmosfera, utilizando *softwares* específicos de modelagem matemática; a quantificação de riscos associados ao transporte de materiais físsis, através de ferramentas estatísticas; a criação de um fluxograma com as etapas do transporte de materiais físsis, abrangendo, detalhadamente, questões relativas ao projeto do embalado e de seus ensaios; e a proposta de estudos para elaboração de uma norma exclusiva para materiais físsis, tendo em vista os requisitos exclusivos.

ANEXO A – SÍNTESE DOS POSSÍVEIS CENÁRIOS DE EMERGÊNCIA IDENTIFICADOS NAS ETAPAS DE TRANSPORTE DO COMBUSTÍVEL DO SN-BR, COM MEDIDAS DE PREVENÇÃO E REMEDIAÇÃO.

Tabela 8 – Síntese dos possíveis cenários de emergência de transporte, com ações de prevenção e remediação.

CENÁRIO		RISCO	PREVENÇÃO	REMEDIÇÃO
1	EMBALAGEM, IÇAMENTO E FIXAÇÃO			
1.1	CHOQUES DURANTE A MANIPULAÇÃO	Queda e/ou tombamento com danos à integridade do embalado.	<ul style="list-style-type: none"> – Cumprimento dos requisitos de embalagem; – Aprovação nos ensaios; e – Cumprimento das normas de radioproteção para manipulação, deslocamento e armazenagem. 	<ul style="list-style-type: none"> – Isolamento do local; – Monitoração constante do ambiente (risco de criticalidade); – Remoção do material; e – Execução de um novo embalagem; e – Utilização de um sistema de içamento com fator de segurança adequado.
1.2	ROMPIMENTO DOS CABOS DE IÇAMENTO		Utilização de sistema de içamento com fator de segurança adequado (quanto à carga).	
1.3	FIXAÇÃO INADEQUADA NO VEÍCULO		Utilização de sistemas de fixação adequados com redundâncias em veículo com porte apropriado para o volume e o peso do embalado.	

2		TRANSLADO DO MATERIAL		
2.1	CONDIÇÕES RUINS DA PISTA DE ROLAMENTO	Acidentes (choques, capotamento e tombamentos), com danos à viatura e ao embalado.	<ul style="list-style-type: none"> - Diminuição da velocidade; - Manutenção de uma distância segura em relação aos demais veículos; - Preferência por horários ou outros sistemas viários com menor movimentação de veículos; e - Uso de veículo em boas condições de uso com viaturas de apoio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resgate e socorro médico das vítimas; - Verificação da integridade do embalado; - Verificação das exposições (risco de criticalidade); - Proteção do material; - Verificação das condições ambientais (direção do vento, trânsito de pessoas, animais e veículos no local); - Evacuação e isolamento do local com sinalização adequada, fita zebra, cones e dispositivos de sustentação); - Estabelecimento de uma zona de controle com 3 áreas de trabalho; - Execução de um corredor de descontaminação, se for o caso; - Remoção e blindagem do material com novo embalado; - Descontaminação de pessoas envolvidas, se for o caso; - Descontaminação de áreas envolvidas, se for o caso; - Providência de novo veículo para o transbordo do material com características adequadas; e - Estabelecimento de um canal de comunicação com outras autoridades competentes.
2.2	MÁ SINALIZAÇÃO DA VIA			
2.3	COLISÃO COM OUTROS VEÍCULOS OU BARREIRAS FÍSICAS			
2.4	TOPOGRAFIA ACENTUADA COM ALTA SINUOSIDADE E DECLIVIDADE			
2.5	AUSÊNCIA DE ACOSTAMENTOS E DIMENSÕES REDUZIDAS DA PISTA DE ROLAMENTO	Exposição da viatura em caso de pane, com possibilidade de colisões e danos à viatura e ao contêiner.		
2.6	PROXIMIDADE COM ENCOSTAS INSTÁVEIS	Queda e/ou soterramento do veículo, com possibilidade de danos à viatura e ao contêiner.	Realização do traslado somente em condições meteorológicas favoráveis.	
2.7	PRÓXIMIDADE COM ÁREAS URBANAS	Maior possibilidade de contaminação e irradiação de pessoas, em caso de acidentes.	<ul style="list-style-type: none"> - Comunicação com a Defesa Civil local; e - Estabelecimento de um programa de respostas a emergências. 	

2.8	CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS ADVERSAS (CHUVAS E VENTOS FORTES, GRANIZO)	Possibilidades de danos ao veículo e indução de acidentes (derrapagens, deslocamento em enxurradas, tombamentos etc).	Realização do traslado somente em condições meteorológicas favoráveis.	
2.9	INCÊNDIOS E EXPLOSÕES	Danos veículo e ao embalado, com possibilidade de liberação de radionuclídeos na atmosfera (e consequente risco de ingestão e inalação à saúde humana; e contaminação do meio ambiente).	Utilização de extintores adequados, equipe de controle de incêndios de pronto atendimento.	<ul style="list-style-type: none"> - Combate ao fogo a uma distância segura com isolamento de área, com cuidados com a dispersão do material (incluindo controle da água de combate ao incêndio); e - IDEM item 3.1 a 3.8.
2.10	ALTO VOLUME DE TRÁFEGO	Maior possibilidade de choques, aumento do tempo de transporte e riscos à segurança física.	Preferência por horários ou outros sistemas viários com menor movimentação de veículos; e	Implantação de um corredor de descontaminação.
2.11	CRIMINALIDADE E CONDIÇÕES RUINS DE SEGURANÇA FÍSICA (SECURITY)	Roubo de carga e embates armados.	Apoio de um grupo de batedores armados com grande número de viaturas de apoio.	<ul style="list-style-type: none"> - Uso da força; - Informação aos criminosos acerca dos perigos dos materiais; e - Manutenção da calma e do diálogo.

ANEXO B – CARTA DE ALBERT EINSTEIN AO PRESIDENTE ROOSEVELT

112 Mercer Street
Princeton, New Jersey
March 25, 1945

The Honorable Franklin Delano Roosevelt
The President of the United States
The White House
Washington, D. C.



Sir:

I am writing you to introduce Dr. L. Szilard who proposes to submit to you certain considerations and recommendations. Unusual circumstances which I shall describe further below induce me to take this action in spite of the fact that I do not know the substance of the considerations and recommendations which Dr. Szilard proposes to submit to you.

In the summer of 1939 Dr. Szilard put before me his views concerning the potential importance of uranium for national defense. He was greatly disturbed by the potentialities involved and anxious that the United States Government be advised of them as soon as possible. Dr. Szilard, who is one of the discoverers of the neutron emission of uranium on which all present work on uranium is based, described to me a specific system which he devised and which he thought would make it possible to set up a chain reaction in unseparated uranium in the immediate future. Having known him for over twenty years both from his scientific work and personally, I have much confidence in his judgment and it was on the basis of his judgment as well as my own that I took the liberty to approach you in connection with this subject. You responded to my letter dated August 2, 1939 by the appointment of a committee under the chairmanship of Dr. Briggs and thus started the Government's activity in this field.

The terms of secrecy under which Dr. Szilard is working at present do not permit him to give me information about his work; however, I understand that he now is greatly concerned about the lack of adequate contact between scientists who are doing this work and those members of your Cabinet who are responsible for formulating policy. In the circumstances I consider it my duty to give Dr. Szilard this introduction and I wish to express the hope that you will be able to give his presentation of the case your personal attention.

Very truly yours,

A. Einstein

B F

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC), RBAC nº 175, EMD 02. **Transporte de Artigos Perigosos em Aeronaves Civis**. Abr. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT), Resolução nº 420, de 12/02/2004 do Ministério dos Transportes. 2004.
- ALBUQUERQUE, A. L. P.; SILVA, L. F. **Fatos da História Naval**. 2ª edição – Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 2006.
- ALMEIDA, M. **Geografia Global: geral e do Brasil**, Volume Único – São Paulo: Escala Educacional, 2008.
- AMBRÓSIO, D. A. **A energia nuclear e seus reflexos na área militar**. Revista da Escola Superior de Guerra, v. 24, n. 49, p.27-48, jan. – jun., 2008.
- ARAÚJO, E. F. **Purificação de Hexafluoreto de Urânio**. 1986, 109f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 1986.
- BARBOSA, J. A. M. **Contribuição à Legislação Brasileira no Setor de Energia Nuclear**. 2009, 142f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
- BELLONA REPORT. **Nuclear Fissile Materials**. *Bellona Foundation*, 2012.
- BIASI, R. **A Energia Nuclear no Brasil**. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército, 1979.
- BRAGA, C. C. **A Guerra da Lagosta**. 2ª. edição –Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 2004.
- CASSON, L. **Illustrated History of Ships and Boats**. *Doubleday and Company Inc. Garden City, New York*, 1964.

- CESPES, D. S.; VIVEIROS, D. T. **Submarino nuclear: Poder de dissuasão no mar.** Revista Villegagnon. 108-115. p. Escola Naval, Rio de Janeiro, 2012.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Norma 5.01: Transporte de Materiais Radioativos.** Resolução CNEN – 13/88, Publicação em D.O.U. em 01/08/88. 1988.
- _____. **Norma 2.01: Proteção Física de Unidades Operacionais da Área Nuclear.** Resolução CNEN – 07/81, Publicação em D.O.U. em 26/08/1981. 1981.
- CHAIB, C. J. A. **A Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica nas Instalações Sensíveis da Marinha do Brasil.** Revista Âncoras e Fuzis, Ano XIV, nº 46, ago. 2015, p. 49-51.
- CHALABREYSSE, J. *Toxicologie de l'uranium naturel: essai d'évaluation de la contamination interne chez l'homme.* Gif-sur-Yvette, Fr., CEA, Service Central de Documentation da CEA, mars, 1968.
- CORVISIER, A. **A Guerra: ensaios históricos.** Tradução de José Lívio Dantas. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército Ed., 1999.
- DANTAS, V. **IPEN e CTMSP concluem o primeiro combustível para o RMB.** ABEN: Associação Brasileira de Energia Nuclear. Revista Brasil Nuclear, ano 23, no 47. Rio de Janeiro, 2017.
- DUARTE, P. Q. D. **Conflito das Malvinas.** Volumes 1 e 2, 1ª edição – Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército, 1986.
- DUROVNI, M. **Cadeia de valor estabelecida pelo Programa Nuclear da Marinha: fator de desenvolvimento econômico.** 2008, 56f. Monografia (Curso de Política e Estratégias Marítimas). Escola de Guerra Naval. Rio de Janeiro, 2008.
- ERVILHA, E. T. F. **A Obtenção das Características Operacionais do Submarino Nuclear Brasileiro: um mergulho muito além da Amazônia Azul.** 2011, 141f.

Monografia (Curso de Política e Estratégias Marítimas). Escola de Guerra Naval. Rio de Janeiro, 2011.

FELÍCIO, R. A. **Antártida: A Geografia do Continente Gelado e as Operações Brasileiras**. I Encontro de Ensino de Geografia das Escolas Públicas de São Paulo. FFLCH-USP. São Paulo, 2006.

FERNANDES, M. **A Arma Submarina na Estratégia Alemã na Primeira Guerra Mundial**. Revista Nação e Defesa, nº 145, p. 133-152. Lisboa, Portugal, 2016.

FERREIRA FILHO, A.; AQUINO, J.; RODRIGUES, D. **Critérios de Segurança Radiológica no Transporte de Material Radioativo**. *X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica “Radioproteccion: nuevos desafios para um mundo em Evolución”*. Buenos Aires, 12 al 17 de abril. *Sociedad Argentina de Radioprotección*. Buenos Aires, 2015.

FLEMING, H. **Enrico Fermi, Gênio e Simplicidade**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 18, nº 4, dezembro, 1996.

FONSECA JÚNIOR, P. **Programa de Desenvolvimento de Submarinos: Uma análise da política pública para capacitar o Brasil a projetar e fabricar submarinos**. 2015, 217f. Dissertação (Mestrado em Estudos Estratégicos da Defesa e da Segurança). Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2015.

FRAGOSO, A. T. **Os franceses no Rio de Janeiro**. 3ª edição – Rio de Janeiro, Biblioteca do Exército Editora, 2004.

GAIDANO, E.; HEILBRON, P. F.; MORO, J. T.; XAVIER, A. M. **Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica**. 4ª edição –UFRGS e CNEN, 2014.

GERULIS, E. **Controle de dose em transporte rodoviário de material radioativo**. 2013, 70f. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2013.

GREEN, Peter. ***Alexander of Macedon, 356-323 B.C.: A historical Biography. California.*** University of California Press. 1974.

GUIMARÃES, L. S. **Síntese de Doutrina de Segurança para Projeto e Operação de Submarinos Nucleares.** 1999, 612f. Tese (Doutorado em Engenharia Naval). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3135/tde-08092004-084443/publico/TDE-LEO.pdf>>. Acesso em 11 jun. 2019.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). **Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material.** TS-R-1, Vienna, 1996.

_____. Safe Transport of Radioactive Material. Third Edition. Training Course Series 1. Vienna, 2002.

_____. *Uranium 2018: Resources, Production and Demand.* Vienna, 2018.

IPPOLITO, T. D. ***Effects of variation of uranium enrichment on nuclear submarine reactor design.*** 1990, 257f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear). Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts, 1990. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1721.1/14094>> Acesso em: 02 jul. 2019.

KELLER, C. **Radioquímica.** Editora Universitária. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 1981.

KOPTE, S. ***Nuclear submarine decommissioning and related problems – paper 12.*** BICC, 1997. p. 1-47. Disponível em: <https://www.bicc.de/uploads/tx_bicctools/paper12.pdf>. Acesso em 02 jul. 2019.

LANA, L. **Submarinos: defesa e desenvolvimento para o Brasil.** Rio e Janeiro: Versal, 2014

LIEGGIO JÚNIOR, M. **Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos: Proposta de Metodologia para Escolha de Empresas de Transporte com Enfoque em**

Gerenciamento de Riscos. 2008, 193f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2008.

LINS, A. S. J. **Modelo de uma agência naval de segurança nuclear para o controle radiológico do complexo industrial de construção e manutenção do submarino com propulsão nuclear.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Proteção Radiológica e Segurança das Fontes Radioativas). Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Rio de Janeiro, 2017.

LONGEN, F. R.; BARCO, R.; PAESANO Jr., A.; GOMIDE, R.; PAGANO Jr., L. **Síntese e Caracterização de Combustíveis Nucleares Metálicos.** XXI CBECIMAT – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 09 a 13 Nov. 2014. Cuiabá, MT, Brasil.

MAGALHÃES JÚNIOR, J. L. **O. O Programa Nuclear Brasileiro: Implicações para o Exército Brasileiro.** Projeto de Pesquisa (Especialização em Proteção Radiológica e Segurança das Fontes Radioativas). Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Rio de Janeiro, 2017.

MAIA, Y. L. **Uma Proposta para o Descomissionamento de Submarinos Nucleares no Brasil.** 2015, f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear). COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.con.ufrj.br/wpcontent/uploads/2015/11/Dissertacao_Yran_Maia.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2019.

MARINHA DO BRASIL. **Amazônia Azul.** Brasília: Marinha do Brasil, 2019. Disponível em <https://www.mar.mil.br/hotsites/amazonia_azul/>. Acesso em: 11 ago. 2019.

_____. **Batalha Naval do Riachuelo.** Brasília: Marinha do Brasil, 2019. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/batalha-naval-do-riachuelo>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

_____. **O PROSUB.** Brasília: Marinha do Brasil, 2019. Disponível em <<https://www.marinha.mil.br/prosub/finalidadenuclear>>. Acesso em: 5 ago. 2019.

MELDONIAN, N. L. **Previsão da Demanda de Transporte de Materiais Radioativos para o Programa Nuclear Brasileiro e os Aspectos de segurança**. 1979, 300f. Dissertação (Mestrado na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 1979.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **Política de Defesa Nacional**. Brasília: Ministério da Defesa, 2012.

_____. **A Participação Brasileira na II Guerra Mundial**. Brasília, Ministério da Defesa, 2019. Disponível em: <<https://www.defesa.gov.br/component/content/article/2-uncategorised/15045-a-participacao-brasileira-na-ii-guerra-mundial>>. Acesso em: 7 set. 2019.

_____. **Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília: Ministério da Defesa, 2019. Disponível em: <<https://www.defesa.gov.br/estado-e-defesa/estrategia-nacional-de-defesa>>. Acesso em: 18 jul. 2019.

_____. **Marinha do Brasil Inaugura Centro de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica**. Brasília: Ministério da Defesa, 2019. Disponível em: <<https://www.defesa.gov.br/index.php/noticias/15558-marinha-do-brasil-inaugura-centro-de-defesa-nuclear-biologica-quimica-e-radiologica>>. Acesso em: 18 set. 2019.

MOURA, J. A. A. **A Estratégia Naval Brasileira no Pós-Guerra Fria: uma análise comparativa com foco em submarinos**. 2012, 491f. Tese (Doutorado em Ciências Políticas, Área de Estudos Estratégicos). Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2012.

MOURA NETO; J. S. **A Importância da Construção do Submarino de Propulsão Nuclear Brasileira**. 10 abr. 2009. Disponível em: <<https://www.naval.com.br/blog/2009/04/10/submarino-nuclear-brasileiro-a-palavra-do-comandante-da-mb/>>. Acesso em 02ago. 2019.

- NUCLEBRÁS EQUIPAMENTOS PESADOS (NUCLEP). **Estatuto Social**. Aprovado na 99ª Assembleia Geral Extraordinária. 19 abr. 2018.
- OLIVEIRA, K. A.; MEDEIROS, E.; CARMONA, J. C. B.; FERRARI, V. S.; DELIBERADOR, L. R. **Análise de Riscos no Transporte de Produtos Perigosos**. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa/PB, Brasil, 03 a 06 de Outubro de 2016.
- PADILHA, L. **Submarino Nuclear Brasileiro Álvaro Alberto (S-10)**. Defesa Aérea e Naval. Pub. 7. Dez 2012.
- PASSARELI, M. M. **Determinação de Urânio e Trítio em Urina de Trabalhadores**. 1977, 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas). Universidade de São Paulo, 1977.
- PEREIRA, J. M. M.; PING, J. G. **Navegações Chinesas no Século XV. Academia de Marinha**. Lisboa, Portugal, 2006.
- PEREIRA, M. H. **Modelo de Otimização Multiobjetivo Aplicado ao Projeto de Concepção de Submarinos Convencionais**. 2016, 364f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade de São Paulo, 2016.
- POGGIO, G. **A Guerra da Lagosta e suas Lições**. Poder Naval. 28 jan. 2016. Disponível em: <<https://www.naval.com.br/blog/2016/01/28/a-guerra-da-lagosta-e-suas-licoes/>>. Acesso em 10ago2019.
- POMBO, R. **História do Brasil**. 14ª edição –São Paulo: Edições Melhoramentos, 1905-1917.
- RÊGO, D. L. **“Um mal necessário”: Uma discussão sobre eunucos da China Imperial**. Associação Nacional de História. Pernambuco, 2015.
- SANTOS, I. **Descomissionamento de uma Usina de Produção de Hexafluoreto de Urânio**. 2008, 151f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2008.

- SANTOS, J. S. **Estratégias Analíticas para a Determinação de Urânio em Amostras de Água e Efluentes Industriais**. 2011, 184f. Tese (Doutorado em Química). Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011.
- SANTOS, N. F. T. **Biomonitoração de Urânio e Tório em Moradores de Áreas Anômalas e Adjacentes do Estado da Paraíba**. 2016, 105f. Tese (Doutorado em Ciências – Área de Concentração: Dosimetria e Instrumentação Nuclear). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2016.
- SAFFIOTI, W. **Fundamentos de Energia Nuclear**. Rio de Janeiro: Editora Vozes, 1982.
- SCOPACASA, R. **Hegemonia Romana e Transformações Culturais no Mediterrâneo (Séculos IV-II a.C.): Novas Perspectivas na História Global**. Ver. Hist. n. 177. São Paulo, 2018.
- SERVIÇO DE DOCUMENTAÇÃO DA MARINHA (SDM). **Introdução à História Marítima Brasileira**. 181p. 2006.
- SIENNA, K. **O Legado do Grande Navio: permanências e alterações no imaginário das grandes catástrofes**. 2018, 151f. Dissertação (Mestrado em História). Universidade Federal de Uberlândia. Rio de Janeiro, 2018.
- SILVA, T. M. **Contribuição ao Transporte de Materiais Físseis na Armazenagem em Trânsito**. 2005, 154f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2005.
- SOARES, J. C. M. **Brasil, Origens-Presente**. Rio de Janeiro: BAW, 2010.
- SOUNDHAUS, L. **German Submarine Warfare in World War I: the onset of total war at sea**. Rowman and Littlefield Publishers, 2017.

SPIEGELBERG, R. S. H. **Cálculos de Criticalidade em Misturas Homogêneas de Urânio e Plutônio**. 1981, 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 1981.

TAHUATA, L.; SALATI, I; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, A. R. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. 10ª revisão – Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014.

TARN, W. W. **Alexander the Great – Vol. I**. Cambridge University Press: London, 1948.

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **Presentation to Idaho LINE Comission**. United States Naval Nuclear Propulsion Program. 2013. Disponível em: <<https://line.idaho.gov/wp-content/uploads/sites/12/2019/01/2018-05-us-naval-nuclear-propulsion-program-slides.pdf>> Acesso em 1 set. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). **Transporte rodoviário de produtos perigosos: procedimentos de primeira resposta no atendimento a emergências** / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. - Florianópolis: CEPED UFSC, 2012.

VIVAS, A. S. **Desenvolvimento do Plano Preliminar de Descomissionamento do Reator IPEN/MB-01**. 2014, 161f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo, 2014.

WHITE, G. M.; LINDSTROM, L. **The Pacific Theater: island**. *Representations of World War II. Pacific Islands Monograph Series, nº 8*. Center for Pacific Islands Studies, School of Hawaiian, Asia, and Pacific Studies, University of Hawaii. University of Hawaii Press, 1989.

WORLD NUCLEAR TRANSPORT INSTITUTE (WNTI). **Transporte do Ciclo de Combustível Nuclear – Materiais Back End** (da etapa final).

ZÁVODSKÁ L.; KOSORÍNOVÁ E.; SCERBÁKOVÁ L. LESNÝ J. ***Environmental Chemistry of Uranium*** HU ISSN 1418-7108: HEJ Manuscript no.: ENV-081221-A. 2013.