

ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DO EXÉRCITO
ESCOLA MARECHAL CASTELLO BRANCO

Maj Inf **ANDRÉ LUIZ FREIRE DA CRUZ SILVA**

**Projeto de Segurança Física para uma Central
Autônoma de Geração de Energia Nuclear: uma
proposta**



Rio de Janeiro
2022

Maj Inf **ANDRÉ LUIZ** FREIRE DA CRUZ SILVA

Projeto de Segurança Física para uma Central Autônoma de Geração de Energia Nuclear: uma proposta

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Ciências Militares, com ênfase em Defesa.

Orientador: Maj Eng Daniel Ramos Lemos

Rio de Janeiro
2022

S586d Silva, André Luiz Freire da Cruz

Desenvolvimento do Projeto de Segurança Física para uma Central Autônoma de Geração de Energia./ André Luiz Freire da Cruz Silva.—2022.

51 f. : il. ; 30 cm.

Orientação: Daniel Ramos Lemos.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Militares)—Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro, 2022.

Bibliografia: f. 47-51

1. Energia Nuclear 2. Segurança Nuclear 3. Projeto de Segurança Física 4. Central Autônoma 5. Amazônia. I. Título.

CDD 333.792 4

Projeto de Segurança Física para uma Central Autônoma de Geração de Energia Nuclear: uma proposta

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, como requisito parcial, para a obtenção do título de Especialista em Ciências Militares com ênfase em Defesa.

Aprovado em 26 de outubro de 2022.

COMISSÃO AVALIADORA

Daniel Ramos Lemos – Maj Eng – Presidente
Escola de Comando e Estado-Maior do Exército

Fábio de Souza e Silva – Ten Cel Inf – 1º Membro
Escola de Comando e Estado-Maior do Exército

Felipe Galvão Franco Honorato – Maj Art – 2º Membro
Escola de Comando e Estado-Maior do Exército

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi descrever a elaboração de um projeto de segurança física para uma central autônoma de geração de energia nuclear em uma Organização Militar hipotética localizada na região amazônica. A Amazônia Legal representa mais da metade do território brasileiro, entretanto o seu processo histórico ocupacional dificulta a sua integração e o seu desenvolvimento. Para reduzir essa diferença de qualidade de vida, ações governamentais devem obter como foco o desenvolvimento de novas fontes de energia para preservar o meio ambiente e diversificar a matriz energética nacional. Nesse sentido, essa pesquisa científica visou descrever os riscos existentes na geração de energia nuclear e sua importância para prover um ambiente seguro e estável dentro da Amazônia Brasileira. Para tal, realizou-se uma pesquisa bibliográfica baseada em manuais do Exército Brasileiro, livros, artigos científicos, trabalhos acadêmicos e sites de internet que abordam os projetos de segurança física existentes com suas capacidades e limitações. Os resultados indicaram a importância do investimento no aprimoramento do setor nuclear nacional. Além disso, verificou-se a viabilidade da elaboração do projeto para reduzir os riscos de acidentes e anular as ameaças internas e externas que possam vir a atuar no local da instalação nuclear, contribuindo para integrar e desenvolver a Amazônia Legal.

Palavras-chave: Energia Nuclear. Segurança Nuclear. Projeto de Segurança Física. Central Autônoma. Amazônia.

ABSTRACT

The objective of this paper has the intended to describe the elaboration of a physical security project for an autonomous nuclear power generation plant in a hypothetical Military Organization located in the Amazon region. The Legal Amazon represents more than half of the Brazilian territory, however its historical occupational process hinders its integration and development. To reduce the difference in life quality, governmental actions should be focused on the development of new sources of energy to preserve the environment and diversify the national energy matrix. In this sense, this scientific research aimed to describe the risks existing in nuclear energy generation and its importance to provide a safe and stable environment within the Brazilian Amazon. Accordingly, a bibliographic research was conducted based on Brazilian Army manuals, books, scientific articles, academic papers and internet sites that address the existing physical security projects with their capabilities and limitations that exist nowadays. The results indicate the importance of investment in the national nuclear sector improvements. Furthermore, the viability of this project was verified to reduce the risks of accidents and eliminate internal and external threats that may occur at the nuclear plant installation site, contributing for the integration and development of the Legal Amazon.

Keywords: Nuclear Energy. Nuclear Security. Physical Security Project. Autonomous Power Plant. Amazon.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	06
1.1	O PROBLEMA.....	09
1.2	OBJETIVOS.....	09
1.2.1	Objetivo Geral	10
1.2.2	Objetivos Específicos	10
1.3	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	10
1.4	RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3	METODOLOGIA	16
3.1	TIPO DE PESQUISA.....	16
3.2	UNIVERSO E AMOSTRA.....	16
3.3	COLETA DE DADOS.....	17
3.4	TRATAMENTO DOS DADOS.....	17
3.5	LIMITAÇÕES DO MÉTODO.....	17
4	A REGIÃO AMAZÔNICA	19
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	19
4.2	A INTERNACIONALIZAÇÃO DA AMAZÔNIA.....	21
4.3	A MATRIZ ENERGÉTICA DA REGIÃO AMAZÔNICA.....	22
4.4	A AMAZÔNIA BRASILEIRA E AS NOVAS AMEAÇAS.....	25
5	PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO	28
5.1	SEGURANÇA NUCLEAR.....	29
5.2	SEGURANÇA FÍSICA E PROTEÇÃO FÍSICA.....	31
6	PROJETO DE SEGURANÇA FÍSICA EM UMA INSTALAÇÃO NUCLEAR MILITAR BRASILEIRA	34
7	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho trata da descrição de um projeto de segurança física para uma central autônoma de geração de energia em uma Organização Militar (OM) do Exército Brasileiro (EB) fictícia, contribuindo para o desenvolvimento de novas pesquisas acadêmicas na área nuclear. Nesse sentido, o Estado Brasileiro poderá construir novos reatores portáteis com elevada capacidade de geração de energia elétrica com maior segurança.

No que tange às atividades relativas ao setor nuclear, conforme estabelece a Lei nº 13.844, de 18 de junho de 2019, que estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios, compete ao Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República “coordenar as atividades do Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro como seu órgão central” (GABINETE DE SEGURANÇA INSTITUCIONAL, 2022).

O Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro (Sipron) tem por objetivo garantir o planejamento integrado e coordenar a ação conjunta e a execução continuada de procedimentos que visem a atender às necessidades de segurança das atividades, das instalações e dos projetos nucleares brasileiros, particularmente do pessoal neles empregados, bem como da população e do meio ambiente com eles relacionados (GABINETE DE SEGURANÇA INSTITUCIONAL, 2022).

No Brasil, o Direito da exploração Nuclear tem origem no dispositivo constitucional que dá competência à União para legislar sobre a matéria. Compete à União Federal, de acordo com a constituição federal de 1988, alterada pela Emenda Constitucional nº 49, 2006, em seu artigo 21:

XXIII - explorar os serviços e instalações nucleares de qualquer natureza e exercer monopólio estatal sobre a pesquisa, a lavra, o enriquecimento e reprocessamento, a industrialização e o comércio de minérios nucleares e seus derivados, atendidos os seguintes princípios e condições:

- a) toda atividade nuclear em território nacional somente será admitida para fins pacíficos e mediante aprovação do Congresso Nacional;
- b) sob regime de permissão, são autorizadas a comercialização e a utilização de radioisótopos para a pesquisa e usos médicos, agrícolas e industriais; (Redação dada pela Emenda Constitucional nº 49, de 2006)
- c) sob regime de permissão, são autorizadas a produção, comercialização e utilização de radioisótopos de meia-vida igual ou inferior a duas horas; (Redação dada pela Emenda Constitucional nº 49, de 2006)
- d) a responsabilidade civil por danos nucleares independe da existência de culpa; (Incluída pela Emenda Constitucional nº 49, de 2006) (BRASIL, 2022).

De acordo com o decreto Nº 9.600, DE 5 DE DEZEMBRO DE 2018, que consolida as diretrizes sobre a Política Nuclear Brasileira, em seu artigo 2º:

- X - Programa Nuclear Brasileiro - conjunto de projetos e atividades relacionados com a utilização, para fins pacíficos, da energia nuclear sob a orientação, o controle e a supervisão do Governo federal;
- XI – proteção física – conjunto de medidas destinada a:
 - a) evitar atos de sabotagem contra materiais, equipamentos e instalações;
 - b) impedir a remoção não autorizada de material, em especial material nuclear;
 - c) estabelecer meios para localização e recuperação de material desviado;
 - e
 - d) proteger o patrimônio e a integridade física do pessoal que integra a instalação nuclear.

Até agora, a geração de energia nuclear exigiu instalações de grandes dimensões cercadas por um complexo de edifícios, infraestrutura elétrica, estradas e estacionamentos, entre outros. A indústria nuclear está tentando mudar esse quadro, por intermédio da realização de pesquisas e um grande esforço para construir reatores modulares, cada vez menores e mais avançados, denominados Pequenos Reatores Modulares (*“Small Modular Reactors” - SMR*).

Reatores pequenos e médios ou modulares são uma alternativa para atender à demanda de geração flexível de energia para uma gama mais ampla de usuários e aplicativos. Pequenos reatores modulares, implantáveis como usina única ou multi-módulo, proporcionam a possibilidade de combinar energia nuclear com fontes alternativas de energia, incluindo renováveis. Os SMR apresentam um desempenho de segurança aprimorado por recursos de segurança inerentes e passivos, oferecendo melhor acessibilidade de custo de capital (AIEA).

Essa nova geração de reatores menores, e mais tecnologicamente avançados, oferece muitas vantagens, como menor potência térmica do núcleo do reator, arquitetura compacta e emprego de conceitos passivos que proporcionam um potencial de maior segurança em comparação com projetos anteriores e grandes reatores comerciais (ENERGIA NUCLEAR, 2022). Dessa maneira, cresce a possibilidade de multiplicar a potência fornecida, diminuindo riscos de fusão do núcleo e aumentando flexibilidade para instalação do sistema em locais diversos.

As usinas onde esses pequenos reatores são instalados possuem sempre um projeto de segurança nuclear associado. Além disso, seguem todas as recomendações de segurança internacional disponibilizada pela Agência

Internacional de Energia Atômica (AIEA), incluída uma proteção adicional contra sabotagem e roubo de material radioativo.

O planejamento da Segurança Nuclear em um país abrange um raio extenso de normas e regras que inclui desde a estruturação da segurança de projeto do núcleo de um reator nuclear até o planejamento da segurança física das instalações que recebem esses reatores. Também inclui um plano de salvaguarda, segurança da informação, defesa cibernética e o alerta à sociedade sobre qualquer risco e ações para prevenir e detectar os diferentes tipos de ameaça, como sabotagem e transferência ilegal de material radioativo.

O projeto de Proteção Física tem como foco principal prevenir a sabotagem e/ou roubo de materiais nucleares ou radiológicos presentes numa instalação nuclear, além de localizar e recuperar material perdido ou roubado. O sistema de Proteção Física (SisPF) realiza seus objetivos por dissimulação ou por uma combinação de funções primárias, que resultam numa provável neutralização do adversário. As funções primárias de um sistema de proteção física são: detecção, retardo e resposta. Um sistema de proteção física bem elaborado possui três características básicas. São elas: a defesa em profundidade, a proteção equilibrada e a alta confiabilidade.

Para a realização de um sistema de proteção física pode-se usar, entre outros métodos, a metodologia empregada numa técnica denominada Processo DEPO, acrônimo, em inglês, de “*Design and Evaluation Process Outline*”, desenvolvido pelo laboratório de Sandia dos Estados Unidos da América (EUA).

A Metodologia empregada consiste em: determinação dos requisitos do SisPF; caracterização da instalação; identificação dos alvos; definição de ameaças e projeção do SisPF. “O propósito de um SisPF é prevenir um adversário de completar uma ação danosa com sucesso contra uma instalação nuclear” (TAVARES, 2018, p. 24).

A detecção consiste em: sistema de controle de acesso; sistema de alarmes, certificação de instrumentos e exibição, avaliação e comunicação de alarmes. Ademais, o retardo é formado por elementos e barreiras físicas e a resposta pelo planejamento da contingência.

Para elaboração de um projeto de segurança física deve-se estabelecer o DBT, do acrônimo, “*Design Basics Threats*”. O DBT consiste inicialmente na definição do local da instalação. Essa instalação hipotética está localizada no 3º

Batalhão de Infantaria de Selva de Barcelos-AM e possui em seu interior um prédio com uma central autônoma de geração de energia por meio de um reator nuclear de pequeno porte do tipo PWR (*Pressurized Water Reactor*) com Urânio (235) enriquecido a 20%. Nessa instalação também é armazenado material nuclear e radiológico de análise.

Este estudo apresenta uma proposta de um projeto de Segurança Física para instalação nuclear militar contendo uma central autônoma de geração de energia nuclear. Tal estabelecimento nuclear poderá estar localizado na região amazônica, para fornecer energia elétrica, contínua e ininterrupta, a um escalão ou à pequena comunidade ao seu redor.

1.1 O PROBLEMA

A Força Terrestre deve buscar a aquisição de equipamentos e armamentos de alta tecnologia incorporada, alimentada por uma doutrina em evolução constante, conduzida por recursos humanos dedicados e treinados (BRASIL, 2019, p. 4-1). Nesse sentido, a proposta de implementação de uma Central Autônoma de Geração de Energia, por meio de um projeto de segurança física para uma instalação nuclear militar contendo um Mini Reator Nuclear Modular PWR visa à geração de maior poder de combate na função logística para a Força Terrestre. Dessa maneira, a elaboração do projeto de proteção física permite o surgimento das características de flexibilidade, adaptabilidade, modularidade, elasticidade e sustentabilidade que constitui o acrônimo FAMES (BRASIL, 2019, p.4-2). Tudo com a finalidade de gerar energia elétrica em regiões distantes e/ou classificadas como estratégicas ou de difícil acesso.

Expostas tais considerações, formulou-se a seguinte situação-problema: em que medida um projeto de segurança física para a instalação e operação de uma Central Autônoma de Geração de Energia nuclear reduz os riscos da geração?

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos. O primeiro representa o resultado a ser alcançado e responde ao problema da pesquisa. Por sua vez, os objetivos específicos são metas intermediárias a serem atingidas, a fim de se chegar ao objetivo geral da investigação científica.

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo é desenvolver um projeto de segurança física para uma instalação nuclear militar que visa proporcionar a instalação e a operação de uma Central Autônoma de Geração de Energia por um MINI REATOR NUCLEAR PWR (Pequeno Porte), em uma organização militar, localizada na região amazônica, para fornecer energia elétrica, contínua e ininterrupta, a esse estabelecimento ou à pequena comunidade ao seu redor.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Apresentar a região amazônica nos aspectos físicos e econômicos;
- b) Caracterizar as definições de Segurança Nuclear, Segurança Física e Proteção Física, a legislação básica nacional e internacional que regula o uso de energia nuclear; e
- c) Analisar um projeto de segurança física para uma central autônoma de geração de energia e sob o ponto de vista estratégico, as vantagens e desvantagens da utilização de reatores nucleares modulares e do uso de energia nuclear em instalações que compõem objetivos estratégicos nacionais.

1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Considerando o fator tempo para a realização da pesquisa científica, a abrangência do tema tratado deverá impor a demarcação de alguns limites. Entre os mais relevantes, destacam-se:

- a) Espacial: será selecionada a região Norte do Brasil, com prioridade para o Estado do Amazonas e um Batalhão de Infantaria de Selva como o espaço a ser focalizado; e
- b) Temporal: análise dos principais documentos e projetos existentes no século XXI e descrição de como elaborar um projeto de segurança física.

1.4 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

A utilização de uma tecnologia de um minirreator nuclear PWR de pequeno porte permite desenvolver socioeconomicamente áreas remotas e de acesso restrito, além de possibilitar maior ação de defesa de nosso território. Nesse sentido, surgem novas capacidades de infraestrutura, segurança e tecnologia, por meio do fornecimento de energia elétrica, com redes desenvolvidas e inteligentes.

Essa tecnologia é totalmente alinhada com os projetos verdes, de proteção e cuidado com o meio ambiente. Esse fato deve-se ao uso do minirreator nuclear PWR como uma fonte de energia totalmente limpa e segura. Também participa no fornecimento de energia elétrica para diversas indústrias, que demandam a criação de fontes estáveis de geração de energia, possibilitando aos mercados uma redução do custo dessa produção, pelo investimento em eficiências na rede. E isso não é possível com fontes eólicas e solares, as quais não possuem potência suficiente para alimentar energeticamente uma indústria.

Ademais, sabe-se que a geração in loco, em áreas remotas, reduz os custos de longas transmissões de energia, que oneram muito os valores do kWh pagos pelo consumidor.

Nesse escopo, a elaboração do projeto de segurança física de pequenos reatores modulares cresce de importância para preservar a sua capacidade de geração alternativa de energia. Existem aproximadamente 50 projetos e conceitos de reatores modulares pequenos (“SMR”) em todo o planeta. Esses projetos estão em vários estágios de desenvolvimento e alguns são reivindicados como sendo implantáveis em curto prazo. Atualmente existem quatro SMRs em estágios avançados de construção na Argentina, China e Rússia, e vários países de energia nuclear existentes e recém-chegados estão conduzindo pesquisa e desenvolvimento de SMR (AIEA).

O projeto deve seguir as obrigações legais quanto à proteção física do material nuclear a ser utilizado para fins pacíficos durante o transporte internacional. Essas determinações estão contidas na Convenção sobre a Proteção Física do Material Nuclear (CPPNM) e sua Emenda de 2005, em que aborda os principais instrumentos legais internacionais na área de segurança nuclear (AIEA).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A segurança nuclear compreende duas áreas, cuja diferenciação – em língua inglesa – é dada pelos termos “*safety*” e “*security*” (IAEA, 2016). Até o presente momento, ambas as áreas não possuem diferenciação quanto à nomenclatura em Língua Portuguesa e são tratadas como “segurança nuclear” (CNEN, 2015).

A área de *security* está voltada para ações mal-intencionadas ou negligentes de seres humanos, na qual estas podem causar danos ou ameaçar outros seres humanos (IAEA, 2016). A *security* é responsável pela prevenção, detecção e resposta aos ataques criminosos ou atos intencionais não autorizados que estejam direcionados a materiais nucleares e radiológicos, bem como instalações e atividades associadas.

A área de *safety* compreende a proteção das pessoas e do meio ambiente dos riscos das radiações ionizantes, bem como a segurança das instalações e atividades que originam tais riscos. Nesse sentido, a referida área compreende tanto os riscos da radiação em situações normais, como aqueles que são consequência de incidentes (IAEA, 2006).

O termo Segurança Nuclear consiste nas formas de prevenção, detecção e resposta à sabotagem, ação de ataque, roubo e acesso não permitido ou transferência ilegal de materiais nucleares ou radioativos, bem como suas instalações e práticas associadas.

Segurança nuclear é um processo contínuo que não envolve apenas componentes e estruturas, mas também pessoas e organizações. As usinas nucleares contam com sistemas de segurança passivos, que entram automaticamente em ação para impedir acidentes e, também, desligar e resfriar o reator em situações de emergência (ELETRONUCLEAR).

De todas as atividades industriais, a geração nuclear é uma das que oferece menos risco. Em 30 anos de operação das usinas de Angra I e II, não houve registros de acidente ou evento que colocasse em risco a população, o meio ambiente da região e os trabalhadores das usinas nucleares. (ELETRONUCLEAR).

A Agência Internacional de Energia Atômica define que “eventos de segurança física nuclear” são todos os eventos que tenham implicações potenciais ou reais para a segurança física nuclear (IAEA, 2013).

A segurança é um compromisso que está elaborado na Política de Gestão Integrada da Eletrobrás Eletronuclear. Ela é prioridade e precede a produtividade e a

economia, não devendo nunca ser comprometida por qualquer motivo (ELETRONUCLEAR).

Por lidar com uma forma de energia com grande potência, a segurança das instalações nucleares vai muito além das grossas paredes de aço e concreto que cercam os reatores. (ELETRONUCLEAR).

As usinas possuem duas barreiras protetoras que protegem fisicamente o reator: uma externa, de concreto, e outra interna, de aço. Essas paredes de retenção protegem as usinas contra agentes externos, como terremotos, maremotos, inundações e explosões, e também o aumento de pressão no interior da usina (ELETRONUCLEAR).

A Eletronuclear tem na segurança um dos pontos mais relevantes de sua cultura organizacional, norteando todas as atividades da empresa, mesmo as que, aparentemente, nada tem a ver com a questão. Um dos principais conceitos empregados é o de defesa em profundidade, ou seja, a aplicação de barreiras em série, como em uma corrida de obstáculos. Elas funcionam através dos sistemas operacionais, de segurança e de instrumentação e controle de uma usina. O risco não é eliminado totalmente, mas reduzido a níveis baixíssimos (ELETRONUCLEAR).

As defesas em uma usina nuclear podem ser de diferentes tipos:

De Projeto – Conjunto de barreiras que engloba os cuidados tomados antes mesmo da seleção do local onde a usina será construída. São analisados todos os possíveis riscos inerentes ao empreendimento, até mesmo os mais improváveis, como terremotos ou a queda de um avião sobre as instalações nucleares (ELETRONUCLEAR).

Físicas – Inclui todas as proteções utilizadas para mitigar ou minimizar os níveis de radiação inerentes ao funcionamento do reator nuclear. Essas barreiras vão desde a própria estrutura molecular da pastilha de combustível até as grossas paredes de aço e concreto que cercam todo o circuito primário da usina (ELETRONUCLEAR).

De Processo – Essas barreiras garantem a segurança do trabalho humano e sua interação com a máquina, estabelecendo rotinas de trabalho e procedimentos administrativos e operacionais. Essa categoria possui itens, tais como os programas de testes periódicos; os procedimentos de trabalho (operação, manutenção, engenharia, treinamento, química, proteção radiológica, gestão) e processos de avaliação interna e externa (ELETRONUCLEAR).

Organizacionais – Aqui estão os controles legais e institucionais relativos à segurança. Elas incluem leis específicas de âmbito nacional e internacional, a existência de um órgão regulador – no caso brasileiro, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) – e de acordos com organismos nacionais e internacionais. Ademais, a Política de Gestão Integrada de Segurança da Eletrobrás Eletronuclear preconiza que a segurança nuclear é mais importante do que a produtividade ou a economia da empresa. Esse é um compromisso que envolve todos os trabalhadores da organização e se reflete numa forte cultura de proteção (ELETRONUCLEAR).

A proteção física de instalações nucleares e radiológicas tem como objetivos gerais a proteção contra roubo e sabotagem, localização e recuperação material perdido ou roubado e mitigação das consequências radiológicas de uma sabotagem (IAEA, 2011).

O projeto de proteção física consiste na realização de investimentos para obtenção de melhorias no treinamento e armamento de suas forças de segurança, implementação de barreiras físicas adicionais, melhoria da vigilância e detecção de invasores, fortes controles de acesso, gerenciamento da proteção dos sistemas computacionais da planta e checagem de antecedentes dos funcionários da planta (SANTOS, 2019).

O projeto de proteção física de uma central autônoma de geração de energia leva em consideração parâmetros probabilísticos da ameaça, equipamentos, sistemas e forças de resposta empregadas para prevenir, dissuadir e deter atos mal-intencionados contra a integridade de instalações e dos materiais nucleares neles contidos (TAVARES; FIEL, 2019, p. 1).

Para preservar o sigilo dos sistemas e planos reais, foi concebido um modelo de instalação militar, contemplando um instituto de pesquisa contendo um reator nuclear e um depósito de rejeitos radioativos, sendo o sistema de proteção física concebido de acordo com os requisitos normativos brasileiros (TAVARES; FIEL, 2019, p. 1)

De acordo com Garcia (2008), existem duas formas de prevenir um ato mal-intencionado: dissuadindo o adversário ou neutralizando o adversário.

A dissuasão consiste na adoção de medidas que conduzam ao adversário a certeza do insucesso de sua ação. Como por exemplo, a presença de guardas noturnos em estacionamentos e a utilização de barreiras físicas, como as barras de ferro em uma janela (SANTOS, 2019).

Por outro lado, um Sistema de Proteção Física (SisPF) robusto tem alto valor dissuasório, na medida em que o sistema oferece também proteção à instalação em caso de ataque (GARCIA, 2008).

A neutralização do adversário consiste nas ações tomadas pela força de resposta para impedir que um adversário cumpra seu objetivo após iniciar um ato mal-intencionado contra a instalação. A neutralização possui diversas formas de ser avaliada, por meio de suas funções primárias. (SANTOS, 2019).

O projeto de proteção física eficiente possui um Sistema de Proteção Física que obtém seus objetivos pela dissuasão ou pela combinação de funções primárias, promovendo a neutralização do adversário. As funções primárias de um sistema de proteção física são: detecção, retardo e resposta.

3 METODOLOGIA

A finalidade desta seção é apresentar, de forma detalhada, a sequência de procedimentos da presente pesquisa que proporcionaram as condições para a correta solução do problema abordado. Dessa forma, busca-se especificar a metodologia científica a ser empregada durante todas as fases do trabalho.

Para tanto, esta seção foi dividida em: tipo de pesquisa; instrumentos previstos para a coleta dos dados; tratamento dos dados, o que conduzirá às conclusões acerca do tema proposto; e as limitações do método desenvolvido.

3.1 TIPO DE PESQUISA

O presente trabalho apresentou a construção de um projeto de segurança física de forma qualitativa, priorizando a análise de documentos (VERGARA, 2005), com a finalidade de subsidiar a construção uma central autônoma de geração de energia nuclear, o que aumentará a segurança física de instalações militares estratégicas do Estado Brasileiro.

Com a finalidade de bem caracterizar a pesquisa a ser realizada, buscou-se especificá-la conforme as classificações mais usuais e atuais.

Nesse escopo, a pesquisa foi também descritiva, pois foram demonstradas as características e peculiaridades de um projeto de segurança física de uma central autônoma de geração de energia nuclear; explicativa, pretendendo esclarecer as possíveis vantagens relacionadas ao desenvolvimento econômico nacional; metodológica; e bibliográfica, tendo como principais fontes os textos com buscas em manuais doutrinários nacionais, livros de segurança de pontos sensíveis, rede mundial de computadores, bem como em periódicos de amplitude nacional.

Quanto ao objetivo geral, trata-se de uma pesquisa exploratória, realizada a fim de proporcionar uma visão geral, do tipo aproximativo, acerca de determinado assunto (GIL, 2008, p.28).

3.2 UNIVERSO E AMOSTRA

O Universo da pesquisa pode ser definido como o conjunto de reatores nucleares que existem nos países desenvolvidos e seus projetos de construção. Outrossim, poderão ser estudadas as entidades nacionais dedicadas ao tema e os organismos internacionais correspondentes, dos quais o Brasil possui relações

diplomáticas relacionadas com a matéria, como a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), Comunidade Europeia da Energia Atômica (EURATOM) e Companhia Estatal de Energia Nuclear da Federação Russa (ROSATOM).

3.3 COLETA DE DADOS

Conforme o Manual de Elaboração de Projetos de Pesquisa na ECEME (2012), a coleta de dados do presente trabalho de conclusão de curso aplicar-se-á por meio da coleta na literatura, realizando-se uma pesquisa bibliográfica na literatura disponível, tais como livros, manuais, revistas especializadas, jornais, artigos, internet, monografias, teses e dissertações, sempre buscando os dados pertinentes ao assunto.

3.4 TRATAMENTO DOS DADOS

Conforme o Manual de Elaboração de Projetos de Pesquisa na ECEME (2012), o método de tratamento de dados, utilizado no presente estudo, será a análise de conteúdo, no qual serão realizados estudos de textos para se obter a fundamentação teórica, afim de se confirmar ou não a hipótese apresentada, realizando-se, posteriormente, a triangulação dos dados obtidos pelas diferentes vias, buscando-se maior embasamento para alcançar o objetivo geral da pesquisa (VERGARA, 2005).

Por se tratar de uma pesquisa qualitativa, o método para o tratamento dos dados será a análise de conteúdo, que visa a identificar o que está sendo enunciado a respeito de determinado tema (VERGARA, 2005, p. 15).

3.5 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

A metodologia em questão possui limitações, particularmente, quanto à profundidade do estudo a ser realizado, pois não contempla, entre outros aspectos, o estudo de campo. Além disso, a seleção e coleta dos dados a partir de fontes bibliográficas e documentais estarão sujeitas à disponibilidade do pesquisador.

Nesse sentido, certamente haverá restrições quanto ao acesso a fontes primárias e a documentos oficiais que contribuam com os objetivos da pesquisa, principalmente pelo fato de o tema ser considerado sigiloso e de interesse estratégico.

Não obstante, as ferramentas metodológicas existentes no trabalho são consagradas no meio acadêmico e se destinam a cumprir os objetivos propostos, contribuindo para a resposta do problema que motivou a pesquisa.

4 A REGIÃO AMAZÔNICA

A região amazônica é uma área de fundamental relevância para preservação da soberania nacional. O seu desenvolvimento possibilita a manutenção do Estado Brasileiro coeso e forte. Dessa forma, o Exército Brasileiro deve realizar esforços para aumentar a capacidade de defesa dessa região, fomentando a participação da sociedade em estudos de interesse da área de segurança, o que promove o aumento do poder militar, compatível com a situação do país de Estado emergente.

Além disso, o Brasil ainda não concluiu a integração de suas cinco regiões, e o Exército Brasileiro vê o auxílio a esse processo como uma de suas principais finalidades, uma vez que é condição imprescindível à defesa do País. Assim, a Amazônia, considerando a cobiça internacional e as vulnerabilidades nacionais, é a área estratégica prioritária, e sua integração representa o fator de maior impacto na redução das vulnerabilidades naquela região (BRASIL, 2014).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A Amazônia consiste em um conjunto de fenômenos correlacionados entre si, conferindo certa unidade à área. Essa região é formada pela Geografia Física, complementando-se com as Geografias Humana, Econômica e Política (MAGLUF, 2000).

A Amazônia, ou Região Norte, compreende fisicamente por extensa depressão de terras equatoriais formando vasta planície, situada entre o Maciço das Guianas de um lado e os primeiros degraus do Planalto Central do outro, tendo, a oeste, a Cordilheira dos Andes (MAGLUF, 2000).

O Brasil é dividido em cinco grandes regiões denominadas: Norte, Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste e Sul. A região Norte do Brasil possui a maior área física e reúne o menor índice de ocupação populacional. Essa região, que concentra boa parte da Amazônia brasileira, possui uma distribuição desigual da população, variando de 50 hab/km² até 2,2 hab/km², dependendo da área considerada. O transporte é precário, no qual predomina o uso dos rios amazônicos, navegáveis em boa parte de suas extensões e com volume de água lento, fazendo do meio hidroviário importante modo de transporte para os habitantes da região.

A região amazônica é dividida pela Linha do Equador. Essa divisão deixa a parte do norte menor e mais acidentada, além de favorecer a formação de um clima

quente-úmido bem regular, com pequena diferença entre os meses mais e menos quentes durante o ano. (MAGLUF, 2000).

No Brasil, a região amazônica compreende a região Norte do país, formada pelos Estados do Amazonas, Pará, Acre, Rondônia, Roraima, Amapá e Tocantins. Essa região faz fronteira com a Guiana Francesa, Suriname, Guiana, Venezuela, Colômbia, Peru e Bolívia. A Amazônia Internacional é formada por nove países sul-americanos, incluindo o Brasil e o Equador.

Além dos limites políticos da Região Norte, a Lei 1.806, de 6 de janeiro de 1956, criou a chamada “*Amazônia Legal*”, envolvendo a região de transição do Maranhão até o meridiano de 44°, bem como o norte do Estado de Goiás e de Mato Grosso até o paralelo de 16°. Assim, a “*Amazônia Legal*”, dividida em Amazônia Ocidental, compreendendo os Estados do Amazonas, Acre, Rondônia e Roraima, e Amazônia Oriental, integrada pelos estados do Pará, Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Amapá e do Maranhão, ocupa, no conjunto, 58% do território nacional, no critério misto político/fisiográfico/geodésico. (MAGLUF, 2000).



Figura 01 – Mapa da Região Norte do Brasil, Amazônia Legal e Amazônia Internacional
Fonte: <https://www.pinterest.cl/pin/843932417647402761/>

Nesse escopo, a integração dessa região transnacional é fundamental para o desenvolvimento sustentável, de forma ordenada, dos países que estão contidos na porção geográfica da Amazônia Internacional. Ademais, infere-se que a criação da Amazônia Legal, subdividida em Amazônia ocidental e oriental, está de acordo com

os preceitos normativos do Brasil, uma vez que proporciona maior interação dessas duas sub-regiões em prol da integração amazônica.

4.2 A INTERNACIONALIZAÇÃO DA AMAZÔNIA

A região amazônica constitui grande responsabilidade em nível nacional. Embora o Governo Brasileiro venha envidando esforços para concretizar a integração definitiva da região à comunidade nacional, a Amazônia possui, ainda, grandes vulnerabilidades que a transformam em área crítica para a manutenção da soberania brasileira (BRANCO, 2001).

A Amazônia faz parte do mundo tropical, caracterizada por uma grande bacia hidrográfica, reserva de água doce de grande extensão, pela maior faixa continuada de floresta do planeta, que abriga a mais numerosa flora de toda a Terra e por uma fauna que possui apreciável valor, no que tange ao processo econômico. Além disso, ocorre a presença de variada quantidade de minerais estratégicos (BRANCO, 2001).

As grandes potências mundiais têm realizado esforços com o objetivo de internacionalizar a Amazônia, considerando esta como parte de uma propriedade mundial e de usufruto por toda humanidade. O que antes era uma ambição imperialista, agora faz parte do novo cenário internacional, com ação indireta de governos desenvolvidos e de Organizações Não Governamentais (ONG). Essas características qualificam a região amazônica como uma área estratégica de capital importância no setor de segurança nacional.

Com o término da Guerra Fria e o surgimento da nova ordem mundial, formularam-se novos acordos político-econômicos que enfraqueceram o conceito de Estado-Nação e reduziram a prioridade da soberania, como objetivo primordial de um país. Nesse escopo, os países emergentes apresentaram dificuldades para o exercício da independência e autonomia em zonas de interesse para a Humanidade e colocando a região amazônica como uma área internacional. Dessa forma, há um choque de interesse entre a cobiça estrangeira, e por outro lado, os objetivos de segurança e desenvolvimento nacionais, com prioridade para a manutenção da soberania, da integração nacional e do patrimônio.

Além disso, desde os anos 1980, a globalização surge como um processo de expansão econômica, política e cultural em nível mundial. Esse fenômeno demonstra ser um processo contínuo e possui a sua intensificação a partir do século

XX. Nesse sentido, os países hegemônicos são os Estados que determinam a padronização dos meios de produção a serem utilizados pelos países periféricos do sistema.

A região amazônica faz parte dessa porção periférica da cadeia de produção capitalista globalizada. Tal cenário demanda a necessidade da realização de novos investimentos pelo Governo Federal com o objetivo de elevar o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), por intermédio de uma distribuição mais igualitária da renda direcionada às áreas da saúde, educação e qualificação da mão de obra, proporcionando o desenvolvimento para novas produções tecnológicas na região.

Dessa forma, os produtos exportados devem possuir maior valor agregado, o que contribui para mudança da base produtiva local. A conquista de novas formas de produção demanda o maior consumo de eletricidade e a necessidade da aquisição de novas fontes de fornecimento de energia elétrica, o que possibilita a redução da dependência da importação dos derivados do petróleo e fomentam a preservação do meio ambiente, alinhado com as conferências internacionais climáticas. “Desse modo, é de suma importância que a Nação brasileira desperte para a transcendental valorização da Amazônia, como o argumento maior de garantia do Brasil-potência do atual século” (BRANCO, 2001, p. 7).

4.3 A MATRIZ ENERGÉTICA DA REGIÃO AMAZÔNICA

A matriz energética nacional é predominantemente renovável. Isso se deve ao fato de que 53% da oferta indicativa são compostas por eólica, solar, hidrelétricas, incluindo Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Centrais Geradoras Hidráulicas (CGH), e diferentes tipos de biomassa, incluindo o biogás (EPE, 2018).

O setor elétrico brasileiro apresenta as seguintes características atuais: cerca de 163,761 mil MW de capacidade instalada, 83,52 milhões de unidades consumidoras, 146,55 mil km de linhas de transmissão e 577,97 mil GWh de produção de energia elétrica. Ademais, o Ministério de Minas e Energia prevê a necessidade de investir R\$ 400 bilhões de reais no setor até 2027 (SANTOS, 2019).

A região amazônica abriga a maior parte das terras indígenas (TIs) do país (98% da área das TIs do Brasil, que ocupam aproximadamente $\frac{1}{4}$ da Amazônia). A vulnerabilidade dos povos indígenas, as incertezas relacionadas ao procedimento de consulta previsto na Convenção nº 169 da Organização Internacional do Trabalho

(OIT)¹ e a falta de regulamentação do §3º do Artigo 231 da Constituição Federal² contribuem para potenciais conflitos em relação à implantação de projetos energéticos (EPE, 2018).

A região Norte ainda não conta com seu potencial de PCH mapeado. Outrossim, a região amazônica apresenta um excedente de potência em quase todos os meses do ano, sobretudo ao se preservar níveis elevados no reservatório da UHE Tucuruí (EPE, 2018).

“Na área de produção de energia elétrica, o acidente com a usina de Fukushima reviveu o alerta das consequências de um acidente nuclear além de causar nova elevação de custos relativos à segurança dos projetos nucleares” (EPE, 2013, p. 9).

Em relação à produção de energia elétrica, um dos fatores invariantes, ou seja, estarão presentes em todos os cenários formulados, condicionando possibilidades do futuro, são os riscos de acidentes severos relacionados à energia nuclear (EPE, 2013).

No que tange o cenário de oferta de energia elétrica, o papel da energia nuclear na estratégia nacional deve ser uma das questões centrais a serem analisadas, tais como a percepção de riscos e elevação dos custos pós-Fukushima, o domínio do ciclo completo de produção do elemento combustível e a possibilidade de sua exportação, considerando a capacidade de produção e competitividade (EPE, 2013).

O Brasil possui como objetivo de sua política de governo e como compromisso do país junto à Organização da Nações Unidas (ONU), a redução da emissão de gases do efeito estufa, em relação aos níveis de 2005, em 37% até 2025, e uma indicação de 43% até 2030 (SANTOS, 2019).

¹ Algumas indefinições quanto aos procedimentos da consulta prévia, livre e informada, conforme previsto na Convenção nº 169 da OIT: 1) quem é responsável por conduzir a consulta; 2) quando tal processo deve ser iniciado e finalizado; 3) quais comunidades indígenas devem ser consultadas a cada momento; 4) quais as etapas de uma consulta; e 5) quais os desdobramentos do resultado da consulta. Entretanto, apesar dessas incertezas, devem ser empreendidos esforços para o diálogo com os povos indígenas, respeitando-se as suas especificidades culturais e políticas, uma vez que no Brasil determinou-se que a consulta se aplica aos povos indígenas e comunidades quilombolas afetados diretamente por medidas legislativas ou administrativas.

² Conforme a Constituição Federal de 1988, a instalação de projetos em terras indígenas só pode ser efetivada com a autorização do Congresso Nacional, ouvidas as comunidades indígenas.

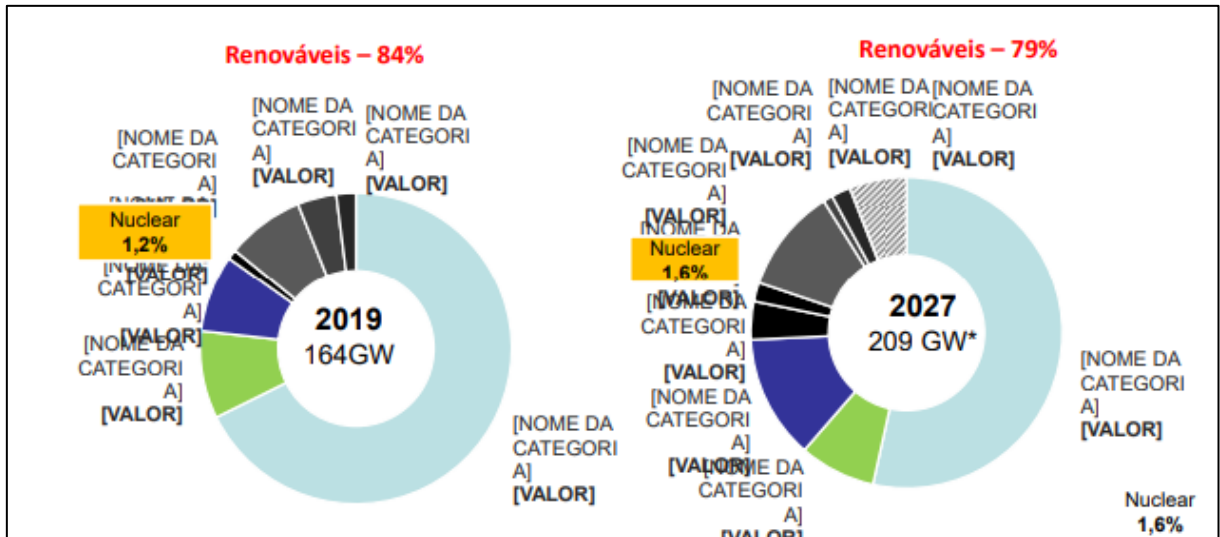


Figura 02 – PDE 2027: evolução da capacidade instalada

Fonte: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/50/025/50025877.pdf

A figura 02 ilustra a evolução da capacidade instalada de energia nuclear nacional entre os anos de 2019 e 2027. As centrais nucleares do Brasil em operação são as Usinas Nucleares de Angra 1 e 2. Essas fontes de energia geram 2,0 GW, correspondendo em 2018, a 2,6% do total gerado no país (SANTOS, 2019).

Os principais desafios para se obter maior participação do Programa Nuclear Brasileiro na matriz energética da região amazônica são:

- Criação de um ambiente jurídico regulatório estável, que viabilize a participação da iniciativa privada;
- A redefinição da estrutura institucional, com a efetiva segregação das atividades de desenvolvimento tecnológico, fomento, regulação e fiscalização;
- A mudança do paradigma de planejamento energético de longo prazo no Brasil, com a inclusão de aspectos de sustentabilidade ambiental e econômica; e
- Criação de diretrizes para a entrada de tecnologias da Geração III+ no Brasil (GONÇALVES; ROITMAN, 2019, p.9).

O setor da energia nuclear congrega os seguintes benefícios: geração de base, alto fator de capacidade, elevada confiabilidade, segurança e confiabilidade na geração. Atualmente, a energia nuclear corresponde a 3% da energia elétrica consumida no Brasil, o que equivale a 50% da eletricidade consumida no estado do Rio de Janeiro. Além disso, o domínio completo do ciclo do combustível pelo Brasil corresponde a uma importante questão estratégica, proporcionando condições vantajosas para o aprimoramento e desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas à produção de energia nuclear.

Branco (2001, p. 14) afirma que:

A posição equatorial dessa região otimiza o aproveitamento da energia solar, natural, abundante, limpa e gratuita. Já foi mencionada a perspectiva de se tirar proveito da energia cinética dos rios, além da presença de combustíveis fósseis. Presentes em muitos ambientes da região estão os combustíveis nucleares, particularmente, os chamados “metais novos” recentemente convocados pelas tecnologias de ponta, dentre eles o lítio, que poderá propiciar o processo de substituição das usinas nucleares de fissão para as de fusão.

Nesse diapasão, a diversificação da Matriz energética é importante para que o Sistema Integrado Nacional forneça energia com qualidade para a população. Como forma de ampliar a participação da energia nuclear no fornecimento de energia elétrica na região amazônica deve-se haver uma reestruturação do Programa Nuclear Brasileiro e mudanças regulatórias da Constituição Federal que classifica a fonte nuclear como competência da União, o que dificulta a participação da iniciativa privada. Infere-se ainda que o custo mais elevado das fontes nucleares demanda ações que visem ao desenvolvimento científico e tecnológico nacional e à formação de parcerias com a iniciativa privada para construção de reatores nucleares.

4.4 A AMAZÔNIA BRASILEIRA E AS NOVAS AMEAÇAS

O governo brasileiro, como Estado soberano, tem a obrigação de coibir possíveis cobiças e combater intenções obscuras no tabuleiro geopolítico do sistema internacional, possuindo, ainda, a primazia do uso da força por meio das Forças Armadas. Não à toa, no contexto realista das Relações Internacionais, os militares possuem uma forma de pensar que orbita entre a possibilidade da guerra e sua consequente manutenção do aparato bélico (HUNTINGTON, 1996).

Outrossim, a Doutrina Militar Terrestre cita essas novas ameaças:

Uma ameaça – concreta (identificável) ou potencial – pode ser definida como a conjunção de atores, estatais ou não, entidades ou forças com intenção e capacidade de realizar ação hostil contra o país e seus interesses nacionais com possibilidades de causar danos à sociedade e ao patrimônio.

Ameaças ao país e a seus interesses nacionais também podem ocorrer na forma de eventos não intencionais, naturais ou provocados pelo homem. Nas últimas décadas, apesar da ocorrência de conflitos bélicos com o empenho de numerosos efetivos, a declaração formal de guerra entre Estados deixou de ser a regra.

Em um ambiente de incertezas, passou a ser mais difícil a identificação do adversário dominante, regular ou não. A crescente proeminência de grupos transnacionais ou insurgentes, com ou sem apoio político e material de

países, ampliou o caráter difuso das ameaças a serem enfrentadas com o emprego de forças de Defesa (BRASIL, 2019, p. 2-5).

A região amazônica apresenta diversas ameaças internas e transnacionais que comprometem a segurança e a soberania nacional. Dentro desses óbices, cabe salientar o narcotráfico, as ações de facções criminosas, a instabilidade dos países limítrofes, o contrabando, o descaminho, o tráfico de armas e de seres humanos, a imigração ilegal, a presença de grupos paramilitares e de guerrilha, o garimpo ilegal, a ação de Organizações Não Governamentais (ONG), os crimes ambientais e a biopirataria (DE MORAES, 2021).

A globalização permitiu um aumento do nível das ameaças na região amazônica. Essa situação promove uma necessidade de reestruturação do preparo e emprego da Força Terrestre para fazer frente aos novos atores que influenciam na região Norte do país.

As novas ameaças aos Estados surgem nos cenários conjunturais promovendo sérias tensões institucionais ao se utilizarem de atividades de natureza essencialmente criminosa, tais como: lavagem de dinheiro, contrabando, tráfico de drogas e de armas e ações terroristas em nível internacional. No que concerne à segurança, essas ameaças e suas ações decorrentes aumentam consideravelmente a dimensão e a gravidade do quadro conjuntural, favorecendo a necessidade de investimentos em novos projetos de proteção física contra alvos sensíveis e estratégicos.

As ameaças atuais podem ser internas ou externas. Entre os novos atores envolvidos, salienta-se o terrorismo e o tráfico de drogas. Estes são agentes causadores de instabilidade na região que podem promover a formação de grupos criminosos, favorecendo a criação de políticas e estratégias de defesa.

A Estratégia Nacional de Defesa (END), aprovada pelo Decreto nº 6.703, de 18 de dezembro de 2008, traz indicações de quais ações estratégicas de médio e longo prazo devem ser realizadas para modernizar a estrutura nacional de defesa e colocar na prática o pensamento desenvolvido desde a primeira Política de Defesa Nacional (PDN). Para a consecução de tais objetivos, a END se edifica sobre alguns eixos estruturantes. O problema é que alguns desses eixos, como a reestruturação da indústria de defesa, que pressupõe a ampliação do orçamento para o setor, o alargamento dos recursos orçamentários para a defesa, bem como o fortalecimento

do setor estratégico nuclear podem gerar instabilidades de ordem interna (LUEDY SILVA; RIBEIRO, 2016).

Além disso, a END define o setor nuclear como um dos três setores estratégicos do país e afirma a importância do desenvolvimento da tecnologia nuclear, devendo praticá-la por intermédio das seguintes iniciativas:

- (a) aprimorar o desenvolvimento da tecnologia nuclear para fins pacíficos; [...]
- (c) aprimorar as tecnologias e capacitações nacionais com vistas a qualificar o País a projetar e construir reatores de pesquisa, reatores de teste e termelétricas nucleares, ainda que desenvolvidas por meio de parcerias com outros países ou com empresas estrangeiras, com o propósito de garantir a segurança energética, por meio, inclusive, da diversificação da matriz energética nacional;
- (d) aumentar a capacidade de usar energia nuclear em amplo espectro de atividades de uso pacífico, inclusive por meio de parcerias;
- (e) incrementar a capacidade de prover a defesa nuclear; e [...] (BRASIL, 2020, p. 59)

No que tange ao atendimento da demanda da Defesa Nacional, o Exército Brasileiro deve ter como significativo objetivo a manutenção de meios eficazes de defesa para a proteção das atividades e das áreas físicas identificadas como estratégicas e adoção de medidas para reduzir ou eliminar as vulnerabilidades estratégicas. Infere-se ainda que o Governo Federal deve realizar medidas para promover a conscientização da população brasileira, sobre a necessidade de obter recursos financeiros para investir em defesa, em vez de utilizar em outras áreas, consideradas essenciais para o país, como saúde e educação.

Nesse escopo o desenvolvimento tecnológico para melhorias na obtenção e geração de energia elétrica provenientes da energia nuclear contribuem para o desenvolvimento da região amazônica e refletem na redução da disparidade regional nacional. Além disso, a utilização de mini reatores na Amazônia promovem a redução da dependência da importação de derivados do petróleo e fomentam a necessidade de aplicação de recursos financeiros na área de defesa nacional, promovendo a pesquisa para implantação de novos projetos de segurança física em centrais autônomas de geração de energia nuclear na região norte.

5 PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO

O Brasil é um dos três países, ao lado dos Estados Unidos e da Rússia, que possuem reservas de urânio e detêm a tecnologia de todo o ciclo do combustível. O Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 tem como base a diversificação da matriz energética, hoje basicamente hidrelétrica, com investimentos em fontes complementares. Nessa nova conjuntura, a energia nuclear assume relevante papel e a sua participação irá crescer progressivamente, chegando a 2030 com até oito novas usinas. Ao traçar uma estratégia de inserção gradativa de novas usinas nucleares na matriz energética nacional, procurou-se também atender às diretrizes do Programa Nuclear Brasileiro, de preservar a capacitação adquirida, investir no desenvolvimento tecnológico e garantir a renovação dos recursos humanos do setor (TEIXEIRA, 2008). Nesse sentido há o aumento da participação da energia nuclear na matriz energética nacional.

A energia nuclear consiste naquela obtida a partir da fissão ou fusão nuclear. De acordo com a Enciclopédia das Enciclopédias (1996, p. 298), que versa:

Na fissão nuclear, o núcleo de um átomo pesado é dividido em duas partes de tamanhos comparáveis: na fusão, dois ou mais núcleos relativamente leves combinam-se para formar um núcleo mais pesado. Ambos os processos envolvem a liberação de grande quantidade de energia. [...] A fusão nuclear controlada, porém, ainda não foi atingida. Experiências que investigam a radioatividade e a estrutura atômica no final do século 19 e início do século 20 levaram a ideia de um núcleo pequeno e denso localizado no centro do átomo e à detecção do nêutron como componente desse núcleo. [...] A descoberta da fissão levou a uma grande atividade por parte dos cientistas com o objetivo de liberar a energia do átomo.

Após o descobrimento da pilha atômica de Fermi, na qual se verifica a possibilidade da reação em cadeia autossustentável, com os nêutrons liberados pela fissão dos átomos de urânio, sendo utilizados para quebrar mais átomos de urânio em conjunto de reações químicas sucessivas. Isso forneceu a base para o projeto de reatores nucleares e o uso pacífico desse tipo de energia (ENCICLOPÉDIA DAS ENCICLOPÉDIAS, 1996).

O programa nuclear brasileiro possui diretrizes e premissas que visam regular o desenvolvimento científico-tecnológico na área nuclear. O Brasil possui consideráveis recursos de urânio, ainda que grande parte do território nacional não tenha sido prospectada. O País domina toda a tecnologia do ciclo do combustível nuclear, desde a mineração até a montagem do elemento combustível. Atualmente,

uma única etapa do ciclo do combustível (a conversão e parte do enriquecimento) tem sido realizada no exterior por questões de escala. Ademais, desenvolvem-se no Brasil pesquisas em reatores e aplicações da energia nuclear, tais como o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) e o submarino com propulsão nuclear (SN-BR), como parte desse programa. O País tem duas usinas nucleares (Angra I e Angra II) em operação e uma em construção (Angra III), com previsão de início da operação comercial em janeiro de 2026. Apesar dos condicionantes desafiadores para a geração termonuclear no mundo e no Brasil, com incertezas sobre o aproveitamento de seu potencial, há também novas perspectivas para a energia nuclear associadas a seu papel em um cenário com significativa restrição de carbono e alta participação de fontes renováveis não despacháveis, bem como ao desenvolvimento de novos negócios (inclusive no setor elétrico) e outras aplicações da tecnologia nuclear (PNE, 2050).

O plano de ação 2007 / 2010 de Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento, em elaboração final, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, e a Matriz Energética – 2030, sob a coordenação do Ministério de Minas e Energia, permitem indicar como metas para o Programa Nuclear Brasileiro:

- a. Retomar a prospecção de Urânio;
- b. Completar a primeira fase da Planta de Enriquecimento de Urânio – Resende;
- c. Construir Planta Piloto de produção de UF₆ – Aramar;
- d. Concluir Angra-III;
- e. Desenvolver usinas nucleoeletricas – 1000 MWe;
- f. Estabelecer depósito final de rejeitos; e
- g. Modernizar infraestrutura da NUCLEP.

É fundamental que sejam incluídas metas relacionadas com o desenvolvimento de novas tecnologias e com a formação e fixação dos recursos humanos indispensáveis à consecução do Programa.

5.1 SEGURANÇA NUCLEAR

A segurança nuclear é relativa à utilização de forma eficiente da energia nuclear. Para isso, deve-se considerar os acidentes naturais e os provocados ao

longo de todo o ciclo do combustível. O transporte de urânio enriquecido para abastecer uma central autônoma de geração de energia demanda cuidados especiais e medidas de segurança elevadas, pois o urânio enriquecido é um alvo potencial para ataques terroristas e uma fonte com aptidão para acidentes graves. A mesma importância deve ser dada ao combustível já utilizado.

Um pré-requisito para o desenvolvimento de atividades nucleares seguras em um país é o estabelecimento de um sistema regulador dessas atividades. Nesse sentido, a população e o meio-ambiente devem ser preservados da ocorrência de acidentes nucleares, mitigando os potenciais riscos da radiação nuclear.

As principais áreas que devem ser reguladas são as seguintes:

- A proteção radiológica dos trabalhadores e da população;
- O uso e transporte de material radioativo;
- A gerência de rejeitos radioativos;
- A segurança nuclear das instalações nucleares, incluindo reatores de potência;
- A contabilidade e controle de materiais nucleares; e
- A proteção física do material nuclear para assegurar que ele não é furtado ou roubado por indivíduos ou grupos mal intencionados (MARZO, 2017, p. 3).

Os novos reatores nucleares apresentam um aumento no seu rendimento, o que promove um consumo menor de urânio para a mesma produção de energia elétrica. Entretanto, a energia nuclear gera resíduos radioativos que demandam um acondicionamento especial para conter o calor liberado após a utilização do urânio. Ademais, é importante garantir que nunca se junte uma quantidade suficiente para atingir uma massa crítica que possa desencadear uma reação em cadeia e uma explosão semelhante a de uma bomba atômica (RODRIGUES, 2006).

Após o acidente nuclear de Chernobyl, em abril de 1986, ocorreram significativos avanços na segurança, com o objetivo principal de manter retido no invólucro do reator os produtos radioativos, formando a estrutura de confinamento (RODRIGUES, 2006). Outrossim, a origem desse acidente ocorreu por falha humana e, sobretudo, pela ausência de uma estrutura adequada de confinamento que impedisse a liberação para o exterior dos produtos radioativos, fomentando a necessidade de novos investimentos científicos-tecnológicos para os reatores de 4ª geração.

A construção de centrais autônomas de produção de energia deve ser realizada por razões econômicas, ambientais e de segurança. A energia nuclear é a fonte que possui o melhor registro de segurança por unidade de eletricidade

produzida. Essa fonte de energia, no atual quadro energético mundial, é fundamental para que o Brasil possa resolver, de forma sustentável, os seus problemas estruturais de competitividade. Além disso, o Governo Federal deve influenciar a realização de debates junto a população civil, como forma de quebrar a conexão imediata do uso de armas nucleares e aumentar dessa forma, a aceitação pública, por intermédio de informação objetiva, clara e concisa.

Infere-se ainda que, apesar de evidente necessidade da opção nuclear, a falta de definição para depósito definitivo de rejeitos radioativos de alta atividade, o temor de acidentes nucleares, o receio de proliferação de armas nucleares e o temor de atos terroristas constituem-se nos principais argumentos contra o uso da energia nuclear.

5.2 SEGURANÇA FÍSICA E PROTEÇÃO FÍSICA

O *Nuclear Security Series - 13* (IAEA, 2011a) bem como outras publicações internacionais conceituam Segurança Física Nuclear (*Nuclear Security*) como um conjunto de medidas promovidas pelo Estado, destinadas a prevenir, detectar e responder a atos não autorizados, como roubo, sabotagem, acesso não autorizado, tráfico ilícito ou outras ações maléficas envolvendo materiais nucleares, substâncias radioativas e as instalações associadas a estes materiais. Segurança Física é um conceito abrangente, no nível do Estado, que abrange o arcabouço legal e regulatório, procedimentos e práticas dos operadores (TAVARES, 2018).

A proteção física constitui nas medidas tomadas pelos operadores, no âmbito das instalações, sob fiscalização e licenciamento do órgão regulador, para materializar os objetivos da Segurança Física elencados acima. Portanto, pode-se inferir que a Proteção Física é um subconjunto da Segurança Física. (TAVARES, 2018).

O Sistema de Proteção Física (SisPF) é definido como um conjunto de medidas, equipamentos e recursos destinados a proteger o material nuclear de uma instalação ou operação de transporte contra atos não autorizados, em especial roubo e sabotagem (IAEA, 2011a). O SisPF deve retratar de forma contextualizada e atual o documento denominado “Plano de Proteção Física”, que no Brasil é elaborado pelos operadores nucleares, dentro do processo de licenciamento definido pelas normas CNEN NE 1.04 (Licenciamento de Instalações Nucleares), CNEN NN

6.02 (Licenciamento de Instalações Radiativas) e CNEN NE 5.01 (Transporte de Materiais Radioativos) (TAVARES, 2018).

A segurança física nuclear é dividida em área regulatória, não regulatória e cooperação entre instituições. A AIEA divide a área regulatória em quatro grandes grupos, específicos para materiais nucleares e radiológicos e suas atividades associadas. Entre eles será dada ênfase na proteção física que se subdivide em:

- Instalações: deve proporcionar segurança a qualquer instalação que envolva material nuclear ou radioativo contra ameaças eventuais que possam colocar em risco ou inviabilizar o seu funcionamento adequado.

- Pessoal: é necessária a proteção por meio de equipamento especializado, além de se ter conhecimento das ações a serem tomadas para prevenir ou mitigar efeitos de um eventual ataque.

- Planejamento para ações de caráter nuclear: um prévio planejamento da linha de ação caso um ataque nuclear aconteça se faz necessário, pois, caso contrário, dúvidas a respeito das medidas que devem ser tomadas de cada agência surgirão no momento (SANTOS, 2019).

Em relação à área não regulatória, a AIEA divide-a em quatro grandes grupos, específicos para materiais nucleares e radiológicos e suas atividades associadas. São eles:

- Arquitetura de detecção: é caracterizada pelo planejamento da detecção de um material suspeito ou localização de material desaparecido.

- Arquitetura de resposta: é formada pelo planejamento conjunto das agências para responder a um ataque de oportunidade.

- Gerenciamento da cena do crime: se ocorrer o ataque, o local deve ser gerenciado por agências especializadas.

- Eventos de Grande Público: é necessária segurança reforçada em grandes eventos públicos, uma vez que ocorre a aglomeração de pessoas (SANTOS, 2019).

Além disso, existe também o termo “fora do controle regulatório”. Esse termo é utilizado para descrever uma situação na qual os materiais nucleares e/ou radioativos estão presentes sem autorização apropriada e com uma quantidade suficiente, de tal forma que deveriam estar sobre controle regulatório, porém esse

controle não se faz presente – ou por falha do controle regulatório ou porque este nunca existiu (IAEA, 2010).

A proteção física busca, por intermédio da dissuasão, transformar a instalação em um alvo não atraente. Dessa forma, o adversário desiste de realizar o ataque.

De maneira geral, medidas de dissuasão são implantadas constantemente, sem nenhuma necessidade em acrescentar mais camadas de proteção em caso de um evento de segurança nuclear. Nesse cenário, a dissuasão tem o objetivo de desencorajar eventuais ataques. Outrossim, a medição do nível de dissuasão é abstrata, o que dificulta a garantia de que ela exista em uma instalação.

A outra forma de prevenir um ato mal-intencionado é pela neutralização do adversário. Esta se refere às ações tomadas pela força de resposta para impedir que um adversário cumpra seu objetivo após iniciar um ato mal-intencionado contra uma instalação. A neutralização, por sua vez, possui uma série de formas de ser avaliada, pelas suas funções primárias (SANTOS, 2019).

Nesse cenário, a elaboração de um projeto de segurança física é primordial para assegurar a estabilidade necessária na atividade de produção de energia elétrica proveniente da energia nuclear. Também serve para prevenir a sabotagem e/ou roubo de materiais nucleares ou radiológicos presentes numa instalação, proporcionando a conjuntura necessária para atrair a realização de parcerias com demais países que dominam a tecnologia da produção energética nuclear.

Infere-se ainda que, o programa nuclear brasileiro é fundamental para regular o desenvolvimento científico-tecnológico nacional, por intermédio de pesquisas em reatores e aplicações da energia nuclear, tais como o RMB e o submarino com propulsão nuclear (SN-BR). Nesse sentido, a segurança nuclear cresce de importância, devendo ser mais difundida e divulgada na sociedade brasileira, fomentando a criação de novos projetos de segurança nuclear e física, para as novas centrais autônomas de geração de energia nuclear supostamente instaladas.

6 PROJETO DE SEGURANÇA FÍSICA EM UMA INSTALAÇÃO NUCLEAR MILITAR BRASILEIRA

Neste capítulo se descreve o projeto de Segurança Física com a aplicação de uma abordagem por desempenho, para gerenciamento de risco, em uma suposta instalação Nuclear Militar Brasileira, potencialmente localizada em uma região de fronteira amazônica, na qual se detalha uma análise nas três áreas da segurança física nuclear: proteção física, segurança da informação e contabilidade e controle de material nuclear. A metodologia aplicada neste trabalho foi baseada em uma abordagem por parâmetros probabilísticos de ameaça, dos equipamentos, dos sistemas e das forças de resposta, empregadas para prevenir, dissuadir e deter atos mal-intencionados contra a integridade da instalação nuclear militar citada.

Atualmente no Brasil o gerenciamento de risco nuclear utiliza-se de uma abordagem prescritiva tradicional, no que concerne ao licenciamento de instalações nucleares, instrumento este que não leva em consideração as atuais capacidades das diferentes ameaças internas ou externas às instalações e ao próprio Programa Nuclear Brasileiro e também não provê métricas de desempenho dos sistemas em face de tais ameaças. A fim de manter a confidencialidade dos planos e sistemas existentes atualmente em instalações reais, foi modelada a descrição das etapas de um projeto de segurança física para uma instalação nuclear de geração de energia contendo como parâmetro um reator nuclear modular de pequeno porte (TAVARES, 2019).

Como citado acima, um plano de Segurança Física de uma instalação nuclear deve envolver três projetos: o do Sistema de Proteção Física, de Segurança Cibernética Nuclear e, por fim, um projeto de Sistema de Controle e Contabilidade de Material Nuclear. De forma geral, as informações referentes aos planos de segurança física de instalações nucleares – bem como suas plantas detalhadas – são classificadas como sigilosas. Dessa forma, para que seja possível propor um projeto de Segurança Física nuclear, este trabalho citará a modelagem de uma instalação nuclear fictícia (TAVARES, 2019).

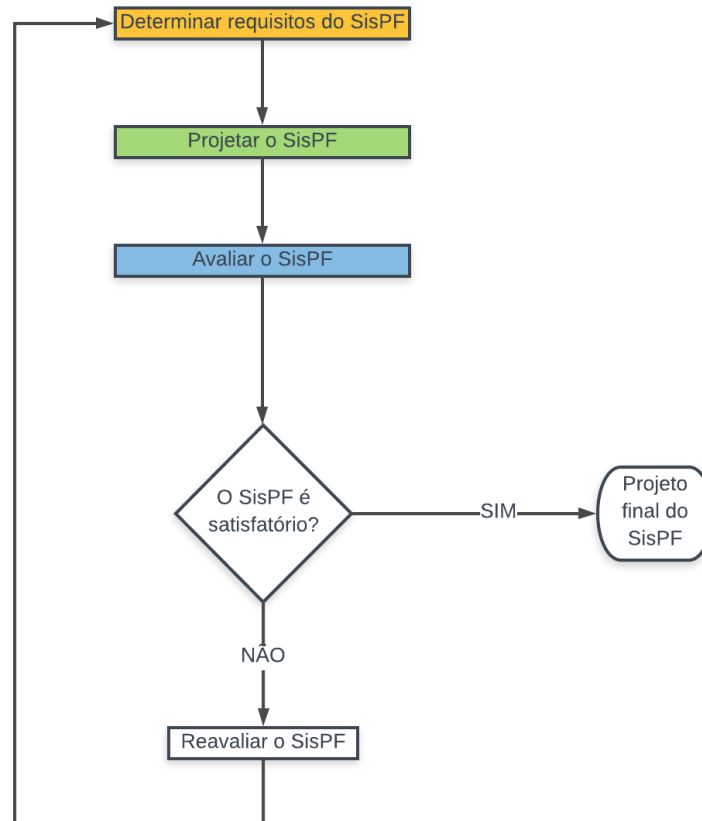


Figura 03 - Esquema do método DEPO para Projeto de Segurança Física do complexo RAMPeM do 3º BIS
 Fonte: SANTOS, 2019

A figura 3 nos mostra que projetar e avaliar um Sistema de Proteção Física (SisPF) envolve três macroetapas: determinar os requisitos do SisPF, para depois projetá-lo e, enfim, avaliá-lo. Se o sistema for satisfatório, afinal teremos um Sistema de Proteção Física. Se forem identificadas vulnerabilidades no SisPF, este deve ser projetado novamente, até que os objetivos iniciais sejam atendidos.

No modelo de análise descrito para o projeto de segurança física apresentado neste trabalho, utiliza-se uma técnica conhecida como Processo DEPO – acrônimo, em inglês, de *Design and Evaluation Process Outline* – e suas macroetapas, em linhas gerais, conforme seguem o fluxograma descrito na figura 4.

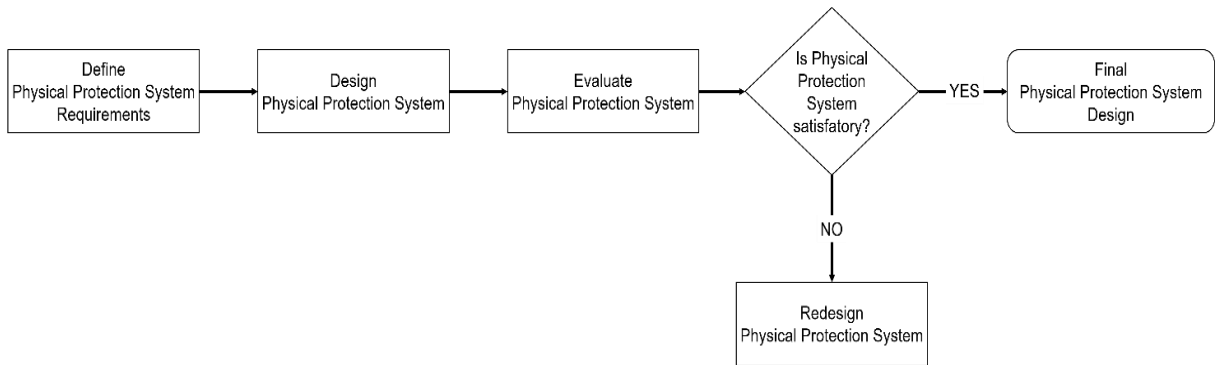


Figura 04 - Processo DEPO
Fonte: IAEA, 2016

A análise foi iniciada pela caracterização da instalação, a qual foi considerada estar presente no 3º BIS, em Barcelos, no estado do Amazonas, por se caracterizar em uma organização militar localizada na margem direita do rio negro, isolada e de difícil acesso. Nessa caracterização, seguindo as recomendações da Agência Internacional de Energia Atômica, as plantas, procedimentos e informações de instalações reais devem ser classificadas como “informações sensíveis” e precisam ter classificação de sigilo. Em nossa análise, consideramos o projeto de segurança física para uma instalação nuclear que abriga um reator modular de pequeno porte – conhecido pela sigla em língua inglesa SMR. Entretanto a planta para fins de cálculo é fictícia e não retrata a realidade da estrutura física do 3º BIS.

A densidade da floresta onde a unidade 3º BIS está inserida é um complicador na defesa e patrulhamento dessa região de fronteiras, posto que não há como fornecer energia elétrica por cabeamento até tal área. Essa unidade está a aproximadamente 1.000 km de distância da cidade de Manaus e, atualmente, a chegada até a cidade se faz por via fluvial, por intermédio do rio negro que margeia a cidade. O RAMPeM –, possuiria combustível de urânio (UO₂) enriquecido a aproximadamente 6% e com vida útil estimada em 40 anos. O vaso do reator teria aproximadamente 12m de altura e diâmetro aproximado de 4m.

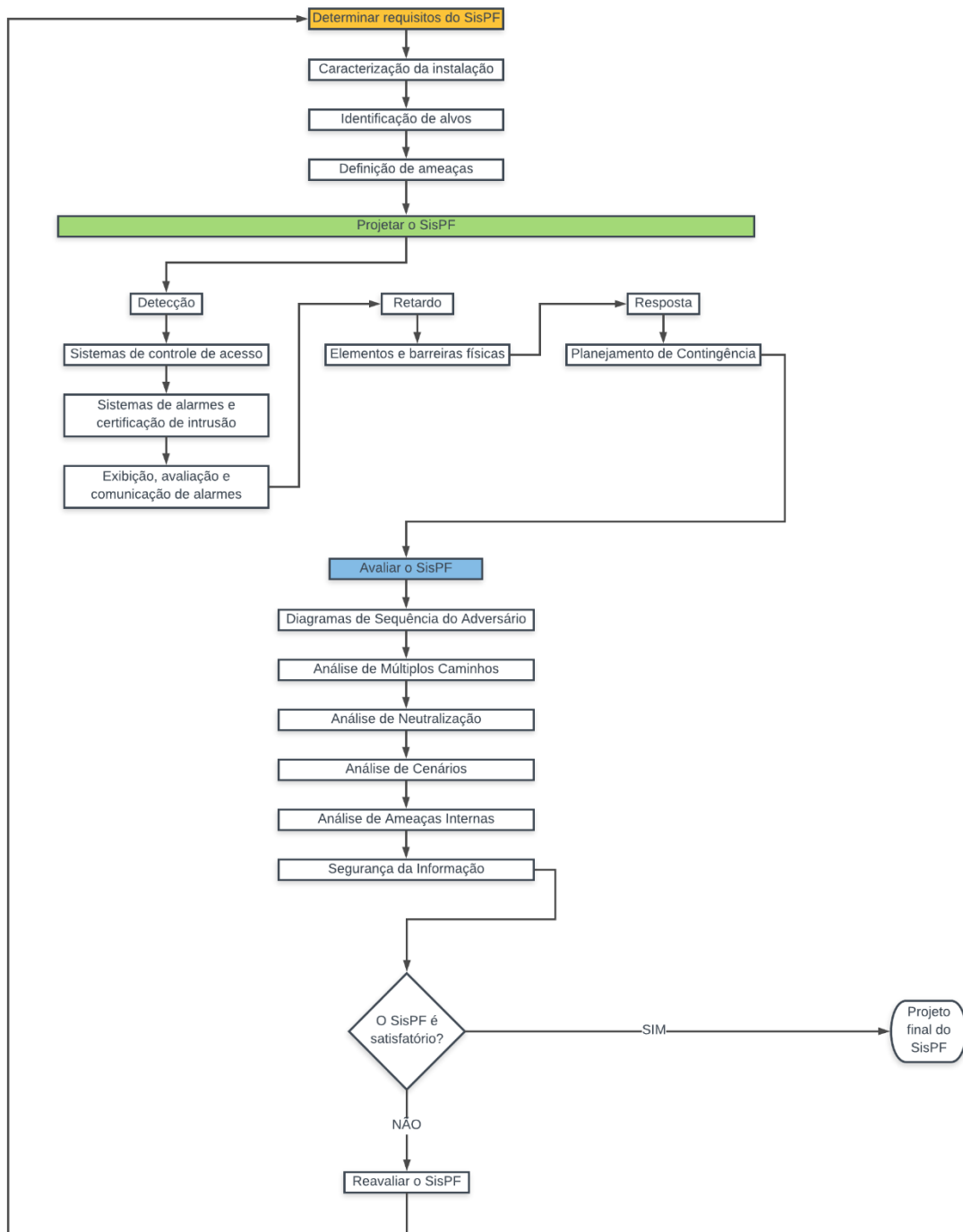


Figura 05 - Esquema Completo do método DEPO para Projeto de Segurança Física do complexo RAMPeM do 3º BIS
Fonte: SANTOS, 2019

Esse reator foi projetado para ficar enterrado abaixo do nível do solo, como forma de elevar sua segurança tecnológica em casos de emergência. A capacidade elétrica dele é de, aproximadamente, 40 MW(e), suficiente para atender a unidade militar e a comunidade em seu redor, que corresponde algo em torno de 12000 residências.

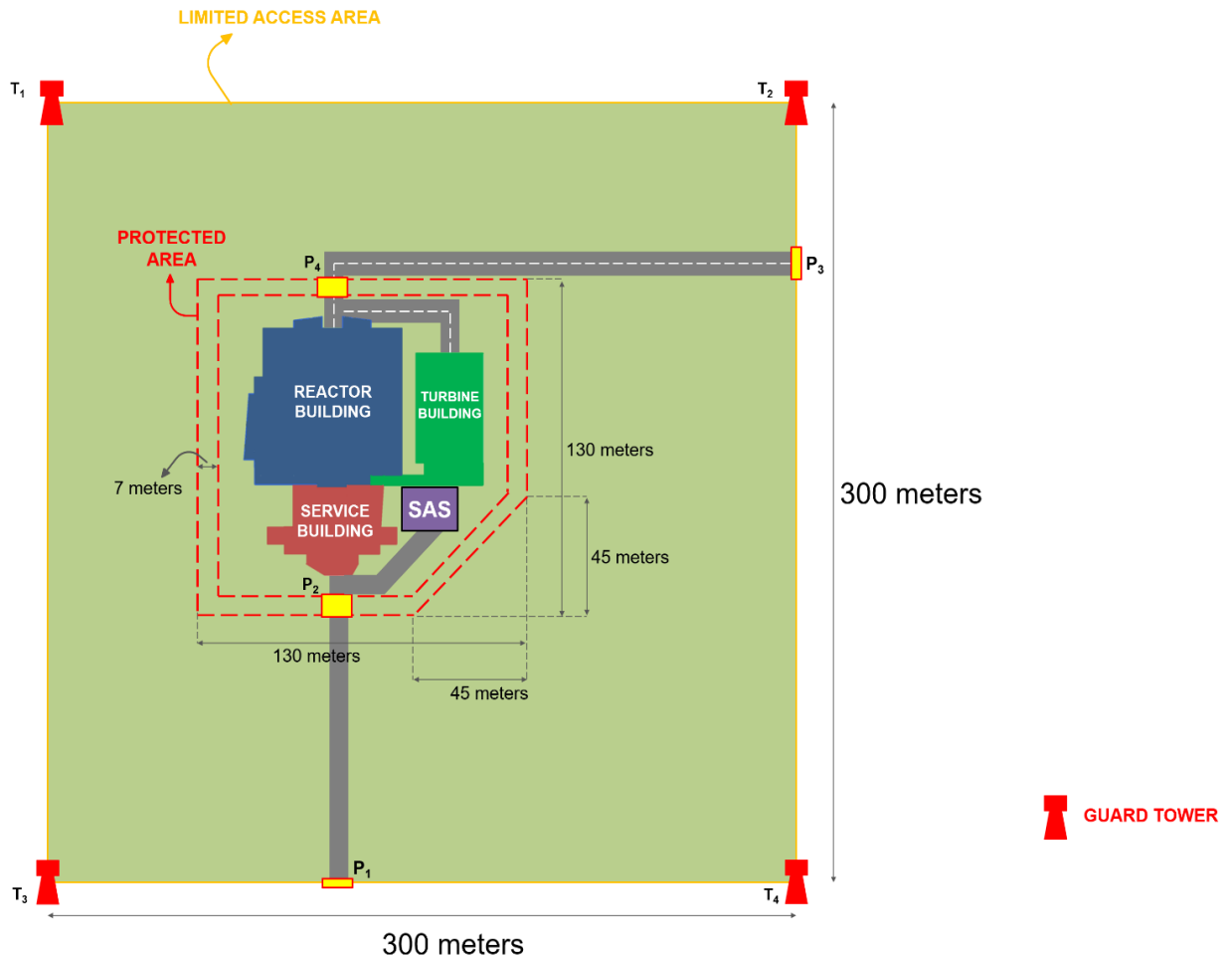


Figura 06 - Modelo hipotético de instalação, o complexo RAMPeM
 Fonte: SANTOS, 2019

No interior da Área Protegida, seriam instalados sensores de infravermelho, na parte interna da cerca dupla que envolve a referida área, posicionados de forma a não haver área sem cobertura. Na cerca dupla da Área Protegida seriam instalados sensores de vibração e de campo elétrico. Juntos, esses sensores iriam compor o “sistema de sensores externos”, uma das zonas cibernéticas dessa instalação. As salas em azul pertenceriam ao prédio do reator; as em verde iriam compor o prédio da turbina; as em vermelho, as que formariam o prédio de serviços.

A Norma CNEN NE-2.01 (CNEN, 2011) determina que os materiais nucleares sejam usados ou estocados, conforme a categorização (Categorias I, II e III), sendo os de categoria I somente em área vital, e os de categorias II e III em áreas vitais ou protegidas (TAVARES, 2018). Em razão da presença de material físsil presente (no local para análise e garantia da qualidade), o Laboratório de Análise de Material Físsil é considerado área vital da instalação, sendo de categoria II, conforme a

categorização estabelecida pela AIEA. Isso também vale para a contenção do reator, que abriga o vaso de pressão e a piscina de combustível queimado, com categoria I. Por conseguinte, ambas as áreas serão consideradas Áreas de Balanço Material, para efeitos de Contabilidade e Controle de Material Nuclear (IAEA, 2011).

O RAMPeM foi analisado empregando a abordagem de identificação de áreas vitais proposta pela NSS-16, do acrônimo, em inglês, “*Nuclear Security Series*”. Essa abordagem identificou alguns conjuntos de áreas contendo equipamentos, sistemas ou dispositivos, ou material nuclear que, se protegidos, impediriam a sabotagem que, direta ou indiretamente, poderiam promover a Alta Consequência Radiológica (ACR). Essas áreas vitais estariam no prédio do reator e seriam elas: Sala de Baterias, Sala de Relés SCRAM, Sala de Distribuição de Cabos, Sala de Controle e Sala de Bombas de Emergência.

Com base em uma estimativa de ameaças, é possível postular uma Ameaça Base de Projeto para o Reator Avançado Modular de Pequeno porte, conforme se segue na tabela 1:

Características da Ameaça	ABP (sabotagem)
Números de adversários	6
Armas	Fuzil, pistola
Explosivos	Dinamite
Ferramentas	Mecânicas e Elétricas
Transporte	A pé e fluvial
Conhecimento	Alto
Habilidades técnicas	Alto
Habilidades Cibernéticas	Alto
Financiamento	Médio
Conluio com agentes internos	Sim
Estrutura de apoio	Médio
Dispostos a matar ou morrer	Sim

Tabela 01 - Ameaça Base de projeto fictícia para a instalação RAMPeM
Fonte: TAVARES, 2019

A instalação nuclear possuiria um total de 40 pessoas na força de segurança. Esse número é uma estimativa baseada no estudo da planta. Desse universo de pessoal, 10 pessoas na força de resposta [4 na Estação Secundária de Alarmes

(ESA) , 4 na Estação Central de Alarmes (ECA) e 2 na Sala de Guarda) e o restante composto por guardas, localizados em pontos específicos da instalação. Dois homens da força de resposta fariam patrulhamento em um veículo rondante na instalação. Para que seja possível calcular o tempo de ação da força de resposta (TG) da instalação hipotética aqui modelada, utilizamos dados presentes nos gráficos da SNL, do acrônimo, “*Sandia National Laboratories*”.

O projeto de Segurança Física inicia a sua definição, diante dessas considerações, pela montagem de um Diagrama de Sequência do Adversário para um ataque de sabotagem na Sala de Controle. Um Diagrama de Sequência do Adversário (DSA) precisa ser completado, com base nos dados de projeto e com base nos dados aplicáveis (FIEL, 2020). Nessa análise, pode-se constatar que uma análise dos caminhos possíveis do DSA nos mostra um total de 18 caminhos distintos. Esses caminhos são definidos por intermédio da análise da planta, onde podem-se citar: a capacidade de reação da guarda, as barreiras físicas existentes e a construção de cerca dupla.

O Ponto Crítico de Detecção é definido (Garcia, 2008) como o ponto no qual há um retardo ao longo do caminho do adversário imediatamente maior ou igual ao tempo da força de resposta, permitindo a ela atuar em tempo hábil na interrupção e neutralização (TAVARES, 2018). A partir do tempo para ação da força de resposta (TG), é possível calcular o Ponto Crítico de Detecção (PCD), conforme exposto na equação 1.

$$T_R = \sum_{i=1}^m T_i > T_G \quad (1)$$

Onde:

TR é o Tempo de Retardo restante após o PCD;

m é o número total de elementos de detecção ao longo do caminho de interesse;

Ti é tempo de retardo fornecido pelo i-ésimo elemento e;

TG é o tempo de atuação da força de resposta (IAEA, 1987).

Em resumo, os valores acumulados – partindo-se do alvo que consiste no material nuclear – dos tempos de retardo (TD) encontrarão seu PCD no momento em que esse somatório ultrapassar o valor de TG.

Nessa análise, observa-se que as probabilidades de interrupção das barreiras físicas, dos sensores e das barreiras móveis devem ser calculadas (pela equação 2), utilizando-se as probabilidades de detecção (PD) de cada nível de detecção, porém somente até os respectivos PCDs.

$$P_I = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_{D_i}) \quad (2)$$

Onde:

PI é a Probabilidade de Interrupção em um dado caminho;

m é o número total de elementos de detecção ao longo do caminho de interesse e;

PDi é a probabilidade de detecção fornecida pelo i-ésimo elemento anterior ao PCD (IAEA, 1987).

Apesar de o SisPF apresentar valores de PI superiores a 0,90, é necessário verificar sua eficácia em termos de neutralização. Para chegar nesses cálculos são utilizadas várias tabelas de cálculos padronizadas pela IAEA. Para tal, consideraremos PI o valor mais baixo encontrado. Nesse caso, o caminho [a3,b3,c1] fica com PI = 0,96. Esse caminho foi escolhido de acordo com a análise da planta. Sabemos que a probabilidade de eficácia global (PE) de um SisPF é o produto das variáveis PI e PN, conforme a equação 3:

$$P_E = P_I \cdot P_N \quad (3)$$

Onde:

PE é a probabilidade de eficácia do Sistema de Proteção Física sob ataque;

PI é a probabilidade de interrupção do adversário e;

PN é a probabilidade de neutralização do adversário (IAEA, 1987).



Figura 7 – Evolução temporal do processo de resposta (SNL, 2015)
Fonte: TAVARES, 2018

Portanto, PE é igual a 0,87 (87%). A meta de eficácia de um SisPF é de 85% (ou seja, PE = 0,85) e, portanto, o SisPF projetado atende aos requisitos. Esse índice de eficácia é baseado na análise da tabela padronizada pela IAEA.

O processo DEPO pode nos fornecer uma boa avaliação de quais sistemas apresentam maior impacto na Segurança Física, se um adversário intendesse sabotar um sistema, a fim de viabilizar uma sabotagem em uma área vital física da instalação, pelo chamado ataque composto. Por meio da abordagem por desempenho, podemos observar como os sistemas cibernéticos sabotados impactam diretamente na detecção dos sensores e, conseqüentemente, nas funções de resposta. Logo, para todos os componentes ligados ao sistema apagado, a probabilidade de detecção (PD) associada cairá a zero.

Isso implica que, ao prevermos uma sabotagem de um sistema cibernético que controla sensores do complexo RAMPeM, poderemos conferir os impactos desse “apagamento” na eficácia global (PE) do SisPF (FIEL, 2020).

Nessa análise, é crível supor que um adversário interno se exporia ao risco de um flagrante somente na área de estocagem de material, na qual existem câmeras de vídeo – logo, a única oportunidade de detecção da área. Na medida em que o alvo de roubo é físsil, ele só poderia deixar a instalação com o material nuclear dentro de uma blindagem metálica. Assim, somente os detectores de metal do torniquete TQ8 e da portaria PR1 se configuram em oportunidades de detecção. O cálculo da probabilidade de interrupção desse caminho nos traz um valor de PI = 0,99. Entretanto, um desligamento desses detectores derrubaria a probabilidade de interrupção para 0,50. Esse seria o menor valor já visto neste trabalho e que viabilizaria o ataque.

Os chamados Planos de Segurança Computacional são implementados, na verdade, como um conjunto de medidas de controle (IAEA, 2016). Estes consistem em controles administrativos, técnicos e físicos.

Os controles físicos e técnicos protegem as informações confidenciais contra acesso não autorizado. No entanto, é um desafio para os titulares de uma instalação controlar informações que foram acessadas por alguém que tinha autorização para tal – como por exemplo, um novo funcionário que faz o download de um arquivo infectado ou utiliza um pen-drive infectado. A chave para esse problema reside na vigilância, aliada a uma resposta rápida (IAEA, 2016).

Na prática, isso sugere que esse tipo de ataque precisa ter sido previsto e, para tanto, existir um Plano de Resposta a Incidentes de Segurança Computacional.

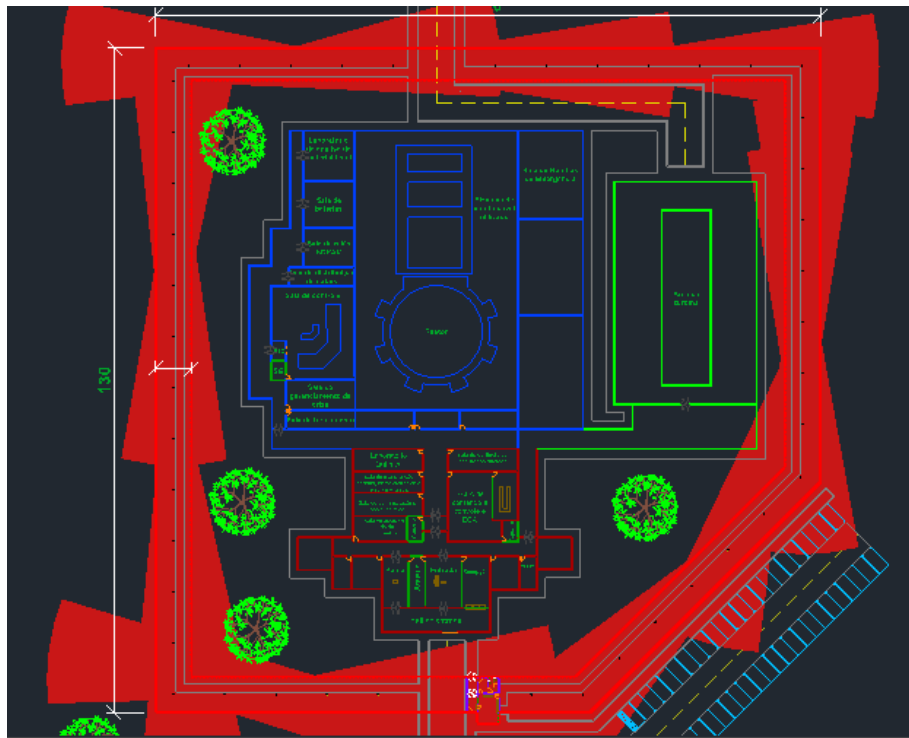


Figura 08 - Projeto de Segurança Física do suposto complexo RAMPeM do 3º BIS
Fonte: o autor

No tocante à Segurança Física Nuclear, os sistemas mais relevantes são os sistemas computacionais – os chamados “ativos digitais” –, utilizados para armazenar, processar, controlar e/ou transmitir informações sensíveis. Os referidos ativos são conhecidos pelo termo “Ativos Digitais Sensíveis” ou apenas ADS – do inglês, SDAs, acrônimo para *Sensitive Digital Assets* (IAEA, 2016). É importante destacar que nem todas as informações são iguais em termos de sensibilidade e de potencial de impacto para a segurança nuclear, de segurança física, à movimentação de material nuclear durante o transporte e ao inventário de material nuclear.

Para o Projeto de Contabilidade e Controle de Material Nuclear no projeto de um complexo RAMPeM, foi considerada a recomendação da IAEA de 2014, em que todo projeto deve buscar o objetivo que trata da preocupação com a não proliferação de armas de destruição em massa e estabelece uma série de obrigações para todos os países membros signatários desse tratado. Tais obrigações estabelecem que os países membros da Organização das Nações Unidas devem desenvolver e manter medidas apropriadas de Proteção Física para contabilizar e tornar seguros os

materiais nucleares que estejam em produção, em uso, estocados ou sendo transportados (IAEA, 2011).

O uso da abordagem permitiu identificar no caso, o processo DEPO e suas macroetapas como técnica para elaboração do projeto de segurança física. Esse processo é eficiente se houver a integração sinérgica com áreas de segurança cibernética e contabilidade e controle de material nuclear. O Brasil necessita enfrentar ainda alguns desafios na implantação do processo DEPO em si, como a elaboração de uma Ameaça Base de Projeto, ponto de partida para a definição de requisitos iniciais (SANTOS, 2019).

Nesse contexto, infere-se que a elaboração de um projeto de segurança física de um reator nuclear modular de pequeno porte é complexa e apresenta diversas variáveis que devem ser cuidadosamente analisadas, para obtenção de sua eficiência no combate a uma suposta ação de sabotagem. Infere-se ainda que, seu emprego é fundamental para prover a formação de um ambiente seguro e estável, dentro da instalação que poderá usufruir dessa nova forma de obtenção de energia, localizada em organizações militares da região amazônica.

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve o objetivo de descrever como deve ser elaborado um projeto de segurança física para uma central autônoma de geração de energia, considerando a análise dos riscos que podem ocorrer no processo de obtenção e transformação da energia nuclear.

Foi possível observar a partir da metodologia aplicada, a complexidade dos cálculos e da definição correta das ameaças e dos possíveis riscos existentes no processo de utilização da energia nuclear, em áreas de difícil acesso e remotas, existentes na Amazônia nacional.

Além disso, o presente estudo teve como objetivo salientar a importância da região amazônica brasileira dentro do cenário internacional. Dessa maneira, essa pesquisa abordou a necessidade de maiores investimentos tecnológicos para garantir a formação de um ambiente mais seguro e independente da influência de demais potências estrangeiras, promovendo o desenvolvimento da região amazônica.

Ademais, a pesquisa bibliográfica realizada permitiu esclarecer a vasta quantidade de normas e regulamentos que regulam o uso da energia nuclear no Brasil e no mundo, por intermédio de seus programas, agências, conselhos e comissões, contribuindo para a afirmação da complexidade do tema proposto.

Também, cabe salientar a dificuldade na obtenção de dados e informações relativas ao tema, o que proporcionou na limitação da aquisição de fontes relacionadas ao estudo. O assunto da energia nuclear é bastante sensível. Essa situação promoveu à dificuldade da obtenção de conhecimento mais específico relacionado ao tema proposto.

Outrossim, pesquisas futuras relacionadas ao tema devem ser realizadas pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), haja vista, a existência do setor nuclear responsável pelo incremento dos estudos nessa área, em parceria com os demais órgãos federais e estaduais desse setor.

Por fim, apesar das dificuldades existentes da confecção do trabalho proposto, essa pesquisa é fundamental para ampliar o conhecimento do setor nuclear junto a sociedade brasileira, desmistificando o uso da energia nuclear e enaltecendo a importância do domínio da sua tecnologia e a necessidade de realizar

maiores investimentos financeiros por parte das forças armadas e do governo federal.

REFERÊNCIAS

Agência Brasileiro-Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares (ABACC). **Acordos e Declarações.** Disponível em <<https://www.abacc.org.br/acordos-e-declaracoes>> Acessado em 23 abril 2022.

Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). **Pequenos Reatores Modulares.** Disponível em: <<https://www.iaea.org/topics/small-modular-reactors>> Acessado em 12 julho 2022.

AIEA. **Convenção sobre a Proteção Física do Material Nuclear (CPPNM) e sua Emenda.** Disponível em: <<https://www.iaea.org/publications/documents/conventions/convention-physical-protection-nuclear-material-and-its-amendment>> Acessado em 14 julho 2022.

BRANCO, Walter Romero Castelo. **Amazônia: a crise de integridade do Estado. Rio de Janeiro. ECEME, 2001.**

BLOOM, Benjamin S. et al. **Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals. Handbook I: The Cognitive Domain.** Michigan: Edward Bros, Ann Arbor, 1956.

BRASIL. Decreto nº 9.600, de 5 de dezembro de 2018. **Consolida as diretrizes sobre a Política Nuclear Brasileira,** Brasília, DF, dez 2018.

_____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil:** promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília, DF, 1988.

_____. Ministério da Defesa. **Livro Branco de Defesa Nacional.** Em tramitação no Congresso Nacional. Brasília, 2020.

_____. Ministério da Defesa. **Política Militar de Defesa.** 2. ed. Brasília, 2005.

_____. Ministério da Defesa. **Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa.** 4. ed. Brasília, 2020.

BRASIL e ARGENTINA. **Acordo entre a República Federativa do Brasil e a República Argentina para o uso exclusivamente pacífico da energia nuclear.** Guadalajara, 1991a.

BRASIL, ARGENTINA, ABACC e AIEA. **Acordo entre a República Federativa do Brasil, a República Argentina, a Agência Brasileiro-Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares (ABACC) e a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) para a aplicação de salvaguardas.** Viena, 1991b.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. **EB20-MF-10.101: O Exército Brasileiro.** 1. Ed. Brasília, DF, 2014.

_____. **EB20-MF-10.102: Doutrina Militar Terrestre.** 2. Ed. Brasília, DF, 2019.

_____. **Estratégia Federal de Desenvolvimento para o Brasil: 2020-2031.** Brasília, DF, 2020. 48 p.

CNEN. **Glossário de Segurança Nuclear.** Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro, p. 53. 2015.

DE ANDRADE MARCONI, Marina; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos.** Atlas, 2007.

DE MORAES, Carlos Henrique Arantes. A Importância dos Pelotões Especiais de Fronteira na Região Amazônica Brasileira. **Revista Agulhas Negras**, v. 5, n. 6, p. 101-112, 2021.

ELETRONUCLEAR, **Segurança Nuclear.** Disponível em: <<https://www.eletronuclear.gov.br/Seguranca/Paginas/Seguranca-Nuclear.aspx#:~:text=Seguran%C3%A7a%20nuclear%20%C3%A9%20um%20processo%20cont%C3%ADnuo%20que%20n%C3%A3o,e%20resfriar%20o%20reator%20em%20situa%C3%A7%C3%B5es%20de%20emerg%C3%ADncia.>> Acessado em 19 julho 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Série “Plano Nacional de Energia”. Nota Técnica DEA 05/13.** Termo de Referência (TDR) para elaboração do PNE 2050. Rio de Janeiro, 2013.

Energia Nuclear. **Vantagens e Desvantagens de Pequenos Reatores Modulares.** Disponível em <<https://www.nuclear-power.com/nuclear-power-plant/reactor-types/small-modular-reactor-smr/advantages-and-disadvantages-of-small-modular-reactors/>> Acessado em 14 julho 2022.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2027** - Sumário. Rio de Janeiro/RJ, 2018.

FIEL, João Cláudio Batista; SANTOS, P. M. R. Consequences of cyber-attacks in a nuclear security system of a brazilian nuclear power plant. **International Conference on Nuclear Security 2020** - International Atomic Energy Agency, Vienna, Áustria - 2020.

FIEL, João Cláudio Batista; SANTOS, P. M. R. Nuclear security project for a brazilian facility. **International Conference on Nuclear Security 2020** - International Atomic Energy Agency, Vienna, Áustria - 2020.

FOLHA, Nova Enciclopédia Ilustrada. a Enciclopédia das Enciclopédias. **São Paulo: Folha de S. Paulo**, v. 2, 1996, p. 877.

Frota de Quebra-Gelo Nuclear. Disponível em: <Rosatom State Atomic Energy Corporation ROSATOM líder global em tecnologias nucleares energia nuclear> Acessado em 27 abril 2022.

GABINETE DE SEGURANÇA INSTITUCIONAL. **SIPRON.** Disponível em: <SIPRON — Português (Brasil) (www.gov.br)> Acessado em 25 abril 2022.

GARCIA, M. L. **The Design and Evaluation of Physical Protection Systems**. 2ª. ed. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GONÇALVES, Felipe; ROITMAN, Tamar. **Debatendo a participação da energia nuclear na matriz energética brasileira**. 2019.

HUNTINGTON, S. **O Soldado e o Estado**. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército Editora, 1996, 548 p.

_____. Computer Security at Nuclear Facilities. **IAEA Nuclear Security Series No. 17**, Viena, p. 69, 2011.

_____. Fundamental Safety Principles: Safety Fundamentals. **IAEA Safety Standard Series No. SF-1**, Viena, p. 21, 2006.

_____. **IAEA Safety Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection**. International Atomic Energy Agency. Viena, p. 203. 2016.

_____. **Nuclear Security Recommendations on Radioactive Material and Associated Facilities**. Nuclear Security Series nº 14, Vienna, 2011.

_____. Nuclear Security Series Glossary. **IAEA Nuclear Security Series**, Viena, p.33, 2010. Disponível em: <<http://elearning.iaea.org/m2/mod/glossary/view.php?id=7312>> Acessado em 09 agosto 2022.

_____. Objective and Essential Elements of a State's Nuclear Security Regime. **IAEA Nuclear Security Series No. 20**, Viena, p. 15, 2013.

_____. **Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Rev.5)**, Nuclear Security Series nº 13, Vienna, 2011a.

IAEA. **The Convention on the Physical Protection of Nuclear Material (INFCIRC/274)**, Vienna, 1987.

ISHIGURO, YUJI. **A energia nuclear para o Brasil**. Makron books, 2001.

MAGLUF, Alei Salim. A Amazônia: novas ameaças e seus reflexos para o exército brasileiro no próximo quarto de século. **Rio de Janeiro. ECEME**, 2000.

MARZO, Marco. Introdução à Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares. **Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda**, 2017.

MICHAELIS. **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-rasileiro/estudar>>

Acessado em 25 abril 2022.

NEVES, André Luiz Varella. A Geopolítica da Amazônia no século XXI: o pensamento de Mário Travassos revisitado. **Revista Brasileira de Estudos de Defesa (RBED)**. v 5. nº 1, p. 87 – 114, 2018.

NEVES, Eduardo Borba; DOMINGUES, Clayton Amaral. **Manual de Metodologia da Pesquisa Científica**. Rio de Janeiro: EB/CEP, 2007. 204 p.

Norma CNEN NE 2.01. **Proteção Física de Unidades Operacionais da Área Nuclear**. Resolução CNEN 253/19, Novembro/2019.

Norma CNEN NN 2.01. **Proteção Física de Materiais e Instalações Nucleares**. Resolução CNEN 253/19, Novembro/2019.

Norma CNEN NN 2.02. **Controle de Materiais Nucleares**. Resolução CNEN 11/99, Setembro/1999.

Norma CNEN NN 2.06. **Proteção Física de Fontes Radioativas e Instalações Radiativas Associadas**. Resolução CNEN 254/19, Novembro/2019.

OKUNO, EMICO. **Radiação, efeitos, riscos e benefícios**. Oficina de textos, 2018.

RODRIGUES, Jorge Nascimento. **Nuclear: O debate sobre o novo modelo energético em Portugal**. Centro Atlântico, 2006.

SANTOS, Reive Barros dos. Política Energética–Energia Nuclear. **Secretary of Planning and Energy Development, Mines and Energy Ministry, World Spotlight Nuclear Brazil in April 3rd**, 2019.

SEGURANÇA FÍSICA NUCLEAR. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/assunto/radioprotecao-e-seguranca-nuclear/seguranca-fisica-nuclear>> Acessado em 24 janeiro 2022.

SILVA, Jorge Gregório. Análise histórico-crítica do processo de globalização na região amazônica. **Revista Trabalho Necessário**, v. 8, n. 11, 2010.

SILVA, Tiago Luedy; RIBEIRO, Daniel Santiago Chaves. Defesa, desenvolvimento e securitização na fronteira setentrional da Amazônia brasileira: preocupações, atores e conexões regionais. **PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP**, v. 9, n. 3, p. 225-238, 2016.

SIPRON. Disponível em: <<https://www.gov.br/gsi/pt-br/assuntos/sipron>> Acessado em 24 janeiro 2022.

TAVARES, Renato Luiz Alves. **Projeto e avaliação do sistema de proteção física de uma instalação nuclear**. 2018.

TAVARES, Renato Luiz Alves; FIEL, João Cláudio Batista. Análise de vulnerabilidade do sistema de proteção física de uma instalação nuclear usando análise de caminhos. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 7, n. 3, 2019.

TÁVORA, F. J. PITANGA. **Termodinâmica e Usinas nucleares**.

TEIXEIRA, Antonio et al. O futuro da energia nuclear. **Revista USP**, n. 76, p. 34-43, 2008.

SANTOS, Pedro Maciel Rodriguês dos. **Projeto de segurança física em uma instalação nuclear brasileira**. 2019.

VERGARA, Sylvia Constant. **Métodos de pesquisa em administração**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005. 287 p.