



## CENTRO TECNOLÓGICO DA MARINHA EM SÃO PAULO: ANÁLISE DO SISTEMA DE PROTEÇÃO FÍSICA PARA POSSÍVEL SABOTAGEM COM EXPLOSIVO.

Heron Almeida Lima

Projeto de Pós-Graduação *Lato Sensu* apresentado ao Programa de Engenharia Nuclear da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção de título de especialista.

Orientadores: Ricardo Tadeu Lopes

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Agosto de 2023

## Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me permitir fazer esse curso e lograr êxito.

Agradeço aos meus pais, Nilton e Rosilene, por toda educação, por todo o apoio e por sempre acreditarem em mim. Vocês serão sempre meus maiores exemplos.

Agradeço à minha esposa, Sara Lima, por estar ao meu lado em todos os momentos, me apoiando em cada projeto. Por ser meu porto seguro em meio aos desafios.

Agradeço ao Centro de Instrução Almirante Sylvio de Camargo na figura do Contra Almirante Fuzileiro Naval Paulo Roberto Saraiva pela oportunidade cedida aos alunos do Curso de Aperfeiçoamento Avançado para Oficiais do Corpo de Fuzileiros Navais para cursarem a Linha de Pesquisa Gestão de Desastres.

Agradeço aos professores do Programa de Engenharia Nuclear da Universidade Federal do Rio de Janeiro, pelo excelente curso ministrado que foi muito além de sala de aula. Saibam que os senhores tiveram um grande papel na formação dos militares que logo serão assessores em gestão de desastres. Em especial, agradeço aos professores Ricardo Tadeu Lopes e o Paulo Fernando Frutuoso e Melo pela orientação nesse trabalho.

Por fim, agradeço aos amigos de turma, suas dicas foram fundamentais para conclusão desse trabalho.

## RESUMO

A Marinha do Brasil por meio do seu Programa Nuclear tem o propósito de construir um protótipo do sistema de propulsão nuclear (em terra e em escala real) que será instalado no futuro Submarino Nuclear Brasileiro (SN-BR) bem como dominar o ciclo do combustível nuclear. O Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, complexo que comportará as instalações desses empreendimentos, passará por mudanças significativas de ordem tecnológica podendo, agora, ser objeto de ameaça por parte de adversários mal-intencionados, portanto se faz necessário garantir a segurança destas instalações. Este Trabalho teve como foco *security*, na qual foi idealizado nesse próprio centro tecnológico a possibilidade de um adversário sabotar as instalações com explosivo. O estudo visou avaliar as vulnerabilidades do sistema de proteção física da instalação em questão. Foram considerado três cenários hipotéticos de sabotagem com detonação de explosivo, sendo um com a presença de um *insider*, e outros dois sem a presença dele. Foi apresentado a quantidade de explosivos mínimos que eles deverão portar para perfurar uma parede com dimensões específicas de modo a permitir a passagem de uma pessoa. A partir disso, calculou-se a frequência de ataque com sucesso, as consequências desse cenário baseado na *International and Nuclear Radiological Event Scale* (INES). E por fim determinou-se o risco e a probabilidade de sucesso a partir da probabilidade de neutralização e interrupção. Ficou evidente, por meio dos resultados, que em que pese seja baixo a probabilidade de sucesso do adversário é fundamental o investimento em melhorias no sistema de proteção física das instalações nucleares. É fundamental a cultura de segurança nuclear já priorizada pela Marinha do Brasil e agora por toda a população.

**Palavras-chave:** Marinha do Brasil, submarino de propulsão nuclear sistema de proteção física, security.

## SUMMARY

The Brazilian Navy, through its Nuclear Program, aims to build a prototype of a nuclear propulsion system (onshore and full-scale) that will be installed in the future Brazilian Nuclear Submarine (SN-BR). The Brazilian Navy, through its Nuclear Program, aims to build a prototype of the nuclear propulsion system (on land and at full scale) that will be installed in the future Brazilian Nuclear Submarine (SN-BR), as well as to master the nuclear fuel cycle. This study focused on security, with the idea of an adversary sabotaging the facilities with explosives conceived at this very technological center. The study seeks to evaluate the vulnerabilities of the physical protection system regarding this installation issue. Three hypothetical sabotage scenarios involving explosive detonations were considered, one with the presence of an insider, and two others without their presence. A minimum amount of explosives was calculated, which they must carry to penetrate a wall with specific dimensions to allow the passage of a person. From this, the frequency of successful attacks, the consequences of this scenario based on the International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) were calculated. Ultimately, the risk and probability of success were determined based on the probability of neutralization and interruption. It became evident, through the results, that despite the low probability of success for the adversary, investing in improvements in the physical protection system of the nuclear facilities is crucial. A nuclear safety culture, already prioritized by the Brazilian Navy, is now fundamental for the entire population.

**Keywords:** Brazilian Navy, nuclear propulsion submarine, physical protection system, security.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - CTMSP-CEA .....	12
Figura 2 - Ciclo do combustível .....	12
Figura 3 - Desenho bidimensional de um projeto de carga moldada. ....	15
Figura 4 - Dimensão da barreira RC(mm) .....	16
Figura 5 - Barreira RC com barras de aço em modelo 3D. ....	17
Figura 6 - Furo criado com TNT de 143,35 kg.....	17
Figura 7 - Escala INES de acidentes e incidentes.....	23
Figura 8 - exemplo do layout do modelo EASI .....	27
Figura 9 - Custo e Precisão .....	28
Figura 10 - Exemplo de layout da Planilha .....	29
Figura 11 – Tarefas a serem realizadas pelo adversário (DSA). ....	32
Figura 12 – Visão geral do CTMSP .....	33
Figura 13 – Possíveis locais de acesso ao USEXA .....	33
Figura 14 – Possíveis locais de Sabotagem Inimigo- USEXA.....	34
Figura 15 - Possíveis locais de Sabotagem Inimigo- LABGENE.....	34
Figura 16 - Possíveis Itinerários .....	35
Figura 17 - <i>PI</i> para o cenário 1, considerando o grupo com insider.....	39
Figura 18 - <i>PI</i> para o cenário 2, considerando o grupo sem insider .....	40
Figura 19 - <i>PI</i> para o cenário 3, considerando o grupo sem insider .....	40
Figura 20 - Probabilidade de Neutralização para o cenário 1 .....	42
Figura 21 - Probabilidade de Neutralização para o cenário 2 e 3 .....	43

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
1.1	OBJETIVO .....	8
1.2	METODOLOGIA .....	9
1.3	MOTIVAÇÃO.....	9
<b>2</b>	<b>CENTRO TECNOLÓGICO DA MARINHA EM SÃO PAULO</b> .....	<b>11</b>
2.1	IMPACTOS EM CHERNOBYL .....	13
<b>3</b>	<b>SABOTAGEM COM EXPLOSIVO C-4</b> .....	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>SECURITY</b> .....	<b>19</b>
4.1	ANÁLISE DE SECURITY .....	21
4.2	ESCALA INES .....	23
4.3	CÁLCULO PI E PN.....	26
<b>5</b>	<b>DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA DO ADVERSÁRIO</b> .....	<b>32</b>
5.1	PI- PROBABILIDADE DE INTERRUPÇÃO.....	39
5.2	PN- PROBABILIDADE DE NEUTRALIZAÇÃO .....	40
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
7.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
7.2	RECOMENDAÇÃO .....	46
	<b>REFERÊNCIA</b> .....	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, temos uma grande procura pela tecnologia nuclear com enfoque em geração de energia. Na década de 1950, o país importou dois ultracentrifugadores para o enriquecimento do urânio, uma usina de produção de hexafluoreto de urânio e a usina de produção de dióxido de urânio. Além disso, no mesmo período foi criado o Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq)<sup>1</sup>

Além da produção de energia, o domínio da tecnologia nuclear para propulsão naval está previsto na Estratégia Nacional de Defesa (END)<sup>2</sup>. Isso porque, com o domínio tecnológico do ciclo do combustível nuclear, bem como seu uso em reatores nucleares, é possível a construção de submarinos com propulsão nuclear, contribuindo para o aumento da dissuasão do Brasil, atingindo, assim, um dos Objetivos Nacionais de Defesa (OND), estabelecidos pelo Plano Nacional de Defesa (PND)<sup>3</sup>.

Nesse sentido, o Programa Nuclear da Marinha (PNM), iniciado em 1979, tem o propósito de construir uma planta nuclear de geração de energia elétrica partindo do ciclo de combustível nuclear. Na atual fase do programa, em interação com o Programa Nuclear Brasileiro (PNB), o PNM, em seu Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica (LABGENE), está direcionando seus esforços para a construção de um protótipo do sistema de propulsão nuclear de submarino, cujo início do comissionamento estava previsto para 2021 (WILTGEN, 2018).

---

<sup>1</sup> Cujá missão é fomentar a ciência, a tecnologia e a inovação e atuar na formulação de suas políticas, contribuindo para o avanço das fronteiras do conhecimento, o desenvolvimento sustentável e a soberania nacional.

<sup>2</sup> O END é um documento que orienta os diversos segmentos do Estado quanto às medidas que devem ser implementadas para que os Objetivos Nacionais de Defesa sejam alcançados.

<sup>3</sup> O PND é o documento condicionante de mais alto nível para o planejamento de ações destinadas à defesa do país. O plano é voltado prioritariamente para a defesa de ameaças externas e estabelece objetivos para o preparo e o emprego de todas as expressões do poder nacional.

De igual modo vemos ao um aumento dramático no tráfico ilícito de materiais nucleares em todo mundo, dobrando a taxa anual de 1996 de incidentes relatados em menos da metade de uma década (GEIGER, 2004). Dessa forma surge no contexto internacional a necessidade de melhorar a proteção física do material nuclear de modo a diluir as possibilidades tanto de roubo como sabotagem por parte de terroristas.

A segurança de áreas e instalações de modo a evitar ataques está intimamente ligado ao seu sistema de segurança disponível. Os sistemas de segurança física são implantados para prevenir ou mitigar a perda de ativos valiosos, como a vida, bem como diluir possíveis fragilidades das instalações. Um Sistema de Proteção Física (PPS) integra pessoas, procedimentos e equipamentos para a proteção de ativos ou instalações contra roubo, sabotagem ou outros ataques malévolos (OYEYINHKA, 2014)

As instalações nucleares e radiológicas podem ser vulneráveis a ataques adversários e, em casos extremos de sabotagem, pode vir a levar a liberação de substâncias radioativas no meio ambiente ocasionando a perda de vidas, doenças, traumas psicológicos. Dessa forma, de modo a contribuir com o PNM é necessário ter um projeto e avaliação de um sistema de proteção física eficaz que possa prover segurança as instalações contraterrorismo, sabotagem e desastres naturais.

## **1.1 Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo um estudo de uma instalação típica de setor nuclear, contendo tanto um reator nuclear como fonte radioativas, com foco em *security*, a fim de avaliar a vulnerabilidade do sistema de proteção física do laboratório em questão. Propõem o estudo de 3 cenários de sabotagem de instalações com uso de artefatos explosivos, sendo o primeiro caso com um *insider*, funcionário insatisfeito, e outros dois casos sem a presença dele. Ambos os cenários serão considerados hipotéticos com vulnerabilidades hipotéticas em instalações reais. Com a finalidade de fornecer subsídios para Marinha do Brasil quanto a garantia do grau de segurança física de suas instalações nucleares de



modo a impedir a realização de ações malévolas e veladas como a sabotagem, roubo de ativos ou informações dentro da instalação e proteção de pessoal.

## **1.2 Metodologia**

A presente pesquisa visa selecionar uma área do setor nuclear da Marinha do Brasil como o Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP) que possui tanto o LABGENE, local que está sendo construído um reator nuclear, como a Usina de Hexafluoreto de Urânio (USEXA) local que será produzido Hexafluoreto de Urânio para a realização de cálculos probabilísticos dos cenários de sabotagem com o uso de explosivos que serão desenvolvidos ao longo desse estudo. A partir disso, será calculado a frequência de ataque com sucesso, as possíveis consequências desses cenários baseados no *Internacional na Nuclear Radiological Event Scale (INES)*, de modo a determinar os riscos a partir de diferentes probabilidades de neutralização.

## **1.3 Motivação**

Segundo Garcia (2008) após os ataques de 11 de setembro, ataque as torres gêmeas, elevou-se o medo de ataques terroristas por parte da população. Muitas agencias e setores privados passaram, desde então, um tempo considerável definindo as ameaças esperadas, especialmente para a infraestrutura críticas. O Departamento de Segurança dos EUA (DHS), formado em 2002, tem trabalhado com indústria privada para definir ameaças de referências que podem ser usadas em avaliações de vulnerabilidade e estabelecer níveis de risco para infraestruturas críticas.

De acordo com a AIEA, o termo “Nuclear Security”, pode ser definido como “prevenção, detecção e resposta a roubo, sabotagem, acesso não autorizado, transporte ilegal, ou outros atos maliciosos envolvendo materiais nucleares,

outras substâncias radioativas ou suas instalações associadas” (*The International Legal Framework for Nuclear Security - AIEA*) (IAEA. 2018)

Há uma gama de motivações que podem levar um adversário a realizar uma ação criminosa contra uma empresa ou alguma instituição. Segundo Garcia (2008), existe a motivação ideológica ligada a algum sistema político ou filosófica, extremistas antinucleares; motivações econômicas, envolve o ganho financeiro, como Césio- 137 em Goiânia, que apesar não ter sido uma sabotagem houve a motivação financeira resultando no desastre; e como também motivações pessoais para cometer um crime, que varia desde empregados hostis como indivíduo psicótico.

O Departamento de Estados dos EUA publicou um relatório anual descrevendo ameaças terroristas globais e o serviço secreto dos EUA, em conjunto com a Carnegie- Mellon University, publicou relatórios sobre ameaças internas a sistemas de computador. De acordo com o *US Department of State*, foi criada uma Iniciativa Global de Combate ao Terrorismo (*The Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism - GICNT*), uma parceria voluntária composta por oitenta e oito países e seis organizações internacionais comprometidos em fortalecer a capacidade global de prevenir, detectar e responder ao terrorismo nuclear. Desde a sua criação, em 2006, a GICNT já conduziu mais de cem atividades multilaterais, sempre aberta às nações para compartilhar seus interesses em comum e ativamente comprometida com o combate ao terrorismo nuclear (SARDO, 2019).

Muito embora existam muitas motivações que levem uma pessoa a executar as atividades terroristas, ainda é raro os desastres em unidades nucleares para finalidade. Contudo, não podemos negligenciar as ações quanto a cultura de segurança, dessa forma, esse trabalho visa calcular o risco e a probabilidade de sucesso de ataque de um evento de sabotagem de instalações nucleares com artefatos explosivos. De modo a Marinha do Brasil por meio do CTMSP consiga aprimorar o sistema de proteção física das instalações nucleares aumentando a eficiência de detecção de intruso e mitigando possíveis eventos.

## 2 CENTRO TECNOLÓGICO DA MARINHA EM SÃO PAULO

A Marinha do Brasil, desde 1979, vem executando o Programa Nuclear da Marinha (PNM), que, por sua dimensão e complexidade técnicas, se tornou um importante vetor de desenvolvimento da tecnologia nuclear brasileira, visto que tem por propósito dominar o ciclo do combustível nuclear e desenvolver em terra e escala real um protótipo de reator para o Submarino de propulsão nuclear (MARINHA DO BRASIL, 2022a).

Todavia, existiam três pontos fundamentais que deveriam ser vencidos para que o projeto lograsse êxito, a saber: (i) o domínio do ciclo do combustível nuclear; (ii) projetar e desenvolver, no Brasil, um reator nuclear compacto para um casco de submarino e (iii) projetar e construir um casco de submarino que recebesse o reator em desenvolvimento.

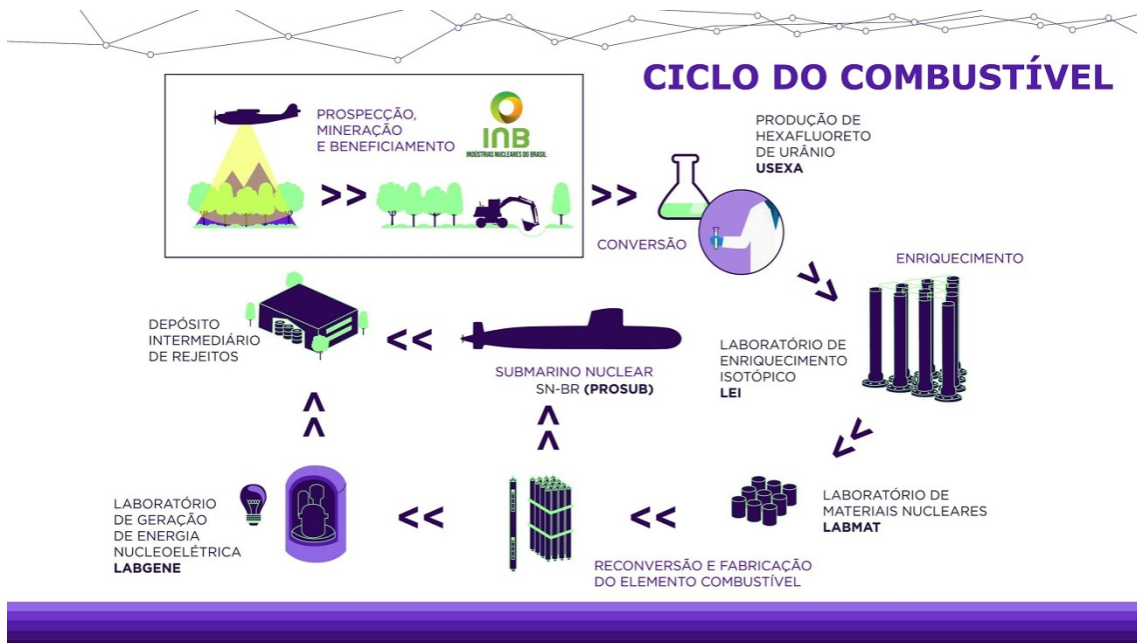
Para as futuras operações com submarino com propulsão nuclear a Marinha do Brasil está construindo o Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica (LABGENE) no Centro Experimental de Aramar, que será utilizado para validar as condições do projeto e testar todas as condições operacionais possíveis para uma planta de um reator protótipo de propulsão nuclear do futuro submarino Álvaro Alberto. Há também uma pluralidade de instalações Figura 1 e 2 que concorrem para a produção do combustível nuclear para o LABGENE e para o futuro SN-BR, a saber: a Unidade Piloto de Hexafluoreto de Urânio (USEXA), o Laboratório de Enriquecimento Isotópico (LEI), o Laboratório de Materiais Nucleares (LABMAT), o Laboratório Radioecológico (LARE) e o Laboratório de Produção do Núcleo de Energia Elétrica (LABGENE), instalação terrestre experimental de uma usina nuclear.

Figura 1 - CTMSP-CEA



Fonte: Adaptado de GALANTE (2013)

Figura 2 - Ciclo do combustível



Fonte: Adaptado de CAIAFA (2018)

## 2.1 Impactos em Chernobyl

De acordo com o fórum The Chernobyl, de iniciativa da Agência Internacional de Energia Atômica, em abril de 1986, na madrugada do sábado dia 26, o reator nº 4, modelo RBMK<sup>4</sup>, da Usina Nuclear de Chernobyl, localizada no distrito de Pripyat, Ucrânia, antiga União Soviética, durante um teste de segurança<sup>5</sup> superaqueceu e devido à pressão por vapor houve a ruptura do vaso reator, ocasionando, assim, a explosão, liberando grandes quantidades de radionuclídeos<sup>6</sup> no ambiente. Esse vapor incluía gases radioativos, aerossóis condensados e uma grande quantidade de partículas de combustível. Mais de 200 mil quilômetros quadrados da Europa receberam os efeitos da nuvem de materiais radioativos (os radionuclídeos) de iodo e césio, e mais de 70% dessa área pertencia aos territórios da Bielorrússia, Rússia e Ucrânia. Essa enorme liberação de gases radioativos teve consequências sem precedentes na população das zonas rurais e urbanas.

Segundo as declarações do ex-diretor-geral da International Atomic Energy Agency (IAEA), El Baradei (IAEA, 2003-2005), ocorrida no fórum sobre as lições permanentes de Chernobyl, pode ser destacado que nas áreas urbanas os radionuclídeos depositaram-se, principalmente, em praças, rodovias, construções e paredes, emitindo radiação até das copas de árvores. Importa esclarecer que a posterior remoção do solo contribuiu para minimizar o efeito radiológico sobre a população humana. Além do mais, dados obtidos após uma série de monitoramento dos três países afetados mostraram que 800 mil

---

<sup>4</sup> O reator soviético RBMK (*Reaktor Bolshoy Moshchnosty Kanalny*) é um reator refrigerado a água com canais de combustível individuais que usa grafite como seu moderador.

<sup>5</sup> KERNER, A.; STUCK, R.; WEISS, F. P. **The 1986 Chernobyl accident**. Atw. Internationale Zeitschrift für Kernenergie, v. 57(2), 2001, p. 80-87.

<sup>6</sup> Radionuclídeos ou radioisótopos são isótopos instáveis, ou seja, sujeitos ao processo de decaimento radioativo.

hectares de terras agrícolas foram contaminados e a extração de madeira foi interrompida em cerca de 700 mil hectares de floresta.

Deve ser acrescido aos resultados apresentados que o sistema de água potável para Kiev, capital da Ucrânia, foi contaminado, assim como outros lagos ao redor. No relatório divulgado pela IAEA (2008), foi apresentado o número definitivo de vítimas fatais e não fatais da catástrofe. Pode ser destacada a ocorrência de 50 mortes por radiação.

Em que pese os reatores utilizados pela Marinha do Brasil (*Pressurized Water Reactor* – PWR), serem diferentes do RBMK, devido a forma de resfriamento, bem como a potência ser bem menor, 48 Megawatts (GALANTE, 2018a) as informações quanto ao reflexo do acidente na sociedade podem ser usados como parâmetros para darmos a devida importância ao prover o *safety* e *security* de modo a reduzir os desastres originados de acidentes nucleares.

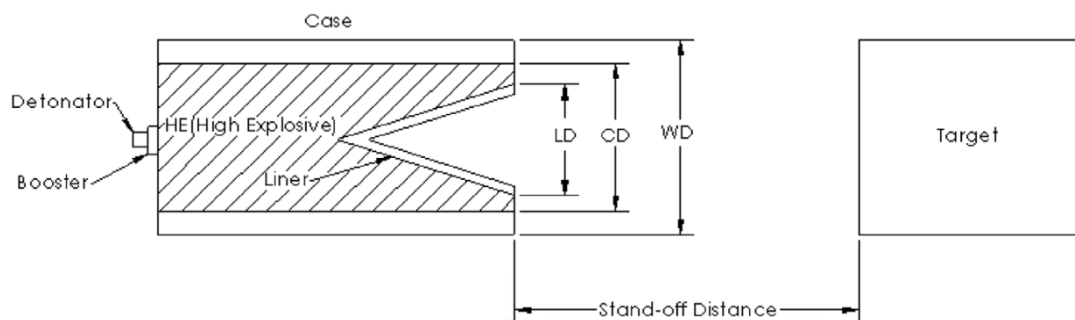
### 3 SABOTAGEM COM EXPLOSIVO C-4

Devido a possibilidade de um adversário realizar sabotagem como adentrar ao LABGENE com o uso de explosivos nas paredes da instalação, faz-se necessário a avaliação da capacidade de explosivo que um adversário deverá portar para conseguir perfurar uma barreira de concreto suficiente para passagem de uma pessoa.

Por meio de um software de simulação numérico foi realizado uma investigação do impacto necessário com uma carga moldada Figura 1 com TNT em um modelo de barreira de parede RC, de modo a criar um buraco grande suficiente para uma pessoa passar.

Uma carga moldada geralmente consiste em um cilindro preenchido com um material explosivo (TNT, composição explosiva 4 (C4) ou tetranitrato de pentaeritrol (PENT) etc.), um detonador em uma extremidade e uma cavidade oca com um revestimento cônico metálico na extremidade. Após a detonação do explosivo, o forro cônico colapsa em um jato metálico com uma velocidade muito alta de vários milhares de metros por segundo. A última parte do jato tem uma velocidade menor. O jato pode penetrar em grandes profundidades de várias vezes o diâmetro de carga (CD)(MOO, 2021).

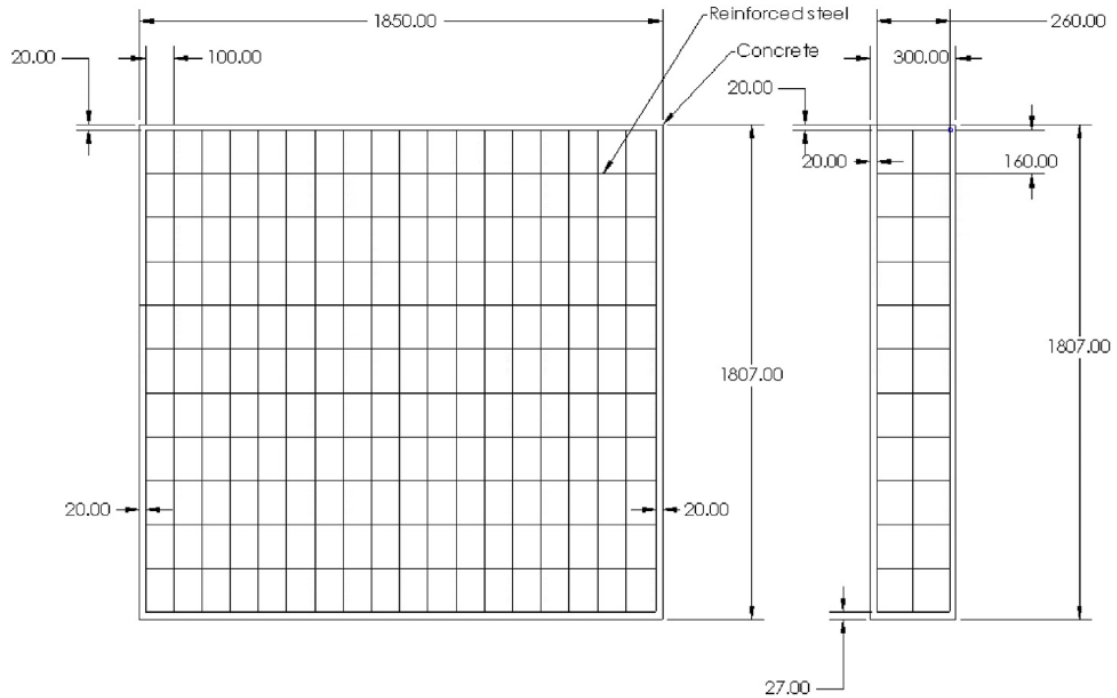
Figura 3 - Desenho bidimensional de um projeto de carga moldada.



Fonte: MOO, 2021

Segundo Moo (2021) a barreira RC Figura 3 e 4 para o refiro teste foi modelada usando o código Ansy Explicit Dynamic com dimensões de 1850 mm (L) x 1807 mm (H) x 300 mm (W) usando material de concreto de 140 Mpa<sup>7</sup>, reforçada com barras de aço de 14mm.

Figura 4 - Dimensão da barreira RC(mm)



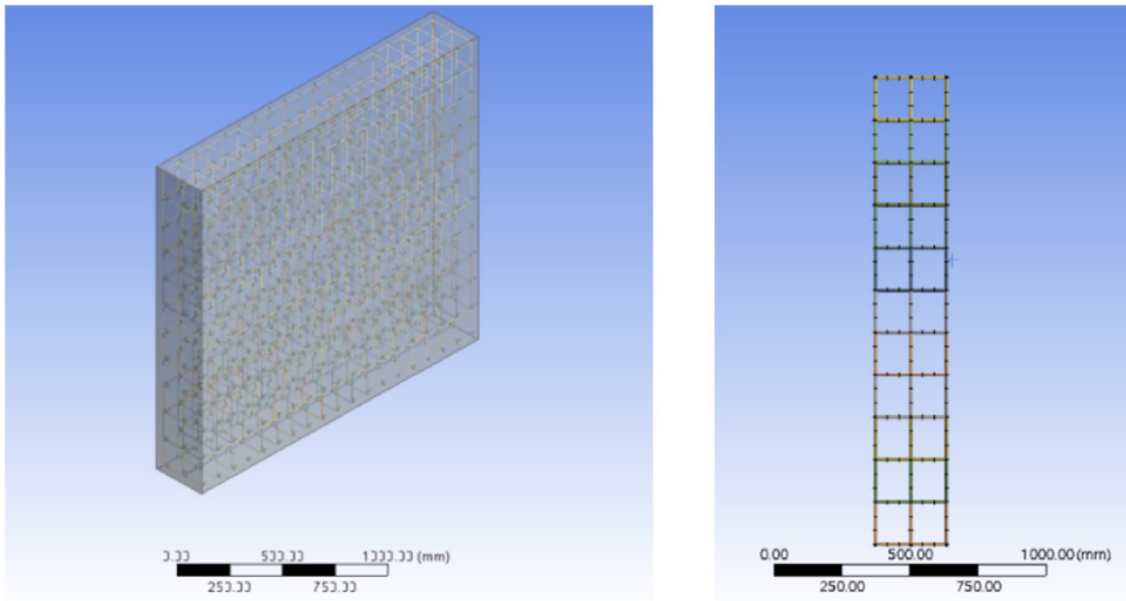
Fonte: MOO, 2021

---

<sup>7</sup> MPa é a unidade de medida usada para exprimir a resistência característica à compressão do concreto.



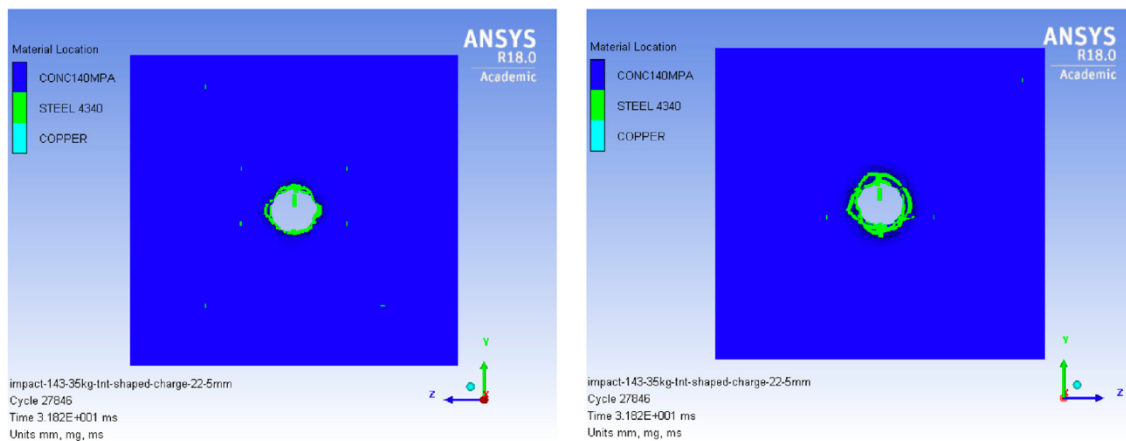
Figura 5 - Barreira RC com barras de aço em modelo 3D.



Fonte: MOO, 2021

Segundo Moo (2021) por meio do software de simulação com os parâmetros de TNT de 143,35 kg, com espessuras do revestimento cônico de 9,0 mm, 13,5 mm, 18,5 mm e 22,0 mm criou um furo grande o suficiente para a passagem de uma pessoa, que era de 342 mm na parte frontal e 364 mm na parte traseira, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Furo criado com TNT de 143,35 kg



Fonte: MOO. 2021

Entendendo que o TNT não é moldável a uma estrutura cônica para o referido estudo, podemos fazer o efeito relativo<sup>8</sup> (Ef:  $1,34 * \text{Kg TNT}$ ) para mensurar a quantidade de explosivo C4, explosivo moldável, a fim de mensurar a equipe mínima de adversário para obterem êxito na sabotagem. Dessa forma podemos elencar que o adversário necessitará de 107kg de C4, ou seja, dependerá de uma equipe mínima de 5 adversário, cada um 21,4kg de TNT além da estrutura cônica de moldagem, ferramentas e armamento.

---

<sup>8</sup> Efeito relativo é um parâmetro na qual se equipara uma carga em relação ao TNT de modo produzir o mesmo efeito explosivo em menor quantidade.

## 4 SECURITY

Quando estudamos uma área de segurança precisamos dividi-la em três partes: *safety*, *security* e *safeguards*. Podemos definir cada um segundo as definições:

*Safeguards* pode ser facilmente traduzido como salvaguardas, que diz respeito ao acordo de salvaguardas, que tem como objetivo deter a propagação de armas nucleares, detectando previamente o mau uso de tecnologia ou materiais nucleares. A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) é responsável pela fiscalização dos países que assinaram o acordo (SARDO, 2019).

*Safety* está relacionado à análise de segurança de uma instalação nuclear e à preocupação da estimativa de dose recebida pelos trabalhadores, pelo público, e pelo meio ambiente. (SARDO, 2019).

*Security* está relacionado as vulnerabilidades do Sistema de Proteção Física (SPF) sistema usado para prevenir e/ ou detectar um ataque de um adversário humano malévolo a uma instalação física (GARCIA, 2008).

Ao ser abordado uma análise de *security*, visa-se por meio de cálculos e probabilidade, prevenir e/ou detectar possíveis ataques adversários as instalações físicas, no nosso caso, instalações físicas nucleares. Há duas preocupações correlatas na qual o *security* foca que são os roubas de materiais radioativos e/ ou nucleares e a sabotagem de equipamentos ou instalações nucleares com intuito de gerar danos à população em geral.

Os materiais nucleares ou radioativos de todos os tipos, quer estejam em utilização, armazenamento ou transporte, devem ser protegidos, uma vez que podem ser utilizados para causar danos e perturbações à sociedade. O surgimento de ameaças cibernéticas e de outras novas tecnologias que podem ser utilizadas em ataques, ou para proteção contra-ataques, alargou ainda mais a compreensão da necessidade de segurança nuclear. (IAEA. 2023)

Com enfoque em desenvolver os possíveis cenários nas quais um agente possa adentrar as instalações propostas nesse estudo e produzir ações de sabotagem com uso de artefatos explosivos faz se necessário avaliar o Sistema de Proteção Física (SPF), na qual será utilizado um diagrama de Sequência do

Adversário (DSA). Dessa forma, é fundamental delimitar uma área conforme as barreiras já prescritas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear CNEN NN 2.01 (CNEN, 2011) na qual apresenta os requisitos básicos de delimitação, com barreiras físicas, as seguintes áreas de seguranças sucessivas, dotadas de grau crescente de proteção física:

- a) Área vigiada - área de segurança adjacente e exterior a uma ou mais áreas protegidas, mantida sob constante vigilância, cercada e demarcada com avisos e sinais adequados, que alertam se tratar de área de segurança com acesso controlado (ALVES, 2023).
- b) Área protegida - área de segurança mantida sob constante proteção, cercada por uma barreira física com número reduzido de acessos controlados e que envolve:
  - a) uma ou mais áreas vitais da mesma instalação nuclear; ou,
  - b) uma instalação nuclear desprovida de área vital (CNEN, 2011).
- c) Área interna - a área de segurança necessariamente localizada no interior de área protegida, dotada de medidas adicionais de detecção (CNEN, 2011).
- d) Área vital- área de segurança interna a uma área protegida, delimitada por estrutura física cujas paredes, teto e piso constituem barreiras físicas, que contenha material nuclear, equipamentos, sistemas e aparelhos cuja sabotagem pode levar diretamente ou indiretamente à paralisação da instalação nuclear ou a um acidente nuclear com consequências radiológicas altas (CNEN, 2011).

Para o estudo foi considerado o adversário se aproximando da área vital, pois caso consiga lograr êxito na sabotagem, irá afetar diretamente a operação da instalação nuclear, podendo ter consequências radiológicas externas significativas.

## 4.1 Análise de Security

O objetivo de um adversário, ou sucesso do adversário é completar um caminho até o alvo com a menor probabilidade de ser parado pelo SPF (GARCIA, 2008). Dessa forma, o Diagrama de Sequência do Adversário (DSA) envolve o percurso do adversário iniciando pela penetração da barreira até o alvo e sua saída antes que os guardas possam responder, ou até minimizar a detecção com pouca atenção necessária, nesse caso, será bem-sucedido se o caminho for concluído sem ser detectado.

Segundo Garcia (2008), ao se realizar a análise de *security* da instalação, é fundamental que no primeiro momento seja feita a montagem DSA, ferramenta que será fundamental para calcular a frequência de falha de um Evento Iniciador (EI). Este evento, em um segundo momento, servirá de base para representar os elementos de detecção e atraso de um Sistema de Proteção Física (SPF).

Essa análise será abordada quantitativamente, por meio de cálculos e probabilidades que nos permitirá prevenir e/ ou detectar possíveis ataques dos adversários. A fim de analisar a eficácia de um SPF devemos nos ater a algumas variáveis, a saber: probabilidade de detecção ( $P_D$ ), tempo de atraso ( $T_D$ ) tempo estimado para velocidade a pé, probabilidade de interrupção ( $P_I$ ). Dessa forma, é possível descobrir a Probabilidade de Sucesso do Adversário ( $P_S$ ).

Por meio da ( $P_D$ ) e ( $T_D$ ) calculamos a  $P_I$  que determina quantitativamente a vulnerabilidade de uma instalação nuclear estudada em virtude da sua proteção física.

- Por meio da  $P_S = 1 - P_I * P_N$  (1), calculamos se o terrorista terá sucesso na sabotagem
- Por meio da  $F_{ataque,s} = P_S * f_{ataque}$  (2), calculamos frequência de um ataque com sucesso.

Para um PPS eficiente é importante a correlação entre o sistema de proteção e o risco.

O risco pode ser associado a um dano causado em um determinado acidente, que pode ter uma determinada frequência de ocorrência. Para acidentes raros o risco deve ser calculado através de uma estimativa deduzida de um modelo teórico. Tal

estimativa deve ser associada a um determinado grau de incerteza que varia em função da qualidade dos dados e modelos utilizados. Para eventos frequentes podemos estimar o risco de forma estatística (SARDO, 2019)

A partir do risco, o gestor de segurança poderá justificar o gasto de recursos com base em uma análise científica, mensurável e priorizada, de modo a mitigar a exposição. A estimativa do risco de security pode ser realizada utilizando a equação (GARCIA, 2008):

$$P_e = P_I * P_N \quad (3)$$

$$R = P_a * (1 - P_e) * C$$

$$R = P_A * (1 - P_I * P_N) * C \quad (4)$$

As variáveis utilizadas na equação são definidas da seguinte forma:

$P_I$  - Probabilidade de interrupção do adversário pelo SPF;

$P_N$  - Probabilidade de neutralização do adversário pela força de resposta;

$P_e$  - É a eficácia do sistema de proteção

$P_A$  - Frequência de ataque do adversário;

$C$  - Consequência do ataque;

Ao se estudar o risco se faz necessário o entendimento de termos chaves utilizados em security, segundo Hawila (2016):

- **Risco:** O potencial de perda ou dano devido à probabilidade de um evento indesejado e suas consequências adversas. Em segurança, o risco é baseado na análise e agregação de três Fatores amplamente reconhecidos: ameaça, vulnerabilidade e consequência.
- **Consequência:** Os resultados de um evento, que inclui resultados imediatos, de curto e longo prazo, perdas diretas e indiretas. A perda pode incluir humanos, meio ambiente e economia, política e outros impactos. O valor de C usado neste estudo é escalado de 0 a 1 representando a gravidade do evento.
- **Ameaça:** Qualquer indicação, circunstância ou evento com potencial para causar a perda ou danos a um bem ou população.

- Vulnerabilidade: Qualquer fraqueza no design, implementação ou operação que pode ser explorada por um adversário. As deficiências podem ocorrer na construção características, propriedades do equipamento, comportamento do pessoal, localização das pessoas ou práticas operacionais e de pessoal.

## 4.2 Escala INES

Por meio de escala baseada no *International and Nuclear Radiological Event Scale* (INES) podemos analisar a variável consequências “C” da equação (4). Ela é uma ferramenta para comunicar ao público o significado de segurança de eventos nucleares e radiológicos. A sua classificação de eventos avalia quantitativamente eventos que acarretem a liberação de material radioativo no meio ambiente e na exposição à radiação de trabalhadores e do público. Também é usado para eventos que não têm consequências reais, mas onde as medidas implementadas para evitá-los não funcionaram conforme o esperado. A escala também é aplicada a eventos envolvendo perda ou roubo de fontes radioativas e descoberta de fontes radioativas não controladas em sucata. (IAEA, 2023; IAEA, 2013)

Figura 7 - Escala INES de acidentes e incidentes



Fonte: IAEA (2013)

Segundo a IAEA (2023) os Estados Membros usam o INES para fornecer uma classificação numérica que indica a importância de eventos nucleares ou radiológicos.

- Os eventos são classificados em sete níveis. A escala é logarítmica, ou seja, a gravidade de um evento é cerca de dez vezes maior para cada aumento no nível da escala.
- Os eventos são considerados em termos de:
  - Impacto nas pessoas e no meio ambiente
  - Impacto nas barreiras radiológicas e controle
  - Impacto na defesa em profundidade
- Eventos sem significância de segurança são classificados como abaixo da escala/nível 0.
- Os eventos são classificados na escala em sete níveis: os níveis 4 a 7 são denominados “acidentes” e os níveis 1 a 3, “incidentes”.
- Eventos que não tem relevância de segurança em relação à radiação ou segurança nuclear não são classificados na escala.



Tabela 1: Estrutura Básica da INES para eventos nucleares

	CRITÉRIOS OU ATRIBUTOS DE SEGURANÇA		
	IMPACTO FORA DA ÁREA DA INSTALAÇÃO	IMPACTO NA ÁREA DA INSTALAÇÃO	DEGRADAÇÃO DA DEFESA EM PROFUNDIDADE
7 ACIDENTE GRAVE	LIBERAÇÃO GRAVE MÚLTIPLOS EFEITOS À SAÚDE E AO MEIO AMBIENTE		
6 ACIDENTE SÉRIO	LIBERAÇÃO IMPORTANTE POSSIBILIDADE DE EXIGÊNCIA DA APLICAÇÃO INTEGRAL DAS CONTRA-MEDIDAS PREVISTAS		
5 ACIDENTE COM RISCO FORA DA ÁREA DA INSTALAÇÃO	LIBERAÇÃO LIMITADA POSSIBILIDADE DE EXIGÊNCIA DA APLICAÇÃO PARCIAL DAS CONTRA-MEDIDAS PREVISTAS	DANOS GRAVES NO NÚCLEO DO REATOR/BARREIRAS RADIOLÓGICAS	
4 ACIDENTE SEM RISCO IMPORTANTE FORA DA ÁREA DA INSTALAÇÃO	LIBERAÇÃO PEQUENA EXPOSIÇÃO DO PÚBLICO EM TORNO DOS LIMITES PRESCRITOS	DANOS IMPORTANTES NO NÚCLEO DO REATOR/BARREIRAS RADIOLÓGICAS/EXPOSIÇÃO FATAL DE UM TRABALHADOR	
3 INCIDENTE SÉRIO	LIBERAÇÃO MUITO PEQUENA EXPOSIÇÃO DO PÚBLICO A UMA FRACÇÃO DOS LIMITES PRESCRITOS	DISPERSÃO GRAVE DA CONTAMINAÇÃO/EFEITOS AGUDOS SOBRE A SAÚDE DE UM TRABALHADOR	QUASE ACIDENTE – PERDA TOTAL DAS BARREIRAS DE SEGURANÇA
2 INCIDENTE		DISPERSÃO IMPORTANTE DA CONTAMINAÇÃO/SUPEREXPOSIÇÃO DE UM TRABALHADOR	INCIDENTE COM FALHAS IMPORTANTES NOS DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA
1 ANOMALIA			ANOMALIA ALÉM DO REGIME DE OPERAÇÃO AUTORIZADO
0 ABAIXO DA ESCALA DESVIO	NENHUMA IMPORTÂNCIA COM RELAÇÃO A SEGURANÇA		
EVENTO FORA DA ESCALA	NENHUMA PERTINÊNCIA COM RELAÇÃO A SEGURANÇA		

Fonte: IAEA (2013)

A estrutura básica da INES baseia-se em critérios que envolvem impactos acidentais fora e dentro da área da instalação nuclear e degradação das barreiras de proteção, conforme pode ser visto na tabela 2. Como exemplo, o acidente de 1986 na usina nuclear de Chernobyl é classificado como nível 7 no INES. Teve um impacto generalizado nas pessoas e no meio ambiente. Uma das principais considerações no desenvolvimento dos critérios de classificação do

INES foi garantir que o nível de significância de eventos menos graves e mais localizados fosse claramente separado deste acidente muito grave. Assim, o acidente de 1979 na usina nuclear de Three Mile Island é classificado como nível 5 no INES, e um evento que resulta em uma única morte por radiação é classificado como nível 4.

O valor da consequência é determinado pela seguinte equação (IAEA, 2013):

$$\bullet C = 0,8 * 10^{N-7} \quad (5)$$

No caso proposto, se houver um evento de sabotagem, o evento poderia ser classificado como nível 3, partindo do princípio de que o inimigo não conseguiria danificar as barreiras externas do LABGENE, porém conseguiria danificar as tubulações do USEXA, resultando em um valor de consequência relativa associado  $C = 8.0 \times 10^{-4}$ .

### 4.3 Cálculo PI e PN

Para se analisar as probabilidades de neutralização e interrupção,  $P_I$  e  $P_N$  respectivamente, faz-se necessário calcular os parâmetros de vulnerabilidades do caminho a qual o adversário irá percorrer. O cálculo da Probabilidade de interrupção é dado pelo modelo feito em Excel EASI, *Estimate of Adversary Sequence Interruption* Figura 8, e a probabilidade de neutralização será calculada com o programa macro em Excel, Figura 10.

O EASI (Estimate of Adversary Sequenc Interruption) é um método simples e fácil de usar para avaliar o desempenho do SPP- *security* ao longo de um caminho específico e sob condições específicas de ameaça e operação do sistema. Esse modelo calcula uma probabilidade de interrupção  $P_I$ , e um roubo ou sabotagem, a partir de uma análise da probabilidade de detecção ( $P_D$ ), devido aos sensores e barreiras que o adversário deverá ultrapassar, atraso, resposta e probabilidade de comunicação  $P_c$  com a equipe de resposta antes do adversário lograr êxito na tarefa (Garcia, 2008).

Figura 8 - exemplo do layout do modelo EASI

Task	Description	P(Detection)	Location	Mean:	Standard Deviation
1	Cut Fence	0	B	10	3
2	Run to Building	0	B	12	3,6
3	Open Door	0,9	B	90	27
4	Run to Vital Area	0	B	10	3
5	Open Door	0,9	B	90	27
6	Sabotage Target	0	B	120	36
7					
8					
9					
10					
11					
12					

Probability of Interruption:	0,47604073
------------------------------	------------

Fonte: Garcia (2008)

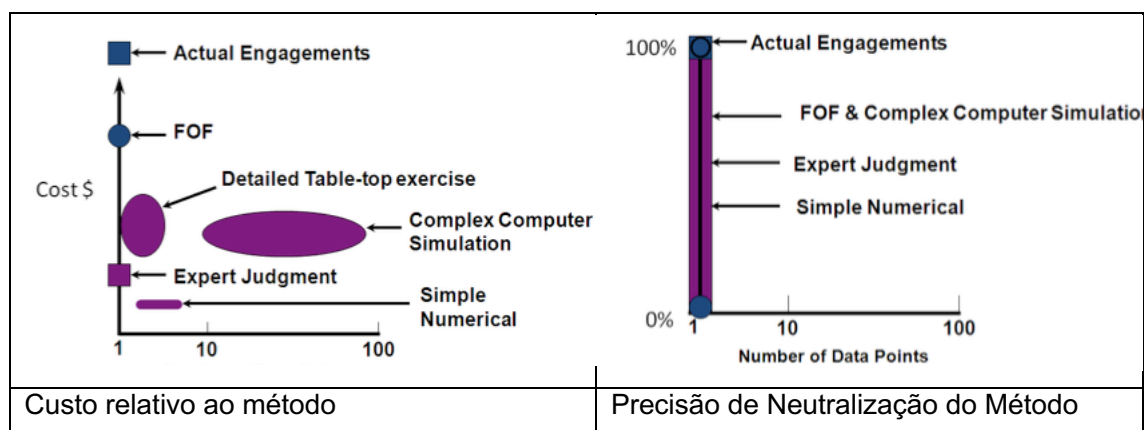
No modelo da Figura 8, a probabilidade de detecção, deve ser baseada em cada sensor e barreiras que o adversário irá encontrar em seu caminho, dessa forma, faz-se necessário elencar todos possíveis sensores e barreiras da instalação a ser estudada. A comunicação entre o alarme e a força resposta é conhecida como probabilidade de comunicação entre os guardas  $P_c$ , segundo Garcia (2008) a avaliação realizada pelo Sandia National Laboratories [SNL], a maioria dos sistemas trabalha com  $P_c \geq 0,95$ , tal suposição pode ser utilizada nesse trabalho analisando uma determinada instalação, a não ser que tenha motivos para acreditar que esta não é válida.

A coluna localização é usada no cálculo para atribuir detecção relativa ao sistema EASI, uma vez que permite inferir se a detecção ocorrerá antes durante ou depois do atraso, dando maior precisão a modelagem. Dessa forma, caso a entrada se B, ocorrerá a detecção antes do atraso; M para detecção durante o atraso; e E detecção após ou ao final do atraso. Por exemplo, uma porta trancada com um sensor de interruptor magnético balanceado pode ser atribuída a uma localização de E. Isso ocorre porque o sensor não registrará um alarme até que a porta seja aberta a uma pequena distancia. (GARCIA, 2008).

A coluna Desvio Padrão possibilita uma maior eficácia ao programa, uma vez que considera que tanto os guardas como os invasores não perfilarão exatamente no tempo estimado, podendo levar mais ou menos tempos para executar suas tarefas, desse modo, o teste de Sandia, após alguns estudos, concluiu que para se estabelecer um desvio padrão significativo, pode-se simplesmente usar 30% da média estimada ou do tempo de atraso (GARCIA, 2008).

Existem vários métodos para se determinar a  $P_N$ , como opinião especializada, cálculos numéricos simples, exercícios no terreno, simulações em computador, engajamento real. Foi pensado como objeto desse estudo o modelo por computador, por ser mais barato e com alta probabilidade de eficiência, com o formato da Figura 9.

Figura 9 - Custo e Precisão



Fonte: Snell (2013)

O Aplicativo Microsoft® Excel© Figura 10 foi desenvolvido especificamente para o Curso de Treinamento Internacional da AEIA em Proteção Física. O método é baseado em dados derivados de um modelo de cadeia de Markov, onde os valores da tabela de dados são ajustados para vários números de guardas envolvendo vários números de ameaças com todos os outros parâmetros de engajamento, exceto que números, armas e tempos de chegada são iguais. Os coeficientes de multiplicação de força são usados para explicar as diferenças nas armas. O objetivo desta técnica básica é enfatizar os três fatores mais importantes para a resposta Snell (2013):

- Números (um grupo de ameaça, até cinco grupos de resposta)
- Armas (nenhum, bastão, revólveres, rifles)

- Tempos de chegada (atraso no caminho e tempos de resposta)

Figura 10 - Exemplo de layout da Planilha

Threats				Threat Help	
Type	Number	Weapons	Delay (min:sec)		
terrorist	8	automatic rifle	3	20	

Guards				Guard Help	
Type	Number	Weapons	Delay (min:sec)		
<input checked="" type="checkbox"/> 1st hard guard post	2	baton	1	0	
<input checked="" type="checkbox"/> 2nd tower	2	automatic rifle	2		
<input checked="" type="checkbox"/> 3rd hard fighting position	12	automatic rifle	2	30	
<input checked="" type="checkbox"/> 4th Special Response Team	10	None	4	30	
<input checked="" type="checkbox"/> 5th Offsite	20	automatic rifle	20		

Results			Results Help
Probability of Neutralization:	Total Guards engaging:	Total Threats engaging:	
0.941	16	8	

Fonte: Garcia, 2013

Segundo Shell (2013) o método de planilha é baseado em uma serie de suposições, incluindo as seguintes:

- i. Armas superiores aumentam  $P_N$  para números iguais
- ii. Números superiores aumentam  $P_N$  para armas iguais
- iii. O efeito líquido de armas superiores é a multiplicação da força, onde
  - a.  $P_N = f (E_{guardas} * M_{guardas}, E_{adversários} * M_{adversários})$ 
    - a. M = numero de combatentes
    - b. E = multiplicador de força de eficácia da arma
- iv. A eficácia da regra de duas armas é usada para  $P_N = 0,50$ ,
  - a. 1 bastão = 2 sem armas
  - b. 1 revolver = 2 bastões
  - c. 1 rifle automático = 2 revolvers
- v. As forças de resposta só serão contadas na batalha caso puderem chegar a tempo de interromper a detecção dada no Ponto de Detecção Crítico do

caminho, definido como a última oportunidade na qual o tempo de resposta do SPF é menor do que o tempo restante para o adversário completar a sua tarefa<sup>9</sup>.

- vi. A probabilidade de neutralização é inversamente proporcional ao tempo de o grupo resposta chegar ao local do adversário.

Dessa forma, se faz necessário que a autoridade competente daquele Complexo que se pretenda estudar, reúna de antemão, em um documento prévio de avaliação, as possíveis informações que contenham, de forma antecipadas, as possibilidades inimigas e possíveis ameaças, como grupos terroristas, ativista ou criminoso. Esse documento é usado como base para definir a Ameaças de Base de Projeto (ABP) *Design Basis Threat* (DBT) (IAEA, 2018) que relaciona os potenciais adversários internos e externos não autorizados que possam tentar o furto de material nuclear ou sabotagem. A ABP após criada, serve como base para testes e exercícios de modo melhorar a segurança local.

---

<sup>9</sup> última oportunidade na qual o tempo de resposta do SPF é menor do que o tempo restante para o adversário completar a sua tarefa

Tabela 2 - Possibilidades inimigas e possíveis ameaças

		Tipo de adversário: Terrorista
Motivação	ideológico	Alto
	Econômico	Baixo
	Político	Alto
	Pessoal	Baixo
Intenções	Alvos de Interesse	Sabotagem de materiais nucleares ou radiológicos
	Provável Ato Malicioso	Explosão e liberação radiológica no local e fora do local
	Vontade de Morrer Tamanho do grupo	Sim
Capacidades	Tamanho do grupo	8
	Táticas	Furtividade, Enganação, Ataque de Velocidade, Força Avassaladora
	Coleta de informação Significa	Vigilância de fora, insider passivo para Intel, análise de código aberto
	Armas	Espingardas de assalto semiautomáticas de 7,62 mm, revólveres de 9 mm, armas brancas.
	Explosivos	Explosivos avançados, bombas caseiras ferramentas manuais e elétricas disponíveis comercialmente
	Financiamento	40.000\$
	Tipos de transporte	Caminhões leves, incluindo 4x4, carros leves
	Habilidades técnicas	Química básica, eletrônica básica
	Habilidades cibernéticas	Não
	Outros conhecimentos	Sim
	Estrutura de suporte	Menor
	Assistência interna	sim, passivo

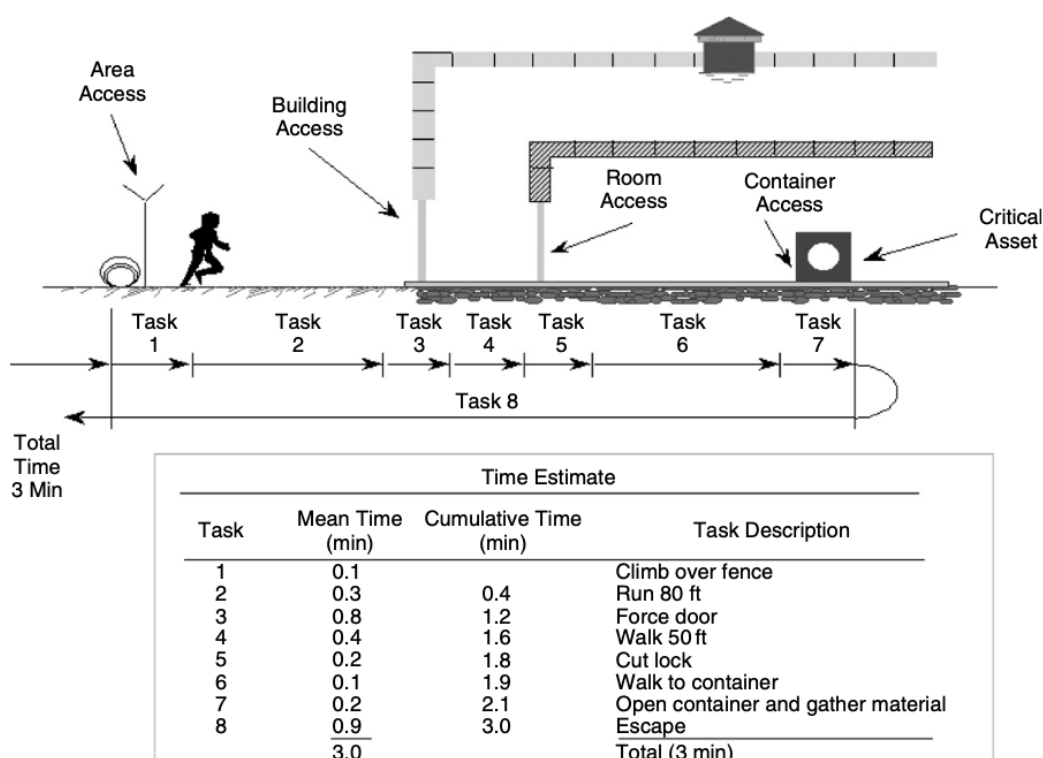
Fonte: Hawila, 2016

## 5 DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA DO ADVERSÁRIO

Com a finalidade de avaliar a eficiência  $P_e$  (3) do Sistema de Proteção Física, primeiramente faz-se necessário determinar a probabilidade de detecção ( $P_D$ ) e tempo de atraso ( $T_D$ ) para cada possível itinerário que o adversário percorra, conforme Figura 11 de modo que encontremos a probabilidade de interrupção  $P_I$  como produto dessa análise no *modelo EASI*

O DSA que faz menção a uma planta hipotética, de modo a traçar os possíveis caminhos a serem percorrido pelo adversário. Nas Figuras 12,13,14,15,16 podemos ver fotos aéreas do CTMSP. Foi apresentado, para fins de estudo, possíveis locais vulneráveis de modo a um adversário entrar e sabotar as instalações LABGENE e USEXA com explosivos.

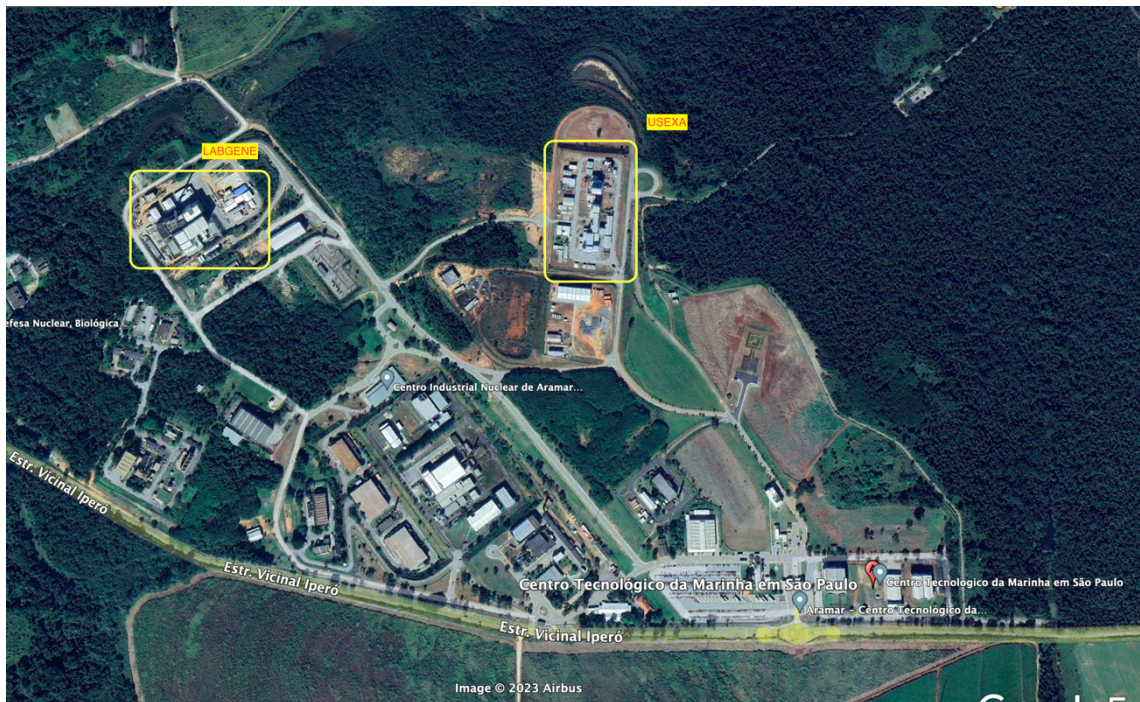
Figura 11 – Tarefas a serem realizadas pelo adversário (DSA).



Fonte: Garcia (2008)

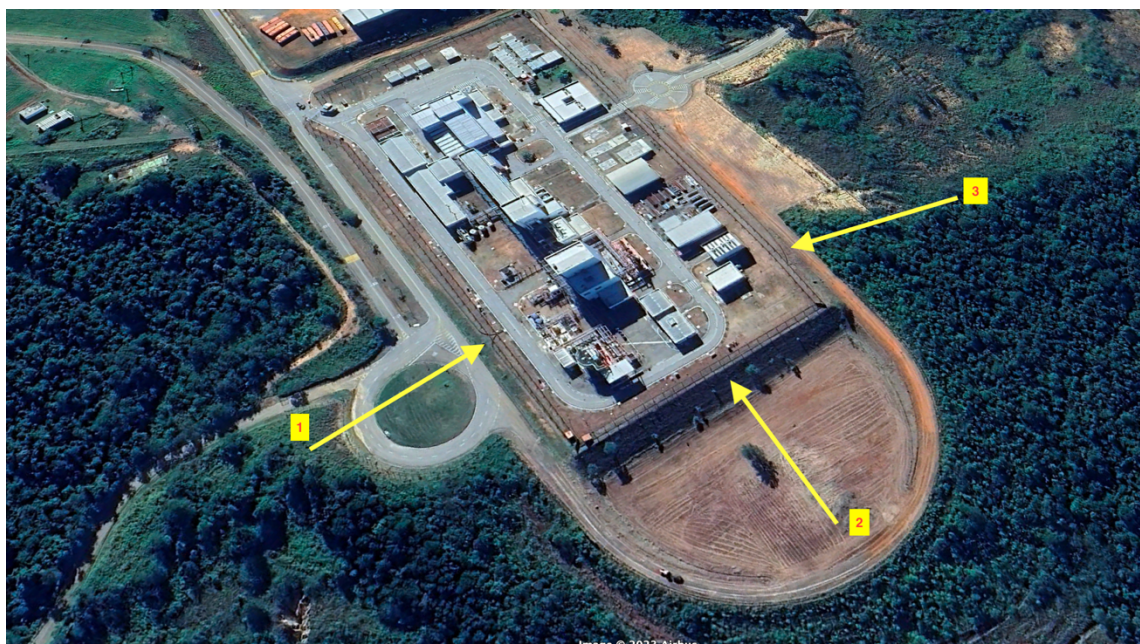


Figura 12 – Visão geral do CTMSP



Fonte: Próprio autor

Figura 13 – Possíveis locais de acesso ao USEXA



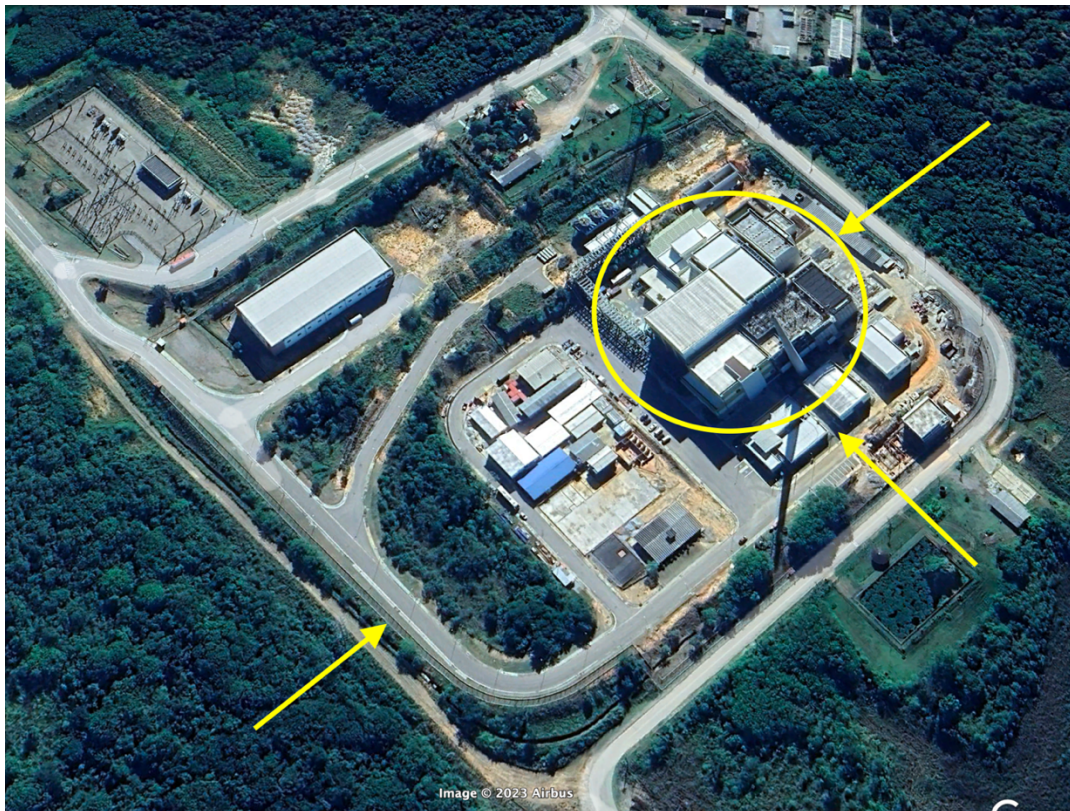
Fonte: Próprio autor

Figura 14 – Possíveis locais de Sabotagem Inimigo- UEXA



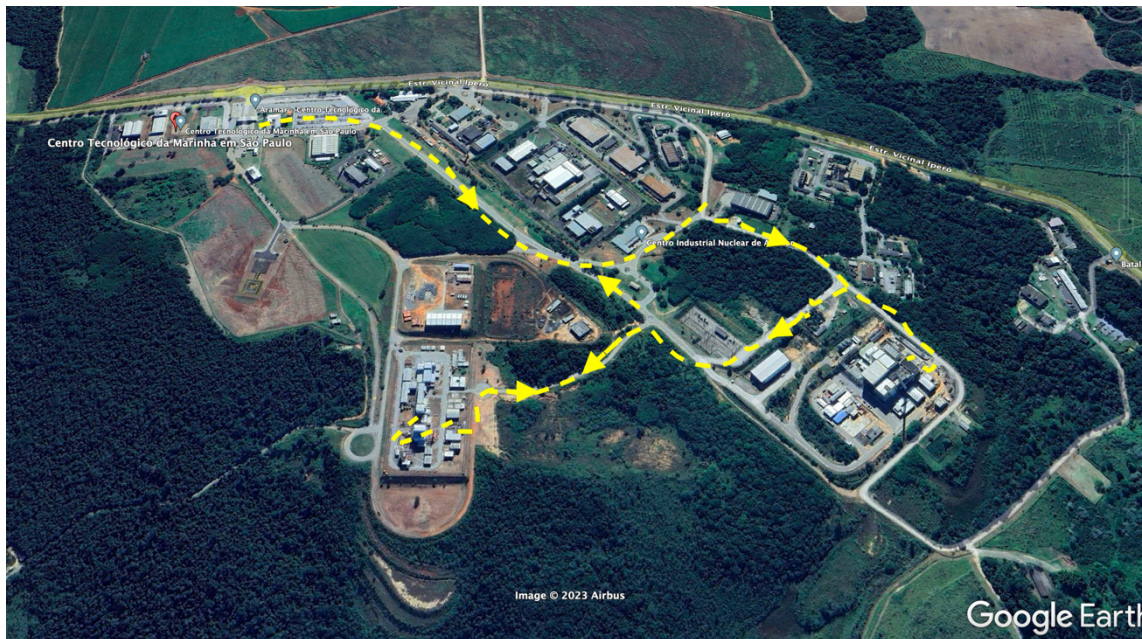
Fonte: Próprio autor

Figura 15 - Possíveis locais de Sabotagem Inimigo- LABGENE



Fonte: Próprio autor

Figura 16 - Possíveis Itinerários



Fonte: Próprio autor

A DSA traçada leva em consideração três possíveis itinerários do adversário: no Cenário 1, Tabela 2, o invasor será um *insider* que percorrerá o itinerário desde o portão principal até o LABGENE, após plantar o artefato explosivo irá em direção ao USEXA para fazer o mesmo procedimento, e sair antes do acionamento do explosivo. No cenário 2, Tabela 3, o itinerário será sem *insider*, um invasor irá invadir a cerca próximo ao LABGENE instalará o artefato explosivo no LABGENE irá em direção ao USEXA para fazer o mesmo procedimento saindo pelo mesmo local de entrada. No cenário 3, tabela 4, o itinerário será sem *insider*, um invasor irá invadir a cerca próximo USEXA instalará o artefato explosivo nos dutos do USEXA irá em direção ao LABGENE para fazer o mesmo procedimento saindo pelo mesmo local de entrada.

Os valores de  $P_D$  e  $T_D$  para as Tabelas 3 e 4 e 5 foram determinados por meio de uma consulta às tabelas disponibilizadas pelo *Sandia National Lab*. em um *handbook* de pesquisas de situações hipotéticas denominado *HARI - Hypothetical Atomic Research Institute* (Hari, 2017). Nesse documento é possível consultar as variáveis supracitada, considerando os tipos de sensores de cada cenário, como câmeras de segurança, infravermelho, postos de guarda, entre outros.

A Tabela 3 difere da Tabela 4 e 5 por não precisar conter as probabilidades de detecção e tempo de atraso para a porta de controle por contar com a ajuda de um *insider*.

Tabela 3 - Diagrama de Sequência do Adversário para Cenário 1

<b>Sequência</b>	<b>Barreira</b>	<b>Sensores</b>	<b>PD</b>	<b>T D (seg)</b>
1	Portão Principal	Múltiplos sensores	0,99	60
2	Correr p/ portão de acesso	Reconhecimento casual	0,02	398
3	Portão de acesso	-	-	-
4	Correr parede do Lagene	Reconhecimento casual	0,02	20
5	Armando o Explosivo com Temporizador	Câmeras de vídeo	0,5	180
6	Correr até a USEXA por dentro	Reconhecimento casual	0,02	302
7	Portão de acesso	Reconhecimento casual	-	-
8	Correr parede do USEXA	Reconhecimento casual (Posto de Vigilância)	0,02	23
9	Armando o Explosivo com Temporizador	Câmeras de vídeo	0,5	180

10	Sair da instalação correndo	Reconhecimento casual	0,02	390
----	-----------------------------	-----------------------	------	-----

Fonte: Próprio autor

Tabela 4 - Diagrama de Sequência do Adversário para Cenário 2

<b>Sequência</b>	<b>Barreira</b>	<b>Sensores</b>	<b>PD</b>	<b>T D (seg)</b>
1	Cerca	Múltiplos sensores	0,99	60
3	Portão de acesso	Pesquisa pessoal	0,9	120
4	Correr parede do LABGENE	Reconhecimento casual	0,02	20
6	Armando o Explosivo com Temporizador	Câmeras de vídeo	0,5	180
7	Correr até a USEXA por dentro	Reconhecimento casual	0,02	302
1	Cerca	Múltiplos sensores	0,99	60
1	Cerca	Múltiplos sensores	0,99	60
4	Correr parede do USEXA	Reconhecimento casual (Posto de Vigilância)	0,02	23

9	Armando o Explosivo com Temporizador	Câmeras de vídeo	0,5	180
10	Sair da instalação correndo	Reconhecimento casual	0,02	325

Fonte: Próprio autor

Tabela 5 - Diagrama de Sequência do Adversário para Cenário 3

<b>Sequência</b>	<b>Barreira</b>	<b>Sensores</b>	<b>PD</b>	<b>T D (seg)</b>
1	Cerca	Múltiplos sensores	0,99	60
2	Cerca	Múltiplos sensores	0,99	60
3	Cerca	Múltiplos sensores	0,99	60
4	Correr parede do USEXA	Reconhecimento casual	0,02	23
5	Armando o Explosivo com Temporizador	Câmeras de vídeo	0,5	180
6	Correr até a LABGENE por dentro	Reconhecimento casual	0,02	302
7	Portão de acesso	Pesquisa pessoal	0,9	120
8	Correr parede do LABGENE	Reconhecimento casual	0,02	20

9	Armando o Explosivo com Temporizador	Câmeras de vídeo	0,5	180
10	Sair da instalação correndo	Reconhecimento casual	0,02	325

OBS: O Invasor está com 16kg de material

Fonte: Próprio autor

## 5.1 PI- Probabilidade de Interrupção

Com base nos cenários 1, 2 e 3, através do DSA apresentado nas Tabelas 3,4 e 5 respectivamente, podemos calcular as respectivas probabilidades de interrupção através do EASI Model, como pode ser visto nas Figuras 17,18,19.

Figura 17 -  $P_I$  para o cenário 1, considerando o grupo com *insider*.

Estimate of Adversary Sequence Interruption		Probability of Guard Communication		Response Force Time (in Seconds)	Standard Deviation
		0,95		Mean	
				300	90
			Delays (in Seconds):		
Task	Description	P(Detection)	Location	Mean:	Standard Deviation
1	Portão principal	0,99	M	60	18
2	Correr para o portão de acesso	0,02	B	398	119,4
3	Correr para a parede do LABGENE	0,02	B	20	6
4	Armando o Explosivo com Temporizador	0,5	M	180	54
5	Correr até a USEXA por dentro	0,02	B	302	90,6
6	Correr parede do USEXA	0,02	B	23	6,9
7	Armando o Explosivo com Temporizador	0,5	M	180	54
8	Sair da instalação correndo	0,02	B	390	117
9					
10					
11					
12					

Probability of Interruption: 0,947585732

Fonte: Próprio autor

Figura 18 -  $P_I$  para o cenário 2, considerando o grupo sem *insider*

Estimate of Adversary Sequence Interruption		Probability of Guard Communication		Response Force Time (in Seconds)	Standard Deviation
		0,95		Mean	
Delays (in Seconds):					
Task	Description	P(Detection)	Location	Mean:	Standard Deviation
1	Cerca	0,99	E	10	3
2	Portão de acesso	0,9	M	20	6
3	Correr até a parede do LABGENE	0,02	B	30	9
4	Armando o Explosivo com Temporizador	0,5	M	10	3
5	Correr até a USEXA por dentro	0,02	B	600	180
6	Cerca	0,99	E	3	0,9
7	Cerca	0,99	E	12	3,6
8	Correr até a parede do USEXA	0,02	B	3	0,9
9	Armando o Explosivo com Temporizador	0,5	M	180	54
10	Sair da instalação correndo	0,02	B	60	18
11					
12					

Probability of Interruption: 0,948186223

Fonte: Próprio autor

Figura 19 -  $P_I$  para o cenário 3, considerando o grupo sem *insider*

Estimate of Adversary Sequence Interruption		Probability of Guard Communication		Response Force Time (in Seconds)	Standard Deviation
		0,95		Mean	
Delays (in Seconds):					
Task	Description	P(Detection)	Location	Mean:	Standard Deviation
1	Cerca	0,99	E	60	18
2	Cerca	0,99	E	60	18
3	Cerca	0,99	E	60	18
4	Correr até a parede do USEXA	0,02	B	23	6,9
5	Armar o Explosivo com Temporizador	0,5	M	180	54
6	Correr até a LABGENE por dentro	0,02	B	302	90,6
7	Portão de acesso	0,9	M	120	36
8	Correr até a parede do LABGENE	0,02	B	20	6
9	Armando o Explosivo com Temporizador	0,5	M	180	54
10	Sair da instalação correndo	0,02	B	325	97,5
11					
12					

Probability of Interruption: 0,949999902

Fonte: Próprio autor

## 5.2 PN- Probabilidade de Neutralização

Com base no Diagrama de Sequência do Adversário e nas Ameaça de Base de Projeto, podemos acessar Aplicativo Microsoft® Excel© Figura 20,21 para calcular a probabilidade neutralização.

Para o Cenário 1, Figura 20, o grupo de adversários será composto por 8 indivíduos, por contar com a presença adicional do *insider*, todos portando fuzil,



enquanto no cenário 2 e 3, Figura 21, o grupo será composto por 7 indivíduos, também portando um fuzil cada um. A força resposta será integrada por duas equipes com 11 guardas cada uma, e um Posto de Vigilância com um guarda. Todos portando armamentos com o mesmo poder bélico do grupo adversário.

O tempo de demora assumido para os grupos de força resposta foi o mesmo utilizado para os cálculos de probabilidade de interrupção, 300 segundos, 5 minutos, considerando que o grupo viajará a pé e a velocidade da marcha é de 3m/s. Uma diminuição neste tempo não causa diferença significativa na probabilidade de neutralização, pois para esta, o número de guardas é mais relevante. Para os adversários, o tempo de demora se dá pela soma de todas as tarefas para que a missão seja bem-sucedida, ou seja, para o cenário 1: 25 minutos e 48 segundos, e para o cenário 2 e 3: 22 minutos e 9 segundos.

As Figuras 20 e 21, constam as informações contidas acima para determinar as respectivas probabilidades de neutralização do grupo de adversários, para cada um dos cenários.

Figura 20 - Probabilidade de Neutralização para o cenário 1

Neutralização
✕

**Adversários**

Tipo	Numer	Armas	Demora (min:seg)	
terrorista	8	rifle automática	25	50

**Threat Help**

Type: identifies Threat type; has no influence on Pn  
 Number: number of adversaries  
 Weapon: type of weapon used by adversaries  
 Delay: path delay in minutes and seconds  
 use only combo-box buttons and scroll buttons; text areas cannot be used to input data

**Guarda**

	Tipo	Numer	Armas	Demora (min:seg)	
<input checked="" type="checkbox"/> 1st	equipe para responder ao al	11	rifle automática	5	0
<input checked="" type="checkbox"/> 2nd	equipe para responder ao al	11	rifle automática	10	
<input checked="" type="checkbox"/> 3rd	posto fortificado para guard	1	rifle automática	0	30
<input type="checkbox"/> 4th	equipe especial para respon	10	nada	4	30
<input type="checkbox"/> 5th	fora do sitio	20	rifle automática	20	

**Guard Help**

Check boxes: selects guard groups to be included in calculations  
 If guard group reponse delay is greater than adversary delay, guard group will not engage, will have no effect on Pn, and the group text boxes will remain shaded  
 Type: identifies Guard type; has no influence on Pn  
 Number: number of guards in each response group  
 Weapon: type of weapon used by each guard group  
 Delay: group response delay in minutes and seconds  
 Use only combo-box buttons and scroll buttons; text areas cannot be used to input data

**Resultados**

Probabilidade de neutralização	Guarda que defronta	Número de adversários
0,986	23	8

**Results Help**

The probability of neutralization is only for those selected guard groups who have delay times shorter that the adversary delay  
 Number of guards engaging is the total number of selected guards who can actually engage the threat

**Lingua**

inglês   
  francês   
  espanhol   
  português

Fonte: Próprio auto

Figura 21 - Probabilidade de Neutralização para o cenário 2 e 3

Neutralização
✕

**Adversários**

Tipo	Numer	Armas	Demora (min:seg)	
terrorista	7	rifle automática	22	10

**Threat Help**

Type: identifies Threat type; has no influence on Pn  
 Number: number of adversaries  
 Weapon: type of weapon used by adversaries  
 Delay: path delay in minutes and seconds  
 use only combo-box buttons and scroll buttons; text areas cannot be used to input data

**Guarda**

Tipo	Numer	Armas	Demora (min:seg)	
<input checked="" type="checkbox"/> 1st equipe para responder ao al	11	rifle automática	5	0
<input checked="" type="checkbox"/> 2nd equipe para responder ao al	11	rifle automática	10	
<input checked="" type="checkbox"/> 3rd posto fortificado para guard:	1	rifle automática	0	30
<input type="checkbox"/> 4th equipe especial para respon	10	nada	4	30
<input type="checkbox"/> 5th fora do sitio	20	rifle automática	20	

**Guard Help**

Check boxes: selects guard groups to be included in calculations  
 If guard group response delay is greater than adversary delay, guard group will not engage, will have no effect on Pn, and the group text boxes will remain shaded  
 Type: identifies Guard type; has no influence on Pn  
 Number: number of guards in each response group  
 Weapon: type of weapon used by each guard group  
 Delay: group response delay in minutes and seconds  
 Use only combo-box buttons and scroll buttons; text areas cannot be used to input data

**Resultados**

Probabilidade de neutralização	Guarda que defronta	Número de adversários
0,997	23	7

**Results Help**

The probability of neutralization is only for those selected guard groups who have delay times shorter that the adversary delay  
 Number of guards engaging is the total number of selected guards who can actually engage the threat

**Língua**

inglês
  francês
  espanhol
  português
 fechar

Fonte: Próprio autor

## 6 RESULTADOS

Por meio dos cenários projetados acima foi possível mensurar o valor da probabilidade de interrupção ( $P_I$ ) como a de neutralização ( $P_N$ ) do adversário. Dessa forma, podemos calcular a probabilidade de o invasor obter sucesso (Eq.1), a frequência de ataque com sucesso (Eq.2) a eficácia do sistema (Eq.3) e o risco do sistema (Eq.4). Considerando que a frequência de ataque ( $f_{ataque}$ ) assumida é de  $1,0E-03^{10}$  por ano (HAWILA, 2016), temos:

Tabela 6 - Resultado

	Cenário 1 ( c/ insider)	Cenário 2 ( s/ insider)	Cenário 3 ( c/ insider)
$P_I$	0,947	0,948	0,949
$P_N$	0,986	0,997	0,997
Risco	5.3E-08	4,3E-08	4,3E-08
$P_{sucesso}$	0,066	0,054	0,053
$F_{ataque,s}$	0,66E-04	0,54E-04	0,43E-04
Eficácia	0,933	0,945	0,946

Fonte: Próprio autor

Por meio dos cálculos podemos perceber que a probabilidade de sucesso para o cenário 1 é de cerca de 6,6%, enquanto a probabilidade de sucesso para o cenário 2 é de 5,4% e do cenário 3 é de 5,5%, devido a presença de um *insider*. Porém, vale ressaltar que a frequência de ataque com sucesso é relativamente baixa, mesmo considerando a presença de um *insider*, isto se deve ao fato da instalação contar um grupo de reação numeroso com armamento semelhante a dos invasores, bem com mecanismos de defesa que dificultam um possível ataque.

---

<sup>10</sup> obs:  $y = XE-3$ , essa é a notação científica para descrever  $y = X * 10^{-3}$ .

## 7 CONCLUSÃO

### 7.1 Considerações finais

As riquezas naturais e minerais abundantes no Brasil, a Amazônia Azul, precisam ser protegidas e a Marinha do Brasil, por meio do Programa Nuclear da Marinha, está fazendo algo inédito na história no país com o domínio do ciclo do combustível nuclear e a construção de um protótipo do sistema de propulsão nuclear de um submarino (em terra e em escala real), que será instalado no futuro Submarino Nuclear Brasileiro (SN-BR) visando salvaguardar essa extensa área oceânica.

Nessa propositura, é fundamental que o Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo, instalação que comporta o PNM, possua um sistema proteção física eficiente por meio de equipamentos de ponta e pessoal treinado de modo a se precaver a possíveis ataques maléolos como de sabotagem, terrorismo, entre outros. Uma vez que um ataque poderá levar a liberação de material radiológico para o meio ambiente ocasionando a perda de vidas, doenças, traumas.

Este estudo teve como objetivo trazer luz a importância da cultura de segurança em instalações que contenham reator nuclear. E conteve três grandes seções de análise: apresentar o PNM e duas plantas industriais o LABGENE e USEXA; o estudo de sabotagem com explosivos e sua capacidade de destruição; e por fim, a probabilidade de sucesso de um invasor adentrar as instalações com ou sem *insider* e concluir a sabotagem em três cenários hipotéticos.

A metodologia utilizada para a análise de *security* foi desenvolvida em 2000, sendo muito recente, e tem sido utilizada em laboratórios americanos. Tomando as devidas proporções, uma vez que foi mensurado hipoteticamente todos os dados de mecanismo de defesa da instalação, esse trabalho determinou a probabilidades de neutralização e interrupção, para então determinar o risco associado à instalação, bem como a probabilidade de sucesso e eficácia do sistema proteção física. Conseguimos verificar que mesmo com a presença do *insider*, que facilita o trabalho do grupo de adversários, caso o sistema de

proteção seja eficaz, com diversas barreiras, o risco permanece pequeno, dificultando a missão do grupo terrorista.

Frente a esse estudo, pode-se pensar em melhorias para as instalações, como o aumento de mecanismos de defesa, utilizando câmeras de monitoramento, acessos controlados, mais postos de observação em locais distantes e sensíveis, entre outros. Dessa forma, é necessário que a cultura de segurança nuclear seja priorizada no Brasil por todas as instituições e órgãos assim como a MB e outros países. A AIEA enfatiza que a preocupação com segurança nuclear precisa ser mundial, evitando assim, possíveis danos à sociedade.

Vale ressaltar, que o trabalho enfrentou limitações por ser um trabalho ter um caráter sigiloso e a devido a escassez de literatura na área.

## **7.2 Recomendação**

Ampliar essa análise de security para o Complexo Naval de Itaguai, onde ficará o submarino com propulsão Nuclear SN-BR Álvaro Alberto.

## REFERÊNCIA

CAIAFA, Roberto. **Lançamento da pedra fundamental do RMB e início dos testes de integração dos turbogeradores do LABGENE**. Tecnologia e Defesa, 7 jun. 2018. Disponível em: <https://tecnodefesa.com.br/lançamento-da-pedra-fundamental-do-rmb-e-início-dos-testes-de-integracao-dos-turbogeradores-do-labgene/>. Acesso em: 28 jun. 2023.

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN NN 2.01 - Proteção física de unidades operacionais da área nuclear**. Resolução CNEN 110/11, nov. 2011. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm201.pdf>. Acesso em 10 jun. 2023.

MARINHA DO BRASIL. CTMSP (org.). **CCN – Enriquecimento**. São Paulo: Marinha do Brasil, 2021a. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/ctmsp/CCN-enriquecimento>. Acesso em: 21 maio 2022.

SARDO. Luiz Thiago Longo. **Análise do sistema de Proteção Física de um Laboratório Hipotético do setor nuclear**. Trabalho de Conclusão de Curso. 2019. Universidade Federal d Rio de Janeiro. Orientador: Orientadores: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo. 2019.

HAWILA, Mohammad. **Combined Safety and Security Risk Evaluation Considering Safety and Security- Type Initiating Events**. Texas A&M University, 2016.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **International Nuclear and Radiological Event Scale (INES)**. Vienna, 2013. Disponível em: <https://www.iaea.org/topics/emergency-preparedness-and-response-epr/international-nuclear-radiological-event-scale-ines>. Acesso em 18 ago. 2023.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **INES The International Nuclear And Radiological Event Scale User's Manual**. 2008 Edition. Vienna, 2013. Disponível em: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/INES2013web.pdf>. Acesso em 18 ago. 2023.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities**. 2018 edition. Vienna. Disponível em: <[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1760\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1760_web.pdf)>. Acesso em 21 ago. 2023.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **The International Legal Framework for Nuclear Security**. IAEA International Law Series n. 4. Vienna, 2011. Disponível em: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1486\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1486_web.pdf). Acesso em 13 jun. 2023.

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

SNELL M. K., “**Report on Project Action Sheet PP05 Task 3 between the U.S. Department of Energy and the Republic of Korea Ministry of Education, Science, and Technology (MEST)**,”, SANDIA Report SAND2013-0039, January (2013)

GALANTE, Alexandre. **Aniversário do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo**. Poder Naval, 19 out. 2013. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2013/10/19/aniversario-do-centro-tecnologico-da-marinha-em-sao-paulo>. Acesso em: 21 maio 2023.

GALANTE, Alexandre. **Lançamento da pedra fundamental do RMB e Início dos testes de integração dos turbogeradores do LABGENE**. Poder Naval, 8 out. 2018a. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2018/06/08/lancamento-da-pedra-fundamental->



do-rmb-e-inicio-dos-testes-de-integracao-dos-turbogeradores-do-labgene/.

Acesso em: 28 jun. 2023.

GEIGER, G; Schaefer. **Abordagens para avaliação quantitativa de riscos com aplicações para proteção física de materiais nucleares.** Journal of Physical Security. (2004). Vol 1 No 1:4, pp. 1-36.

HARI. **Hypothetical Facility Exercise Data Handbook.** The Twenty-Seventh International Training Course, United States Government, Department of Energy, Washington, DC, 2017.

WILTGEN, Guilherme. LABGENE: Conhecendo a planta nuclear do Submarino de propulsão Nuclear brasileiro. **Defesa Aérea & Naval**, 30 jul. 2018. Disponível em: <https://www.defesaaereanaval.com.br/naval/labgene-conhecendo-a-planta-nuclear-do-submarino-de-propulsao-nuclear-brasileiro>. Acesso em: 21 maio 2023.

OYEYINHKA. O. D; DIM. L. A; ECHETA. M. C; KUYE A. O. **Determination of System Effectiveness for Physical Protection Systems of a Nuclear Energy Centre.** Scienceandtechnology. 2014. Acesso em: 18 jun 2023.

Alves. R. S. **Segurança Física em Reatores de Pesquisa.** 2013. Disponível em:<<https://las-ans.org.br/wp-content/uploads/2019/04/1-Alves.pdf>>. Acesso em: 30 ago 2023.