

**MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NUCLEAR**

**VICTOR DE CASTRO VASCONCELOS**

**PROJETO DE SEGURANÇA FÍSICA NUCLEAR PARA DEPÓSITO  
INTERMEDIÁRIO DE REJEITOS RADIOATIVOS**

**RIO DE JANEIRO  
2022**

VICTOR DE CASTRO VASCONCELOS

PROJETO DE SEGURANÇA FÍSICA NUCLEAR PARA DEPÓSITO  
INTERMEDIÁRIO DE REJEITOS RADIOATIVOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Nuclear.

Orientador(es): Gladson Silva Fontes, Maj D.Sc. do IME  
Ronaldo Glicério Cabral, Cel R/1 Ph.D. do IME  
Cláudio Luiz de Oliveira, Cel R/1 Ph.D. do IME  
Júlio José da Silva Estrada, D.Sc. do IME

Rio de Janeiro

2022

©2022

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

DE CASTRO VASCONCELOS, VICTOR.

PROJETO DE SEGURANÇA FÍSICA NUCLEAR PARA DEPÓSITO INTERMEDIÁRIO DE REJEITOS RADIOATIVOS / VICTOR DE CASTRO VASCONCELOS. – Rio de Janeiro, 2022.

107 f.

Orientador(es): Gladson Silva Fontes, Ronaldo Glicério Cabral, Cláudio Luiz de Oliveira e Júlio José da Silva Estrada.

Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Engenharia Nuclear, 2022.

1. Segurança Física Nuclear. 2. Instalações Nucleares. 3. Sistema de Proteção Física. 4. Soberania. 5. Eficácia. i. Fontes, Gladson Silva (orient.) ii. Cabral, Ronaldo Glicério (orient.) iii. Oliveira, Cláudio Luiz de (orient.) iv. Estrada, Júlio José da Silva (orient.) v. Título

**VICTOR DE CASTRO VASCONCELOS**  
**PROJETO DE SEGURANÇA FÍSICA NUCLEAR PARA**  
**DEPÓSITO INTERMEDIÁRIO DE REJEITOS**  
**RADIOATIVOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Nuclear.

Orientador(es): Gladson Silva Fontes, Ronaldo Glicério Cabral, Cláudio Luiz de Oliveira e Júlio José da Silva Estrada.

Aprovada em 18 de abril de 2022, pela seguinte banca examinadora:



\_\_\_\_\_  
Gladson Silva Fontes - Maj D.Sc. do IME



\_\_\_\_\_  
Ronaldo Glicério Cabral - Cel R/1 Ph.D. do IME



\_\_\_\_\_  
Cláudio Luiz de Oliveira - Cel R/1 Ph.D. do IME



\_\_\_\_\_  
Júlio José da Silva Estrada - D.Sc. do IME



\_\_\_\_\_  
Alexandre Roza de Lima - D.Sc. da CNEN



\_\_\_\_\_  
Pedro Luiz da Cruz Saldanha - D.Sc. do IBQN



\_\_\_\_\_  
Leandro Moreira Araujo - D.Sc. da EMGEPRON

Rio de Janeiro

2022

*Aos meus pais, que me educaram pelo exemplo.*

*A minha esposa pela compreensão e apoio.*

*Ao meu filho Nicolas, pelo sorriso motivador.*

# AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter tornado toda essa caminhada possível, onde conheci pessoas que foram essenciais nesta fase.

Agradeço aos meus pais, William e Ione, por todos os ensinamentos, por toda educação, por todo o apoio e por sempre acreditarem em mim.

Agradeço à minha esposa, Renata, por estar ao meu lado em todos os momentos, me apoiando e encorajando em cada projeto.

À COGESN e AMAZUL pelo incentivo e liberação, em especial meu chefe direto, CMG(RM1) Baltoré pelo apoio e compreensão.

Agradeço aos professores e funcionários do Seção Nuclear do Instituto Militar de Engenharia, em especial, agradeço aos professores pela orientação nesse trabalho.

Aos amigos 1T(EN) Ottoboni e CMG(RM1-FN) Mesquita da COGESN - MB, Renato Tavares da CNEN e Al Malaquias do IME por todo apoio durante todo processo.

Por fim, agradeço aos amigos de turma do mestrado em Engenharia Nuclear, que tornaram o curso mais agradável, em especial os amigos CT(EN) Salazar, Caio Pontes e Ary pela parceria e trocas de conhecimento.

E a todos que de alguma maneira contribuíram ou participaram desta etapa da minha vida acadêmica, um muito obrigado.

*“O SENHOR é meu pastor, nada me faltará  
(Bíblia Sagrada, Salmos 23:1)*

## RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo descrever, apresentar e avaliar um projeto de segurança física nuclear para uma instalação fictícia de um depósito intermediário de rejeitos radioativos, seguindo os critérios de segurança internacionais e nacionais. Para tanto, realizou uma avaliação do Sistema de Proteção Física (SisPF) aplicando a metodologia DEPO (Design and Evaluation Process Outline) com uma sequência de três fases do projeto do sistema de proteção e avaliação de suas vulnerabilidades. A avaliação geral do SisPF foi realizada a partir do cálculo da probabilidade global de eficácia do sistema (PE) através dos métodos de diagramas de sequência de adversário, análise de caminhos e análise de neutralização. O SisPF apresentou um valor de PE de apenas de 6,5 %, três melhorias foram propostas e seus impactos analisados. A redução do tempo de resposta da força de segurança resultou um valor de 78% da PE e o aumento do tempo de retardo (TD) nas barreiras mais próximas ao alvo elevou a eficácia do SisPF para 92%, superior ao valor aceitável de 85%. Os resultados apontaram que a avaliação do projeto fictício proposto permitiu adaptações para que o nível ideal de eficácia do SisPF fosse atingido com poucas intervenções. O projeto inicial foi elaborado em conformidade aos normativos vigentes (abordagem prescritiva tradicional) e, mesmo assim, apresentou uma probabilidade de eficácia global baixa, levando à necessidade de adequações que somente foram possíveis pela aplicação da metodologia DEPO (abordagem baseada em desempenho).

**Palavras-chave:** Segurança Física Nuclear. Instalações Nucleares. Sistema de Proteção Física. Soberania. Eficácia.



## ABSTRACT

The present work aimed to describe, present and evaluate a nuclear physical security project for a fictitious installation of an intermediate radioactive waste deposit, following international and national security criteria. Therefore, it carried out an evaluation of the Physical Protection System (SisPF) applying the DEPO (Design and Evaluation Process Outline) methodology with a sequence of three phases of the protection system design and assessment of its vulnerabilities. The overall assessment of SisPF was performed from the calculation of the overall probability of system effectiveness (PE) through the methods of adversary sequence diagrams, path analysis and neutralization analysis. SisPF presented a PE value of only 6.5%, three improvements were proposed and their impacts analyzed. The reduction of the response time of the security force led to a value of 78% of the PE and the increase of the delay time (TD) in the barriers closer to the target made the SisPF efficiency reach 92%, higher than the acceptable value of 85%. The results showed that the evaluation of the proposed fictitious project allowed adaptations so that the ideal level of SisPF effectiveness could be reached with few interventions. The initial project was prepared in accordance with current regulations (traditional prescriptive approach) and, even so, presented a low probability of overall effectiveness, leading to the need for adjustments that were only possible by applying the DEPO methodology (performance-based approach).

**Keywords:** Nuclear Physical Security. Nuclear Installations. Physical Protection System. Sovereignty. Efficiency.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Safety and Security . . . . .	18
Figura 2 – Funções do SisPF . . . . .	35
Figura 3 – Fases do processo DEPO . . . . .	38
Figura 4 – Caminho de um adversário. . . . .	46
Figura 5 – O Sistema de Proteção Física (SisPF) interrompe o adversário em tempo hábil. . . . .	47
Figura 6 – Área da instalação com identificação da Área Viglada (amarelo), da Área Protegida (azul) e da Área Vital (vermelho). . . . .	53
Figura 7 – Visão geral do SisPF do Depositron. . . . .	57
Figura 8 – Área viglada (AVg) do complexo Depositron. . . . .	58
Figura 9 – Área Protegida (APt) cercada no entorno do prédio do depósito de rejeitos. . . . .	59
Figura 10 – Área Vital (AVt) – Prédio do depósito de Rejeitos . . . . .	61
Figura 11 – Área Vital (AVt) - Interior do prédio do depósito de rejeitos, incluindo os armazenamentos de rejeitos de média e de baixa atividade. . . . .	61
Figura 12 – Diagrama de Sequência de Adversário para um ataque de sabotagem no Depositron. . . . .	65
Figura 13 – Diagrama de Sequência de Adversário para a análise de múltiplos caminhos do Depositron. . . . .	66
Figura 14 – Probabilidades de Interrupção inicial para todos os caminhos até o PCD. . . . .	67
Figura 15 – Probabilidades de Interrupção para todos os caminhos até o PCD com TG=200s. . . . .	68
Figura 16 – Impacto da 1ª melhoria na Probabilidade de Interrupção para todos os caminhos até o PCD. . . . .	68
Figura 17 – Tempo de retardo associado ao elemento d1 antes da segunda melhoria. . . . .	69
Figura 18 – Tempo de retardo associado ao elemento d1 depois da segunda melhoria. . . . .	70
Figura 19 – Impacto da 2ª melhoria na Probabilidades de Interrupção para todos os caminhos até o PCD. . . . .	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Detalhamento dos alvos do Depositrón . . . . .	53
Tabela 2 – Ameaça-Base de Projeto quantificada para a instalação Depósitron. . .	56
Tabela 3 – Desempenho da força de resposta do Depositrón. . . . .	63
Tabela 4 – Número mínimo de respondedores . . . . .	72
Tabela 5 – Diagrama de sequência de adversário. . . . .	81
Tabela 6 – Cálculo da Probabilidade de Interrupção para as 18 possíveis rotas com TG de 464s. . . . .	82
Tabela 7 – Cálculo da Probabilidade de Interrupção para as 18 possíveis rotas, após a primeira melhoria (TG 200s). . . . .	83
Tabela 8 – Cálculo da Probabilidade de Interrupção para as 18 possíveis rotas, após segunda melhoria (TD de 204s do elemento d1). . . . .	84
Tabela 9 – Limites para categorização de material nuclear conforme isótopo e massa.	91
Tabela 10 – Probabilidades de detecção de sensores de intrusão. . . . .	92
Tabela 11 – Detecção em controles de acesso. . . . .	93
Tabela 12 – Detecção em vigilância humana. . . . .	94
Tabela 13 – Tempo de retardo conforme as classes de barreiras físicas. . . . .	95
Tabela 14 – Tempos de retardo ocasionados por agentes de segurança (SO). . . . .	96
Tabela 15 – Tempos para penetração em cercas. . . . .	97
Tabela 16 – Tempos para penetração em portões. . . . .	97
Tabela 17 – Tempos para penetração em paredes. . . . .	98
Tabela 18 – Tempos para penetração em paredes (cont.) . . . . .	99
Tabela 19 – Tempos para penetração em portas. . . . .	100
Tabela 20 – Tempos para penetração em portas(cont.) . . . . .	101
Tabela 21 – Tempos para penetração em portas(cont.) . . . . .	102
Tabela 22 – Taxas de corte em barras metálicas de grades com alicate de corte padrão de 1m. . . . .	103
Tabela 23 – Tempo necessário para montar pacotes de explosivos em função da massa do pacote. . . . .	104
Tabela 24 – Taxas de corrida para diferentes tipos de pisos e diferentes tipos de cargas. . . . .	105
Tabela 25 – Distâncias para diferentes tipos de veículos (motoristas experientes) em estrada com curvas de 90°. . . . .	106
Tabela 26 – Probabilidade de Neutralização em função do número de adversários e da força de resposta, considerando iguais equipamentos e armamento para ambos. . . . .	107

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABP	Ameaça-Base de Projeto
AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
CAS	Central Alarm Station
CASLON	Comitê de Articulação nas áreas de Segurança e Logística do Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro
CCI	Centro de Controle e Infraestrutura
CCMN	Contabilidade e Controle de Material Nuclear
CFTV	Circuito Fechado de Televisão
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CPPNM	Convenção sobre a Proteção Física de Material Nuclear
DSA	Diagramas de Sequência de Adversário
DEPO	Design and Evaluation Process Outline
GNSSN	Global Nuclear Safety and Security Network
GSI/PR	Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República
PAB	Plano de Ameaça Base
PCD	Ponto Crítico de Detecção
PD	Probabilidade de Detecção
PE	Probabilidade Global de Eficácia do Sistema
PI	Probabilidade de Interrupção
PN	Probabilidade de Neutralização
PNB	Programa Nuclear Brasileiro
SE	Subestação Elétrica
SIPRON	Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro
SNL	Sandia National Laboratories

SisPF	Sistema de Proteção Física
TD	Tempo de Retardo
TG	Tempo de Resposta da Força de Segurança

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	SEGURANÇA FÍSICA NUCLEAR NO BRASIL	16
1.2	OBJETIVOS	21
1.3	JUSTIFICATIVA	21
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	24
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>25</b>
2.1	REJEITOS RADIOATIVOS	26
2.2	DEPÓSITOS DE REJEITOS	27
2.3	CONTROLE E CONTABILIDADE DE MATERIAL NUCLEAR	30
2.4	SAFETY X SECURITY	31
2.5	SISTEMA DE PROTEÇÃO FÍSICA – SISPF	32
2.5.1	DETECÇÃO	35
2.5.2	RETARDO	36
2.5.3	RESPOSTA	36
2.6	PROJETO E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO FÍSICA – MÉ- TODO DEPO	37
2.6.1	FASE 1 – DEFINIÇÃO DE REQUISITOS	37
2.6.2	FASE 2 – PROJETO DO SISPF	41
2.6.3	FASE 3 - AVALIAÇÃO DO SISPF	45
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>49</b>
3.1	TIPO DE PESQUISA	49
3.2	TÉCNICAS DE PESQUISA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	49
<b>4</b>	<b>DEFINIÇÃO DE REQUISITOS E PROJETO DO SISPF</b>	<b>52</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO	52
4.2	IDENTIFICAÇÃO DE ALVOS	53
4.3	DEFINIÇÃO DAS AMEAÇAS	54
4.4	AMEAÇA-BASE DE PROJETO HIPOTÉTICA	55
4.5	PROJETO DO SISPF	56
4.6	FORÇA DE RESPOSTA	62
<b>5</b>	<b>AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO FÍSICA</b>	<b>64</b>
5.1	DIAGRAMAS DE SEQUÊNCIA DE ADVERSÁRIO (DSA)	64
5.2	ANÁLISE DE MÚLTIPLOS CAMINHOS	65
5.3	ANÁLISE DE NEUTRALIZAÇÃO	71

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .	73
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .	76
	APÊNDICE A – CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE SEQUÊN- CIA DE ADVERSÁRIO . . . . .	81
	APÊNDICE B – MEMÓRIAS DE CÁLCULO DA ANÁLISE DE MÚLTIPLOS CAMINHOS . . . . .	82
	APÊNDICE C – AIEA SECURITY SERIES . . . . .	85
	ANEXO A – GLOSSÁRIO . . . . .	87
	ANEXO B – CATEGORIZAÇÃO DE MATERIAL NUCLEAR . . . . .	91
	ANEXO C – DADOS DE PROBABILIDADES DE DETECÇÃO . . . . .	92
	ANEXO D – DADOS DE RETARDO DE COMPONENTES . . . . .	95
	ANEXO E – DADOS DE NEUTRALIZAÇÃO . . . . .	107

# 1 INTRODUÇÃO

No cenário socioeconômico atual, em que a energia nuclear tem um papel singularmente relevante para o desenvolvimento, a autonomia e a garantia da soberania de qualquer país, o Brasil deve destinar cada vez mais esforços para o constante avanço em pesquisas científicas e em desenvolvimento de alternativas de segurança e de novas tecnologias aplicadas nesse setor.

A contribuição efetiva da energia nuclear depende de vários fatores relacionados principalmente à segurança, à aceitação pública e à sustentabilidade. Para tanto, é preciso definir requisitos e normas a serem atendidos pelos novos dispositivos, bem como aprimorar metodologias para identificar quais sistemas nucleares têm potencial de viabilização em médio e longo prazo com mais segurança, confiança, autonomia e aceitabilidade.

O avanço da energia nuclear no território nacional e sua tendência de crescimento alavancados pelo programa nuclear brasileiro e sua utilização nos mais diversos projetos e atividades (BRASIL, 2005), levam à necessidade da implementação de um depósito intermediário de rejeitos radioativos em território nacional capaz de atender às demandas oriundas das usinas geradoras de rejeitos, reatores de pesquisa e das aplicações na radioterapia, dentro das normas internacionais, além das exigências e expectativas da população, visando a garantia do programa e a segurança do pessoal envolvido.

Para a operação de novas plantas em instalações nucleares, bem como a ação de montagem, comissionamento, manutenção e descomissionamento de unidades/equipamentos, incluindo procedimentos associados, é necessário seguir os requisitos regulatórios determinados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que se baseia na Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), considerando os projetos de segurança física nuclear e a possibilidade de perpetração de ações hostis por elementos adversos, em particular o roubo e a sabotagem de material nuclear e/ou radioativos.

A AIEA oferece suporte técnico e financeiro aos seus países membros com o intuito de prevenir, interceptar e responder a atos terroristas e a outros incidentes que envolvam a segurança do material nuclear e/ou radioativo. Até o presente momento não há registros de que terroristas tenham usado armas nucleares, no entanto, informações recentes de serviços secretos da AIEA constataram que alguns grupos terroristas tentaram adquirir material nuclear (MRABIT, 2015; BUNN, 2013) o que causa grandes preocupações à comunidade internacional.

A globalização trouxe modificações nas relações entre os países que alteraram o panorama de segurança drasticamente, devido a interdependência na comunidade internacional com movimentação constante de pessoas e bens de consumo. Ao mesmo tempo,



a desigualdade de poder entre os países gera tensões e instabilidades, que somadas a conflitos étnicos e religiosos, contribuem para o surgimento de grupos insurgentes e de organizações terroristas ou criminosas, e conseqüentemente, à necessidade de harmonizar os entendimentos e abordagens de segurança nacionais e internacionais (ELBARADEI, 2005; BRASIL, 2005).

O Brasil, detentor de grandes riquezas naturais e minerais, em um cenário global onde estes ativos são cada vez mais escassos, possui a necessidade de destinar esforços para manter-se capacitado a exercer em plenitude sua soberania pelo domínio de tecnologia nuclear, cumprindo compromissos internacionais no tocante à proteção de materiais e instalações nucleares. O presente trabalho tem como objetivo descrever, apresentar e avaliar uma proposta de projeto de segurança física nuclear para uma instalação de um depósito intermediário de rejeitos radioativos.

O referencial teórico da pesquisa se baseia na caracterização dos principais conceitos relacionados ao projeto de segurança física nuclear, tais como, a descrição dos tipos de depósitos e dos tipos de rejeitos de baixa e média radioatividade existentes, descrição das ameaças, as etapas para a elaboração de um projeto de segurança física nuclear, os critérios de segurança e as medidas a serem implementadas e observadas para um depósito intermediário de rejeitos radioativos, seguindo os critérios de segurança explicitados nos padrões e normas internacionais, e em consonância aos critérios recomendados pela AIEA e estabelecidos pela CNEN.

A metodologia aplicada será de pesquisa exploratória e descritiva de abordagem qualitativa e quantitativa com delineamento de estudo de caso, utilizando as técnicas de pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, além de análise probabilística de segurança realizada na avaliação de vulnerabilidade. Assim, o trabalho pretende trazer como contribuição para a área, uma discussão quanto à necessidade de elaboração e implementação de uma metodologia que permita avaliar a performance do projeto de Sistema de Proteção Física das instalações nucleares brasileiras.

## 1.1 SEGURANÇA FÍSICA NUCLEAR NO BRASIL

O Brasil, como país membro da AIEA, é signatário de todas as Convenções sobre proteção e segurança nuclear, além de participar de acordos multilaterais e regionais sobre combate ao terrorismo. O país pauta sua ação internacional pelo princípio de que a Segurança Física Nuclear é responsabilidade primária de cada Estado, mas, ao mesmo tempo, preocupação coletiva de toda a comunidade internacional, ressaltando que o Brasil é visto como elo muito confiável e relevante da Segurança Física Nuclear em nível mundial (BRASIL, 2018).

O Decreto nº 9.600, de 5 de dezembro de 2018, que consolida as diretrizes sobre a

Política Nuclear Brasileira, dispõe no art. 3º dentre os seus princípios: “III - a segurança nuclear, a radioproteção e a proteção física”.

O Glossário do Setor Nuclear e Radiológico Brasileiro, da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2020, p.36), define Segurança Física Nuclear como: “prevenção, detecção e resposta a eventos de roubo, sabotagem, acesso não autorizado, transferência ilícita ou outros atos maléficis envolvendo material nuclear, material radioativo, bem como as instalações que os operam”.

Um outro termo relacionado à Segurança Física Nuclear é Proteção Física (Physical Protection), que é o conjunto de medidas destinadas a (CNEN, 2020, p.32):

- a) proteger o material nuclear ou outro material radioativo contra roubo, furto ou qualquer outra forma de remoção não autorizada;
- b) contribuir para a recuperação do material nuclear ou outro material radioativo que porventura tenha sido removido de forma não autorizada ou esteja desaparecido;
- c) proteger as instalações e os materiais nucleares ou outros materiais radioativos de atos não autorizados, em especial de sabotagem;
- d) contribuir para minimizar ou mitigar os efeitos de um ato de sabotagem na instalação; e
- e) contribuir para manter a integridade física do pessoal na instalação.

A AIEA divide a segurança nuclear em dois grandes campos de atuação: a Segurança de Emergência Nuclear, ou simplesmente Segurança Nuclear (Nuclear Safety), e a Segurança Física Nuclear (Nuclear Security). Apesar de no nosso idioma esses dois campos serem chamados de “segurança”, pois não há na língua portuguesa diferentes termos para designá-los, existe uma clara distinção entre esses dois conceitos de segurança (AIEA, 2019).

Para a AIEA, a Segurança Nuclear busca a obtenção de condições operacionais, prevenção e controle de acidentes ou mitigação apropriada de consequências de acidente, resultando em proteção de indivíduos ocupacionalmente expostos, do público e do meio ambiente contra os riscos da radiação. Por sua vez, a Segurança Física Nuclear compreende as ações de prevenção, detecção, retardo e resposta a atos não autorizados, criminais ou mal-intencionados, que envolvam materiais nucleares e/ou radioativos e suas instalações e atividades associadas (AIEA, 2019).

Ainda que os dois conceitos, como visto acima, sejam diferentes, o principal objetivo de ambas as vertentes da segurança nuclear é limitar o risco que pode ser causado pelo uso, armazenagem ou transporte de material nuclear e/ou radioativo, seja esse risco causado por acidentes ou por ações deliberadas.

Há muitas sinergias entre a Segurança Nuclear e a Segurança Física Nuclear. Ambas têm interesses e devem se preocupar, por exemplo, com a infraestrutura regulatória, a

Figura 1 – Safety and Security



Fonte: IAEA, 2019.

concepção e a construção de instalações nucleares, medidas de controle de acesso e o plano de respostas a emergências, entre outras (AIEA, 2019). Dessa forma, entende-se que essas duas vertentes da segurança nuclear são interdependentes e contribuem mutuamente para o atingimento de um objetivo comum, que é a limitação dos riscos de um acidente nuclear.

O presente estudo se limita a trabalhar com o conceito de Segurança Física Nuclear (Security) para elaborar um projeto de segurança física para um depósito intermediário de rejeitos radioativos.

Neste contexto, o Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro (SIPRON)<sup>1</sup> foi criado com o objetivo de assegurar o planejamento integrado e coordenar a ação conjunta e a execução continuada de providências 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.

Cabe ao Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República (GSI/PR)<sup>2</sup> coordenar as atividades do SIPRON como seu órgão central. São atribuições do SIPRON (Lei nº 12.731/2012):

I - coordenar as ações para atender permanentemente as necessidades de proteção e segurança do Programa Nuclear Brasileiro;

II - coordenar as ações para proteger os conhecimentos e a tecnologia detidos por órgãos, entidades, empresas, instituições de pesquisa e demais organizações públicas ou privadas que executem atividades para o Programa Nuclear Brasileiro;

III - planejar e coordenar as ações, em situações de emergência nuclear, que tenham como objetivo proteger:

<sup>1</sup> Instituído pela Lei nº 12.731/2012 e regulamentado pelo Decreto nº 2.210/1997.

<sup>2</sup> Conforme o disposto na Lei nº 13.844/2019.

- a) as pessoas envolvidas na operação das instalações nucleares e na guarda, manuseio e transporte dos materiais nucleares;
- b) a população e o meio ambiente situados nas proximidades das instalações nucleares; e
- c) as instalações e materiais nucleares.

Integram o SIPRON<sup>3</sup>:

I - os órgãos, instituições, entidades e empresas federais e estaduais responsáveis pela proteção e segurança do Programa Nuclear Brasileiro com o objetivo de executar ações para garantir a integridade, a invulnerabilidade e a proteção dos materiais, das instalações, do conhecimento e da tecnologia nucleares, na forma do regulamento; e

II - os órgãos, instituições, entidades e empresas federais, estaduais e municipais responsáveis por situações de emergência nuclear com o objetivo de executar ações em caso de emergência nuclear, na forma do regulamento.

Foi criado pelo GSI/PR<sup>4</sup> o Comitê de Articulação nas áreas de Segurança e Logística do Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro (CASLON), com representantes de diversos órgãos dos governos federal e estaduais.

Compete ao CASLON prestar assessoria ao GSI/PR para a articulação com órgãos dos governos federal e estaduais em situações que possam comprometer a segurança das atividades nucleares do país, por meio de ações conjuntas com os órgãos dos governos federal e estaduais que tenham como objetivo mitigar e neutralizar atividades que impeçam ou dificultem o funcionamento de instalações nucleares e o transporte tanto de material nuclear, quanto de equipamentos sensíveis para o PNB.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), autarquia federal responsável por desenvolver a política nacional de energia nuclear, possui em sua estrutura organizacional a Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear, que tem a competência de expedir normas, licenças e autorizações, fiscalizar e controlar; exigir e fiscalizar a implementação de medidas de segurança radiológica dos trabalhadores, do público e do meio ambiente; exigir que o operador de instalação nuclear ou radiológica realize estudos comprobatórios da segurança; autorizar e credenciar profissionais ao exercício de atividades com material nuclear ou fonte radioativa e em instalação nuclear ou radiológica; determinar a suspensão de atividades nucleares ou radiológicas sem a devida autorização; determinar o descomissionamento de instalações nucleares e radiológicas; expedir notificações com exigência de regularização de atividades e instalações; exigir e receber dos agentes regulados informações relativas às operações de produção, importação, exportação, beneficiamento, tratamento, processamento, transporte, transferência, armazenagem, estocagem, distribuição, destinação e comercialização de serviços e materiais sujeitos à sua regulação; elaborar e aprovar

<sup>3</sup> Segundo art. 3º do Decreto nº 2.210/1997.

<sup>4</sup> Por meio da Portaria nº 31/GSIPR, de 26 de março de 2012.

planos de emergência nuclear e radiológica, de observância obrigatória para os agentes regulados, e orientar e colaborar tecnicamente com os órgãos encarregados do plano de emergência da defesa civil; acompanhar, colaborar e fiscalizar a execução dos compromissos internacionais assumidos pelo país nas áreas de segurança nuclear e radiológica, proteção física e de salvaguardas; aplicar salvaguardas nos materiais e instalações nucleares; dentre outras (CNEN, 2022).

Subordinada a essa Diretoria, existe a Coordenação de Salvaguardas e Proteção Física que trata de Security, cabendo a essa Coordenação as seguintes tarefas (CNEN, 2022):

- I - gerenciar o Sistema Nacional de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares;
- II - executar a avaliação de Planos de Proteção Física de instalações nucleares e radiativas;
- III - avaliar os procedimentos de salvaguardas das instalações nucleares;
- IV - executar programas de inspeções de salvaguardas e de proteção física nas instalações nucleares e radiativas;
- V - desenvolver procedimentos, equipamentos e técnicas para a aplicação de salvaguardas e de proteção física;
- VI - executar as atividades referentes à prevenção ao tráfico ilícito de materiais nucleares e radioativos;
- VII - planejar e executar ações para garantir o cumprimento dos acordos internacionais assinados pelo Brasil nas áreas de salvaguardas e proteção física;
- VIII - emitir autorizações para manuseio de material nuclear;
- IX - propor e implementar medidas voltadas à otimização dos procedimentos de salvaguardas de material nuclear, de proteção física de instalações nucleares e radiativas e de combate ao tráfico ilícito.

Da mesma forma que a AIEA, no âmbito internacional, a CNEN também tem um conjunto de requisitos regulatórios, denominadas Normas para Controle de Materiais Nucleares e Proteção Física, que tratam especificamente da área de Segurança Física Nuclear. Entre essas, podemos destacar:

- a) Proteção Física de Unidades Operacionais da Área Nuclear (NE 2.01);
- b) Proteção Física de Materiais e Instalações Nucleares (NN 2.01); e
- c) Proteção Física de Fontes Radiativas e Instalações Radiativas Associadas (NN 2.06).

Através da Lei nº 14.222, de 15 de outubro de 2022, foi criada a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN) autarquia federal responsável por monitorar, regular e fiscalizar a segurança nuclear e a proteção radiológica das atividades e das instalações nucleares, materiais nucleares e fontes de radiação no território nacional, nos termos do disposto na Política Nuclear Brasileira e nas diretrizes do governo federal.

## 1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral descrever, apresentar e avaliar uma proposta de projeto de segurança física nuclear para uma instalação de um depósito intermediário de rejeitos radioativos, seguindo os critérios de segurança explicitados nos padrões e normas internacionais, e em consonância aos critérios recomendados pela Agência Internacional de Energia Atômica e determinados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Para tanto, alguns objetivos específicos são estabelecidos:

- a) Descrever as medidas de segurança a serem aplicadas para proteção do depósito intermediário de rejeitos radioativos;
- b) Levantar o tipo de material existente no depósito intermediário de rejeitos radioativos;
- c) Estudar os potenciais riscos (sabotagem, roubo, dentre outros) e possíveis ameaças relacionados às áreas que compõem um projeto de segurança física nuclear no depósito intermediário de rejeitos radioativos; e
- d) Realizar avaliação de vulnerabilidades no projeto de segurança física nuclear proposto.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento da tecnologia e da ciência para a produção de energia nuclear no Brasil tem estimulado um crescente debate nos meios acadêmico, político e militar sobre sua importância tanto nas suas aplicações pacíficas quanto nas militares, evidenciado, principalmente, pela busca da independência do domínio nacional do ciclo de enriquecimento, a partir da década de 70 (ANDRADE e SANTOS, 2005).

As potencialidades para o uso econômico da energia nuclear propiciaram expectativas, ao mesmo tempo que surgiram temores pela sua força destrutiva marcada pela utilização de ogivas nucleares e pela criação de arsenais de armamentos nucleares, principalmente pelas grandes potências durante a Guerra Fria (BUNN, 2013).

Considera-se também o risco da utilização de materiais radioativos ou nucleares em atos criminosos como uma ameaça para a segurança internacional, cabendo a cada Estado a responsabilidade de elaborar e executar diretrizes que garantam a segurança nuclear, em consonância com as normas da Agência Internacional de Energia Atômica contando, também, com a rede de cooperação internacional. O Brasil necessita de esforços especiais em prol da sua plena segurança, principalmente em função de sua relevante dimensão continental. (AIEA, 2011a)

Em decorrência dos atentados terroristas de 11 de setembro de 2001 nos Estados Unidos da América (EUA), foi aprovada por unanimidade em 28 de setembro do mesmo ano, a Resolução 1373 do Conselho de Segurança da Organização das Nações Unidas - ONU (UNITED NATIONS, 2001). A resolução reconhece a estreita conexão entre o terrorismo internacional e a movimentação ilegal de materiais nucleares, biológicos e/ou químicos e busca aumentar a cooperação na implementação integral das convenções e protocolos internacionais relevantes relacionados ao terrorismo.

Neste sentido, medidas preventivas e de planejamento de respostas e ações são imprescindíveis para a garantia da integridade, da invulnerabilidade e da proteção dos materiais, das instalações, do conhecimento e da tecnologia nucleares detidos por órgãos, que deverão ser protegidos visando a continuidade e segurança do programa e de entidades, empresas, instituições de pesquisa e demais organizações públicas ou privadas que executam atividades para o Programa Nuclear Brasileiro (BRASIL, 2005). Tais medidas subsidiarão a elaboração de um projeto de proteção física para uma instalação de um depósito intermediário de rejeitos radioativos.

Em nosso país, onde a gestão de risco nuclear usa uma abordagem prescritiva tradicional, não levando muitas das vezes em conta os movimentos de atuação híbrida e as mudanças técnicas, políticas e monetárias de governos e de grupos especializados, o estudo de novos projetos de segurança, dentro de uma realidade atualizada e estudada, se faz necessário (SNL, 2015).

Globalmente, a energia nuclear se apresenta como interesse de grande relevância em aplicações pacíficas (produção de energia elétrica, medicamentos, irradiação de alimentos, dentre outros) e militares (garantia da soberania pelo poder dissuasório) (GARCIA, 2008). Contudo, as características inerentes dessa fonte de energia evidenciam a necessidade de estratégias de defesa fundamentadas em estudos profundos e contínuos das peculiaridades e necessidades específicas.

Os programas nacionais relacionados ao domínio completo do ciclo de enriquecimento do urânio, a construção do submarino com propulsão nuclear, a promoção da construção de pequenas centrais de geração de energia nucleoeletrica, representam informações de grande sensibilidade estratégica que podem comprometer a segurança física, segurança da informação e segurança cibernética.

O reforço na segurança nuclear é vital e, logo, não deve esperar até que haja um evento que seja considerado um “divisor de águas”, para que sejam realizadas melhorias, ressaltando-se o alto custo de colocar vidas em risco. (ELBARADEI, 2005).

A Resolução 1540 do Conselho de Segurança das Nações Unidas, de 28 de abril de 2004, define o seguinte:

Decide também que todos os Estados devem adotar e implementar me-

didadas efetivas para estabelecer controles nacionais com vistas a evitar a proliferação de armas nucleares, químicas ou biológicas e seus vetores de lançamento, inclusive por meio do estabelecimento de controles apropriados sobre materiais conexos e, para esse fim, devem:

- a) Desenvolver e manter medidas apropriadas e efetivas para contabilizar e manter em condições de segurança tais itens durante a produção, uso, armazenagem ou transporte;
- b) Desenvolver e manter medidas de proteção física apropriadas e efetivas;
- c) Desenvolver e manter controles de fronteiras e esforços de aplicação da lei apropriados e efetivos para detectar, dissuadir, evitar e combater, inclusive, se necessário, por meio de cooperação internacional, o tráfico ilícito e a intermediação de tais itens, em conformidade com as suas autoridades legais e legislações nacionais e em consonância com o direito internacional;

Ainda neste contexto, a Convenção de Terrorismo Nuclear (anteriormente chamada de Convenção Internacional para a Supressão de Atos de Terrorismo Nuclear, ou "ICSANT"), adotada em 2005, criminaliza atos de terrorismo nuclear e promove a cooperação policial e judicial para prevenir, investigar e punir tais atos. A convenção abrange usinas nucleares, reatores nucleares e material radioativo, bem como ameaças e tentativas de cometer tais crimes, incentivando os Estados a cooperar uns com os outros para prevenir ataques terroristas, compartilhando informações e auxiliando em investigações criminais e processos de extradição.

Então, foi estabelecido que todos os Estados devem implementar medidas de segurança efetivas, na qual se incluem medidas de proteção física apropriadas. Desse modo é importante estabelecer uma proposta de um projeto de segurança física nuclear que leve em consideração diferentes tipos de instalações e depósitos nucleares, rejeitos radioativos e suas interrelações.

Além do mais, a AIEA tem demonstrado preocupações quanto às fontes radioativas provenientes das indústrias e hospitais, pois dispositivos de dispersão radiológica podem ser desenvolvidos a partir delas, acoplando explosivos convencionais ao material radioativo, conhecidas como "bomba suja" (dirt bomb) (AIEA, 2015a; NABBED, 2015). Os efeitos de uma "bomba suja" podem ser prejudiciais à vida humana pois a contaminação, mesmo em pequenas quantidades, pode gerar graves efeitos psicológicos e econômicos à sociedade. A contaminação acidental de Goiânia, com uma fonte de radiação usada na medicina, exemplifica o potencial destrutivo das ações de um grupo terrorista caso esse tivesse em seu poder essa classe de materiais. (GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS, 2021; AIEA, 1998).

A partir do contexto apresentado, a elaboração de uma proposta de projeto de segurança nuclear para uma instalação de um depósito intermediário de rejeitos radioativos é de grande relevância para a proteção e a segurança do Programa Nuclear Brasileiro em consonância com a Política Nacional de Defesa do Governo Federal.



## 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho se divide da seguinte forma. No Capítulo 1, a introdução ao trabalho é realizada contextualizando a segurança física nuclear no Brasil, apresentando os objetivos, a justificativa e a organização do trabalho.

O Capítulo 2 consiste na fundamentação teórica, discutindo os principais conceitos relacionados com o presente trabalho, entre os quais: a segurança física nuclear no contexto internacional, rejeitos radioativos, depósito de rejeitos, controle e contabilidade de material nuclear, o Sistema de Proteção Física e suas funções, além da descrição do projeto e avaliação do sistema de proteção física utilizando o método DEPO.

Já o Capítulo 3 apresenta a metodologia do trabalho, descreve o tipo de pesquisa e detalha as técnicas e procedimentos metodológicos utilizados.

No Capítulo 4 é descrito o estudo de caso por meio da definição de requisitos que consiste na caracterização da instalação, na identificação dos alvos, na definição das ameaças e na descrição da ameaça-base de projeto. Ao final do capítulo o projeto do Sistema de Proteção Física da instalação hipotética é descrito com a definição das medidas físicas, equipamentos e sistemas utilizados na detecção, retardo e resposta, considerados os três pilares fundamentais da proteção física nuclear.

Através do Capítulo 5 é feita a avaliação do Sistema de Proteção Física proposto no capítulo anterior, com a finalidade de analisar o desempenho do sistema projetado por meio de métodos como diagrama de sequência de adversário, determinação do ponto crítico de detecção, análise de múltiplos caminhos e análise de neutralização. Esse capítulo também apresenta o cálculo da eficácia global do sistema tendo por base a ameaça anteriormente quantificada (Ameaça-Base de Projeto).

Por fim, no Capítulo 6 são discutidas as conclusões do trabalho a respeito dos resultados obtidos no estudo de caso, assim como são propostos temas a serem abordados em trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O marco teórico do presente estudo fundamenta-se nos conceitos relacionados com os objetivos do sistema de segurança física nuclear e que incluem a definição das ameaças, a identificação dos ativos a serem protegidos e a caracterização das instalações.

Os principais instrumentos jurídicos internacionais na área de segurança nuclear adotados pela AIEA são a Convenção sobre a Proteção Física de Material Nuclear (CPPNM) e sua Emenda de 2005. A Convenção foi assinada em 3 de março de 1980 em Viena e em Nova York. A CPPNM estabelece (AIEA, 2021a):

(...) obrigações legais para as partes com relação à proteção física de materiais nucleares usados para fins pacíficos durante o transporte internacional; a criminalização de certos crimes envolvendo material nuclear; e cooperação internacional, por exemplo, no caso de furto, roubo ou qualquer outra apropriação ilegal de material nuclear ou ameaça credível do mesmo.

A convenção é o único compromisso internacional legalmente vinculante na área de proteção física de material nuclear. Ela estabelece medidas de prevenção, detecção e punições de delitos relacionados à atividade nuclear (AIEA, 2021a).

Em julho de 2005 foi convocada uma Convenção Diplomática para emendar e fortalecer as disposições da CPPNM. Essa Emenda torna juridicamente vinculativo para os Estados Partes a proteção de instalações e materiais nucleares para uso doméstico pacífico, armazenamento e transporte. Também prevê uma cooperação ampliada entre os Estados com relação a medidas rápidas para localizar e recuperar material nuclear roubado ou contrabandeado, mitigar quaisquer consequências radiológicas de sabotagem e prevenir e combater os crimes relacionados (AIEA, 2021a).

Por meio do Decreto Legislativo nº 3, de 24 de fevereiro de 2022, o Congresso Nacional aprovou o texto da Emenda à CPPNM, endossada pelo Brasil por ocasião da Conferência da Emenda da referida Convenção, ocorrida em 2005, em Viena.

Dentro da estrutura organizacional da AIEA, há uma Divisão de Segurança Física Nuclear (Division of Nuclear Security), subordinada ao Departamento de Segurança Nuclear (Department of Safety and Security), que tem por atribuições implementar o Plano de Segurança Nuclear da AIEA; prevenir, detectar e responder a atos e ameaças de terrorismo nuclear; desenvolver requisitos e realizar orientação sobre segurança física nuclear; e oferecer aos Estados Membros treinamento, assessoria técnica, análises por pares e outros serviços de assessoria (AIEA, 2021b).

A importância da Segurança Física Nuclear no contexto internacional pode ser

medida pelo conjunto de publicações que a AIEA Security Series possui a respeito do tema (vide APÊNDICE 3). Além disso, a AIEA criou a IAEA Global Nuclear Safety and Security Network (GNSSN), uma rede operacional em nível global e regional apoiada por uma poderosa plataforma web, que permite aos seus membros compartilhar conhecimentos e serviços visando alcançar o objetivo de implementar e manter um alto nível de Segurança Nuclear e Segurança Física Nuclear nas instalações nucleares ao redor do mundo (AIEA, 2021c).

## 2.1 REJEITOS RADIOATIVOS

A Política Nacional de Defesa, a qual consolida as diretrizes sobre a Política Nuclear Brasileira, define rejeito radioativo como<sup>5</sup> : "qualquer material resultante das atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção estabelecidos pelo órgão regulador e cuja reutilização é considerada imprópria ou não prevista". Este item será dedicado às definições dos diferentes tipos de rejeitos radioativos, tais como apontados no art. 3º da Norma CNEN-NN-8.01 - Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação. Os rejeitos são classificados segundo seus níveis e natureza da radiação, bem como suas meias-vidas (CNEN, 2014a):

I - Classe 0: Rejeitos Isentos (RI): rejeitos contendo radionuclídeos com valores de atividade ou de concentração de atividade, em massa ou volume, inferiores ou iguais aos respectivos níveis de dispensa estabelecidos nos Anexos II e VI;

III - Classe 2: Rejeitos de Baixo e Médio Níveis de Radiação (RBMN): rejeitos com meia-vida superior a dos rejeitos da Classe 1, com níveis de atividade ou de concentração em atividade superiores aos níveis de dispensa estabelecidos nos Anexos II e VI, bem como com potência térmica inferior a 2 kW/m<sup>3</sup>;

IV - Classe 2.1: Meia-Vida Curta (RBMN-VC): rejeitos de baixo e médio níveis de radiação contendo emissores beta/gama, com meia-vida inferior ou da ordem de 30 anos e com concentração de radionuclídeos emissores alfa de meia-vida longa limitada em 3700 kBq/kg em volumes individuais e com um valor médio de 370 kBq/kg para o conjunto de volumes;

V - Classe 2.2: Rejeitos Contendo Radionuclídeos Naturais (RBMN-RN): rejeitos de extração e exploração de petróleo, contendo radionuclídeos das séries do urânio e tório em concentrações de atividade ou atividades acima dos níveis de dispensa estabelecidos no Anexo VI desta Norma;

VI - Classe 2.3: Rejeitos contendo Radionuclídeos Naturais (RBMN-RN): rejeitos contendo matérias primas minerais, naturais ou industrializadas, com radionuclídeos das séries do urânio e do tório em concentrações de atividade ou atividades acima dos níveis de dispensa estabelecidos no Anexo VI desta Norma;

VII - Classe 2.4: Rejeitos de Meia-Vida Longa (RBMN-VL): rejeitos não enquadrados nas Classes 2.2 e 2.3, com concentrações de radionuclídeos de meia-vida longa que excedem as limitações para classificação como rejeitos de meia-vida curta; e

<sup>5</sup> De acordo com o Art 2º, inciso XIV do Decreto nº 9.600, de 5 de dezembro 2018.

VIII - Classe 3: Rejeitos de Alto Nível de Radiação (RAN): rejeitos com potência térmica superior a  $2\text{kW/m}^3$  e com concentrações de radionuclídeos de meia-vida longa que excedam as limitações para classificação como rejeitos de meia-vida curta.

## 2.2 DEPÓSITOS DE REJEITOS

Tanto a produção quanto o uso de energia nuclear, independente da sua finalidade bem como ao tipo de extração de minério utilizada, geram rejeitos radioativos. Normalmente, esses rejeitos são armazenados inicialmente na própria instalação antes de serem liberados, se cumprirem com os requisitos para descarte estabelecidos nos regulamentos vigentes, ou transferidos a um dos institutos da CNEN, para gestão a longo prazo. Esta gestão a longo prazo inclui certos cuidados como o seu devido tratamento e deposição final. O armazenamento inicial caracteriza um tipo de instalação chamado depósito inicial de rejeitos radioativos. O armazenamento no órgão responsável pelo tratamento caracteriza o depósito intermediário desses rejeitos. A deposição caracteriza o depósito final que tem a finalidade de recolher e armazenar de forma segura os rejeitos radioativos, oriundos das diversas aplicações da energia nuclear em todo o território nacional (CNEN, ©2015).

O recolhimento e armazenamento de rejeitos radioativos é, de acordo com a Lei 10.308/2001, uma atividade de responsabilidade legal exclusiva da CNEN. Os rejeitos radioativos são recolhidos e armazenados em depósitos intermediários existentes em unidades técnico-científicas da CNEN, que atende às instalações que geram rejeitos radioativos que necessitam de destinação apropriada. Além disso, a CNEN realiza o controle institucional do Depósito Final de Abadia de Goiás, onde estão armazenados definitivamente os rejeitos gerados em decorrência do acidente com Cs-137 em Goiânia.

A norma CNEN NN 8.02 estabelece os critérios gerais e requisitos básicos de segurança e proteção radiológica relativos ao licenciamento de depósitos iniciais, intermediários e finais de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis de radiação, em atendimento à Lei 10.308/2001. Esta norma define a classificação dos depósitos de rejeitos radioativos, conforme disposto no art. 5º (CNEN, 2014a):

- I - depósito inicial, destinado ao armazenamento de rejeitos radioativos cuja responsabilidade para administração e operação é do titular, pessoa jurídica responsável legal pela instalação geradora dos rejeitos;
- II - depósito intermediário, destinado a receber e, eventualmente, acondicionar rejeitos radioativos, objetivando a sua remoção para depósito final, em observância aos critérios de aceitação estabelecidos na Norma CNEN NN 6.09 Critérios de Aceitação para Deposição de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação;
- III - depósito final, destinado à deposição final de rejeitos radioativos; ou
- IV - depósito provisório, destinado a receber rejeitos radioativos provenientes de acidentes nucleares ou radiológicos.

O Anexo II da norma CNEN NN 8.02 propõe descrição do depósito e de seus componentes, equipamentos, sistemas e estruturas importantes para a segurança, tais como (CNEN, 2014a):

Identificar e descrever equipamentos, estruturas, sistemas e componentes importantes para a segurança física e operacional do depósito, em particular:

- a) equipamentos, estruturas, sistemas e componentes cuja falha ou mau funcionamento pode ocasionar uma irradiação indevida dos indivíduos ocupacionalmente expostos ou do público;
- b) equipamentos, estruturas, sistemas e componentes que evitam que os incidentes operacionais previstos cheguem a produzir acidentes;
- c) equipamentos, estruturas, sistemas e componentes cuja finalidade é mitigar a consequência do mau funcionamento ou falha de outros elementos importantes.

Fornecer uma descrição detalhada do depósito, contemplando o que se segue:

- a) principais características do armazenamento: localização geográfica do depósito, por meio de mapas apropriados, vias de acesso, vias de fornecimento de serviços básicos de eletricidade e água, sistemas de controle de efluentes;
- b) obras civis, incluindo tipo de construção, dimensões e distribuição de locais, materiais empregados na obra, materiais empregados no acabamento ou no revestimento de pisos e paredes, características de portas, janelas e outras formas de acesso ao depósito, anexando plantas baixas do depósito;
- c) dispositivos para armazenamento dos volumes e capacidade de armazenamento prevista por tipo de volume ou forma de rejeito;
- d) sistemas para manuseio, transporte e içamento de volumes;
- e) sistema de ventilação;
- f) dispositivos tecnológicos de suporte ao sistema de proteção radiológica;
- g) dispositivos tecnológicos de suporte ao sistema de proteção física;
- h) sistemas de:
  - i) alimentação elétrica;
  - ii) água potável;
  - iii) instalações sanitárias;
  - iv) combate a incêndio;
  - v) drenagem de águas pluviais.

Já no Anexo III da mesma norma CNEN NN 8.02 algumas medidas de proteção física são apresentadas, tais como (CNEN, 2014a):

#### 7.6 Proteção física

- a) O titular deve apresentar no RFAS os planos para implementação de medidas de segurança relacionadas ao "layout" do depósito e instalações auxiliares, bem como de outras características de projeto e arranjos de equipamentos destinados a prover proteção de itens contra roubo, violação ou sabotagem radiológica;

- b) O titular deve descrever o programa global de proteção física para o sistema de deposição final, incluindo:
- i) a organização do serviço de proteção física;
  - ii) os controles de acesso às instalações;
  - iii) os meios de detecção de intrusão não autorizada;
  - iv) os meios de monitoração de acesso às áreas controladas;
  - v) os sistemas de comunicação relacionados à segurança;
  - vi) os sistemas de alarme contra intrusão;
  - vii) os planos integrados com autoridades policiais para proporcionar assistência na resposta a ameaças à segurança e resposta a eventos não usuais;
- c) O titular deve fornecer um cronograma de implementação do programa de proteção física, incluindo diagramas, em escala apropriada, indicando:
- i) localização das estações de alarme;
  - ii) localização dos pontos de controle de acesso às áreas controladas;
  - iii) localização de distritos policiais e suas jurisdições geográficas, em mapa distinto;
  - iv) interação do pessoal de operações do depósito com o pessoal do serviço de proteção física.
- d) O titular deve descrever a capacidade de resposta das forças policiais locais durante as horas em que não há atividades de operação.

Na seção V da norma CNEN NN 8.01 que trata do Armazenamento Inicial ou Intermediário, tem-se (CNEN, 2014b):

Art. 22 O depósito inicial ou intermediário de rejeitos da Classe 1, conforme aplicável, deve:

I - conter com segurança os rejeitos até que possam ser eliminados ou removidos para local determinado pela CNEN;

II - garantir a proteção física dos rejeitos, com provisão de barreiras de segurança e evitando o acesso não autorizado;

III - dispor de controle de liberação de material radioativo para o meio ambiente;

IV - dispor de um sistema de monitoração de área;

V - situar-se em local cercado e sinalizado, com acesso restrito a pessoal autorizado;

VI - ter piso e paredes impermeáveis e de fácil descontaminação;

VII - apresentar delimitação clara das áreas supervisionadas e controladas e, se necessário, locais reservados à monitoração e descontaminação individuais;

VIII - dispor de meios para evitar decomposição de rejeito biológico;

IX - dispor de procedimentos apropriados sempre afixados em paredes, quadros e outros lugares bem visíveis, para facilitar o manuseio de materiais, minimizar a exposição de Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) e dos indivíduos do público, orientar as ações de resposta a emergências e dar outras instruções;

X - permitir, a qualquer momento, acesso para inspeção visual e identificação dos volumes;

XI - dispor de meios para proteção e combate a incêndio; e

XII - ter capacidade de armazenamento adequada, de modo a minimizar riscos de acidentes durante o manuseio de rejeitos pelo tempo que se fizer necessário.

Art. 23 O armazenamento de rejeitos radioativos da Classe 2 acondicionados em embalagens deve atender aos requisitos estabelecidos na Norma CNEN NN 8.02 Licenciamento de Depósitos de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação.

Art. 24 Os rejeitos radioativos armazenados para decaimento, visando posterior dispensa, devem ser mantidos separados de materiais radioativos em uso e de outros rejeitos a serem armazenados por período longo ou a serem removidos para local determinado pela CNEN.

Art. 25 Os rejeitos radioativos devem ser mantidos separados de outros produtos perigosos, como explosivos, inflamáveis, oxidantes e corrosivos.

Art. 26 O armazenamento de rejeitos radioativos líquidos deve ser feito sobre bacia de contenção, bandeja, recipiente ou material absorvente com capacidade de conter ou absorver o dobro do volume do líquido presente na embalagem.

Em um depósito intermediário de rejeitos, uma das formas adotadas para o seu armazenamento é através de tambores de rejeitos radioativos ou nucleares de baixa e média radioatividade. Neste trabalho, o armazenamento dos tambores será considerado na posição vertical.

## 2.3 CONTROLE E CONTABILIDADE DE MATERIAL NUCLEAR

Contabilidade e Controle de Material Nuclear (cuja sigla em inglês é NMAC<sup>6</sup>) é definida como um conjunto de medidas integradas com a função de controlar, fornecer informações e garantir a presença de determinado material nuclear. Isso inclui os sistemas necessários para estabelecer e rastrear inventários de materiais nucleares, controlar o acesso e detectar perdas ou desvios de material nuclear e, também, assegurar a integridade de tais sistemas e medidas (AIEA, 2016).

A contabilidade de material nuclear diz respeito às medidas para rastrear o material nuclear produzido, transportado, recebido, manipulado, utilizado ou armazenado em uma determinada instalação. Já o controle de material nuclear engloba as medidas técnicas e administrativas que devem ser implementadas com a finalidade de assegurar que esse material não seja mal utilizado ou removido de seu local designado, sem aprovação ou sem a contabilidade adequada. Sem um controle efetivo, o material nuclear não pode ser devidamente contabilizado, e sem a contabilidade, o material nuclear não pode ser adequadamente controlado. Dessa forma, contabilidade e controle estão fortemente ligados (AIEA, 2016).

---

<sup>6</sup> Nuclear Material and Accounting Control

Nesse contexto, o sistema de Contabilidade e Controle de Material Nuclear (CCMN) contribui com a detecção oportuna de atividades não autorizadas e auxilia na investigação destes eventos. A AIEA entende que uma “detecção oportuna” é aquela que detecta em tempo hábil qualquer remoção não autorizada de material nuclear e fornece dissuasão contra estas ações (AIEA, 2015b).

Um Sistema de Proteção Física (SisPF) é projetado para impedir o acesso de pessoas não autorizadas a uma instalação nuclear e ao seu material nuclear. Já o sistema de CCMN ajuda a detectar e a deter possíveis remoções ou uso indevido de materiais nucleares por pessoas autorizadas, os adversários internos (AIEA, 2016). Assim, os dois sistemas necessitam ser implementados e operacionalizados de forma integrada e eficiente, para que o SisPF contribua para a efetividade do Sistema de Contabilidade e Controle de Material Nuclear.

A Segurança Física Nuclear tem a finalidade de proteger a área nuclear contra atores não-estatais, ou seja, contra criminosos e terroristas com motivações financeiras ou ideológicas e políticas, protegendo instalações, locais e transportes contra atos de sabotagem e ameaças internas definidas pelo Estado. Além disso, deve proteger os materiais nucleares e outros materiais radioativos contra a remoção não-autorizada durante o uso, armazenamento ou transporte. Já as salvaguardas devem assegurar à comunidade internacional que os materiais e instalações nucleares são utilizados apenas para fins pacíficos, para garantir que materiais nucleares não estão sendo desviados para um programa armamentista (AIEA, 2016).

Deve existir um único sistema de Contabilidade e Controle de Material Nuclear em uma instalação nuclear. As salvaguardas fazem a implementação do CCMN para detectar e impedir o desvio de materiais nucleares pelo Estado, e a Segurança Física utiliza a CCMN para detectar e impedir a remoção não autorizada de materiais nucleares, inicialmente, por adversários internos (AIEA, 2016).

Todo Estado que é signatário do Acordo de Salvaguardas é obrigado a estabelecer um sistema que controle e contabilize seu material nuclear (AIEA, 2016). Os registros de CCMN são usados nas salvaguardas e podem servir como base de dados para a constante melhoria do sistema de segurança física.

## 2.4 SAFETY x SECURITY

Existem diferenças entre a definição de risco aplicada à segurança física nuclear (Security) e o risco aplicado à segurança tecnológica (Safety), apesar de ambas se relacionarem com sua probabilidade de ocorrência e severidade. Dentre essas, pode-se pontuar que os fatos iniciadores dos eventos de Safety são de natureza aleatória, tais como, desastres naturais, falhas de equipamentos e/ou humanas etc., e os eventos de Security são



normalmente planejados, não sendo considerados casuais ou aleatórios.

Diante das diferenças mencionadas, a Segurança Tecnológica (Safety) pode ser caracterizada como a obtenção de condições operacionais, prevenção e controle de acidentes ou a mitigação apropriada das consequências de acidentes, resultando em proteção de indivíduos ocupacionalmente expostos, do público e do meio ambiente contra os riscos indevidos da radiação (CNEN, 2020). Essa segurança é alcançada através de medidas de caráter administrativo e de caráter técnico, incluindo medidas de proteção em projeto construtivo, comissionamento e testes operacionais em campo e na manutenção da consciência de segurança física da instalação.

Já a Segurança Física Nuclear (Nuclear Security) é definida pela CNEN como prevenção, detecção e resposta a eventos de roubo, sabotagem, acesso não autorizado, transferência ilícita ou outros atos maléficos envolvendo material nuclear, material radioativo, bem como as instalações que os operam (CNEN, 2020). Com isso, as instalações nucleares devem atender aos critérios de dissuasão, detecção, retardo e resposta para possíveis eventos maléficos.

Portanto, a Segurança Física Nuclear está relacionada à vulnerabilidade do Sistema de Proteção Física de qualquer local que possua materiais radioativos e/ou nucleares (HAWILA, 2016), sendo o conceito que será aplicado a este trabalho.

## 2.5 SISTEMA DE PROTEÇÃO FÍSICA – SisPF

O Sistema de Proteção Física de uma instalação é definido no Glossário do Setor Nuclear e Radiológico Brasileiro da Comissão Nacional de Energia Nuclear, da seguinte forma (CNEN, 2020):

(...) conjunto de elementos tais como medidas, regras, normas, procedimentos, equipamentos, aparelhos e recursos humanos destinados a dissuadir, detectar, retardar e responder a qualquer ato não autorizado, tais como, uma ameaça, roubo ou sabotagem contra uma instalação nuclear ou radiativa ou uma operação de transporte de material nuclear ou outro material radioativo.

A eficácia do SisPF é definida como a capacidade de resistir a um possível ataque e impedir que o adversário alcance seu objetivo. Já as vulnerabilidades dizem respeito às fraquezas encontradas no sistema (GARCIA, 2008).

O denominado “Design Basis Threat” – DBT (AIEA, 2009c) deve ser elaborado com o intuito de ajustar o Sistema de Proteção Física às potenciais ameaças, e deve ser usado para ajudar os operadores e as autoridades de segurança a avaliar a eficácia dos meios para combater adversários, medindo o desempenho dos sistemas de contramedidas implementados nas instalações, sendo a base para a elaboração de um projeto de proteção física.

O DBT deve conter uma descrição abrangente das motivações, intenções e capacidades dos potenciais adversários contra a proteção física do local. Deve ser revisado periodicamente para permitir que esteja sempre atualizado frente às novas possíveis ameaças.

A norma CNEN-NN 2.01 (Resolução CNEN 253/19) que trata sobre a Proteção Física de Materiais e Instalações Nucleares, define requisitos básicos que devem ser seguidos na elaboração de um Sistema de Proteção Física e em sua implementação, a saber (CNEN, 2019):

I – delimitar, com barreiras físicas, as seguintes áreas de segurança sucessivas, dotadas de grau crescente de proteção física: a) área vigiada; b) área protegida; c) área interna; e d) área vital;

II - prever uma zona de isolamento em cada lado de uma barreira física, capaz de assegurar campo de visão adequado. No caso de a barreira física ser a parede de um edifício da instalação nuclear, é dispensável a zona de isolamento interna e contígua;

III - os acessos às áreas de segurança devem ser projetados levando em consideração fatores tais como: a) compatibilidade com planos para situações de emergência; b) estimativa de ameaças à segurança; e c) outros casos fortuitos ou de força maior;

IV - o número de pontos de acesso para o interior de áreas de segurança deve ser o mínimo necessário, sendo tais pontos protegidos e dotados de detecção, alarme e certificação;

V - as áreas para estacionamento de veículos devem ser localizadas, sempre que factível, no exterior da área vigiada, sendo proibidas em áreas protegidas;

VI - no interior de áreas vigiadas e protegidas, devem existir caminhos adequados de forma que obras de nivelamento, aterros ou ajardinamentos não constituam obstáculos à vigilância ou às ações de resposta;

VII - as barreiras físicas que circunscrevem as áreas vigiadas e protegidas devem ser projetadas de modo que sua eficácia como barreiras não seja prejudicada por acidentes geográficos, vegetais e estruturas;

VIII - as barreiras físicas que circunscrevem as áreas vigiadas e protegidas devem ter suas respectivas integridades mantidas e ser devidamente sinalizadas; suas áreas de isolamento devem permitir a sua inspeção visual;

IX - a barreira física da área protegida deve oferecer a resistência necessária para retardar uma tentativa de intrusão, de forma a permitir sua detecção, avaliação e resposta em tempo adequado;

X - o acesso às áreas protegidas, internas e vitais deve ser projetado de modo que possa ser limitado ao menor número possível de pessoas, e apenas àquelas autorizadas;

XI - a iluminação das áreas protegida, interna e vital e das respectivas zonas de isolamento deve ser suficiente para permitir a inspeção visual das áreas e a operação de quaisquer dispositivos de detecção, alarme e certificação de intrusão que requeiram iluminação;

XII - as áreas internas e vitais devem ser localizadas, evitando-se, sempre que possível, a proximidade de edificações com equipamentos não vitais;

XIII - as barreiras físicas das áreas internas e vitais devem ser capazes de deter a intrusão de pessoas não autorizadas, proporcionando resistência à penetração de objetos perigosos originários do exterior das áreas

de segurança envolventes, passíveis de prejudicar o funcionamento dos equipamentos vitais;

XIV - as áreas internas e vitais devem dispor de um número mínimo de pontos de acesso, idealmente uma só entrada e saída, consistente com requisitos operacionais, de proteção contra incêndio e planos de evacuação de emergência;

XV - as janelas externas de áreas internas ou vitais devem ser providas de dispositivos de alarme e protegidas com barras de material adequado, firmemente engastadas nas paredes. Tais barras devem ter resistência física compatível ou superior à resistência física das paredes;

XVI - as saídas de emergência de áreas internas ou vitais devem ser providas de dispositivos de alarme contra intrusão;

XVII - todo equipamento vital deve estar localizado no interior de áreas vitais; XVIII - a área vital, preferencialmente, não deve ser atravessada por tubulação ou circuitos elétricos/eletrônicos para equipamentos não vitais;

XIX - no interior de áreas vitais deve-se evitar a instalação de caixas de conexão para sistemas elétricos/eletrônicos de equipamentos não vitais;

XX - as áreas vitais não ocupadas devem ser localizadas, sempre que possível, em uma mesma área protegida que envolva áreas vitais ocupadas;

XXI - a fixação para dispositivos de proteção física deve ser conduzida em tubulação de metal ou outra com proteção equivalente;

XXII - as tomadas, descargas e tubulações de água, essenciais para a operação segura da instalação nuclear, devem ser consideradas no projeto do SisPF;

XXIII - o uso ou estocagem de materiais nucleares classificados, conforme a tabela constante do Anexo I, deve obedecer à seguinte localização: a) Material Categoria I - em área interna ou vital; e b) Material Categoria II e III - em área vital ou protegida;

XXIV - o sistema de comunicações do SisPF deve garantir níveis adequados de confiabilidade, segurança e agilidade;

XXV - o sistema de comunicações do SisPF deve ser constituído por meios alternativos, de projeto diverso, de tal forma que evitem falha de modo comum do sistema;

XXVI - o sistema de comunicações do SisPF deve abranger todo pessoal relacionado à Proteção física da instalação;

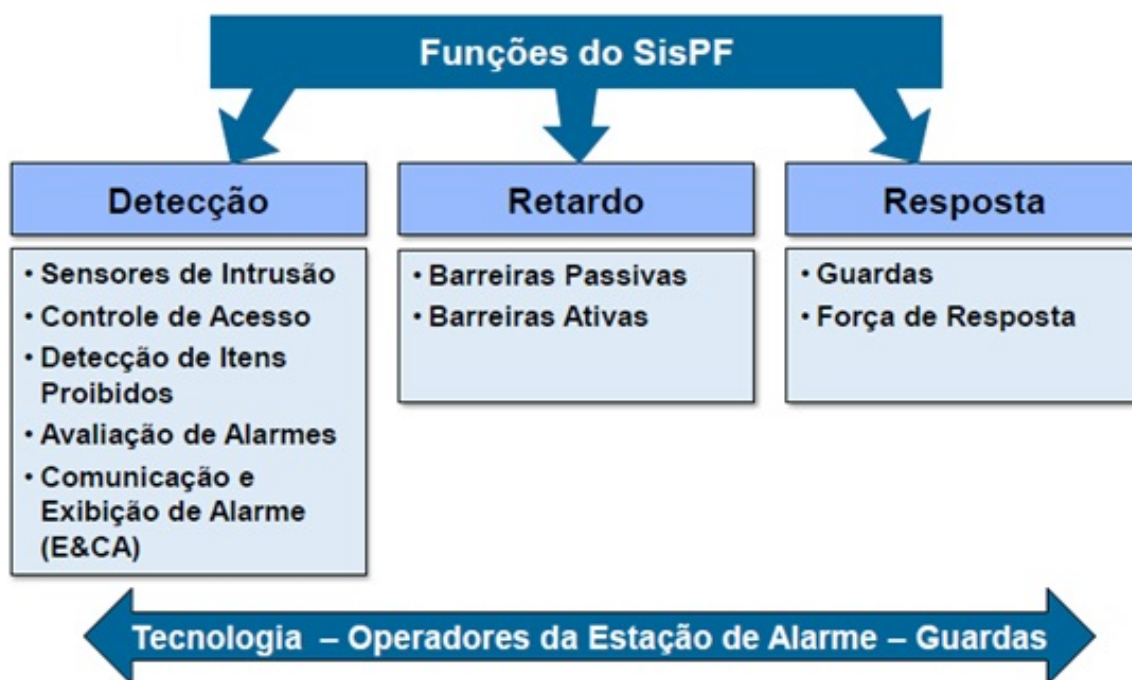
XXVII - os sistemas de transmissão entre os dispositivos de detecção e os dispositivos de alarme devem ser alimentados por fontes independentes de energia, alarmando em caso de interrupção ou corte;

XXVIII - os sistemas de detecção, alarme e certificação de intrusão devem ser capazes de operar independentemente do fornecimento normal de energia da rede.

Os requisitos de proteção física devem basear-se no conceito de círculos concêntricos e defesa em profundidade, onde o projeto de um bom sistema de proteção física requer a integração de dispositivos de segurança, procedimentos e pessoas bem treinadas. A avaliação da eficácia de um Sistema de Proteção Física serve para verificar se o sistema está atendendo ao objetivo pretendido de proteção das fontes nucleares, materiais radioativos e a capacidade de contenção do prédio (AIEA, 2009b).

O SisPF deve observar o conceito de detecção, retardo e resposta, conforme apresentado na figura 2. Tais funções serão explicadas de forma detalhada nos tópicos a seguir.

Figura 2 – Funções do SisPF



Fonte: National Nuclear Security Administration (NNSA, 2021)

### 2.5.1 Detecção

Segundo a AIEA a detecção é o elemento que constata a intrusão em uma área delimitada, ato que poderia ter como objetivo a remoção não autorizada ou sabotagem de uma fonte radioativa (AIEA, 2011). A detecção pode ser realizada por vários meios, como observação visual, vigilância por vídeo, sensores de intrusão, controle de acesso, detecção de itens proibidos, avaliação de alarmes, comunicação e exibição de alarme, entre outros (NNSA, 2021). É importante para monitorar a segurança de uma área protegida e a existência das medidas e meios de detecção também pode servir como um elemento de dissuasão do adversário. Todos os sistemas de detecção de intrusão devem ser apoiados por sistemas de comunicação e resposta.

Segundo Garcia (2008) o Circuito Fechado de Televisão – CFTV é uma ferramenta essencial para a verificação inicial de eventos dentro de uma área alarmada. A detecção não é completa sem avaliação, e, portanto, o ato de detecção em um sistema de proteção física deve estar sempre ligado a um processo de comunicação e ação.

Os sensores são divididos em internos: infravermelho passivo, vibração, quebra de vidro, movimento doppler e magnético e externos: a) penetração de perímetro: eletromecânico, infravermelho, vibração capacitância e sônico; b) movimento interno: microonda, sônico, ultra-sônico e infravermelho; c) proximidade: capacitância e pressão (GARCIA, 2008).

Os detectores de material nuclear e os detectores de metal servem para controle da entrada e saída de material nuclear/radioativo e entrada de armas na instalação. São equipamentos que exercem função importante na determinação da eficácia do sistema de proteção física (GARCIA, 2008).

### 2.5.2 Retardo

O retardo serve para atrasar o adversário em seu objetivo de acessar o alvo ou mesmo impedir o acesso não autorizado na remoção ou sabotagem de uma fonte radioativa e é realizado por meio de barreiras ou outros meios físicos. Uma medida de retardo vem logo após a detecção, sendo fundamental no fator tempo e para impedir a tentativa de remover ou sabotar a instalação. A existência das medidas e meios de retardo, também podem servir para dissuadir a ação de intrusão (AIEA, 2011; CNEN, 2019).

Para tanto, são instaladas barreiras físicas, definidas como “cercas, paredes ou muros, tetos e pisos possuindo características de construção e resistência compatíveis com a natureza da área de segurança correspondente de modo a impedir a intrusão na área delimitada” (CNEN, 2019). Outros exemplos de elementos de retardo: portas, janelas, telhados, parede, distância, sistema de controle de acesso de pessoal, barreiras de veículos, entre outros (GARCIA, 2008).

### 2.5.3 Resposta

Resposta eficaz é proporcionada pela Força de Resposta que deve interromper a ação de forma a negar ao adversário o sucesso do ato não autorizado. Para o sucesso da ação planejada de forma a agilizar a mobilização do pessoal e o deslocamento até o ponto de engajamento, a comunicação à Força de Resposta sobre as ações do adversário deve ser precisa. A avaliação da eficácia da Força de Resposta é realizada a partir da medida do tempo entre o recebimento da comunicação e a interrupção propriamente dita. Uma medida adicional de eficácia da função de Resposta é a neutralização que é alcançada quando se elimina, captura ou causa a fuga dos adversários antes que o ato maléfico seja concluído. (AIEA, 2009a).

A norma CNEN NN-2.01 (CNEN, 2019) define Força de Segurança e Guarda como:

(...) pessoal equipado e treinado para garantir a proteção física da Unidade Operacional e atender às Situações de Emergência; e Guarda: indivíduo

selecionado e treinado para a atividade de proteção física, uniformizado e, preferencialmente, portando arma de fogo.

Os guardas e as forças de segurança, reação ou de resposta são responsáveis por proporcionar respostas eficazes e rápidas com o objetivo de impedir que o intruso conclua a remoção não autorizada do material alvo. Anualmente, o teste de desempenho do sistema de proteção física deve ser realizado para determinar se os guardas e as forças de resposta estão atendendo o objetivo do SisPF (AIEA, 2009a). Guardas e qualquer outro meio para interrupção e neutralização das ações do adversário são exemplos de forças de resposta (GARCIA, 2008).

Os conceitos e fundamentos ora apresentados não exaurem o conteúdo, no tópico Estudo de Caso adiante serão apresentados os demais conceitos juntamente com os requisitos de segurança física nuclear estabelecidos para o Depósito Intermediário de Rejeitos Radioativos.

## 2.6 PROJETO E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PROTEÇÃO FÍSICA – MÉTODO DEPO

O processo DEPO<sup>7</sup> sistematiza as etapas de definição de requisitos e objetivos de um SisPF com uma sequência de fases do projeto do sistema de proteção e avaliação de suas vulnerabilidades (GARCIA, 2008).

A sistematização contempla 3 fases que serão detalhadas nos tópicos a seguir, de acordo com a seguinte figura:

### 2.6.1 FASE 1 – Definição de Requisitos

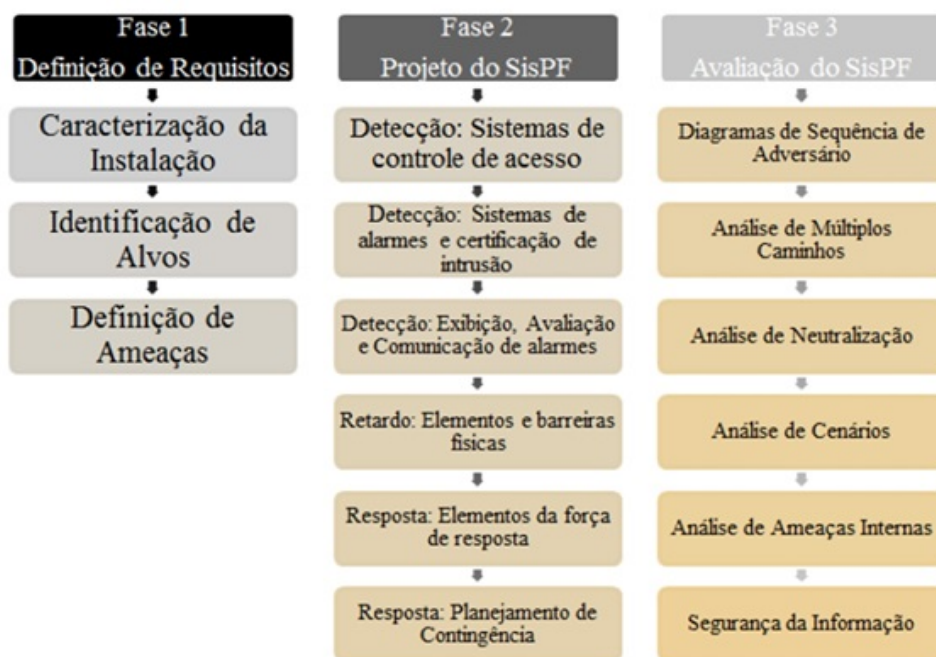
A primeira delas se inicia com a definição de requisitos e objetivos, na qual deve-se descrever a instalação, definir a ameaça e identificar os alvos, o que envolve um levantamento detalhado de informações como operações e condições da planta, e requerimentos de proteção física.

Segundo Garcia (2008), para a elaboração de um projeto de um novo SisPF ou para a melhoria de um sistema existente, inicialmente é necessária a caracterização da instalação com o levantamento das condições estruturais, do material a ser protegido e sua localização, assim como a descrição das rotinas de operação e procedimentos da instalação, além das considerações e restrições legais, regulatórias ou empresariais.

A norma CNEN NN-2.01 (CNEN, 2019) requer que sejam levados em consideração no desenvolvimento da instalação nuclear para fins de proteção física os aspectos geográficos,

<sup>7</sup> Design and Evaluation Process Outline - em português: Perfil do Processo de Projeto e Avaliação.

Figura 3 – Fases do processo DEPO



Fonte: Adaptado GARCIA (2008).

as ameaças e o controle de acesso à instalação. No projeto também devem estar claramente delimitadas as áreas de segurança sucessivas com grau crescente de proteção física, a saber: área vigiada, área protegida e área vital.

Essa caracterização cuidadosa da instalação evita custos desnecessários provenientes de um projeto que estabeleça proteção exagerada sobre materiais ou áreas que não sejam de interesse vital. A identificação dos alvos pretende catalogar os ativos que devem ser protegidos pelo SisPF, como materiais nucleares, equipamentos, sistemas vitais e informações. Uma proteção efetiva deve observar um conjunto mínimo e completo de ativos visando proteger os principais ativos de uma instalação. O critério utilizado para a seleção dos alvos baseia-se em sequências indesejáveis de roubo ou sabotagem, que incluem, por exemplo: perda de vidas; roubo de materiais ou informações sensíveis; dano ambiental resultante da liberação de material perigoso, por roubo ou sabotagem; inoperância de infraestruturas críticas como distribuição de água, energia ou comunicações; prejuízo no desempenho operacional; violência nos ambientes de trabalho, extorsão, chantagem; destruição de edificações; dano à reputação/imagem; e responsabilidade legal. (GARCIA, 2008). As consequências podem ser ordenadas conforme a gravidade, por exemplo, as perdas de vidas e danos ambientais consideradas como inaceitáveis, enquanto os danos em imagem considerados como consequências menos severas. Essa análise de consequências é usada na priorização dos ativos a proteger.

O NSS-13 (AIEA, 2011a) recomenda, no item 5.8, que o operador da instalação

identifique equipamentos, sistemas, dispositivos, além do próprio material nuclear, cuja sabotagem possa causar, direta ou indiretamente, consequências radiológicas inaceitáveis de acordo com os critérios definidos por cada Estado-Membro. Portanto, as medidas protetivas devem ser adequadas a cada um desses possíveis alvos e os resultados de uma análise de segurança pode prover informações úteis na identificação de alvos a proteger.

A Norma CNEN NN-2.01 (CNEN, 2019) define as áreas de segurança como:

Área Vital (AVt): Área de segurança necessariamente interna a uma Área Protegida (AP), contendo equipamento vital e/ou material nuclear Categoria I, no interior de uma estrutura cujas paredes, teto e piso constituam barreira física;

Área Protegida (AP): Área de segurança mantida sob constante proteção, cercada por uma barreira física que com número reduzido de acessos controlados e que envolve uma ou mais áreas vitais da mesma instalação nuclear, ou ainda uma instalação nuclear desprovida de área vital;

Área Vigiaada (AVg): 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 alertem se tratar de área de segurança com acesso controlado.

Essa norma estabelece uma categorização para que os materiais nucleares sejam usados ou estocados, sendo os de Categoria I somente em área vital, e os de Categorias II e III em áreas vitais ou protegidas.

Outro passo importante na definição dos requisitos diz respeito à definição das ameaças. A Agência Internacional de Energia Atômica (2011a) conceitua ameaça como “uma entidade que tem o potencial (motivação, intenção e capacidades) para cometer um ato maléfico contra material nuclear ou radioativo ou instalações associadas”. A definição de ameaças é a etapa da elaboração do SisPF que tem por finalidade descrever as motivações, as intenções e as capacidades dos potenciais adversários contra a proteção física a ser implementada no complexo estudado. Uma vez elaborado, este documento deverá sofrer revisões constantes de forma a estar sempre atualizado com as ameaças de acordo com as condições locais e temporais. Avaliação de ameaças, por sua vez, é definida como “uma estimativa das ameaças, baseada em dados de inteligência, agências de segurança pública e informação proveniente de fontes abertas, que descreva as motivações, intenções e capacidades de tais ameaças”.

Já, no âmbito nacional, a CNEN exige por meio da NN-2.01 (CNEN, 2019) que os operadores, em seus Planos de Proteção Física, efetuem uma avaliação de ameaças potenciais desde os primeiros estágios de desenvolvimento do projeto da instalação nuclear.

Segundo Garcia (2008) a metodologia para definição de ameaças consiste em três passos básicos, a saber: listar as informações necessárias para definir a ameaça; coletar informações sobre ameaças potenciais; organizar as informações para que sejam utilizáveis.



Nesse contexto, é importante definir primeiramente quais informações são consideradas relevantes para uma estimativa qualificada das ameaças ou um conjunto de ameaças, o que deve incluir motivação, potenciais metas baseadas na identificação de alvos, táticas e modos de operação, número de elementos e capacidades. Deve-se também classificar a ameaça entre interna ou externa.

O conceito de adversários internos (geralmente conhecidos pelo termo em língua inglesa, *insiders*) é definido pela AIEA (2008) como adversários com autorização de acesso a uma instalação nuclear, a uma operação de transporte ou a informações sensíveis. Em suma, reúne três características: acesso, conhecimento e autoridade.

Dessa forma, um adversário interno provê uma ameaça bastante desafiadora para o SisPF de uma instalação, por suas características únicas. Já os adversários externos incluem grupos terroristas, criminosos, extremistas, hackers ou mesmo ambientalistas.

Em seguida, as informações sobre as ameaças potenciais devem ser coletadas, levando em consideração a comunidade na qual a instalação se insere, reputação da instalação, condições de trabalho, relações públicas, consciência sobre segurança dos trabalhadores e do público local, bem como a relação entre empregados e empresa operadora. Essas informações podem ser coletadas de diversas fontes, como: agências de inteligência, estudos e análises criminais, organizações profissionais, literatura de acesso público, bem como diretrizes da administração governamental. Por fim, após toda a informação ter sido definida e coletada, é necessário tratá-la de forma que viabilize sua análise.

A definição das ameaças será materializada na ameaça-base de projeto (ABP), que consiste em uma avaliação quantitativa de ameaças ao programa nuclear de um país como um todo, ou a uma instalação específica. O Nuclear Security Series nº 10 (AIEA, 2009d) estabelece recomendações para a elaboração e manutenção de uma ABP. Esse estudo postula parâmetros numéricos em relação aos adversários, descrevendo suas intenções, motivações e capacidades. Destaca-se que a ABP é um processo decisório que envolve diversos atores, como o Estado (através de um órgão de alto nível que coordene o trabalho interagencial, ou algo similar), as agências de inteligência (fontes primárias das informações sobre as ameaças), forças armadas, forças de segurança pública, aduana e controle de fronteiras, o órgão regulador nuclear, os operadores nucleares, entre outras instituições relevantes. Fatores políticos, políticas e recursos dos órgãos estatais envolvidos no processo também influenciam no resultado final de uma ABP.

Entretanto, há uma abordagem alternativa baseada apenas na avaliação de ameaças, considerada adequada a um cenário de baixas consequências radiológicas.

## 2.6.2 FASE 2 – Projeto do SisPF

A segunda fase tem por objetivo a elaboração do projeto do sistema de proteção física que contemple as metas estabelecidas de acordo com a definição de ameaças, considerando características como motivação, intenção e capacidades das ameaças, além da definição dos alvos que o sistema se propõe a proteger.

A norma CNEN NN-2.01 (CNEN, 2019) elenca, dentre seus requisitos diversas medidas relativas a controle de acesso, que é definido como um conjunto de medidas e tecnologias destinadas a verificar e autorizar a entrada e saída de pessoal, delimitando um perímetro de segurança e negando o acesso de pessoas e materiais não autorizados ao referido perímetro (SNL, 2015).

Segundo tal norma, o controle de acesso deve atender a critérios como (CNEN, 2019):

- o controle das áreas de segurança deve ser adequado para não permitir uma maior aproximação dos seus limites, sempre que os interesses da segurança assim o exigirem;
- o controle de acesso de áreas de segurança deve ser realizado pelo pessoal do SPF e complementado por dispositivos destinados a admitir o acesso apenas a pessoas, veículos, materiais e objetos previamente autorizados;
- o acesso a áreas protegidas deve ser limitado a pessoas autorizadas e veículos indispensáveis às atividades da instalação nuclear;
- o acesso a áreas internas e vitais deve ser limitado às pessoas necessárias em tais áreas e devidamente autorizadas;
- o controle de acesso a áreas internas ou vitais deve empregar a conjugação adequada dos seguintes meios, levando-se em conta a necessidade de acesso de pessoal de operação em caso de emergência: a) guardas; b) sistema de fechadura a chave; e c) dispositivos elétricos, eletromecânicos ou eletrônicos.

A recomendação internacional do Nuclear Security Series nº13 (AIEA, 2011a) estabelece que medidas eficazes de controle de acesso sejam tomadas, para que se assegure a detecção e prevenção de acesso não autorizado, através da verificação de identidades de pessoas que acessem áreas protegidas, por passes ou distintivos próprios, que devem ser portados em local visível dentro da área de segurança; e que tecnologias para controle de acesso, como chaves e listas computadorizadas, sejam protegidas contra adulteração.

Já a norma CNEN NN-2.01 (CNEN, 2019) define que a identificação de pessoas para acesso às áreas de segurança da instalação deve atender aos seguintes requisitos:

- I - devem ser fornecidos distintivos, devidamente registrados, às pessoas com acesso autorizado às áreas de segurança;
- II - os distintivos devem ser portados em local visível durante a permanência nas respectivas áreas e deverão permitir a identificação por foto;

III - extraordinariamente, a critério do SPF, poderá ser autorizado o acesso temporário às áreas de segurança sem uso de distintivo, com o devido registro;

IV - no registro das pessoas com acesso autorizado mediante acompanhamento devem constar, no mínimo, os seguintes dados:

- a) nome;
- b) endereço;
- c) documento de identificação;
- d) nacionalidade;
- e) data;
- f) hora;
- g) finalidade da visita;
- h) instituição a que pertence;
- i) responsável pela visita; e
- j) área a ser visitada;

Os sistemas de alarmes e de certificação são fundamentais e precisam dispor e processar as informações de forma eficiente para auxiliar no processo de decisão pela força de segurança, no caso de um incidente de proteção física estar em curso ou não, e permitir uma comunicação adequada com a força de resposta, promovendo uma mobilização e atuação rápida.

Para tanto, o Nuclear Security Series 13 (AIEA, 2011a) recomenda que o operador nuclear disponha de uma central de alarmes, permanentemente guardada e equipada, com sistemas de comunicação redundantes e robustos, e que tenha uma rotina de testes de comunicação com a força de resposta de forma a assegurar-lhe a transmissão correta da informação e o pronto emprego em caso de necessidade.

Por sua vez, a norma CNEN NN-2.01 (CNEN, 2019), estabelece que a instalação deve dispor de um Serviço de Proteção Física (SPF), entidade constituída com vistas à operação e manutenção do SisPF, o qual deve dispor dos seguintes recursos:

I – um centro de coordenação e controle, com as seguintes características:

a) estar localizado no interior de área protegida; b) dispor de infraestrutura compatível com o cumprimento das funções do SPF; c) possuir pessoal com treinamento específico; d) possuir meios de comunicação, visualização, avaliação de alarmes e outros; e e) dispor de procedimentos escritos;

II - um responsável com, no mínimo, um substituto eventual, obrigatoriamente pertencentes ao quadro organizacional da instalação;

III - uma força de segurança composta por pessoal devidamente equipado, armado e treinado para garantir a proteção física da instalação nuclear, devendo incluir uma força de resposta interna;

IV - capacidade de prover uma estimativa de ameaças, em caso de ausência de uma estimativa de ameaças estabelecida pelo Estado, e dimensionar adequadamente o SisPF;

V - capacidade de prover a aplicação das medidas de proteção física requeridas para a movimentação de material nuclear, de responsabilidade da direção da instalação, no interior de áreas de segurança;

VI – armamentos e equipamentos que permitam a ação apropriada da força de segurança, em caso de ocorrência de ato maléfico proveniente de ameaças pré-estabelecidas.

Um centro de coordenação geral do SPF deve ter as seguintes funções e características (SNL, 2015):

- Coletar e exibir dados oriundos do Sistema de Proteção Física: Alarmes do sistema de detecção de intrusão; Informações dos sistemas de controle de acesso das áreas protegidas e vitais (biométrico, crachá, torniquete, etc.); Sistema de circuito fechado de televisão (CFTV), para vigilância e certificação de alarmes; e Interface homem-máquina (IHM), possibilitando a visualização rápida dos locais de alarmes e permitindo a intervenção do operador;
- Prover meios redundantes para comunicação com: Força de segurança da instalação; Forças de resposta externas à instalação; Administração/gerência do operador; Pessoal de manutenção; e Pessoal de operação.
- Disponibilizar cópias de procedimentos para consulta.
- Regra de duas pessoas, ou seja, a manutenção permanente no mínimo duas pessoas autorizadas operando o sistema, sempre que possível validando mutuamente as operações

O Nuclear Security Series 13 (AIEA, 2011a) recomenda a necessidade de detectar intrusões e prover ações adequadas por um número de guardas suficientes e/ou forças de segurança e a presença de uma estação central de alarmes para monitorar e avaliar alarmes, iniciar o processo de resposta, e prover comunicação com guardas, forças de resposta, e os gestores da instalação.

Como visto anteriormente, a norma CNEN NN-2.01 (CNEN, 2019) estabelece a necessidade de um centro de coordenação e controle que deve “possuir meios de comunicação, visualização, avaliação de alarmes e outros”. Portanto, a avaliação de alarmes é realizada por meio de um processo de decisão por um integrante da força de resposta, completando a função de detecção com o tratamento do alarme, que pode ser causado por uma ameaça real ou um alarme falso. Para tanto, utiliza-se um conjunto de tecnologias (iluminação, circuitos fechados de televisão – CFTV) ou visualização direta pela força de segurança, seja em postos de observação como guaritas ou torres, ou em rondas de patrulhamento.

Os elementos de retardo (barreiras físicas) fazem parte de um SisPF com o objetivo de maximizar a probabilidade de interceptação do adversário antes que ele cumpra o roubo ou a sabotagem do material nuclear. A função dessas barreiras é aumentar o tempo que o adversário leva, após ser detectado, para realizar sua ação. São obstáculos físicos que dificultam o progresso do inimigo ao longo de qualquer dos caminhos possíveis até o alvo.

Os elementos de retardo quando bem posicionados e balanceados possibilitam a ação apropriada em tempo oportuno pela força de segurança da instalação.

Segundo o Nuclear Security Series nº13 (AIEA, 2011a) o objetivo é a “chegada de resposta armada adequada de forma suficientemente rápida para impedir a remoção não autorizada ou sabotagem de material nuclear”. Já a norma brasileira CNEN-NN 2.01 (CNEN, 2019) define barreira física como “dispositivos ou estruturas físicas, com características de construção e resistência compatíveis com a natureza da área de segurança, de modo a dissuadir, retardar ou impedir a intrusão na área delimitada”.

A função de retardo tem como principal parâmetro de desempenho o tempo que o adversário, ou grupo de adversários, leva para contornar um determinado obstáculo. Esse tempo depende do modo de ataque e se relaciona ao equipamento utilizado pelo adversário.

As medidas de retardo são necessárias apenas quando precedidas do processo de detecção e certificação de alarme, para que a força de segurança confirme a existência de uma ameaça, seja ela externa ou interna.

Depois das medidas de retardo, aplicam-se as ações de resposta que tem por finalidade impedir que o inimigo cumpra a sua missão de roubo ou sabotagem em materiais e instalações nucleares. Tais medidas dependem de uma adequada detecção, pois sem isso a força de resposta não chega a tomar conhecimento da necessidade de atuação. Da mesma forma, sem retardo suficiente, a força de resposta não chega a tempo de impedir a conclusão do ato de roubo ou sabotagem, mesmo que tenha capacidade de combater o adversário. Uma força de resposta mal dimensionada, em termos de ameaça-base de projeto, não interrompe nem neutraliza a ação adversária. Assim, a conjunção das três funções de um sistema de proteção física: detecção, retardo e resposta, é fundamental para sua eficácia.

Segundo a norma CNEN NN 2.01, a Força de Resposta Interna “será constituída por guardas próprios, dedicada exclusivamente à resposta a situações de contingência” (CNEN, 2019). Por sua vez, SNL (2015), define “guardas” da “força de resposta” como equipe armada e treinada para impedir atos não autorizados, pelo uso da força necessária para interromper uma ameaça, até a força letal, se necessário.

Portanto, as funções de uma força de resposta são a interrupção, que consiste na chegada da força de resposta em tempo para impedir a ação adversária, e a neutralização, que é a capacidade de impedir a conclusão do ato, que pode se dar pela fuga, captura ou morte do inimigo. O principal parâmetro de desempenho para a função de resposta é a probabilidade de neutralização.

Por fim, a fase 2 se completa com o planejamento de contingências, que de acordo com a recomendação internacional NSS-13 (AIEA, 2011a) é definido como “conjuntos preestabelecidos de ações para resposta a atos indicativos de tentativas de remoção não

autorizada ou sabotagem, e suas ameaças, concebidos de forma a conter efetivamente tais atos”. Ou seja, define papéis e responsabilidades no que tange ao acionamento de forças de resposta externa e trata da sequência de ações a serem tomadas quando existe uma ocorrência de um incidente de proteção física.

A Convenção sobre Proteção Física de Material Nuclear (CPPNM), documento internacional vinculante no Brasil<sup>8</sup> e sua emenda de 2005<sup>9</sup> explicita, entre seus princípios fundamentais que: “Planos de contingência para responder a ações não autorizadas de remoção de material nuclear ou de sabotagem em materiais e instalações nucleares, ou mesmo a tentativa, devem ser preparados e exercitados apropriadamente por todos os detentores de licenças e autoridades envolvidas”.

Segundo um exemplo de planejamento de contingências desenvolvido pela NNSA, esse deve conter (SNL, 2015):

- Propósito e escopo;
- Visão geral da instalação;
- Materiais nucleares a proteger;
- Premissas de planejamento: prováveis modos de ataque, instituições/agências a envolver na ocasião de cada um dos ataques descritos;
- Cadeia de comunicações;
- Controle e avaliação de avarias;
- Estrutura organizacional e definição de papéis e responsabilidades;
- Coleta e disseminação de informações;
- Comunicações externas;
- Desenvolvimento e manutenção do plano.

Esses são os elementos importantes da fase 2 do método DEPO para a sistematização de um SisPF.

### 2.6.3 FASE 3 - Avaliação do SisPF

A terceira fase consiste na análise e na avaliação do sistema projetado, por meio da utilização de várias técnicas e métodos, de forma a garantir que o SisPF atenda aos objetivos estabelecidos. Por conta da complexidade envolvida em tais sistemas de proteção física, essa avaliação envolve modelagem e simulação. Caso essa avaliação chegue à conclusão da existência de vulnerabilidades no SisPF, o sistema deve ser novamente projetado, até que sejam atendidos os objetivos. Os detalhes dessa fase serão discutidos a seguir.

<sup>8</sup> Ratificada pelo Congresso Nacional, via Decreto nº 95, de 16 de abril de 1991.

<sup>9</sup> Ainda sendo analisada pelo Congresso Nacional.

Um dos métodos utilizados e que faz parte da análise de vulnerabilidades é o diagrama de sequência de adversários (DSA) que são usados para modelar todos os caminhos possíveis de um adversário até um determinado alvo, seja para roubo ou sabotagem (SNL, 2015). É uma ferramenta gráfica que permite definir os caminhos mais vulneráveis, ou de menor PI, que podem ser usados para estimar a eficácia do SisPF. Um DSA também possibilita uma rápida verificação do balanceamento entre as medidas de retardo para barreiras em uma mesma área de segurança, da defesa em profundidade e até de eventuais transposições ou caminhos mais curtos para o acesso ao material. A configuração das áreas de segurança muda para cada tipo de alvo, o que leva à necessidade de desenvolver um diagrama próprio para proteger cada alvo.

Outra metodologia é a análise de caminhos. Nesse sentido, o caminho de um adversário pode ser definido como uma sequência de elementos de proteção física, áreas e alvo, ordenados no tempo, para o qual o adversário direciona sua meta de roubo e sabotagem (SNL, 2015). Para cada elemento, área, ou alvo em um caminho existe um determinado número de componentes de detecção e retardo pelos quais o adversário precisa contornar. Um elemento “porta”, por exemplo, é um componente de retardo pela sua resistência mecânica e de detecção se tiver sensores instalados, que geram um alarme no caso de sua abertura não autorizada por um adversário. A figura 4 abaixo permite a visualização de um exemplo de caminho de um adversário:

Figura 4 – Caminho de um adversário.



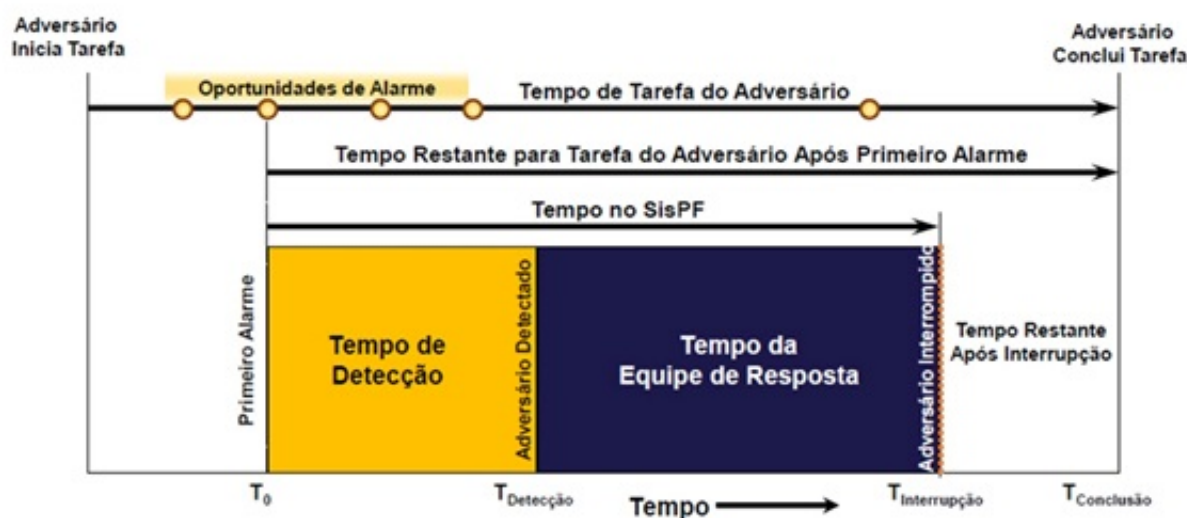
Inserindo as ações de detecção, retardo e o tempo de atuação da força de resposta do SisPF em um único diagrama temporal, é possível visualizar as possibilidades de atuação. A figura 5 abaixo demonstra a atuação conjunta do SisPF (detecção, retardo e resposta) na interrupção bem-sucedida do adversário em tempo hábil. A intrusão foi detectada na segunda oportunidade, o que possibilitou a interrupção em um momento do caminho afastado do ponto no qual o adversário conclui a tarefa (intervalo entre as abscissas  $T_{Interrupção}$  e  $T_{Conclusão}$ ).

Se a primeira detecção de intrusão não acontecer na primeira ou segunda oportunidade, há a possibilidade de o tempo total do SisPF não ser suficiente para interromper o adversário, ou seja, o adversário concluirá sua tarefa.

Nesse contexto, o conceito de Probabilidade de Interrupção (PI) avalia a probabilidade acumulada entre os pontos de detecção nas oportunidades em que ocorrem em tempo suficiente para a força de resposta interromper e neutralizar o adversário.

Figura 5 – O Sistema de Proteção Física (SisPF) interrompe o adversário em tempo hábil.

## Linhas de Tempo do Adversário e do SisPF



Fonte: SNL, 2021

Assim, o marco temporal que define o limiar entre sucesso ou não da interrupção do adversário é denominado Ponto Crítico de Detecção (PCD), que pode ser definido como o ponto onde há um retardo ao longo do caminho do adversário imediatamente maior ou igual ao tempo da força de resposta, permitindo que atue em tempo hábil na sua interrupção e neutralização (HAEA, 2015).

Após discutir a análise de vulnerabilidades, é importante levar em consideração as motivações e capacidades dos adversários. Nesse sentido, a análise de neutralização é outro método de avaliação do SisPF. A probabilidade de neutralização (PN) quantifica, em termos de desempenho, a eficácia da função de resposta, assim como a probabilidade de detecção quantifica o desempenho de sensores e o tempo de retardo quantifica o desempenho das barreiras físicas (SNL, 2015).

A determinação de PN requer informação sobre as forças de resposta, a ameaça e o SisPF, e em qualquer metodologia utilizada a PN tem a função de medir a eficácia da função de resposta após a interrupção. A força de resposta deve usar os meios necessários (letais ou não-letais) para impedir que o inimigo atinja seu objetivo. Dependendo da metodologia usada para a determinação de PN, pode ser necessário um número limitado de informações sobre as forças, ou maiores quantidades de dados. Por fim, considera-se na fase 3 a segurança cibernética e da informação, pois a crescente aplicação e integração dos sistemas de informação nas funções de operação, manutenção e segurança de instalações nucleares os tornam alvos para prováveis ameaças, demandando atenção em termos de proteção física.



A respeito da segurança cibernética, pode ser definida como um aspecto da segurança da informação que contempla sistemas computacionais, redes e sistemas digitais (AIEA, 2011b). Ou mesmo como um conjunto de políticas, procedimentos e salvaguardas, destinados a proteger redes de computadores contra ameaças cibernéticas (SNL, 2015).

Uma estratégia de segurança cibernética consiste em aplicar uma abordagem gradual baseada em níveis e zonas de segurança, sendo que os níveis de segurança representam o grau de proteção requerido (SNL, 2015). É uma área que inclui sistemas de computadores e componentes digitais (hardware e software associados a sistemas de segurança), sistemas digitais envolvidos com a proteção física, controle de processos, sistemas de resposta a emergências, geração elétrica, entre outros sistemas auxiliares.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Tipo de pesquisa

O presente estudo pode ser classificado como pesquisa exploratória e descritiva de abordagem quantitativa com delineamento de estudo de caso.

Na perspectiva de Gil (2002), a pesquisa exploratória possibilita ao pesquisador ter mais familiaridade com o problema e torná-lo mais explícito, visando o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Já a pesquisa descritiva, busca “descrição das características de determinada população ou fenômeno” (Gil, 2002). Portanto, a pesquisa pode ser classificada, segundo os seus objetivos, como exploratória e descritiva, na medida em que visa aperfeiçoar os conhecimentos sobre a segurança física nuclear de um depósito de rejeitos radioativos e por descrever as formas de controle dessa área.

A pesquisa quantitativa, que tem suas raízes no pensamento positivista lógico, tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os atributos mensuráveis da experiência humana, tendo como cerne a objetividade. Depende de fatores, tais como a extensão da amostra, os instrumentos de pesquisa, natureza dos dados coletados e os pressupostos teóricos que nortearam o desenvolvimento do trabalho. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis etc. (GIL, 2002).

Em relação ao delineamento, o estudo de caso consiste na análise de um objeto de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento (GIL, 2002). Na perspectiva de Godoy (1995) o estudo de caso é um tipo de pesquisa cujo objeto se analisa profundamente e que visa ao exame detalhado de um ambiente, um sujeito ou uma situação em particular. Portanto, a atual pesquisa configura-se como um estudo de caso, pois pretende estudar e entender o processo de implantação e de execução de um projeto de segurança física nuclear de um depósito intermediário de rejeitos radioativos em território nacional.

### 3.2 Técnicas de pesquisa e procedimentos metodológicos

Para atingir os objetivos desta pesquisa, é realizada a combinação de duas técnicas principais: pesquisa bibliográfica e análise documental, além da implementação da metodologia DEPO (Design and Evaluation Process Outline), composta pela definição de requisitos, projeto do sistema de proteção física e avaliação de vulnerabilidades do sistema proposto.

A pesquisa bibliográfica, revisão da literatura ou levantamento bibliográfico, é

desenvolvida com base em material já elaborado sobre as principais teorias que norteiam o trabalho científico, através da consulta de livros, periódicos, artigos de jornais, dissertações e teses, entre outras fontes. (GIL, 2002; PIZZANI et al. 2012).

Segundo Pizzani et al. (2012, p. 54), a revisão da literatura possui vários objetivos entre os quais:

(...) a) proporcionar um aprendizado sobre uma determinada área do conhecimento; b) facilitar a identificação e seleção dos métodos e técnicas a serem utilizados pelo pesquisador; c) oferecer subsídios para a redação da introdução e revisão da literatura e d) redação da discussão do trabalho científico.

A revisão bibliográfica é desenvolvida através de busca de artigos e trabalhos científicos sobre os conceitos de segurança física nuclear, rejeitos radiológicos, safety e nuclear security etc.

Complementarmente à pesquisa bibliográfica, é realizada a pesquisa documental, que consiste na revisão de documentos, considerados importantes fontes de dados, e que podem se revestir de um caráter inovador, trazendo contribuições importantes no estudo de alguns temas.

A pesquisa documental também realiza o exame de materiais de natureza diversa, que ainda não receberam um tratamento analítico, ou que podem ser reexaminados, buscando-se novas e/ ou interpretações complementares (GIL, 2002; GODOY, 1995). Segundo Fonseca (2002, p. 32), a pesquisa documental recorre a fontes mais diversificadas e dispersas, sem tratamento analítico, como: “tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, pinturas, tapeçarias, relatórios de empresas, vídeos de programas de televisão, etc.”.

Para a pesquisa documental, são levantadas as principais normas, publicações e documentos, disponíveis nos sítios eletrônicos das agências e instituições nacionais e internacionais relacionadas com a segurança nuclear, tais como: CNEN, Eletronuclear, GSI, AIEA, DOE, Department of Defense USA, Sandia National Laboratories e Department of Defense London. O presente estudo realiza uma avaliação do Sistema de Proteção Física (SisPF) aplicando a metodologia DEPO que sistematiza as etapas de definição de requisitos e objetivos de um SisPF com uma sequência de fases do projeto do sistema de proteção e avaliação de suas vulnerabilidades. São 3 fases do método DEPO: Fase 1 – Definição dos requisitos; Fase 2 – Projeto do SisPF e Fase 3 – Avaliação do SisPF (GARCIA, 2008).

A avaliação geral do SisPF é realizada a partir do cálculo da probabilidade global de eficácia do sistema (PE), que representa a vulnerabilidade do SisPF para a ameaça definida, e é realizado através da equação abaixo e seu valor esperado é de 0,85 (GARCIA, 2008).

$$PE = PI \cdot PN \quad (3.1)$$

Onde:

PE - Probabilidade de Eficácia;

PI - Probabilidade de Interrupção no caminho mais vulnerável; e

PN - Probabilidade de Neutralização.

Para fins deste trabalho, a PE é calculada através dos métodos de diagramas de sequência de adversário, análise de caminhos e análise de neutralização.

A probabilidade de interrupção (PI) é caracterizada como sendo uma medida de detecção, atraso, comunicação e funções de resposta considerada como uma medida de eficácia do SisPF (GARCIA, 2008), pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$PI = 1 - (1 - PD_1) \cdot (1 - PD_2) \cdot \dots(1 - PD_n) \quad (3.2)$$

Onde:

PI - Probabilidade de Interrupção; e

PD - Probabilidade de Detecção nos pontos anteriores ao PCD.

Já probabilidade de neutralização (PN), caracterizada pela derrota do adversário após interrupção, mede a resposta do número de força, treinamento, táticas aplicadas e uso de qualquer arma ou equipamento (GARCIA, 2008).

Importante deixar claro que essa pesquisa não descreve nenhuma instalação real brasileira, mas propõe uma instalação fictícia na qual foram implementadas as medidas de proteção alvo dos estudos, hipoteticamente denominada “Depositron”.

## 4 DEFINIÇÃO DE REQUISITOS E PROJETO DO SISPF

Neste capítulo, além da caracterização geral da instalação Depositron, serão definidos os alvos, as ameaças e a Ameaça-Base do Projeto. Além disso, o Projeto do Sistema de Proteção Física (SisPF) será descrito para cada área de segurança com seus respectivos recursos de detecção, retardo e resposta, seguido da definição da força de resposta.

### 4.1 Caracterização da Instalação

O Depositron é organizado em áreas: vigiada, protegida e vital (figura 6). A área vigiada consiste no perímetro externo do complexo e contém uma área administrativa composta por: escritório, refeitório, vestiário, brigada de incêndio, central de utilidades, estacionamento.

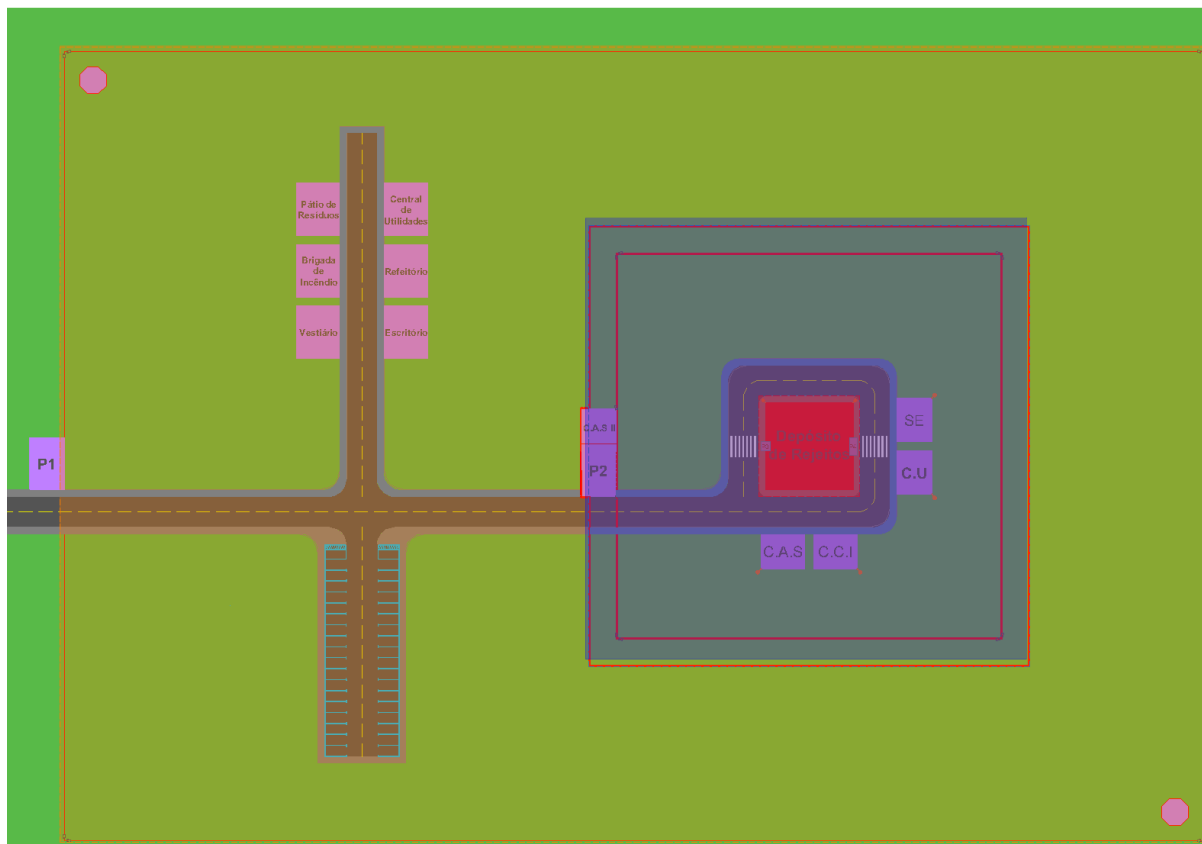
Ao centro da área vigiada existe um espaço denominado de área protegida composto por um CAS (Central Alarm Station) principal, um CAS em redundância, um Centro de Controle e Infraestrutura (CCI), uma central de utilidades e uma subestação elétrica (SE).

A área vital consiste no Depósito Intermediário de Rejeitos e se divide em duas áreas: de estocagem e de manutenção de material nuclear, sendo uma responsável por rejeitos de baixa atividade (material contaminado contendo minério de urânio e tório) e outra por rejeitos de média atividade (cabecotes em desuso de equipamentos utilizados em radioterapia, com fontes de  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{60}\text{Co}$ ).

O local de escolha da instalação hipotética Depositron foi pensado de forma que a instalação de um depósito de rejeitos intermediários deve atender tanto aos critérios de Safety quanto aos de Security, uma vez que o rejeito radioativo tende a ser armazenado em área isolada, porém segura. Para tal, o complexo foi projetado como um grande retângulo de 260 m por 180 m, perfazendo uma área total de 46.800 m<sup>2</sup> (figura 6).

O Depositron foi instalado no interior de uma área de 4 km<sup>2</sup>, tendo sido considerado para sua seleção um terreno sem elevações, vegetação rasteira e com malha viária restrita. Essas características do terreno facilitam a observação do perímetro externo pelo guardas e pelas câmeras de CFTV, a chegada de Forças de Segurança externas e, principalmente, dificultam as ações dos elementos adversos, eliminando possíveis faixas de infiltração, impedindo a realização de fogos diretos (tiro tenso) e a condução de fogos indiretos (morteiros) sobre a instalação, além de restringir a trafegabilidade de veículos no local.

Figura 6 – Área da instalação com identificação da Área Viguada (amarelo), da Área Protegida (azul) e da Área Vital (vermelho).



## 4.2 Identificação de Alvos

No complexo hipotético Depositrón é possível identificar os seguintes alvos:

Tabela 1 – Detalhamento dos alvos do Depositrón

Tipo de alvo	Quantidade	Tipo de ameaça	Classificação
Tambores de rejeitos de baixa atividade	50	Sabotagem	Categoria III CNEN NN-2.01
Tambores de rejeitos de média atividade com minérios de urânio e tório	30	Sabotagem	Categoria II CNEN NN-2.01
Cabeçotes de radioterapia com fontes de $^{137}\text{Cs}$ e $^{60}\text{Co}$	10	Roubo ou sabotagem	Categoria 1 CNEN NN-2.06

O anexo B apresenta o extrato da categorização de material nuclear definido na norma CNEN NN-2.01 (CNEN, 2019).

### 4.3 Definição das Ameaças

Definiu-se a seguinte estimativa qualitativa hipotética de ameaças para o Depositórn: crime organizado, ativismo e terrorismo.

#### a) Ameaça 1: Crime organizado

Uma organização criminoso geralmente tem motivação econômica com o objetivo de ampliar seu poder regional e obter maiores ganhos financeiros.

Na região do Depositórn houve um crescimento do crime organizado nos últimos anos, relacionado ao tráfico de drogas e roubo de cargas. Grupos criminosos com elevado poder econômico e uso de armamento militar proveniente de tráfico de armas disputam territórios do entorno e pontos de venda de drogas. Não teriam motivações relacionadas diretamente com ações criminosas tendo como alvo o material nuclear, mas por conta da crise econômico-financeira pela qual passa a região, especialmente impactada com os reflexos da pandemia de Covid-19, os chefes das facções têm buscado outras formas de obtenção de recursos para financiar suas atividades, segundo informações de investigações policiais de inteligência, como roubo a bancos com uso de armamento pesado e explosivos. Além disso, considera-se que o material nuclear possui alto valor, principalmente no mercado internacional, e por sua proximidade pode ser considerada uma alternativa para tais grupos, sem considerar a disponibilidade na instalação de equipamentos de uso comum, como computadores que também podem ser alvo de roubo.

A motivação é econômica com possibilidade de cooptação do pessoal interno da instalação com suborno ou chantagem, sendo considerada uma ameaça de alta capacidade e probabilidade de acontecer.

#### b) Ameaça 2 - Ativismo (ambientalista)

O ativismo é um movimento realizado por uma mobilização popular através de organizações não governamentais e que luta por um interesse comum, que no caso de ambientalistas, em prol do meio ambiente, defendendo os direitos dos animais, conservação do planeta, dentre outros. Costuma ter apoio da opinião pública de que a indústria nuclear é prejudicial para o meio ambiente, reforçando o risco de estar próximo a uma instalação deste tipo. Sua abordagem incluiu protestos, disseminação de informações em mídias sociais contrárias ao desenvolvimento de pesquisa nuclear, invasão de instalações nucleares e bloqueio de operações de transportes, incluindo violência física contra trabalhadores e funcionários relacionados ao local. A motivação é ideológica, mas não possuem conhecimento de proteção física nem de treinamento militar, porém considera-se que um enfrentamento entre manifestantes e a força de segurança pode culminar em um confronto violento.

#### c) Ameaça 3 – Terrorismo

A Lei 13.260, de 16 de março de 2016, define no seu artigo 2º o terrorismo como

prática realizada por um ou mais indivíduos de atos, por razões de xenofobia, discriminação ou preconceito de raça, cor, etnia e religião, quando cometidos com a finalidade de provocar terror social ou generalizado, expondo a perigo pessoa, patrimônio, a paz pública ou a incolumidade pública.

Esse tipo de ameaça pode adotar ações mais agressivas, como o roubo de material nuclear ou radiativo para confecção de dispositivos de exposição radiológica ou dispositivos de dispersão radiológica, bem como a sabotagem das instalações com vistas a causar caos político-econômico.

A motivação desse tipo de ameaça é ideológica e econômica, possuindo também alta capacidade cibernética. Considera-se que existe grande possibilidade de recrutamento de adversários entre o pessoal interno da instalação por meio de suborno, chantagem, ameaça ou extorsão por conta do grande poder econômico desses grupos. Possuem armamento e treinamento compatíveis com os de forças militares federais e elevados conhecimentos em elementos de proteção física e como contorná-los. Esta ameaça é considerada com alta probabilidade e capacidade de ação, com consequências de alta severidade.

#### 4.4 Ameaça-Base de Projeto Hipotética

A seguinte Ameaça-Base de Projeto (ABP) foi quantificada na região do Depositórn.

No município próximo onde está instalado o complexo Depositórn existe um grupo criminoso conhecido como “GMP – Gangue dos Mãos Pesadas” que atua há muitos anos na região, possui o domínio do tráfico de drogas e de armas, além de roubos de cargas nas vias do entorno. Certa vez, foram convidados a realizar um trabalho um pouco diferente do que conheciam e que vinham realizando. Sabendo que eles exerciam o controle das atividades ilícitas da região, um Estado vizinho que concorria pela corrida do domínio completo do ciclo do urânio e na hegemonia regional da área nuclear decidiu realizar uma sabotagem no recém-inaugurado complexo Depositórn.

Para tal, ofereceu uma considerável quantia financeira para a organização criminosa GMP realizar um ato de sabotagem com a finalidade de denegrir a imagem da energia nuclear do país em relação à comunidade internacional e colocar à prova todo o programa nuclear construído até o momento.

A tabela 2 resume as qualificações e descrições da ABP proposta para o estudo.

No cenário atual, considera-se que essa ameaça possui alta probabilidade e capacidade de ação, com conhecimento importante sobre os elementos de proteção física. A severidade de um ato maléfico envolvendo o crime organizado também é considerada alta por possíveis consequências radiológicas oriundas do uso de explosivos em áreas vitais e pela possibilidade de perda de vidas humanas.



Tabela 2 – Ameaça-Base de Projeto quantificada para a instalação Depósitron.

AMEAÇA-BASE DE PROJETO	CRIME ORGANIZADO
Números de adversários	8
Armas	Fuzil AR-15 + pistola 9mm
Explosivos	Dinamite
Ferramentas	Alicate para corte de cerca, escada e equipamento de comunicação por rádio VHF (PRC)
Transporte	Terrestre através de dois carros (roubados)
Conhecimento de elementos comuns de proteção física	Médio
Habilidades técnicas	Médio (cibernética e de combate)
Financiamento	Médio
Conluio com agentes internos	Não
Estrutura de apoio	Médio
Dispostos a matar/morrer	Não

No escopo deste trabalho não se considerou a ameaça interna (insider) pela necessidade de uma análise diferente que foge ao escopo deste estudo.

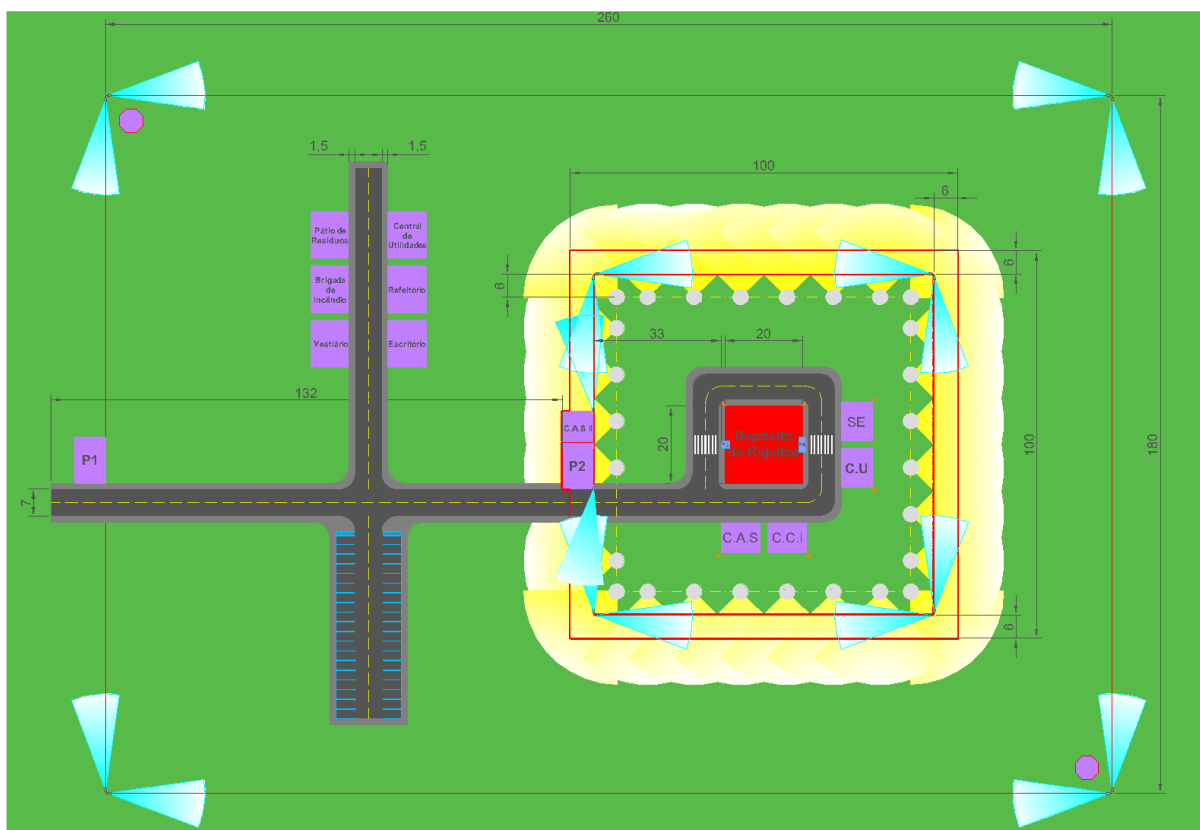
## 4.5 Projeto do SisPF

Para o projeto da instalação fictícia “Depositrón” serão levados em consideração os princípios de defesa em profundidade (camadas de barreiras que proporcionam o aumento da proteção conforme a proximidade com os alvos), balanceamento (homogeneidade da proteção conforme forma do ataque ou a rota adotada pelo adversário) e confiabilidade (minimização dos efeitos danosos ao SisPF oriundos de falhas de equipamentos). Além disso, o sistema será projetado de acordo com os requisitos da norma CNEN NN 2.01 (CNEN, 2019), objetivando avaliar o desempenho de um sistema que se encontre em conformidade com essa norma.

De acordo com Tavares (2018) um SisPF pode ser projetado de forma a atender duas estratégias principais para enfrentar a ameaça: dissuadir o adversário com medidas de proteção física que sejam consideradas difíceis de serem derrotadas; e deter o adversário utilizando recursos para detecção, retardo, interrupção e neutralização de uma ação não autorizada. As estratégias de modelagem e quantificação por meio de dados estatísticos fornecidos pela Sandia National Laboratories para deter o adversário serão utilizadas neste estudo.

A figura 7 apresenta de forma geral o SisPF, que será descrito a seguir para cada área de segurança, detalhando os sensores externos, sensores internos, vigilância e controle de acesso.

Figura 7 – Visão geral do SisPF do Depositórn.



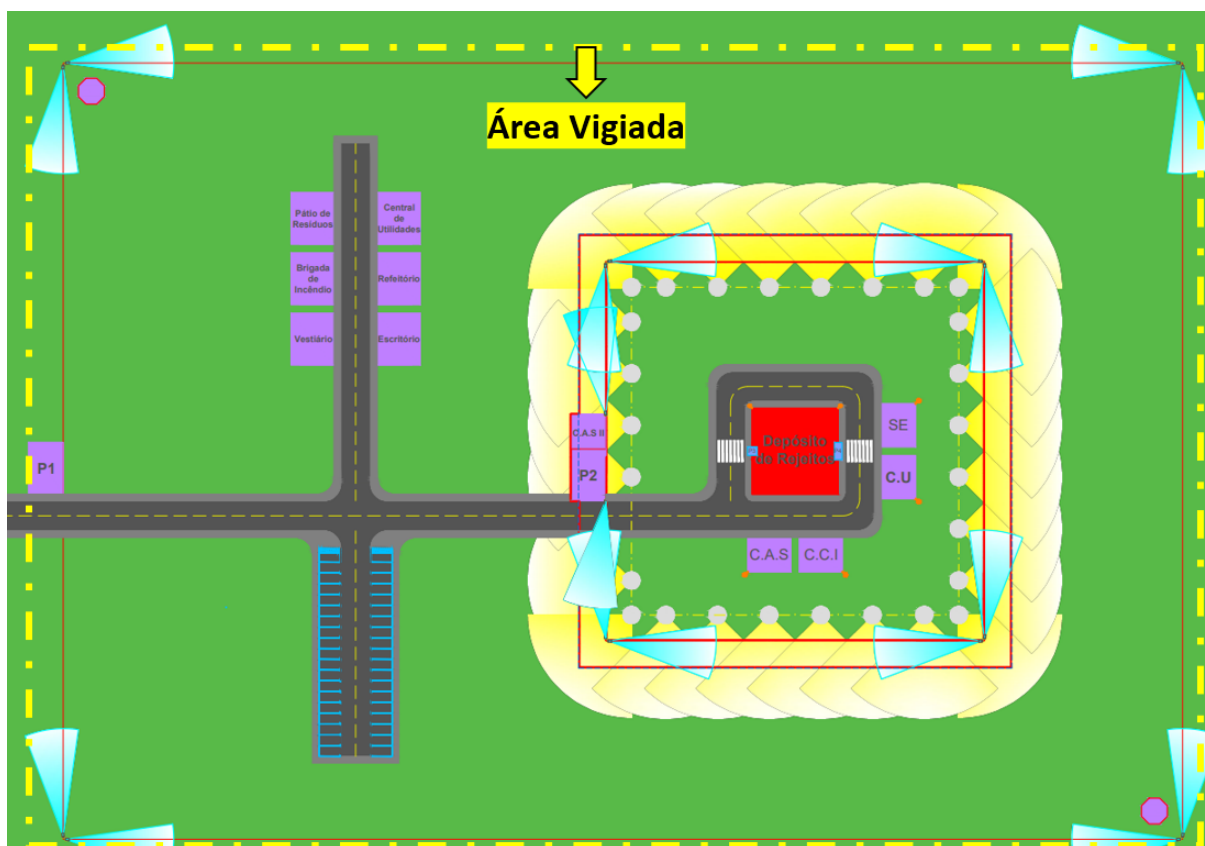
Fonte: Elaboração própria.

### a) Área Viguada

A Área Viguada possui uma guarita externa localizada na Portaria Principal (P1) com cercamento simples (sem sensor de intrusão) de arame alambrado de 4mm com malha de 50mm, fixada em escoras e mourões curvos de concreto, com arame farpado na parte curva superior do mourão. Placas de sinalização apontam que se trata de uma área de segurança com acesso restrito. Os portões P1 e P2 são também de malha metálica, tubo, acorrentados e presos com cadeado, o que provê retardo médio de 120s para um ataque com alicate de corte (Anexo D-4). Existem câmeras fixas nas extremidades (figura 8) e a cada 50m de cerca. A segurança da portaria P1 é realizada por um guarda armado (arma curta de uso civil) e um guarda desarmado para fazer o controle de acesso por identificação de pedestres e de veículos à área administrativa do complexo (escritórios, refeitório, vestiário, brigada de incêndio, central de utilidades, pátio de resíduos para recolhimento de lixo e estacionamento). Todos os acessos de galeria de águas pluviais e esgotos foram devidamente protegidos por grades com sensoriamento remoto monitorado pelo CAS.

Possui também duas guaritas denominadas Guarita Norte e Guarita Sul do tipo octogonais guarneceida por guarda armado 24h, com visão em 360º da área viguada, zona

Figura 8 – Área vigiada (AVg) do complexo Depositrón.



Fonte: Elaboração própria.

livre de tiro, holofote de longo alcance, telefone tipo hotline para comunicação com os CAS e fonoclama tipo alta voz (figura 8).

Na área vigiada existem 12 pontos eletrônicos para registro de ronda, possibilitando a realização e o controle das rondas pelos guardas.

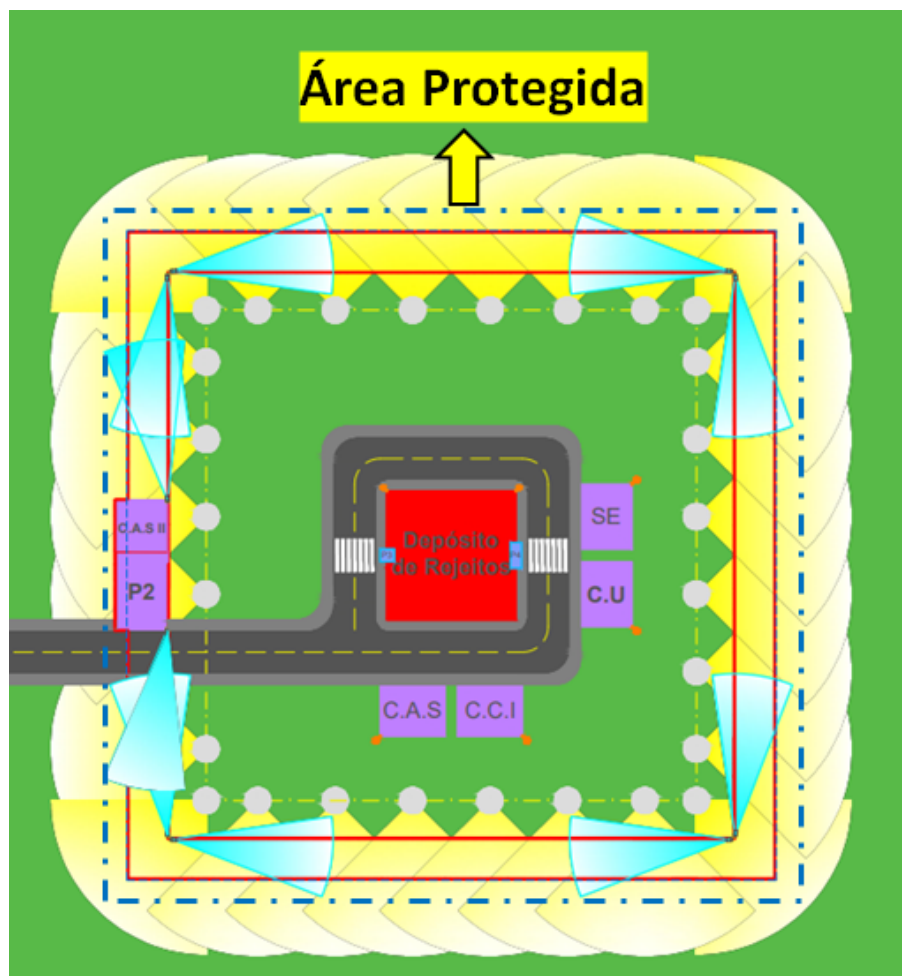
Ademais, foi estabelecida uma zona de isolamento livre de 6 metros antes e após todas as cercas do perímetro para dificultar a intrusão de elementos adversos, além da sinalização informando que se trata de uma área de segurança de acesso restrito de forma a ampliar a dissuasão de um possível adversário.

### b) Área Protegida

A Área Protegida possui uma guarita (P2) que é guarnecida por um guarda armado e um desarmado que faz o controle de acesso para pedestres e veículos (figura 9). No caso de pedestres o cidadão deverá ser verificado por um detector de metais, raio x de bagagens, detector de explosivos, detector radiológico e passar, após liberação, por um torniquete com acesso a crachá de visitante com o devido cadastro prévio. No caso de veículos, o motorista sofrerá a verificação já mencionada e o veículo passará pelo portal radiológico

que fica entre a cancela 1 e a cancela 2. Além disso, junto à portaria P2 existe uma sala do CAS II, com os sistemas redundantes do CAS para caso de emergência.

Figura 9 – Área Protegida (APt) cercada no entorno do prédio do depósito de rejeitos.



Fonte: Elaboração própria.

O cercamento da área protegida é duplo arame alambrado de 4mm com malha de 50mm, revestida em PVC, fixada em escoras e mourões curvos de concreto, com concertina na parte curva superior do mourão e concertina projetada para fora de forma a dificultar a invasão. A cerca interna fica a 6 metros de distância da externa, com mourão de concreto e blocos de concreto do tipo “New Jersey” em sua base em todo o perímetro, concertina voltada para o lado interno da instalação de forma a dificultar a saída do invasor. Entre as cercas que delimitam o perímetro da área protegida foram instalados sensores de intrusão do tipo micro-ondas. Essa combinação provê um tempo de retardo médio de 65s para um modo de ataque no qual o adversário utilize veículo e alicates cortantes (60s da cerca e 5s para derrubar o bloco de concreto com o veículo). Os portões da área protegida são do mesmo material que os de área vigiada (tempo de retardo de 120s para um ataque com alicate de corte).

O portão e as cercas no perímetro da área protegida são monitorados por câmeras fixas do sistema de Circuito Fechado de Televisão (CFTV), dotadas de software com vídeo analítico, aumentando a capacidade de detecção de intrusão e a avaliação de ameaças pelo CAS.

Todo o perímetro da área protegida possui sistema de iluminação noturna posicionada para favorecer a visualização do perímetro da área protegida, com alimentação elétrica de emergência com fonte de energia redundante através da subestação interna (SE) que possui um gerador de energia elétrica a diesel para caso de falha ou desligamento do circuito de alimentação principal da concessionária local.

Na área protegida, também existem pontos de ronda eletrônica.

### c) Área Vital

A área vital é vigiada por câmeras do tipo PTZ (pan-tilt-zoom) e possui 4 pontos eletrônicos para registro de ronda. O acesso a pedestres é feito pelo Portão de Controle (P3) através de controle de acesso extremamente rígido (figura 10).

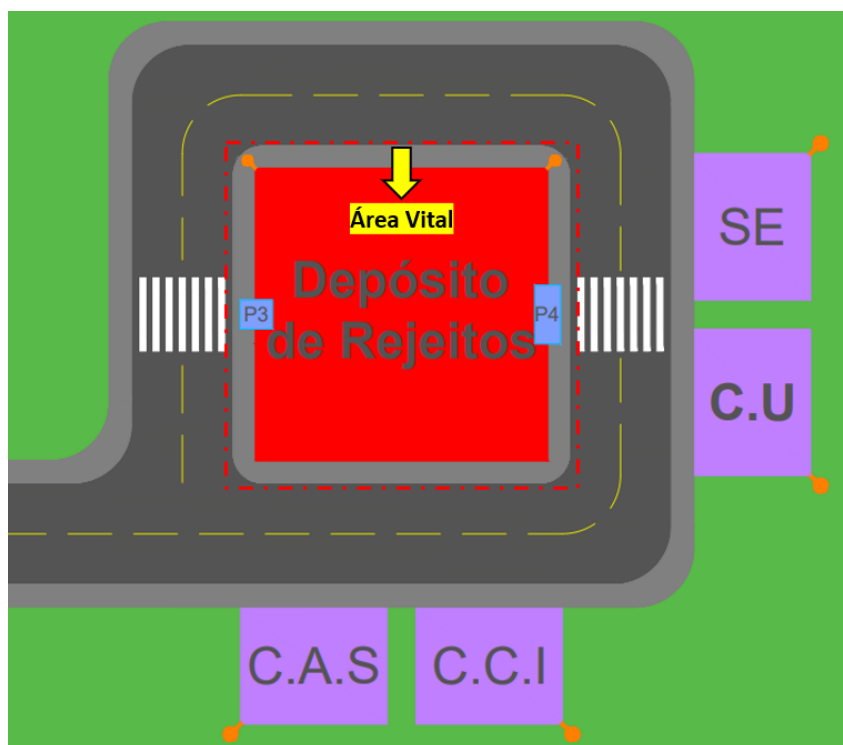
O controle de acesso é realizado na entrada principal do prédio por detectores de metais do tipo portal e de objetos, câmera de vigilância e um guarda armado acompanhando o acesso. Na área de controle, devem-se colocar os pertences no “scanner”, que é operado por um guarda desarmado, e passar pelo detector de metais, do tipo portal.

As paredes externas são de concreto reforçado de 30cm de espessura (210s de retardo para explosivos), as portas externas (P3 e P4) são do tipo pedestre industrial padrão de chapa de aço e com trancas eletromagnéticas (114s para explosivos), e não possui duto de ventilação.

O portão para entrada/saída de carga da área vital (P4) permanece fechado e com dois guardas, é usado para o recebimento de material nuclear já montado em tambor, devidamente lacrados (figura 10).

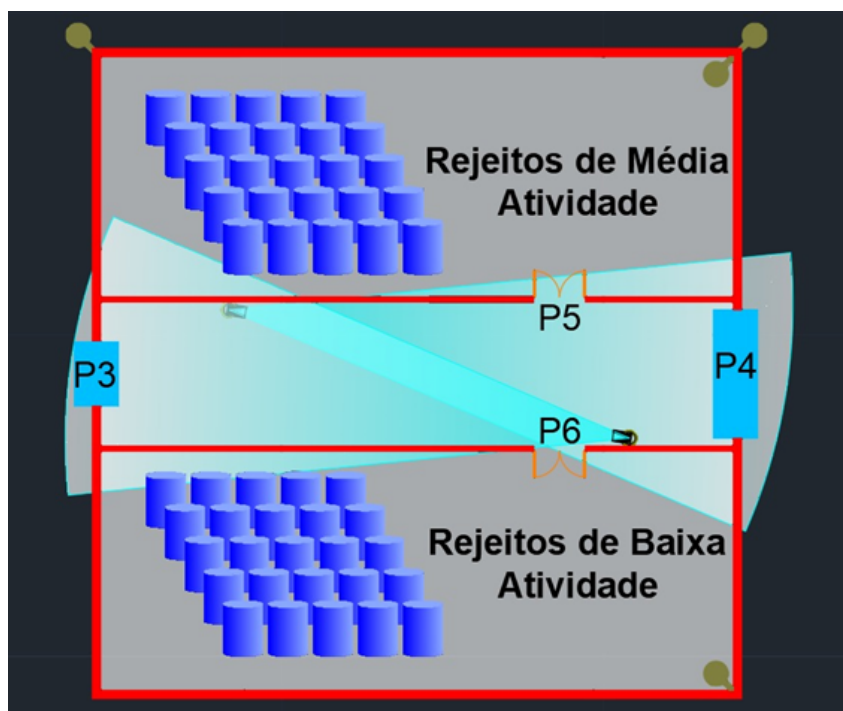
A figura abaixo (figura 11) detalha o interior do prédio do depósito de rejeitos, incluindo as salas de armazenamentos de rejeitos de média atividade considerado neste estudo possível alvo de sabotagem (acessível através do portão P5) e de baixa atividade (acessível através do portão P6).

Figura 10 – Área Vital (AVt) – Prédio do depósito de Rejeitos



Fonte: Elaboração própria.

Figura 11 – Área Vital (AVt) - Interior do prédio do depósito de rejeitos, incluindo os armazenamentos de rejeitos de média e de baixa atividade.



Fonte: Elaboração própria.

## 4.6 Força de Resposta

A função de resposta consiste nas ações tomadas pela força de resposta para impedir o sucesso do adversário, seja por meio da interrupção, seja por meio da neutralização. A interrupção é definida como a parada total do progresso do adversário. Para tal, a comunicação para a força de resposta deve conter informações precisas sobre as ações do adversário para a pronta implantação das medidas necessárias. Já a neutralização descreve as ações e a eficácia do grupamento de resposta após a interrupção (GARCIA, 2008).

Considerando que a principal medida de eficácia da resposta é o tempo entre o recebimento de uma comunicação da ação do adversário e a interrupção da ação do adversário, adotar-se-ão as seguintes condições para a instalação Depositron:

- A força de resposta é composta por todos os guardas da instalação: os que estão em ronda, os que ficam nas guaritas, os posicionados no CAS principal e no CAS II;

- Existe um supervisor para coordenar em cada turno as ações administrativas, o controle de acesso e as ações de resposta. Ele fica alocado preferencialmente no CAS, sendo responsável pela verificação do alarme antes de acionar a força de resposta. Os turnos da força de resposta são de 12 horas, com início às 7h e às 19h.

- Existem dois grupos de resposta tática por turno compostos por cinco guardas cada. Os grupos estão munidos com revólver calibre 38, algemas, rádio e lanterna. Dez armas longas (divididas entre escopetas e fuzis) ficam armazenados em um paiol seguro no CAS e CAS II. Além dos 10 guardas há mais dois guardas, também equipados, dedicados ao patrulhamento da instalação na parte interna à área vigiada, alocados nas guaritas Norte e Sul;

- A força de resposta conta com duas viaturas para uso em caso de engajamento, entre outros serviços da força de segurança, que são equipadas com rádio para comunicação com o CAS. Além disso, os guardas usam rádios de mão. O CAS principal possui fonoclamas tipo “alta voz” para emitir avisos para toda a instalação, além de telefones de emergência tipo “hot line”, sistema de gerenciamento de também presentes no CAS II, para comunicação entre si e com o grupo de resposta externo; e

- Há um total de 19 guardas em serviço por turno: dois alocados no portão P1 (entrada de veículos da área vigiada), dois guardas em P2 (entrada de pedestres), um em P3 e dois em P4 (entrada de veículos de serviço), além de um guarda fixo em cada uma das duas torres de observação da área vigiada e os dez guardas dos grupos de resposta tática. Como parte desses guardas ficam desarmados, em caso de emergência, é necessário acessar o armamento. A instalação conta, ainda, com o apoio de um grupamento de resposta externo.

A tabela abaixo apresenta os dados de desempenho para a resposta da instalação

com base nas planilhas do Laboratório Nacional de Sandia (SNL, 2015).

Tabela 3 – Desempenho da força de resposta do Depositrón.

DESCRIÇÃO	TEMPO DA FORÇA DE RESPOSTA (em segundos)
Ativação do alarme	1
Avaliação do alarme	45
Comunicação à força de resposta	18
Preparação da força de resposta	60
Time do CAS chegar ao Ponto de Encontro sob ataque	90
Time do CAS II chegar ao Ponto de Encontro sob ataque	120
Posicionamento das forças	30
Tempo médio para os dois rondantes chegarem ao Ponto de Encontro	100
Tempo para um efetivo de 12 homens	464



## 5 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO FÍSICA

Após a elaboração das fases de Definição de Requisitos e de Projeto do Sistema de Proteção Física, a terceira etapa da metodologia DEPO, conforme descrito no item 2.6 deste trabalho, é a Avaliação da Eficácia do Sistema de Proteção Física.

Esta avaliação tem como objetivo principal a análise geral do SisPF a partir do cálculo da probabilidade global de eficácia do sistema (PE), sendo considerada fundamental para identificar possíveis vulnerabilidades no projeto que demandem ações corretivas para a manutenção dos requisitos do sistema de proteção física; verificar o atendimento e adequação do sistema projetado frente à Ameaça-Base de Projeto; propor diferentes possibilidades de melhoria para o sistema, buscando a melhor relação custo-benefício; e repetir periodicamente a análise de eficácia do SisPF, levando-se em consideração mudanças no cenário da instalação e das ameaças ao seu entorno (GARCIA, 2008).

Foi considerado como base para o cálculo da PE, que representa a vulnerabilidade do SisPF para a ameaça definida, a equação apresentada na metodologia e definido para efeitos deste trabalho o valor aceitável igual ou superior a 0,85. O valor da probabilidade global de eficácia do sistema (PE) é arbitrário de cada país, como o o Brasil ainda não possui este valor definido, o valor de 0,85 foi definido como o mínimo aceitável para fins deste trabalho, seguindo o valor de referência utilizado nos cursos da Agência Internacional de Energia Atômica e do Laboratório Nacional de Sandia.

Para fins deste trabalho, a PE será calculada através dos métodos de diagramas de sequência de adversário (DSA), análise de múltiplos caminhos e análise de neutralização, os quais serão abordados a seguir.

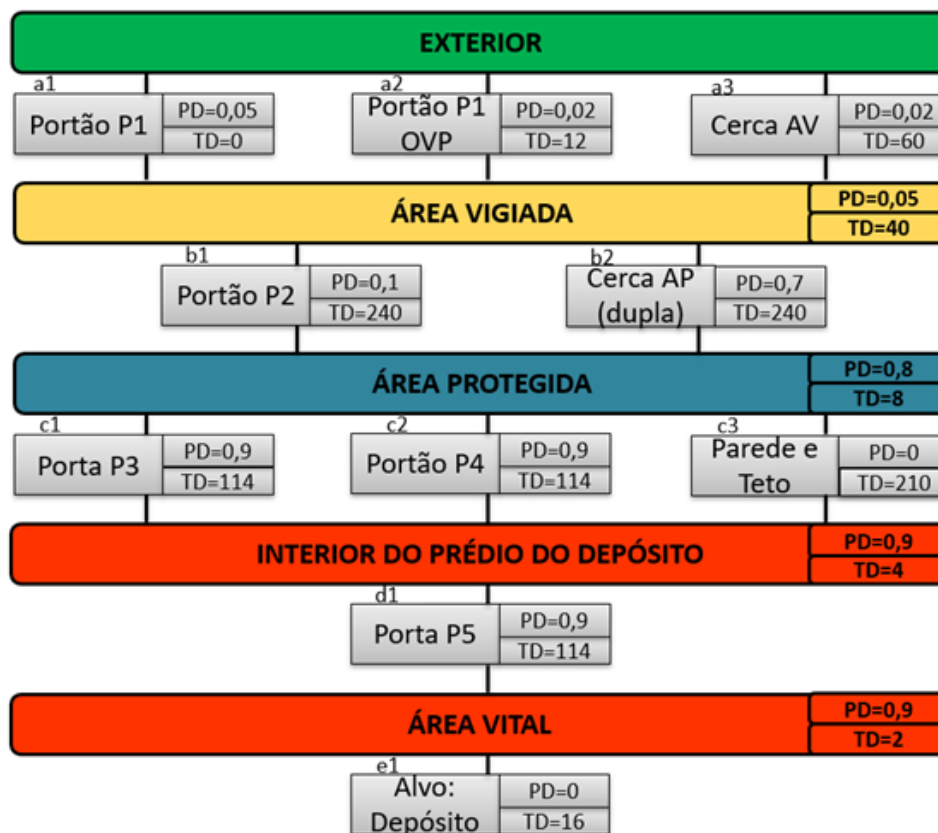
### 5.1 DIAGRAMAS DE SEQUÊNCIA DE ADVERSÁRIO (DSA)

O Diagrama de Sequência de Adversário (DSA) é uma representação gráfica dos elementos do sistema de proteção física e é utilizado para ajudar a avaliar a eficácia do SisPF de uma instalação, pois através dele, fica evidente os caminhos que os adversários podem seguir para realizar sabotagem ou objetivos de roubo. (GARCIA, 2008).

O DSA indica para cada caminho a probabilidade de detecção (PD) e o tempo de retardo (TD) associado a cada elemento de barreira física da instalação. A figura 12 abaixo apresenta o DSA para um ataque de sabotagem na Área Vital do Depositórn preenchido tendo por base os dados de projeto do capítulo 4, e com os dados aplicáveis dos anexos C e D, conforme memória de cálculo para construção do DSA apresentada no apêndice 1.

Cada caminho é identificado por um vetor cujos valores são expressos no DSA, por

Figura 12 – Diagrama de Sequência de Adversário para um ataque de sabotagem no Depositórn.



Fonte: Elaboração própria.

exemplo, [a1, b1, c1, d1 e e1] é um dos caminhos. Portanto, a1, a2 e a3 são os possíveis caminhos para a entrada na área vigiada; b1 e b2 são os possíveis acessos para a área protegida, c1, c2 e c3 são os obstáculos a serem transpostos para entrar no interior no depósito; d1 é uma forma de acessar a área vital (depósito contendo os tambores com rejeitos de média atividade) e e1 é o ato de sabotagem (explosão e dispersão do material radioativo). É possível percorrer 18 caminhos diferentes pela combinação de todos os itens.

## 5.2 ANÁLISE DE MÚLTIPLOS CAMINHOS

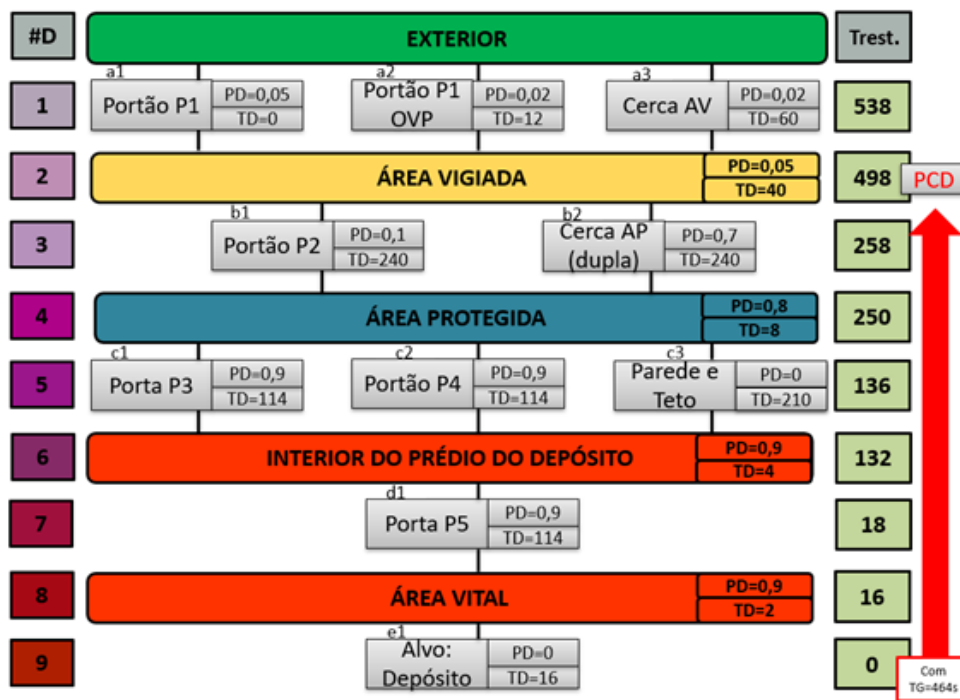
Esse método permite o cálculo da Probabilidade de Interrupção (PI) para todos os possíveis caminhos que o adversário pode percorrer para atingir o alvo sob uma forma de ataque.

O Ponto Crítico de Detecção (PCD) é utilizado para a análise de interrupção como o marco temporal limiar para o sucesso da força de resposta, permitindo atuar em tempo hábil na interrupção e na neutralização do ato malicioso (HAEA, 2015).

O tempo de resposta da força de segurança (TG) é de 464s (conforme tabela 3 da

seção 4.6 – Força de Resposta) e encontra-se entre os pontos 2 e 3, portanto o PCD se localiza no ponto 2 (segunda oportunidade de detecção), conforme figura 13 abaixo.

Figura 13 – Diagrama de Sequência de Adversário para a análise de múltiplos caminhos do Depositórn.



Fonte: Elaboração própria.

Com isso, o cálculo da probabilidade de interrupção se apresenta da seguinte forma:

$$PI = 1 - [(1 - PD_1)(1 - PD_2)] \rightarrow PI = 1 - [(1 - 0,02)(1 - 0,05)] = 0,069 = 6,9\% \quad (5.1)$$

Onde  $PD_1=0,02$  representa o elemento  $a_2$  (que é a ultrapassagem sobre o portão P1) e  $PD_2=0,05$  representa a probabilidade de detecção da área vigiada, conforme observado no DSA.

A figura 14 apresenta a probabilidade de interrupção para os 18 possíveis caminhos com o tempo de resposta de 464s (a memória de cálculo encontra-se na tabela 6 do apêndice B).

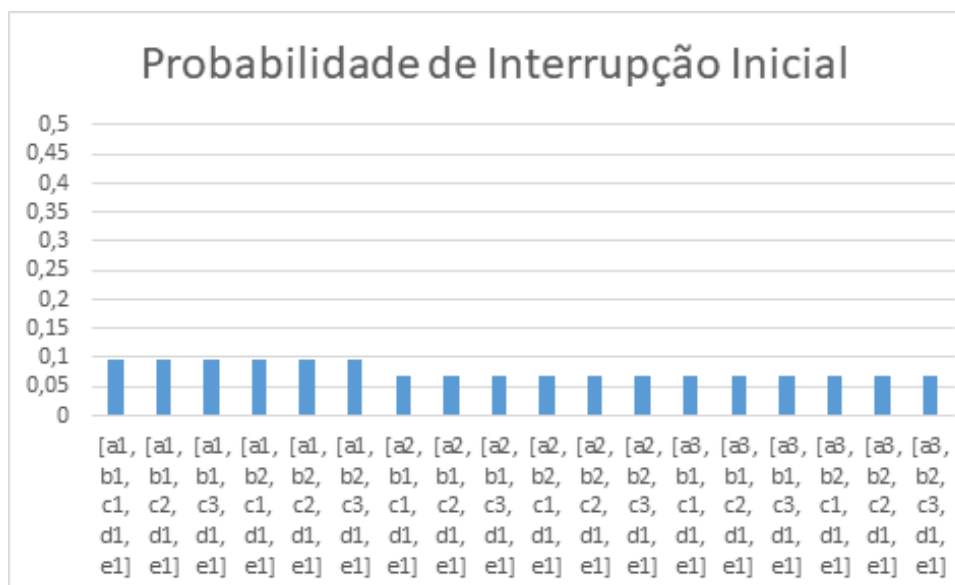
Considerando o valor de  $PN=0,94$  (tabela do anexo F, referente a 12 respondedores para 8 adversários), tem-se:

$$PE = PI \times PN$$

$$PE = 0,069 \times 0,94 \quad (5.2)$$

$$PE = 6,5\%$$

Figura 14 – Probabilidades de Interrupção inicial para todos os caminhos até o PCD.



Fonte: Elaboração própria.

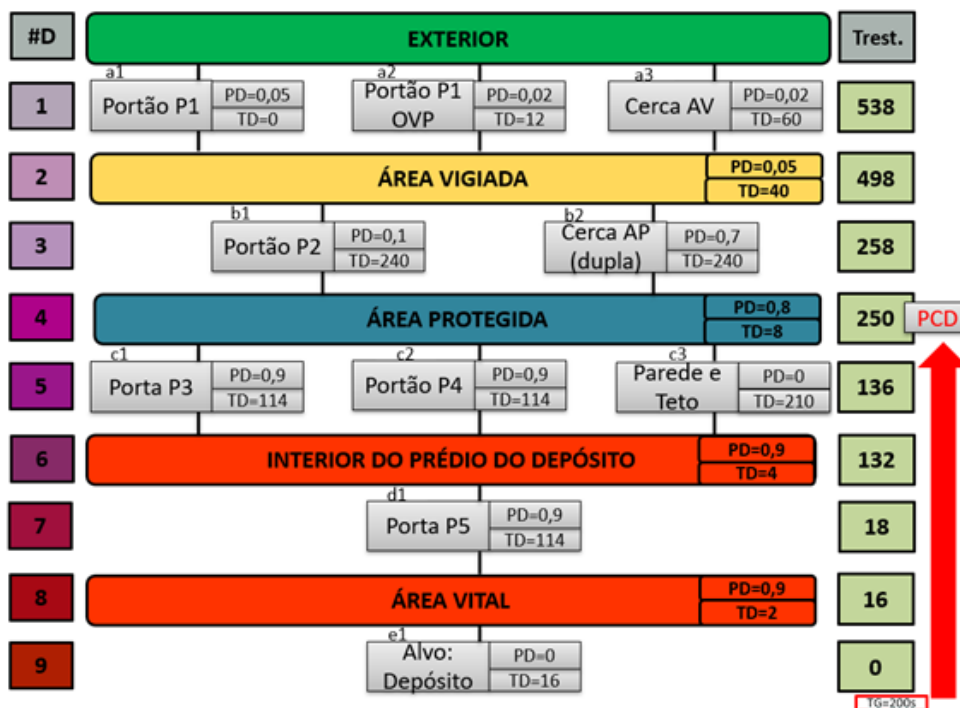
O valor de 6,5% de probabilidade global de eficácia do sistema é considerado extremamente baixo para um projeto de proteção física de uma instalação nuclear, estima-se que o valor ideal considerado neste trabalho seja igual ou superior a 85%. Portanto, algumas melhorias devem ser propostas e implementadas ao sistema de proteção física, como:

- o tempo da força de resposta (TG) deve ser reduzido;
- os tempos de retardo (TD) das barreiras mais próximas ao alvo devem ser ampliados; e
- a probabilidade de detecção (PD) em áreas mais externas à área vital deve ser aumentada.

A análise da implementação de tais medidas será descrita a seguir. Como medida inicial, foi proposta a redução do tempo de resposta da força de segurança, que pode ser conseguida por meio de ações como melhorias em procedimentos, comunicação mais eficiente, reposicionamento das forças de resposta, entre outras. Como não é possível medir o impacto destas ações no TG em um projeto hipotético, supõe-se arbitrariamente para a análise deste estudo que o TG se reduza para 200s e passe a se localizar entre os pontos de detecção 4 e 5, e PCD no ponto 4 (figura 15). Isso faz com que o cálculo da probabilidade de interrupção para todos os caminhos deve incluir até o ponto de detecção 4. A memória de cálculo para obtenção dos valores de PI é apresentada na tabela 6 do apêndice B.

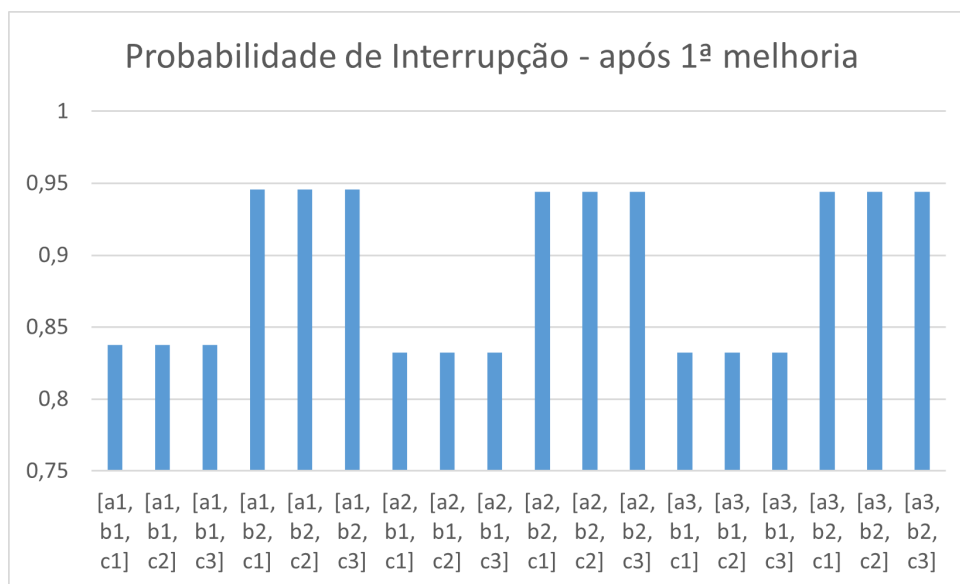
Os resultados obtidos na análise de múltiplos caminhos após a primeira melhoria podem ser visualizados na figura 16:

Figura 15 – Probabilidades de Interrupção para todos os caminhos até o PCD com TG=200s.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 16 – Impacto da 1ª melhoria na Probabilidade de Interrupção para todos os caminhos até o PCD.



Fonte: Elaboração própria.

Neste caso, o valor de PE utilizando o menor valor de PI da figura 16 (0,83242) e considerando o valor de PN=0,94 (tabela do anexo E, referente a 12 respondedores para 8 adversários), tem-se:

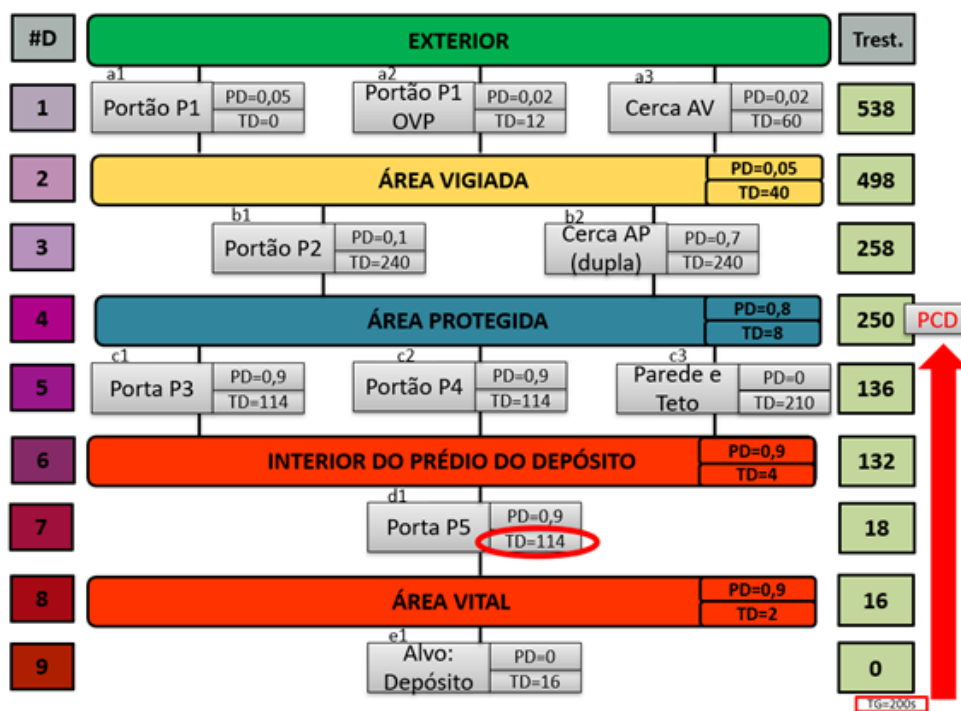
$$PE = 0,83242 \times 0,94$$

$$PE = 78,2\%$$
(5.3)

Isto demonstra que apenas com a primeira melhoria, houve um aumento de 6,5% para 78% na PE, incremento substancial na eficácia do SisPF.

Uma segunda melhoria proposta e implementada ao sistema de proteção física seria o aumento do tempo de retardo (TD) nas barreiras mais próximas ao alvo, neste caso, o ponto mais eficiente para sofrer essa melhoria seria associado ao elemento d1 do DSA (figura 17).

Figura 17 – Tempo de retardo associado ao elemento d1 antes da segunda melhoria.

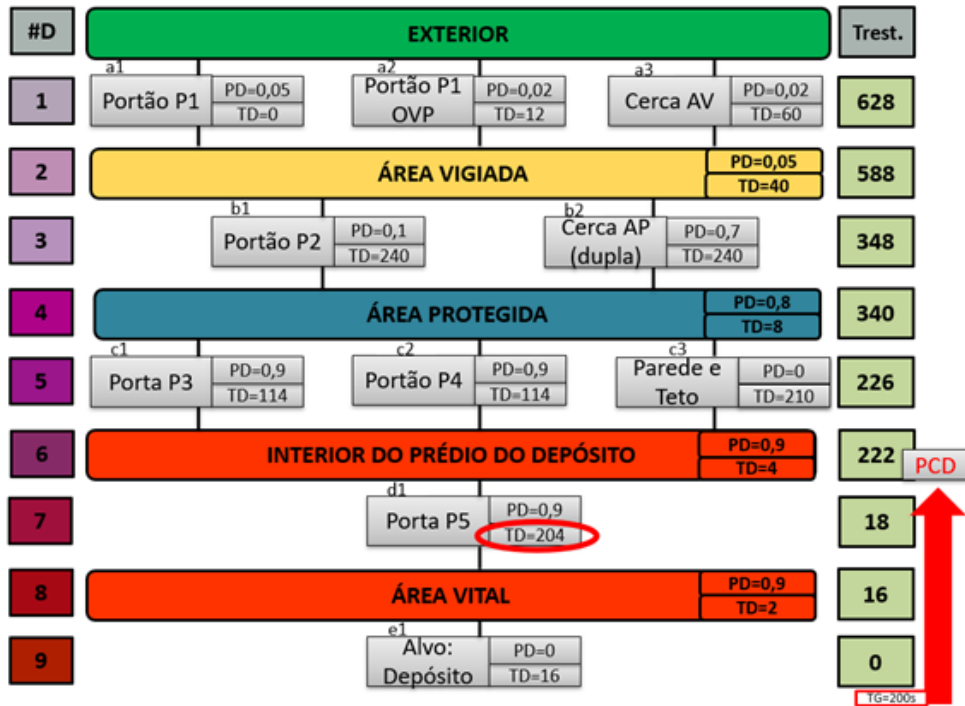


Fonte: Elaboração própria.

Escolheu-se a utilização de um cadeado de alta segurança no portão P5 como medida de melhoria. De acordo com a TAB D-1 (anexo D), o tempo de retardo associado ao elemento d1 por meio da utilização do cadeado (high security padlock) sofrerá um acréscimo de 90s, perfazendo um TD de 204s, conforme figura 18.

Com o aumento do TD considerado na segunda melhoria, o Trest apresentado na figura anterior passe a contabilizar esse incremento de tempo, fazendo com que o PCD se localize na região entre a porta P5 e o interior do prédio do depósito, tornando a inclusão dos elementos c1, c2 e c3 e do interior do prédio do depósito PD=0,9 nos cálculos de PI para os caminhos.

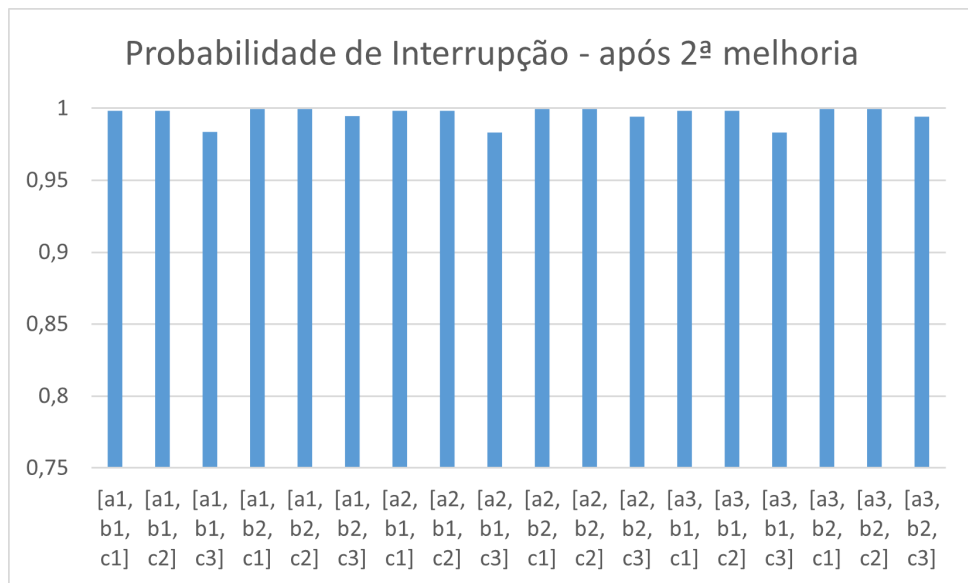
Figura 18 – Tempo de retardo associado ao elemento d1 depois da segunda melhoria.



Fonte: Elaboração própria.

O gráfico abaixo apresenta o impacto da segunda melhoria na Probabilidade de Interrupção:

Figura 19 – Impacto da 2ª melhoria na Probabilidades de Interrupção para todos os caminhos até o PCD.



Fonte: Elaboração própria.

Com isso, o valor de PE utilizando o menor valor de PI da figura acima (0,9832) e

considerando o valor de  $PN=0,94$  (tabela do anexo E, referente a 12 respondedores para 8 adversários), tem-se:

$$\begin{aligned} PE &= 0,9832 \times 0,94 \\ PE &= 92,4\% \end{aligned} \tag{5.4}$$

Portanto, com a segunda melhoria implementada, a eficácia do SisPF chega a 92,4%, superior ao valor aceitável de 85%.

A terceira melhoria proposta teria por finalidade aumentar a probabilidade de detecção nos elementos b1 e c3. O elemento b1 é o portão P2 da área vigiada, cujo valor de PD é menor do que b2, que está na mesma camada de segurança. O controle de acesso ao portão P2, que é realizado com verificação visual de crachá de visitante, precisa de melhorias em sua detecção. Se tal controle for realizado por biometria previamente cadastrada a PD passa a ser 0,95, conforme tabela 11 do anexo C (ID Verification – Fingerprint and PIN). Já o elemento c3 representa o acesso ao interior do prédio da área vital através da parede e do teto, que apresenta PD igual a zero. Se forem instalados sensores infravermelhos o PD alteraria para 0,5, conforme tabela 10 do anexo C (Interior Sensors - Infrared).

Porém, considerando que após implementadas a primeira e a segunda melhorias propostas o valor global de eficácia do sistema de proteção física já está satisfatório, a terceira medida não se faz necessária, principalmente pelo alto investimento financeiro que seria despendido para a implementação das medidas acima descritas.

### 5.3 ANÁLISE DE NEUTRALIZAÇÃO

A análise de neutralização do presente estudo será realizada utilizando um método numérico simplificado, proposto pelo SNL e AIEA (SNL, 2015). O método compara três fatores: efetivo das forças, armamentos e tempo de resposta. Utiliza uma razão numérica de 3-1 entre forças com o mesmo nível de treinamento e armamento, sendo mais eficaz uma força mais numerosa. Tal razão compensa incertezas relacionadas ao fator surpresa, por exemplo.

O seguinte algoritmo deverá ser considerado na utilização do método:

- a) se as capacidades do adversário em termos de armamento e número de combatentes excederem àquelas da força de resposta - definir  $PN=0$ ;
- b) se as capacidades da força de resposta em termos de armamento e número de combatentes excederem àquelas da força inimiga, definir  $PN=1$ ; e



- c) se as capacidades das forças forem equivalentes, usar a tabela de probabilidades 26, constante do Anexo E, que determina os valores de PN como função direta do número de atacantes e de respondedores.

A instalação Depositron possui 12 respondedores armados (móveis), sendo 10 dedicados (5 no CAS e 5 no CAS II) e dois rondantes. Considerando os dados da Tabela 26, para uma ABP de 8 adversários com armamentos similares (fuzil, pistola), tem-se os seguintes valores de PN e de PE, sendo que a PI calculada no subitem anterior é de 0,92.

Tabela 4 – Número mínimo de respondedores

Número de respondedores	PI	PN	PE = PI * PN
12 (10 + 2 rondantes)	0,98	0,94	0,92
11	0,98	0,88	0,86
10	0,98	0,79	0,77 (abaixo de 0,85)

Com a eficácia mínima aceitável de 0,85, e o valor de PI é 0,92, e considerando ( $PN_{min} = PE_{min} / PI$ ), tem-se, ( $PN_{min} = 0,85/0,98$ ), logo o valor de PN mínimo neste caso é de 0,86, o que na tabela 26 representa o número mínimo de 11 respondedores para a instalação considerando o ABP estabelecido, onde PN é igual a 0,88 e a probabilidade global de eficácia do sistema (PE) é igual a 0,86, valor superior ao mínimo proposto.

Diante do exposto, a análise de neutralização permite concluir que o número de respondedores (12) está de acordo com o mínimo recomendado (11) para a instalação em estudo.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil, como país membro da AIEA, é signatário de todas as Convenções sobre proteção e segurança nuclear e pauta sua ação internacional pelo princípio de que a Segurança Física Nuclear é responsabilidade de cada Estado e uma preocupação coletiva internacional.

A elaboração de uma proposta de um projeto de segurança nuclear para uma instalação de um depósito intermediário de rejeitos radioativos é de grande relevância para a proteção e a segurança do Programa Nuclear Brasileiro em consonância com a Política Nacional de Defesa do Governo Federal.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo descrever, apresentar e avaliar um projeto de segurança física nuclear para uma instalação de um depósito intermediário de rejeitos radioativos, seguindo os critérios de segurança explicitados nos padrões e normas internacionais, e em consonância aos critérios sugeridos pela AIEA e determinados pela CNEN.

A pesquisa se baseou nos principais conceitos relacionados com a área de segurança física nuclear, tais como, tipos de depósitos e tipos de rejeitos radioativos, descrição das ameaças, etapas para a elaboração de um projeto de segurança física nuclear, critérios de segurança e medidas a serem implementadas e observadas para um depósito intermediário de rejeitos radioativos.

Para o projeto da instalação fictícia “Depositron” foram levados em consideração os princípios de defesa em profundidade, balanceamento e confiabilidade. Além disso, o sistema foi projetado de acordo com os requisitos da norma CNEN NN 2.01, objetivando avaliar o desempenho de um sistema que se encontre em conformidade com essa norma.

A avaliação geral do Sistema de Proteção Física (SisPF) foi realizada a partir do cálculo da probabilidade global de eficácia do sistema (PE) através dos métodos de diagramas de sequência de adversário, análise de caminhos e análise de neutralização.

A análise de múltiplos caminhos identificou falhas no projeto inicial seja por uma proteção desbalanceada em termos de retardo, por não permitir a ação da força de resposta em tempo hábil à neutralização do adversário, ou por não prover uma probabilidade de detecção adequada, que levaram a um valor de PE de apenas de 6,5 %, considerado extremamente baixo para um projeto de proteção física de uma instalação nuclear.

Com o auxílio da metodologia aplicada, algumas melhorias ao sistema de proteção física foram propostas e seus impactos analisados. Como medida inicial, foi proposta a redução do tempo de resposta da força de segurança (de 464s para 200s), por meio de

ações como melhorias em procedimentos, comunicação mais eficiente, reposicionamento das forças de resposta, entre outras. Houve um aumento de 6,5% para 78% na PE, incremento substancial na eficácia do SisPF.

Uma segunda melhoria proposta e implementada ao sistema de proteção física foi o aumento do tempo de retardo (TD) nas barreiras mais próximas ao alvo, no caso, o ponto mais suscetível para sofrer essa melhoria era associado ao elemento d1 do DSA. Com a segunda melhoria implementada a eficácia do SisPF chegou a 92%, superior ao valor aceitável de 85%.

Os resultados apontaram que a avaliação do projeto fictício proposto permitiu adaptações para que o nível ideal de eficácia do SisPF fosse atingido com o mínimo de intervenções.

Salienta-se que o projeto inicial foi elaborado em conformidade com os critérios da norma CNEN NN-2.01 e, mesmo assim, apresentou uma probabilidade de eficácia global baixa, levando à necessidade de adequações que não seriam visualizadas apenas com a verificação de atendimento aos normativos vigentes. As melhorias propostas somente foram possíveis pela análise do DSA e das probabilidades de interrupção para os possíveis caminhos, abordagem baseada em desempenho.

O PCD mostrou-se como um parâmetro muito importante na definição da posição adequada dos recursos tecnológicos para a obtenção dos melhores resultados para a proteção física. A utilização dos recursos em elementos de detecção em áreas interiores ao PCD não apresenta impacto importante, pois o limite de detecção do adversário em tempo hábil para atuação da força de resposta encontra-se no PCD. Portanto, um projeto mostra-se mais eficiente quando associa uma elevada probabilidade de detecção na área externa ao PCD e um elevado tempo de retardo interno.

O objetivo final de um Projeto do Sistema de Proteção Física é impedir a realização de atos maléficos, evitar a sabotagem de equipamentos e o roubo de bens ou informações de dentro da instalação, além da proteção de pessoas. Neste sentido, medidas preventivas e de planejamento de respostas e ações são imprescindíveis para a garantia da integridade, da invulnerabilidade e da proteção dos materiais, das instalações, do conhecimento e da tecnologia nucleares envolvidas no Programa Nuclear Brasileiro.

Além disso, a aplicação da metodologia DEPO em um projeto de proteção física de uma instalação nuclear demonstrou fragilidades da elaboração destes projetos apenas seguindo as normas vigentes, utilizando uma abordagem prescritiva tradicional. Assim, o trabalho trouxe como contribuição a discussão sobre a importância da análise de desempenho para a avaliação geral das vulnerabilidades do SisPF.

Por fim, vale ressaltar a necessidade de se manter uma cultura de segurança física nuclear sempre ativa através de capacitação constante dos colaboradores com a finalidade

de reduzir a possibilidade de coação de agentes internos (insiders).

Os resultados também assinalam para a necessidade de realização de outros estudos para aprofundamento do tema abordado, como por exemplo: metodologias para análises de ameaças e elaboração de ameaça-base de projeto adequada ao cenário brasileiro; estudo para criação de centro de treinamento para elaboração das tabelas de tempo de resposta, probabilidades de detecção e capacitação da força de resposta em instalações nucleares existentes; estudos de viabilidade por parte da CNEN para implementação da análise por performance como um método da avaliação normativa; elaboração de metodologias mais adequadas para identificação de alvos; estudos mais detalhados sobre o desempenho de tecnologias para controle de acesso, detecção e retardo; estudos sobre segurança cibernética e seus impactos para o SisPF; pesquisas com propostas de proteção física de operações de transporte; estudos sobre avaliação de vulnerabilidades; pesquisas a respeito de contingência e preparo para resposta a incidentes; entre outros.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. M. R; SANTOS, T. L. Desafios do Desenvolvimento Tecnológico Nuclear Autônomo. ANPUH – XXIII Simpósio Nacional de História – Londrina, 2005. Disponível em: <[https://anpuh.org.br/uploads/anais-simposios/pdf/2019-01/1548206572\\_c5f5e28217a0dc21760e990e38f71150.pdf](https://anpuh.org.br/uploads/anais-simposios/pdf/2019-01/1548206572_c5f5e28217a0dc21760e990e38f71150.pdf)>. Acesso em: 03 fev. 2021.

BRASIL. Política de Defesa Nacional. Aprovada pelo Decreto 5484, de 30.06.2005. Brasília: 2005. Disponível em: <<https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/2012/mes07/pnd.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2021.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 9.600, de 5 de dezembro de 2018 - Consolida as diretrizes sobre a Política Nuclear Brasileira.

\_\_\_\_\_. Lei nº 14.222, de 15 de outubro de 2021 - Cria a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN).

BUNN, Matthew. Global approaches to nuclear security. Harvard, 1 Jun. 2013. Disponível em: <[http://belfercenter.ksg.harvard.edu/publication/23238/strengthening\\_global\\_approaches\\_to\\_nuclear\\_security.html](http://belfercenter.ksg.harvard.edu/publication/23238/strengthening_global_approaches_to_nuclear_security.html)>. Acesso em: 13 fev. 2021.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Norma CNEN-NN 2.01, Proteção Física de Materiais e Instalações Nucleares. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. Norma CNEN-NN-2.06, Proteção Física de Fontes Radiativas e Instalações Radiativas Associadas. Rio de Janeiro, 2019.

\_\_\_\_\_. Norma CNEN-NN-8.01, Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação. Rio de Janeiro, 2014b.

\_\_\_\_\_. Norma CNEN-NN-8.02, Licenciamento de Depósito de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação. Rio de Janeiro, 2014a.

\_\_\_\_\_. Glossário do Setor Nuclear e Radiológico Brasileiro. Rio de Janeiro, RJ, 2020. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/glossario.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2021

\_\_\_\_\_. Institucional. Armazenamento de Rejeitos Radioativos. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <<http://antigo.cnen.gov.br/armazenamento-de-rejeitos-radiotivos>>. Acesso em: 21 fev. 2022.

\_\_\_\_\_. Institucional. Competências. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-a-informacao/institucional>>. Acesso em: 21 fev. 2022.

ELBARADEI, M. Nuclear Terrorism: Identifying and Combating the Risks. International Conference on Nuclear Security: Global Directions for the Future, 2005. Disponível em:

<<https://www.iaea.org/newscenter/statements/nuclear-terrorism-identifying-and-combating-risks>>. Acesso em: 03 fev. 2021.

FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GARCIA, M. L. The design and evaluation of physical protection system. 2. ed. Butterworth-Heinemann – Elsevier Science (USA), 2008.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. Revista de Administração de Empresas, v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rae/a/ZX4cTGrqYfVhr7LvVyDBgdb/?lang=p>>. Acesso em: 31 jun. 2021.

GOVERNO DO ESTADO DE GOIÁS. Secretaria de Estado de Saúde. Césio 137 Goiânia. Disponível em:<<https://www.saude.go.gov.br/cesio137goiania>>. Acesso em: 06 set. 2021.

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

HAEA. Hungarian Atomic Energy Authority. Guideline PP-9-version 2. Evaluation of the effectiveness of the physical protection system of nuclear facilities, and radioactive waste temporary storage and final disposal facilities. Hungria, 2015. Disponível em: <[http://www.oah.hu/web/v3/HAEAportal.nsf/AF56E3A1E23F3932C1257CA700432BBC/\pprotect\T1\textdollarFile/PP-09v2-Evaluation%20of%20the%20effectiveness%20of%20the%20physical%20protection%20system%20of%20nuclear%20facilities\\_hp.pdf](http://www.oah.hu/web/v3/HAEAportal.nsf/AF56E3A1E23F3932C1257CA700432BBC/\pprotect\T1\textdollarFile/PP-09v2-Evaluation%20of%20the%20effectiveness%20of%20the%20physical%20protection%20system%20of%20nuclear%20facilities_hp.pdf)>. Acesso em: 31 mar.2022.

AIEA. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Dosimetric and medical aspects of the radiological accident in Goiania in 1987. Vienna, Austria, Jun. 1998. Disponível em: <[http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1009\\_prn.pdf](http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1009_prn.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2021

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (A). Preventive and protective measures against insider threats. Vienna, Austria, Sep. 2008. Disponível em:<[http://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/pub1359\\_web.pdf](http://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/pub1359_web.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2021.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Severe accident management programmes for nuclear power plants. Vienna, Austria, Jul. 2009a. Disponível em: <[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1376\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1376_web.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2021

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Security of radioactive sources. Vienna. Austria, Nov. 2009b. Disponível em: <[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1387\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1387_web.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2021.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Development, use and maintenance of design basis threat (DBT). Vienna, Austria, 2009c. Disponível em: <[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1386\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1386_web.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2021.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Nuclear Security Series n° 10. Development, Use, and Maintenance of the Design Basis Threat / Desenvolvimento, Uso e Manutenção da Ameaça Base Projeto. Viena: 2009d. Disponível em: <<https://www.iaea.org/publications/8097/development-use-and-maintenance-of-the-design-basis-threat>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. The International Legal Framework for Nuclear Security. Viena: 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: 10 fev. 2021.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Nuclear Security Series n° 13. Nuclear Security Recommendation on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/ Revision 5). Viena: 2011a. Disponível em: <<https://www.iaea.org/publications/8629/nuclear-security-recommendations-on-physical-protection-of-nuclear-material-and-nuclear-facilities-infcirc/225/revision-5>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Dirt bomb threat. Vienna, Austria, 19 Feb. 2015a. Disponível em: <<http://www-ns.iaea.org/security/dirtybombs.asp?s=4>>. Acesso em: 20 fev. 2021.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Expert's meeting on assessment and prognosis in response to a nuclear or radiological emergency. Vienna, Austria, 20-24 Apr., 2015b.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Conducting Computer Security Assessments at Nuclear Facilities. Vienna: 2016. Disponível em: <<https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TDL006web.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. IAEA Safety Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection 2018 Edition. Vienna, Austria, 2019. Disponível em: <[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1830\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1830_web.pdf)>. Acesso em: 06 set. 2021.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Convenção sobre a Proteção Física de Material Nuclear (CPPNM) e sua Emenda. Vienna, Austria, 2021a. Disponível em: <<https://www.iaea.org/publications/documents/conventions/convention-physical-protection-nuclear-material-and-its-amendment>>. Acesso em: 13 set. 2021.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Divisão de Segurança

Nuclear. Vienna, Austria, 2021b. Disponível em: <<<https://www.iaea.org/about/organizational-structure/department-of-nuclear-safety-and-security/division-of-nuclear-security>>>. Acesso em: 13 set. 2021.

\_\_\_\_\_. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Rede Global de Segurança e Proteção Nuclear (GNSSN). Vienna, Austria, 2021c. Disponível em: <<<https://www.iaea.org/services/networks/global-nuclear-safety-and-security-network>>>. Acesso em: 13 set. 2021.

MRABIT, Khammar. IAEA incident and trafficking database (ITDB) Incidents of nuclear and other radioactive material out of regulatory control. Vienna, Austria, 2015. Disponível em: <<https://www-ns.iaea.org/downloads/security/itdb-fact-sheet.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2021.

NABBED Smugglers Caught Trying to Transport Ingredients for Nuke to ISIL. SPUTNIK INTERNATIONAL, 2015. Disponível em: <<http://sputniknews.com/world/20151007/1028138177/islamic-state-smugglers-dirty-bomb.html#ixzz46GvB5PPf>>. Acesso em: 06 set. 2021.

NNSA - Department of Energy, National Nuclear Security Administration - Colaboração Técnica sobre Fundamentos dos Sistemas de Proteção Física. ABRIL/2021

NODARI, C. J. Gerenciamento na Estocagem a Seco de Combustível Nuclear Irradiado em Operação de Longo Prazo. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2019.

PIZZANI, L.; SILVA, R.; BELLO, S.; HAYASHI, M. (2012). A arte da pesquisa bibliográfica na busca do conhecimento. Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação. V. 10 N. 2 (2012): JUL./DEZ. Disponível em: <[https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/1896/pdf\\_28](https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/1896/pdf_28)>. Acesso em: 31 jun. 2021.

SNL. SANDIA NATIONAL LABORATORIES. International Training Course on Physical Protection of Nuclear Material and Facilities. 2015. Disponível em: <<https://https://www.sandia.gov/>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

\_\_\_\_\_. SANDIA NATIONAL LABORATORIES. International Training Course on Physical Protection of Nuclear Material and Facilities. 2021.

TAVARES, R. A. Projeto e Avaliação do Sistema de Proteção Física de uma Instalação Nuclear Brasileira. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2018. Disponível em: <[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/50/061/50061045.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/50/061/50061045.pdf)>. Acesso em: 06 fev. 2021.

SANTOS, P.M.R. Projeto de Segurança Física em uma Instalação Nuclear Brasileira. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2019. Disponível em: <<https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/9144/1/Disserta%0c3%a7%0c3%>>



a3oPedroMaciel\_v11.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2021.

UNITED NATIONS. Resolution 1373. Adopted by the Security Council at its 4385th meeting, on 28 September 2001. Disponível em: <[https://www.unodc.org/pdf/crime/terrorism/res\\_1373\\_english.pdf](https://www.unodc.org/pdf/crime/terrorism/res_1373_english.pdf)>. Acesso em: 09 fev. 2022.

## APÊNDICE A – CONSTRUÇÃO DO DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA DE ADVERSÁRIO

Tabela 5 – Diagrama de sequência de adversário.

Elemento do SisPF	Probabilidade de Detecção (PD)	Tempo de Retardo (TD)
a1 – Portão P1	0,05 – Credential (TAB. C.2)	0
a2 – Portão P1 OVP	0,02 – Personnel always in vicinity (TAB. C.3)	12
a3 – Cerca Área Vigiada	0,02 - Casual Recognition (TAB. C.2)	60
ÁREA VIGIADA	0,05 - Credential (TAB. C.2)	40
b1 – Portão P2	0,1- General observation of authorization (TAB. C.2)	240
b2 – Cerca Área Protegida	0,7 – Microwave (TAB. C.1)	240
ÁREA PROTEGIDA	0,8 – Multiple non-complementary (TAB. C.1)	8
c1 – Portão P3	0,9 - Multiple complementary (TAB. C.1)	114
c2 – Portão P4	0,9 - Multiple complementary (TAB. C.1)	114
c3 – Parede e Teto	0 – Presence in area (TAB. C.2)	210
Interior do Prédio do Depósito	0,9 – Multiple Sensors (TAB. C.1)	4
d1 – Porta P5	0,9 - Multiple Sensors (TAB. C.1)	114
ÁREA VITAL	0,9- Multiple Sensors (TAB. C.1)	2
e1 - Rejeitos de Alta Atividade	0 - Explosives (TAB. 5)	16

## APÊNDICE B – MEMÓRIAS DE CÁLCULO DA ANÁLISE DE MÚLTIPLOS CAMINHOS

Tabela 6 – Cálculo da Probabilidade de Interrupção para as 18 possíveis rotas com TG de 464s.

Caminho	Expressão para o cálculo de PI	Valor de PI
[a1, b1, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)]$	0,0975
[a1, b1, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)]$	0,0975
[a1, b1, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)]$	0,0975
[a1, b2, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)]$	0,0975
[a1, b2, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)]$	0,0975
[a1, b2, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)]$	0,0975
[a2, b1, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)]$	0,069
[a2, b1, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)]$	0,069
[a2, b1, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)]$	0,069
[a2, b2, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)]$	0,069
[a2, b2, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)]$	0,069
[a2, b2, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)]$	0,069
[a3, b1, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)]$	0,069
[a3, b1, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)]$	0,069
[a3, b1, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)]$	0,069
[a3, b2, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)]$	0,069
[a3, b2, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)]$	0,069
[a3, b2, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)]$	0,069

Tabela 7 – Cálculo da Probabilidade de Interrupção para as 18 possíveis rotas, após a primeira melhoria (TG 200s).

Caminho	Expressão para o cálculo de PI	Valor de PI
[a1, b1, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)]$	0,83755
[a1, b1, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)]$	0,83755
[a1, b1, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)]$	0,83755
[a1, b2, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)]$	0,94585
[a1, b2, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)]$	0,94585
[a1, b2, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)]$	0,94585
[a2, b1, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)]$	0,83242
[a2, b1, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)]$	0,83242
[a2, b1, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)]$	0,83242
[a2, b2, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)]$	0,94414
[a2, b2, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)]$	0,94414
[a2, b2, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)]$	0,94414
[a3, b1, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)]$	0,83242
[a3, b1, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)]$	0,83242
[a3, b1, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)]$	0,83242
[a3, b2, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)]$	0,94414
[a3, b2, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)]$	0,94414
[a3, b2, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)]$	0,94414

Tabela 8 – Cálculo da Probabilidade de Interrupção para as 18 possíveis rotas, após segunda melhoria (TD de 204s do elemento d1).

Caminho	Expressão para o cálculo de PI	Valor de PI
[a1, b1, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)(1-PDc1)(1-PDint)]$	0,998376
[a1, b1, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)(1-PDc2)(1-PDint)]$	0,998376
[a1, b1, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)(1-PDc3)(1-PDint)]$	0,983755
[a1, b2, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)(1-PDc1)(1-PDint)]$	0,999459
[a1, b2, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)(1-PDc2)(1-PDint)]$	0,999459
[a1, b2, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa1)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)(1-PDc3)(1-PDint)]$	0,994585
[a2, b1, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)(1-PDc1)(1-PDint)]$	0,998324
[a2, b1, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)(1-PDc2)(1-PDint)]$	0,998324
[a2, b1, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)(1-PDc3)(1-PDint)]$	0,983242
[a2, b2, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)(1-PDc1)(1-PDint)]$	0,999441
[a2, b2, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)(1-PDc2)(1-PDint)]$	0,999441
[a2, b2, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa2)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)(1-PDc3)(1-PDint)]$	0,994414
[a3, b1, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)(1-PDc1)(1-PDint)]$	0,998324
[a3, b1, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)(1-PDc2)(1-PDint)]$	0,998324
[a3, b1, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)(1-PDb1)(1-PDAP)(1-PDc3)(1-PDint)]$	0,983242
[a3, b2, c1, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)(1-PDc1)(1-PDint)]$	0,999441
[a3, b2, c2, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)(1-PDc2)(1-PDint)]$	0,999441
[a3, b2, c3, d1, e1]	$PI=1-[(1-PDa3)(1-PDAV)(1-PDb2)(1-PDAP)(1-PDc3)(1-PDint)]$	0,994414

## APÊNDICE C – AIEA SECURITY SERIES

### a) **Fundamentals**

I) NSS 20 - Objective and Essential Elements of a State's Nuclear Security Regime

### b) **Recommendations**

I) NSS 13 - Nuclear Security Recommendations on Physical Protection;

II) NSS 14 - Nuclear Security Recommendations on Radioactive Material and Associated Facilities; e

III) NSS 15 - Nuclear Security Recommendations on Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control.

### c) **Implementing Guides**

I) NSS 2-G - Nuclear Forensics in Support of Investigations;

II) NSS 7 - Nuclear Security Culture;

III) NSS 8 - Preventive and Protective Measures Against Insider Threats;

IV) NSS 9 - Security in the Transport of Radioactive Material;

V) NSS 10 - Development, Use and Maintenance of the Design Basis Threat;

VI) NSS 11 - Security of Radioactive Sources;

VII) NSS 16 - Identification of Vital Areas at Nuclear Facilities;

VIII) NSS 18 - Nuclear Security Systems and Measures for Major Public Events;

IX) NSS 19 - Establishing the Nuclear Security Infrastructure for a Nuclear Power Programme;

X) NSS 21- Nuclear Security Systems and Measures for the Detection of Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control;

XI) NSS 22-G - Radiological Crime Scene Management;

XII) NSS 23-G - Security of Nuclear Information;

XIII) NSS 24-G - Risk Informed Approach for Nuclear Security Measures for Nuclear and other Radioactive Material out of Regulatory Control;

XIV) NSS 25-G - Use of Nuclear Material Accounting and Control for Nuclear Security Purposes at Facilities;

XV) NSS 26-G - Security of Nuclear Material in Transport;

XVI) NSS 27-G - Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities

(Implementation of INFCIRC/225/Revision 5);

XVII) NSS 29-G - Developing Regulations and Associated Administrative Measures for Nuclear Security;

XVIII) NSS 30-G - Sustaining a Nuclear Security Regime;

XIX) NSS 31-G - Building Capacity for Nuclear Security;

XX) NSS 35-G - Security during the Lifetime of a Nuclear Facility;

XXI) NSS 36-G - Preventive Measures for Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control;

XXII) NSS 37-G - Developing a National Framework for Managing the Response to Nuclear Security Events; e

XXIII) AIEA Nuclear Security Glossary.

d) **Technical Guidance**

I) NSS 1 - Technical and Functional Specifications for Border Monitoring Equipment;

II) NSS 3 - Monitoring for Radioactive Material in International Mail Transported by Public Postal Operators;

III) NSS 4 - Engineering Safety Aspects of the Protection of Nuclear Power Plants against Sabotage; e

IV) NSS 5 - Identification of Radioactive Sources and Devices.

## ANEXO A – GLOSSÁRIO

(INTERNATIONAL AGENCY OF ATOMIC ENERGY, 2007; COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2020)

**Área vigiada** – área de segurança adjacente e exterior a uma ou mais áreas protegidas, mantida em constante vigilância, cercada e demarcada com avisos e sinais adequados, que alertam se tratar de área de segurança com acesso controlado.

**Área protegida** – área de segurança mantida em 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.

**Área vital** – área de segurança necessariamente interna a uma área protegida, contendo equipamento vital e/ou material nuclear, no interior de uma estrutura cujas paredes, teto e piso, constituem barreira física. Área de segurança – área delimitada com vistas à proteção física de uma ou mais unidades operacionais, em grau de proteção apropriado à natureza da área: vigiada, protegida ou vital.

**Apoio suplementar** - as organizações militares das forças armadas, da polícia militar e do corpo de bombeiros, as repartições da polícia federal, a polícia civil estadual 4 e de outras polícias, que tenham jurisdição na área em que a segurança se faz necessária e que poderão apoiar, dentro de suas respectivas esferas de competência, uma unidade operacional, mediante solicitação desta.

**Barreira física** – cercas, paredes ou muros, tetos e pisos possuindo características de construção e resistência compatíveis com a natureza da área de segurança correspondente de modo a impedir a intrusão na área delimitada.

**Ciclo do combustível nuclear** – série de etapas envolvendo o fornecimento de combustível para reatores nucleares de potência. Inclui a extração do minério e seu tratamento, a conversão em UF<sub>6</sub>, o enriquecimento isotópico, a fabricação do elemento combustível, a geração de energia termonuclear, o reprocessamento do combustível para recuperação do material físsil que permanece no combustível usado e a colocação dos rejeitos radioativos em depósito.

**Comunicações de segurança** – ligações internas e externas estabelecidas por uma unidade operacional com a finalidade de atender às necessidades de segurança da mesma.

**Cultura de segurança** – conjunto de características e atitudes de organizações



e de indivíduos que estabelece como prioridade maior que as questões de segurança da instalação receberão atenção proporcional à sua importância.

**Defesa em profundidade** – Na defesa em profundidade, quanto mais o intruso se aproxima do possível alvo maior serão as barreiras a serem superadas por ele, de modo que ele falhe ou desista da tentativa de realizar sua missão, ou ainda que ele venha a ser interrompido e neutralizado na sequência de sua missão.

**Dispositivo de alarme** – dispositivo destinado a detectar e alertar, por meio de sinais audíveis e/ou visíveis, qualquer tipo de intrusão ou interferência.

**Equipamento especificado** – equipamento especialmente projetado ou preparado para o processamento, uso ou produção de material nuclear ou material especificado.

**Emergência radiológica** – emergência na qual existe, ou é observado que existirá, perigo devido à exposição à radiação ionizante.

**Emergência nuclear** – emergência na qual existe, ou é observado que existirá, perigo devido à liberação de energia resultante de uma reação em cadeia nuclear ou do decaimento dos produtos de uma reação em cadeia.

**Equipamento vital** – equipamento, sistema, dispositivo ou material cuja falha, destruição, remoção ou liberação é capaz de, direta ou indiretamente, provocar uma situação de emergência para a Unidade Operacional em que estiver localizado.

**Fonte radioativa** – material radioativo utilizado como fonte de radiação.

**Força de apoio** – a grande unidade, a unidade ou organização militar das forças armadas ou organização militar das forças auxiliares, previamente designada para apoiar na esfera de sua competência, determinada unidade operacional submetida a uma situação de emergência.

**Força de segurança** – pessoal equipado e treinado para garantir a proteção física da unidade operacional e atender às situações de emergência. Em áreas vitais a força de segurança deve atuar, obrigatoriamente, sob a orientação do pessoal da operação; em áreas protegidas e em áreas vitais, a força de segurança deve compreender somente guardas próprios, sendo vedada a contratação de firmas particulares para esse fim.

**Guarda** – indivíduo selecionado e treinado para a atividade de proteção física, uniformizado e, preferencialmente, portando arma de fogo.

**Instalação nuclear** – unidade operacional na qual o material nuclear, nas quantidades autorizadas pela CNEN, é produzido, processado, reprocessado, utilizado, manuseado ou estocado. Não se incluem nesta definição os locais de armazenamento temporário de material nuclear durante o transporte.

**Materiais do interesse do programa nuclear brasileiro** – materiais nucle-

ares, materiais radioativos, materiais especificados, equipamentos vitais e equipamentos especificados, envolvidos em projetos e atividades do programa nuclear brasileiro. Daqui por diante, serão referidos, simplesmente, como materiais de interesse.

**Material especificado** – material que seja especialmente preparado para o processamento, uso ou produção de material nuclear.

**Material nuclear** – qualquer material fértil ou físsil especial de que trata o artigo 2º da Lei n.º 4.118, de 27/Agosto/1962.

**Material radioativo** – material emissor de qualquer radiação eletromagnética ou particulada, direta ou indiretamente ionizante.

**Patrulhamento** – verificação de barreiras físicas, selos e outros pontos importantes, executada por dois ou mais guardas a intervalos irregulares.

**Plano de proteção física** – documento sigiloso que descreve a proteção física de determinada Unidade Operacional, de acordo com os requisitos desta Norma.

**Ponto-crítico** – local em que o sistema de proteção física oferece alta vulnerabilidade.

**Programa nuclear brasileiro** – conjunto dos projetos e atividades relacionados com a utilização, para fins pacíficos, da energia nuclear, segundo orientação, controle e supervisão do governo federal.

**Proteção física** – conjunto de medidas destinadas:

- a) a evitar atos de sabotagem contra materiais, equipamentos e instalações;
- b) a impedir a remoção não autorizada de material, em especial, nuclear;
- c) a prover meios para rápida localização e recuperação de material desviado; e,
- d) à defesa do patrimônio e da integridade física do pessoal de uma unidade operacional.

**Reator nuclear de pesquisa** – reator nuclear projetado especialmente para fins de pesquisa e que não seja classificado como reator de teste. Reator nuclear de potência – reator nuclear destinado à geração de energia elétrica ou calor para processos industriais.

**Sabotagem** – qualquer ato deliberado contra uma unidade operacional, capaz de, direta ou indiretamente, colocar em perigo a saúde e a segurança dos empregados e do público em geral, ou de causar impacto econômico ou social.

**Segurança nuclear** – obtenção de condições operacionais, prevenção e controle de acidentes ou mitigação apropriada de consequências de acidente, resultando em proteção de indivíduos ocupacionalmente expostos, do público e do meio ambiente contra os riscos indevidos da radiação. A segurança é obtida por meio de um conjunto de medidas de

caráter técnico e administrativo, incluídas no projeto, na construção, no comissionamento, na operação, na manutenção e no descomissionamento de uma instalação.

**Sistema de proteção física (SPF)** – é um sistema integrado de pessoas, equipamentos e procedimentos usados para proteger patrimônios e instalações contra ação terrorista, roubo e sabotagem.

**Situações de emergência** – situações anormais de um projeto ou atividade do programa nuclear brasileiro que, a partir de um determinado momento, fogem ao controle planejado e pretendido pelo órgão encarregado de sua execução, demandando medidas especiais para a retomada de sua normalidade.

**Unidade de transporte (UT)** – unidade operacional compreendendo o conjunto dos meios, sob chefia única, quando utilizado em transporte de materiais de interesse.

**Vigilância** – observação permanente efetuada por pessoas, animais ou dispositivos elétricos, eletromecânicos ou eletrônicos.

**Zona de isolamento** – área adjacente à barreira física, desprovida de quaisquer obstáculos que possam ocultar ou proteger um indivíduo ou um veículo.

## ANEXO B – CATEGORIZAÇÃO DE MATERIAL NUCLEAR

CATEGORIZAÇÃO DE MATERIAL NUCLEAR (Extraída da Norma CNEN NN-2.01)

Tabela 9 – Limites para categorização de material nuclear conforme isótopo e massa.

Material	Forma	Categoria (por massa do material)		
		I	II	III <sup>(c)</sup>
<b>Plutônio<sup>(a)</sup></b>	Não irradiado <sup>(b)</sup>	Maior ou igual a 2kg	Maior que 500g e menor que 2kg	Maior que 15g e menor ou igual a 500g
<b>Urânio-235</b>	Não irradiado <sup>(b)</sup>			
	Enriquecido a 20% ou mais em <sup>235</sup> U	Maior ou igual a 5kg	Maior que 1kg e menor que 5kg	Maior que 15g e menor ou igual a 1kg
	Enriquecimento igual ou superior a 10%, porém inferior a 20% em <sup>235</sup> U	X	Maior ou igual a 10kg	Maior que 1kg e menor que 10kg
	Enriquecimento acima do natural, mas abaixo de 10% em <sup>235</sup> U	X	X	Maior ou igual a 10kg

## ANEXO C – DADOS DE PROBABILIDADES DE DETECÇÃO

(Tabelas extraídas do material do International Training Course on Physical Protection of Nuclear Materials and Facilities – AIEA e SNL)

Tabela 10 – Probabilidades de detecção de sensores de intrusão.

Component Type	Component Description	No Equipment P(D)	Hand Tools P(D)	Power Tools P(D)	High Explosives P(D)	Land Vehicle P(D)
Exterior Sensors	Seismic Buried Cable	0.5	0.5	0.5	0.5	0.9
	Electric field	0.5	0.3	0.3	0.5	0.9
	Infrared	0.8	0.4	0.4	0.5	0.8
	Microwave	0.8	0.7	0.7	0.7	0.9
	Video motion	0.8	0.6	0.6	0.7	0.9
	Multiple non-complementary	0.9	0.8	0.8	0.8	0.99
	Multiple complementary	0.99	0.95	0.95	0.99	0.99
Interior Sensors	Sonic	0.5	0.5	0.5	0.5	N/A
	Capacitance	0.5	0.5	0.5	0.5	N/A
	Video Motion	0.5	0.5	0.5	0.5	N/A
	Infrared	0.5	0.5	0.5	0.5	N/A
	Ultrasonic	0.5	0.5	0.5	0.5	N/A
	Microwave	0.5	0.5	0.5	0.5	N/A
	Multiple non-complementary	0.75	0.75	0.75	0.75	N/A
	Multiple complementary	0.9	0.9	0.9	0.9	N/A
Position Sensors	Position Switch	0.5	0.2	0.2	0.2	N/A
	Balanced Magnetic Switch	0.8	0.8	0.8	0.8	N/A
Fence Sensors	Taut Wire	0.5	0.25	0.25	0.75	0.85
	Vibration	0.5	0.1	0.1	0.75	0.85
	Strain	0.1	0.1	0.1	0.1	0.9
	Electric Field	0.5	0.4	0.4	0.75	0.9
	Multiple Sensors	0.75	0.5	0.5	0.8	0.9
Barrier Sensors	Vibration	0.9	0.4	0.4	0.9	N/A
	Glass Breakage	0.9	0.6	0.6	0.9	N/A
	Conducting Tape	0.8	0.2	0.2	0.9	N/A
	Grid Mesh	0.9	0.6	0.6	0.95	N/A
	Multiple Sensors	0.99	0.9	0.9	0.99	N/A
Helicopter Detector	Radar	0.1				
	Sonic	0.1				

Tabela 11 – Detecção em controles de acesso.

Component Type	Component Description	Independent P(D)	Land Vehicle P(D)
ID Verification	Casual Recognition	0.02	
	Credential	0.05	
	Credential and PIN	0.35	
	Picture Badge	0.1	
	Picture Badge and PIN	0.6	
	Exchange picture badge	0.5	
	Exchange picture badge and PIN	0.8	
	Retinal scan and PIN	0.99	
	Hand geometry and PIN	0.95	
	Speech pattern and PIN	0.95	
	Signature dynamics and PIN	0.95	
Fingerprint and PIN	0.95		
Personnel Access Authorization Check	General observation of authorization	0.1	
	Authorization verification each time location is accessed	0.6	
Two Person Rule	Presence in area	0	
	Within sight	0.1	
	Dedicated observation	0.5	
	Dedicated observation with alarm	0.95	
Vehicle Authorization Check	Authorization form check		0.35
	Serial number verification		0.45
	Visual check of insignia/ license plate		0.15

Tabela 12 – Detecção em vigilância humana.

<b>Component Type</b>	<b>Component Description</b>	<b>No Equipment P(D)</b>	<b>Small Arms P(D)</b>	<b>Light Antitank Weapons (LAW) P(D)</b>	<b>Independent of threat attribute P(D)</b>	
<b>SO at Post Observation</b>	Duress, LAW protected	0.8	0.8	0.8		
	Duress, small arms protected	0.8	0.8	0.45		
	Duress, small arms protected: LAW protected on alert	0.8	0.8	0.45		
	Duress, unprotected	0.8	0.45	0.45		
	Duress, unprotected: LAW protected position on alert	0.8	0.45	0.45		
	Duress, unprotected: small arms protected position on alert	0.8	0.45	0.45		
	No duress, LAW protected	0.8	0.8	0.45		
	No duress, small arms protected	0.8	0.45	0.45		
	No duress, small arms protected: LAW protected position on alert	0.8	0.45	0.45		
	No duress, unprotected	0.8	0	0		
	No duress, unprotected: LAW protected position on alert	0.8	0	0		
	No duress, unprotected: small arms protected on alert	0.8	0	0		
	<b>SO in Tower Observation</b>	LAW resistant tower	0.05	0.05	0.02	
		Small arms resistant	0.05	0.05	0.02	
<b>SO on Patrol</b>	Random				0.02	
	Scheduled				0.01	
<b>General Observation</b>	Personnel always in vicinity				0.02	
	Personnel generally in vicinity				0.01	



## ANEXO D – DADOS DE RETARDO DE COMPONENTES

(Tabelas extraídas do material do International Training Course on Physical Protection of Nuclear Materials and Facilities – AIEA e SNL)

Tabela 13 – Tempo de retardo conforme as classes de barreiras físicas.

Component Type	Component Description	No Equipment (sec)	Hand Tools (sec)	Power Tools (sec)	Explosives (sec)		Land Vehicle (sec)
					Stage 1	Stage 2	
<b>Walls</b>	60 cm reinforced concrete wall	Infinite	Infinite	900	180	300	Infinite
	30 cm reinforced concrete wall	Infinite	Infinite	840	120	54	N/A
	20 cm reinforced concrete wall	Infinite	Infinite	600	120	0	N/A
	Wood studs and sheetrock	60	30	30	30	0	N/A
<b>Doors</b>	60 cm steel and concrete rolling door	Infinite	Infinite	930	200	300	N/A
	30 cm steel and concrete rolling door	Infinite	Infinite	640	160	54	N/A
	30 cm wood door with metal sheeting	Infinite	Infinite	530	160	30	N/A
	10 cm wood door with metal sheeting	Infinite	300	180	30	0	5 for large vehicle door
	5 cm wood door	Infinite	12	12	12	0	N/A
	5 cm wood door with glass panel	Infinite	12	12	12	0	N/A
	.75 cm steel plate door	Infinite	300	30	30	0	N/A
	Class V or VI vault door	Infinite	480	60	60	0	N/A
	Steel turnstile	Infinite	72	18	18	0	N/A
<b>Miscellaneous Barriers</b>	High security padlock	Infinite	90	60	30	0	N/A
	Concrete Block Vehicle Barrier	0	300	300	30	0	5
	2.5 m chain link mesh fence	10	10	10	10	0	1
	Welded wire fabric fence	10	10	10	10	0	1
	2.5 m concrete panel wall	10	10	10	10	0	N/A <sub>1</sub>
	Tempered glass window	5	5	5	5	5	N/A
	Electromagnetic Strike Lock	15	10	5	5	2	N/A



Tabela 14 – Tempos de retardo ocasionados por agentes de segurança (SO).

<b>Component Type</b>	<b>Component Description</b>	<b>No Equipment (sec)</b>	<b>Small Arms (sec)</b>	<b>Light Antitank Weapons (LAW) (sec)</b>
<b>SO at Post Delay</b>	Unprotected post	30000	0	0
	Small arms protected post	30000	30	0
	Unprotected post normally but moves to small arms protected position on alert	30000	30	0
	LAW protected post	30000	125	125
	Unprotected post normally but moves to LAW protected position on alert	30000	125	125
	Small arms protected post normally, but moves to LAW protected position on alert	30000	125	125
<b>SO in Tower Delay</b>	Small arms resistance	60	30	0
	LAW resistant tower	125	125	60

Tabela 15 – Tempos para penetração em cercas.

<i>Barrier Description</i>	<i>Penetration Equipment</i>	<i>Equipment Weight (kg)</i>	<i>Penetration Time (Minutes)</i>			
			<i>Min.</i>	<i>Mean</i>	<i>Max.</i>	<i>Standard Deviation</i>
2.5-m chain-link mesh with outriggers 4-mm x 50-mm mesh	Ladder	5.0	0.1	0.2	0.3	0.04
	Tarpaulin	2.0	0.1	0.2	0.3	0.04
	Pliers	1.0	1.0	2.0	3.0	0.41
	Manual bolt cutters	3.0	0.5	1.0	1.5	0.20
	Circular saw	10	0.5	1.0	1.5	0.20
	Manual bolt cutters, gloves (more cuts)	3.5	0.75	1.5	2.25	0.31
	Circular saw (more cuts)	11.0	0.75	1.5	2.25	0.31
	Gloves	0.5	0.1	0.2	0.3	0.04
Vinyl-coated 3-mm x 50-mm mesh	Manual bolt cutters	3.0	0.5	1.0	1.5	0.20
	Pliers	1.0	1.0	2.0	3.0	0.41
	Circular Saw	11.0	0.75	1.5	2.25	0.31
2.5-m chain-link mesh without outriggers vinyl-coated, 1.8-mm x 40-mm mesh	Ladder	5.0	0.1	0.2	0.3	0.04
	No equipment	0.0	0.05	0.10	0.15	0.02
	Manual bolt cutters	3.0	0.5	1.0	1.5	0.20
	Pliers	0.5	1.0	2.0	3.0	0.41
	Vise grip pliers	0.5	0.30	0.60	0.90	0.12

Tabela 16 – Tempos para penetração em portões.

<b>Chain-link mesh pipe</b> 2.4-m x 4-m chain-link gate on metal pipe frame, chained and padlocked	Truck	1,500	0.05	0.1	0.15	0.02
	Pliers	1.0	1.0	2.0	3.0	0.41
<b>Chain-link mesh pipe</b> 1.2-m x 2.4-m gate, 11-gauge x 5-cm mesh on 4.8-cm metal pipe frame, chained and padlocked	Sledgehammer	5	0.5	1.0	1.5	0.20
	1.8-m pry bar	10	1.0	2.0	3.0	0.41
	Bolt cutters	3	0.75	1.5	2.25	0.31
	Hacksaw	0.2	1.0	2.0	3.0	0.41

Tabela 17 – Tempos para penetração em paredes.

<i>Barrier Description</i>	<i>Penetration Equipment</i>	<i>Equipment Weight (kg)</i>	<i>Penetration Time (Minutes)</i>			
			<i>Min.</i>	<i>Mean</i>	<i>Max.</i>	<i>Standard Deviation</i>
<b>Concrete-10 cm Thick, Reinforced</b> Concrete-210 kg/cm <sup>2</sup> one layer, 6.4-mm dia., 15-cm x 15-cm mesh	Sledgehammer, hand bolt cutters	10	2.0	4.0	6.0	0.82
	Sledgehammer, cutting torch	30	2.5	5.0	7.5	1.02
	Circular saw, sledge-hammer	5	4.3	8.6	12.9	1.76
	Rotomhammer, chisel, punch, sledgehammer, hand bolt cutters, generator	50	3.2	6.4	9.6	0.57
	Explosives (1.0), sledgehammer, manual bolt cutters	20	2.3	3.5	5.25	
	Explosives (3.0), hand bolt cutters	10	1.2	2.5	3.7	
	Explosives (5.0), hand bolt cutters	7	1.2	2.3	3.4	
	Explosive (10)	10	1.0	2.0	3.0	
	Sledgehammer, hand hydraulic bolt cutters	20	2.4	4.8	7.2	0.98
	Concrete- 210 kg/cm <sup>2</sup> one layer No. 5 rebar, 15-cm centers	Sledgehammer, cutting torch	30	2.0	4.0	6.0
Rotomhammer, chisel, hand hydraulic bolt cutters, generator		50	3.9	7.8	11.7	1.59

Tabela 18 – Tempos para penetração em paredes (cont.)

<b>Concrete- 15cm Thick, Reinforced</b> Concrete-210 kg/cm <sup>2</sup> one layer, No. 4 rebar, 20-cm centers	Sledgehammer, hand bolt cutters	15	4.0	8.0	12.0	1.63
	Explosives (1.0), sledgehammer, hand bolt cutters	14	2.5	3.7	5.6	
	Explosives (3.0), hand bolt cutters	5	1.9	2.9	4.3	
	Explosives (5.0), hand bolt cutters	7	1.7	2.5	3.8	
<b>Concrete- 20 cm Thick, Reinforced</b> Concrete-210 kg/cm <sup>2</sup> one layer, No. 5 rebar, 15-cm centers	Rotohammer, drill, sledge, chisel, punch, cutting torch, generator	65	7.0	14.0	21.0	2.86
	Explosives (2.0), sledgehammer, hand hydraulic bolt cutters	30	4.3	6.5	9.7	
	Explosives (3.0), hand hydraulic bolt cutters	20	2.5	3.75	5.6	
	Explosives (5.0), hand hydraulic bolt cutters	22	2.5	3.75	5.6	
	Explosives (12)	12	1.5	3.0	4.5	
<b>Concrete- 30 cm Thick, Reinforced</b> Concrete- 210 kg/cm <sup>2</sup> one layer, No. 4 rebar, 15-cm centers	Explosives (5.0), hand bolt cutters	8	2.2	3.25	4.9	
	Explosives (7), hand bolt cutters	9	2.3	3.5	5.2	
	Explosives (12), hand bolt cutters	14	2.5	3.8	5.6	
	Explosives (16), hand bolt cutters	18	2.5	3.8	5.6	
<b>Concrete- 46 cm Thick, Reinforced</b> Concrete-350 kg/cm <sup>2</sup> two layers, No. 4 rebar, 15-cm centers	Explosives (16), hand-held power hydraulic bolt- cutters, generator	282	5.0	7.5	11.2	1.22
	Explosives (20), hand bolt cutters	22	2.5	5.0	7.5	
<b>Concrete- 60 cm Thick, Reinforced</b> Concrete-350 kg/cm <sup>2</sup> four layers, No. 6 rebar, 15-cm centers	Explosives (30), gas-powered hydraulic bolt cutters	59	7.3	11.0	16.5	

Tabela 19 – Tempos para penetração em portas.

<i>Barrier Description</i>	<i>Penetration Equipment</i>	<i>Equipment Weight (kg)</i>	<i>Penetration Time (Minutes)</i>			
			<i>Min.</i>	<i>Mean</i>	<i>Max.</i>	<i>Standard Deviation</i>
<b>Sheet Metal</b> Standard industrial pedestrian door, 1.6-mm metal, panic hardware, cylinder lock, rim set, butt hinges with removable pins	Explosives (1.0)	1	1.25	1.9	2.8	
	Sledgehammer, cutting torch, burn bar, fire resistant suit	171	1.6	3.2	4.8	0.65
	Cordless drill	2.7	1.5	3.0	4.5	0.61
	Pry bar	7	0.1	0.2	0.3	0.41
	Fire ax	4.5	1.9	3.8	5.7	0.78
	Hammer, suction cups, punch, chisel	4	1.0	2.0	3.0	0.41
	Suction cups, sledge, cutting torch	25	0.5	1.0	1.5	0.20
	Explosives (.5)	25	1.2	2.5	3.2	
	Lock picking tools	0.2	0.10	2.5	5.0	1.0
	Pipe wrench	1	0.2	1.2	2.5	
	Explosives (2.0)	2.0	1.2	2.5	3.7	
	Standard industrial pedestrian door, hollow steel 1.6-mm narrow glass one side, louvers near bottom.	Hammer	2.0	0.15	0.3	0.45
Fire ax		4.5	0.80	1.6	2.40	0.33

Tabela 20 – Tempos para penetração em portas(cont.)

<i>Barrier Description</i>	<i>Penetration Equipment</i>	<i>Equipment Weight (kg)</i>	<i>Penetration Time (Minutes)</i>			
			<i>Min.</i>	<i>Mean</i>	<i>Max.</i>	<i>Standard Deviation</i>
<b>Sheet Metal</b> Standard industrial pedestrian door, 1.3-mm half glass expanded metal 2.8-mm grill	Grappling hook, wire cable, truck	1,520	0.3	0.6	0.9	0.12
	Manual bolt cutters	4.5	0.5	1.0	1.5	0.20
Standard industrial vehicle door, hollow steel panel, 1.6-mm	Explosives (0.5)	0.5	0.75	1.1	1.7	
	Sledgehammer, cutting torch, burn bar, fire-resistant suit, water	385	0.80	1.6	2.4	0.33
	Sledgehammer, cutting torch, fire-resistant gloves, water	275	1.5	3.0	4.5	0.61
	Truck	2,025	0.3	0.6	0.9	0.12
	Pry bar, wooden plank	9	.75	1.5	2.25	0.31
	Fire ax	4.5	1.1	2.2	3.3	0.45
	Explosives (1.0)	1.0	1.25	1.9	2.8	
Standard 10cm wooden vehicle door, with 1.6-mm sheeting	Explosives (1.0)	0.5	0.8	1.3	1.9	
	Sledgehammer, cutting torch, burn bar, fire-resistant suit, water	385	1.0	2.0	3.0	0.41
	Sledgehammer, cutting torch, burn bar, fire-resistant suit	171	0.65	1.3	1.95	0.27



Tabela 21 – Tempos para penetração em portas(cont.)

<i>Barrier Description</i>	<i>Penetration Equipment</i>	<i>Equipment Weight (kg)</i>	<i>Penetration Time (Minutes)</i>			
			<i>Min.</i>	<i>Mean</i>	<i>Max.</i>	<i>Standard Deviation</i>
<b>Sheet Metal</b>	Truck	2,025	0.35	0.7	1.05	0.14
	Pry bar, wooden plank	9	1.0	2.0	3.0	0.41
	Fire ax	4.5	1.1	2.2	3.3	0.45
	Explosives (1.0)	1.0	1.3	1.9	2.8	
<b>Steel Plate</b> Magazine door, 6.4-mm steel plate, one padlock	Explosives, linear shaped charge (0.5)	0.5	1.1	1.7	2.0	
	Sledge hammer, cutting torch, fire-resistant gloves, water	248	2.0	4.0	6.0	0.82
	Circular Saw	16	2.1	4.2	6.3	0.86
	Suction cups, sledge hammer, chisel	4.5	0.6	1.2	1.8	0.24
	Sledgehammer, cutting torch, burn bar, fire-resistant suit, water	385	1.25	2.5	3.75	0.51
	Explosives (4)	10	1.3	1.9	2.8	
<b>Steel Plate/Void/Steel Plate</b> Heavy door with two large-hinged hasps for padlocking, 19-mm steel, 10-cm air space, 1.3-mm	Sledgehammer, cutting torch, burn bar, fire-resistant suit, water	385	3.1	6.2	9.3	1.27
	Sledgehammer, cutting torch, burn bar, fire-resistant gloves	165	0.3	0.6	0.9	0.12

Tabela 22 – Taxas de corte em barras metálicas de grades com alicate de corte padrão de 1m.

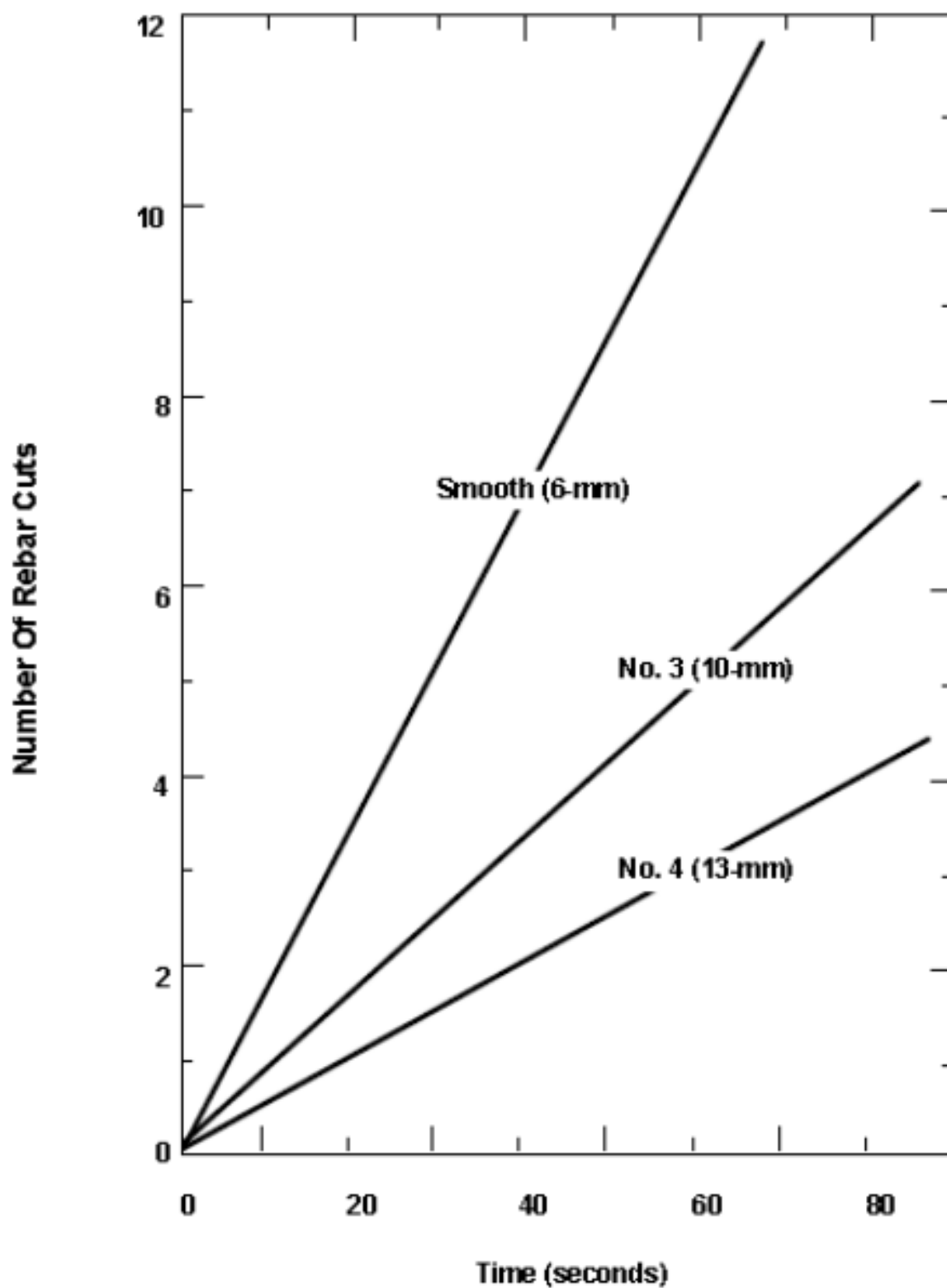




Tabela 23 – Tempo necessário para montar pacotes de explosivos em função da massa do pacote.

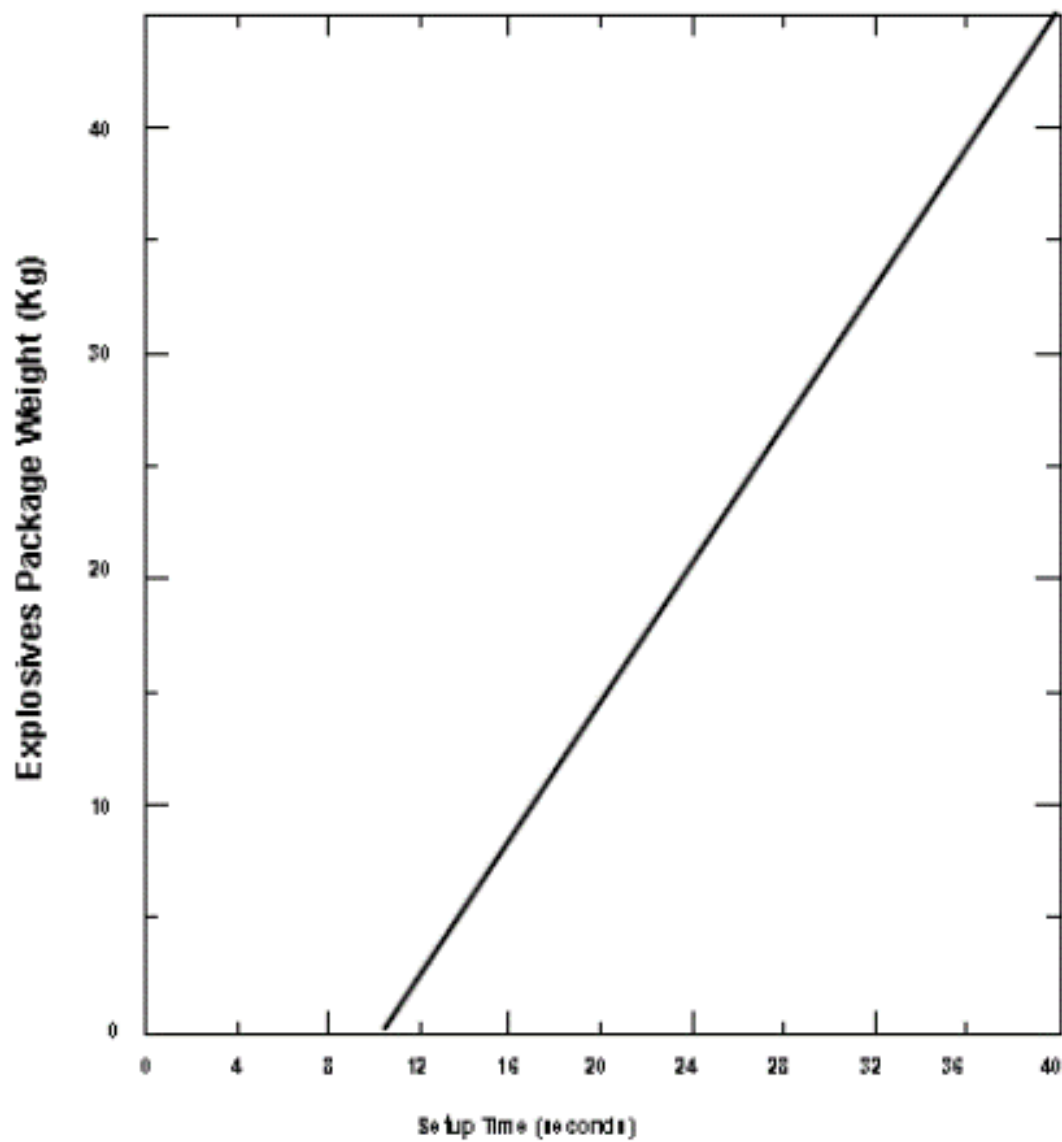


Tabela 24 – Taxas de corrida para diferentes tipos de pisos e diferentes tipos de cargas.

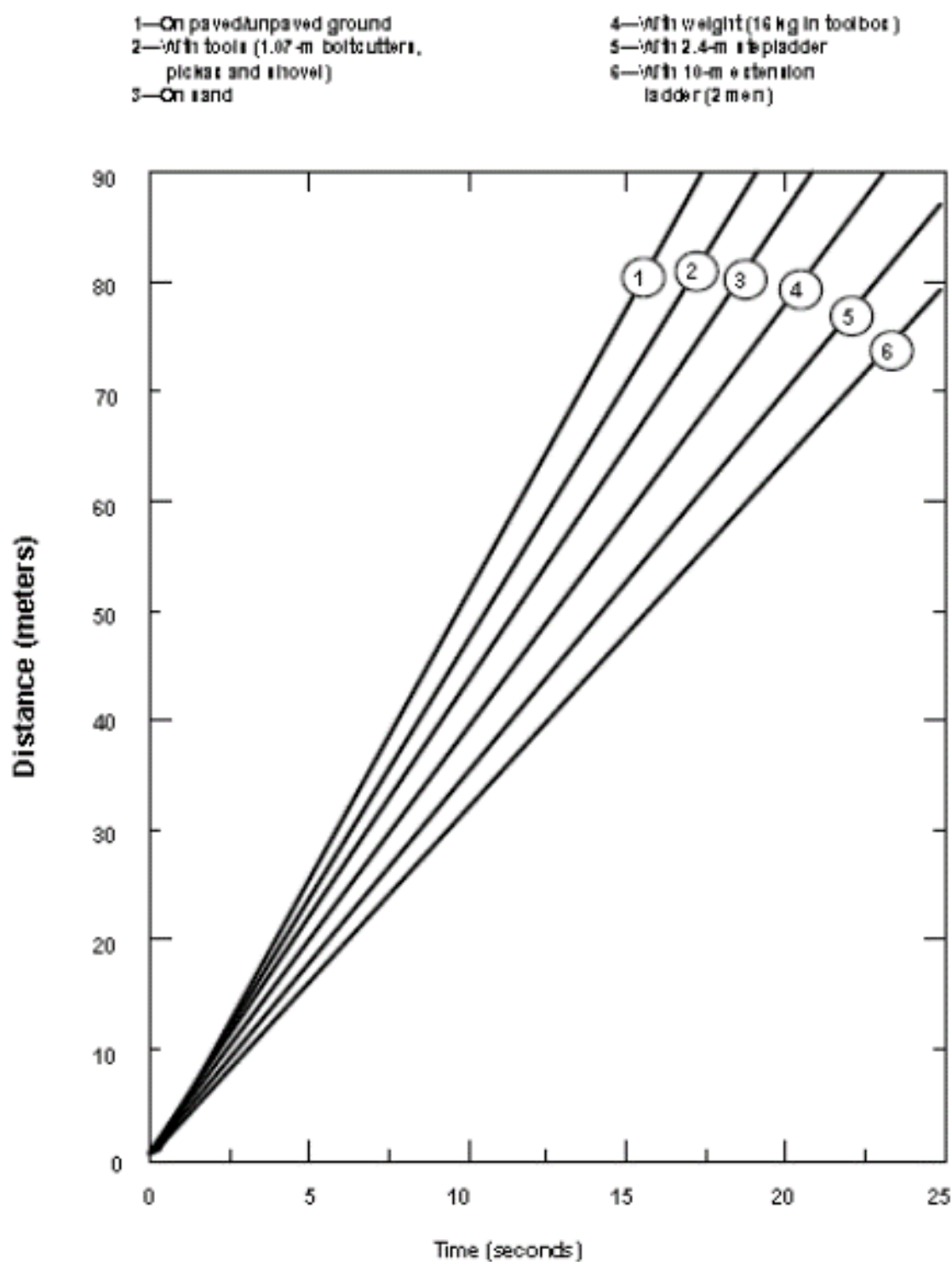
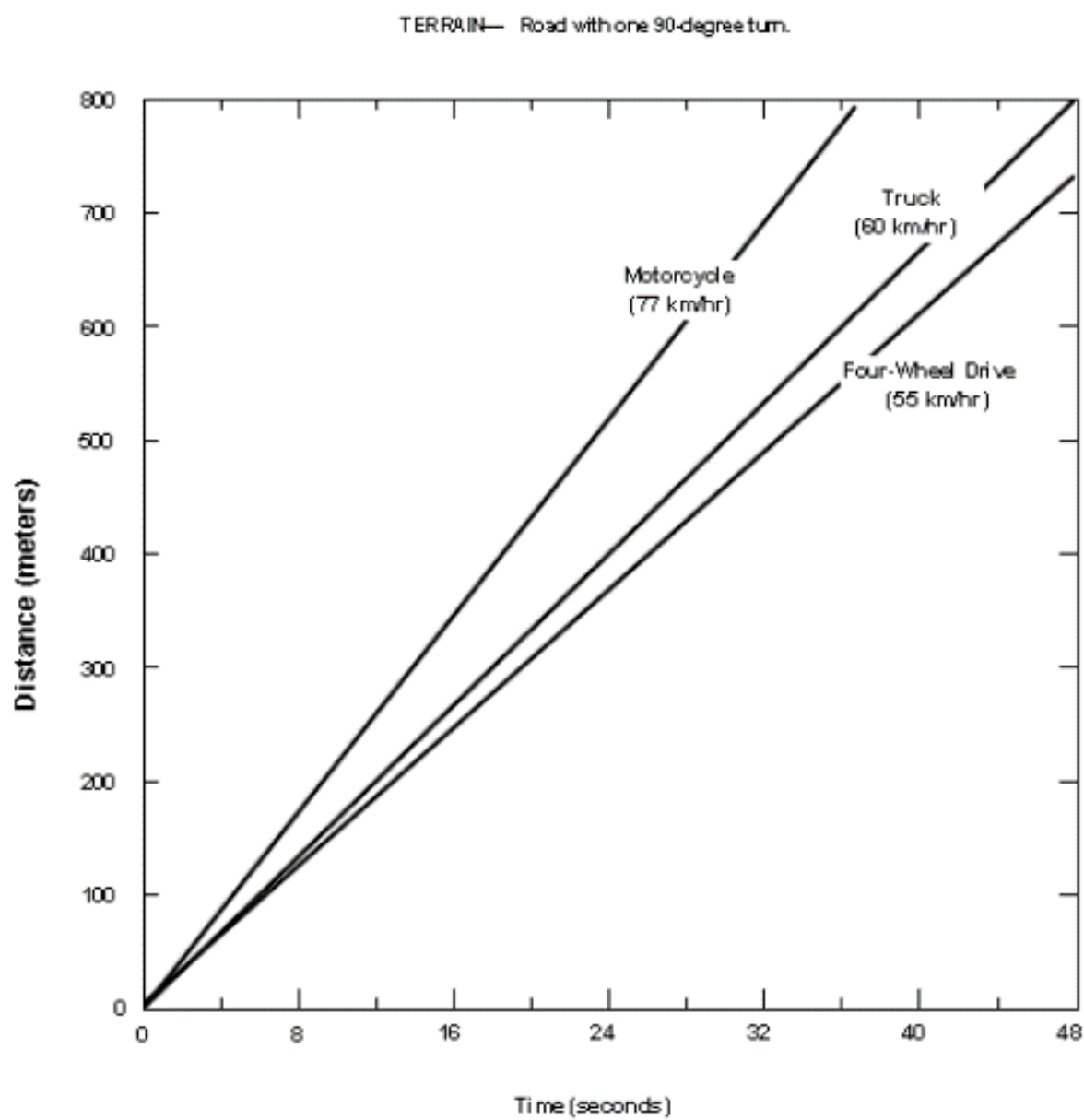


Tabela 25 – Distâncias para diferentes tipos de veículos (motoristas experientes) em estrada com curvas de 90°.



## ANEXO E – DADOS DE NEUTRALIZAÇÃO

(Tabela extraída do material do International Training Course on Physical Protection of Nuclear Materials and Facilities – AIEA e SNL)

Tabela 26 – Probabilidade de Neutralização em função do número de adversários e da força de resposta, considerando iguais equipamentos e armamento para ambos.

		Number of Responders																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Number of Adversaries	1	0.50	0.83	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	2	0.17	0.50	0.78	0.92	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	3	0.04	0.23	0.50	0.74	0.89	0.96	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	4	0.01	0.08	0.26	0.50	0.72	0.86	0.94	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	5	0.00	0.02	0.11	0.28	0.50	0.70	0.84	0.92	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	6	0.00	0.01	0.04	0.14	0.30	0.50	0.68	0.82	0.91	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	7	0.00	0.00	0.01	0.06	0.16	0.32	0.50	0.67	0.81	0.90	0.95	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	8	0.00	0.00	0.00	0.02	0.08	0.18	0.33	0.50	0.66	0.79	0.88	0.94	0.97	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	9	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.09	0.19	0.34	0.50	0.65	0.78	0.87	0.93	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.10	0.21	0.35	0.50	0.65	0.77	0.86	0.92	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00

**Probability of Neutralization for Different Numbers of Adversaries and Responders**