



RESPOSTA A UMA EMERGÊNCIA NBQR: A ATUAÇÃO DA MARINHA DO BRASIL  
E DO CORPO DE FUZILEIROS NAVAIIS EM UM ACIDENTE RADIOLÓGICO COMO  
OCORRIDO COM CÉSIO-137 EM GOIÂNIA

Jean Michel Jungblut

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Especialização em Gestão de  
Emergências e Desastres Naturais e Humanos, da  
Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientador: Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2023

## RESUMO

Este estudo inicia abordando a trajetória da radiação desde sua descoberta no século XIX até suas aplicações contemporâneas, enfatizando os riscos que acidentes envolvendo elementos radioativos podem ocasionar para as pessoas e o meio ambiente. Com isso, se destaca a necessidade da existência de órgãos de controle e equipes de resposta a emergências preparadas para atuar neste tipo de situação. No contexto brasileiro, a estrutura de resposta a emergências radiológicas, liderada pelo Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro, reflete uma colaboração entre órgãos como a Comissão Nacional de Energia Nuclear, Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e as Forças Armadas Brasileiras. Dentro das Forças Armadas, a relevância da Marinha do Brasil neste cenário é evidenciada pelo seu Sistema de Defesa Nuclear, Biológico, Químico e Radiológico. O estudo do acidente radiológico de Goiânia envolvendo Césio-137, serviu como tema base deste trabalho para a elaboração de uma proposta de atuação tática e operativa envolvendo a estrutura da Marinha do Brasil e do Corpo de Fuzileiros Navais em resposta a este tipo de acidente. Cada fase do ciclo de resposta proposta, desde a avaliação inicial, passando pelo processo de atendimento às vítimas, recuperação e controle até a desmobilização de pessoal e material, revela um modelo operacional integrado para lidar com incidentes dessa natureza. A coordenação entre unidades especializadas da Força com os demais órgãos públicos envolvidos, demonstram a capacidade de atuação conjunta e evidencia a importância da manutenção de uma tropa especializada, expedicionária e de pronto emprego, pronta para atuar em qualquer parte do território nacional de maneira rápida e eficiente, destacando assim a colaboração da Marinha do Brasil em cenários de crises complexas como a de uma emergência radiológica.

**Palavras-chave:** NBQR; Radiação; Emergência radiológica; Marinha do Brasil.

## ABSTRACT

This study begins by addressing the trajectory of radiation from its discovery in the 19th century to its contemporary applications, emphasizing the risks that accidents involving radioactive elements can pose to people and the environment. Accordingly, the need for the existence of control bodies and emergency response teams prepared to deal with such situations is highlighted. In the Brazilian context, the emergency response structure to radiological incidents, led by the Brazilian Nuclear Program Protection System, reflects collaboration among organizations such as the National Nuclear Energy Commission, the National Civil Defense and Protection System, and the Brazilian Armed Forces. Within the Armed Forces, the relevance of the Brazilian Navy in this scenario is evidenced by its Nuclear, Biological, Chemical, and Radiological Defense System. The study of the radiological accident in Goiânia involving Cesium-137 served as the basis for this work, aiming to develop a proposal for tactical and operational response involving the structure of the Brazilian Navy and the Marine Corps in such accidents. Each phase of the proposed response cycle, from initial assessment, through victim assistance, recovery and control, to personnel and material demobilization, reveals an integrated operational model for dealing with incidents of this nature. The coordination between specialized units of the Force and other public agencies involved demonstrates the ability to act jointly and highlights the importance of maintaining a specialized, expeditionary, and readily deployable force, ready to act quickly and efficiently anywhere in the national territory. Thus, it underscores the collaboration of the Brazilian Navy in complex crisis scenarios such as a radiological emergency.

**Keywords:** NBQR; Radiation; Radiological Emergency; Brazilian Navy

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Penetração dos diferentes tipos de radiação .....	7
Figura 2- Limites anuais de dose Efetiva e Equivalente .....	17
Figura 3- Região de Goiânia com principais focos de contaminação. A – terreno de Roberto onde a fonte foi aberta; B – casa de Ovídio; C – ferro-velho de Devair; D – casa da fossa; E – ferro-velho de Ivo, pai de Leide das Neves; F – ferro-velho de Joaq.....	25
Figura 4- (01) Avenida Paranaíba com Avenida Tocantins, (02) Rua 57, Casa 68, (3) Rua Francisco da Costa Cunha,(04) Avenida Oeste, (05) Rua 16-A , (06) Rua 15-A, (07) Rua 17-A, (08) Rua P.19.....	38
Figura 5 - Sinalização padronizada para agente radiológico.....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Fator de Qualidade para diversos tipos de radiação .....	9
Tabela 2- Efeitos da radio exposição aguda em adultos.....	13
Tabela 3- Materiais para blindagem de acordo com o tipo de radiação .....	19
Tabela 4- Impactos causados pelo Césio 137 em Goiânia .....	28

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALARA - As Low As Reasonably Achievable  
BtlCmndoCt - Batalhão de Comando e Controle  
BtlDefNBQR - Batalhão de Defesa NBQR  
BtlEngFuzNav - Batalhão de Engenharia de Fuzileiros Navais  
BtlLogFuzNav - Batalhão Logístico de Fuzileiros Navais  
CAAML - Centro de Adestramento Almirante Marques de Leão  
CCSM - Centro de Comunicação Social da Marinha  
CDefNBQR-MB - Centro de Defesa NBQR da Marinha do Brasil  
CEMCFA - Chefe do Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas  
CFN - Corpo de Fuzileiros Navais  
CGCFN - Comando Geral do Corpo de Fuzileiros Navais  
CiaPol - Companhia de Polícia  
CIASC - Centro de Instrução Almirante Sylvio de Camargo  
CMatFN - Comando de Material de Fuzileiros Navais  
CMOpM - Centro de Medicina Operativa da Marinha  
CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear  
ComFFE - Comando da Força de Fuzileiros da Esquadra  
ComOpNav - Comando de Operações Navais  
CS 137 - Césio 137  
Def-NBQR - Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica  
DGMM - Diretoria-Geral do Material da Marinha  
DN - Distrito Naval  
EMA - Estado Maior da Armada  
EPI - Equipamento de Proteção Individual  
EqDesconNBQR - Equipe de Descontaminação NBQR  
EqDesconTec - Equipe de Descontaminação Técnica  
EqRecNBQR - Equipe de Reconhecimento NBQR  
EqRspEmerg - Equipe de Resposta a Emergência  
EqRspNBQR - Equipe de Resposta NBQR  
FFE - Força de Fuzileiros da Esquadra  
GLO - Garantia da Lei e da Ordem  
GpRecNBQR - Grupo de Reconhecimento NBQR

GptOpFuzNav - Grupamento Operativo de Fuzileiros Navais  
HCamp - Hospital de Campanha  
HNMD - Hospital Naval Marcílio Dias  
ICRP - International Commission on Radiological Protection  
ICRU - Comissão Internacional de Unidades e Medidas Radiológicas  
IGR - Instituto Goiano de Radioterapia  
INES - Escala Internacional de Eventos Nucleares  
IRD - Instituto de Radioproteção e Dosimetria  
LabMov - Laboratório Móvel  
LFM - Laboratório Farmacêutico da Marinha  
MB - Marinha do Brasil  
MD - Ministério da Defesa  
NBQR – Nuclear, Biológico, Químico e Radiológico  
OM - Organização Militar  
OMS - Organização Mundial da Saúde  
PDescon - Posto de Descontaminação  
PE - Plano de Embarque  
PelRecNBQR - Pelotão de Reconhecimento NBQR  
PNM - Programa Nuclear da Marinha  
SAR - Síndrome Aguda da Radiação  
SINPDEC - Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil  
SIPRON - Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro  
SisDef-NBQR - Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica  
SisDefNBQR-MB - Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da Marinha do Brasil  
SSM - Sistema de Saúde da Marinha  
UMEM - Unidade Médica Expedicionária da Marinha  
UMEsq - Unidade Médica da Esquadra  
UTDefNBQR - Unidade Tarefa de DefNBQR

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 objetivos .....	3
2 RADIAÇÃO .....	5
2.1 Um breve histórico .....	5
2.2 Tipos de radiação.....	5
2.3 Radiação Ionizante .....	6
2.4 Conceitos básicos de segurança e proteção radiológica .....	8
2.5 Efeitos radiação no corpo humano .....	9
2.6 Proteção Radiológica.....	13
2.6.1 Princípios da Proteção Radiológica.....	15
2.7 Fatores básicos de proteção radiológica .....	17
2.8 Exposição em situações de emergência radiológicas .....	19
2.9 Rejeitos radioativos e depósitos de rejeitos.....	20
3 ACIDENTE RADIOLÓGICO EM GOIÂNIA .....	22
3.1 Uma Análise Histórica.....	22
3.2 Contexto e Origem do Acidente .....	22
3.3 Resposta e Mitigação.....	24
3.4 Impacto na Saúde Humana.....	26
3.5 Impacto nas políticas de proteção radiológica e lições aprendidas .....	27
4 A MARINHA DO BRASIL NA RESPOSTA A EMERGÊNCIAS .....	30
4.1 Legislação e estrutura .....	30
4.2 Sistema de Defesa NBQR da MB .....	30
4.2.1 Requisitos .....	31
4.2.2 Níveis do Sistema .....	31
5 ANÁLISE DA MB E DO CFN EM RESPOSTA A EMERGÊNCIA RADIOLÓGICA .....	34
5.1 Fases de um acidente Radioativo .....	35
5.1.1 Fase Inicial.....	35

5.1.2 Fase Intermediária ou de Controle.....	43
5.1.3 Fase de Recuperação .....	47
6 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

A descoberta da radiação no final do século XIX e início do século XX representa um marco histórico na evolução do conhecimento científico, desencadeando uma nova era de exploração e compreensão das propriedades da matéria e da energia. No final do século XIX, notáveis avanços científicos levaram à identificação de fenômenos radioativos, redefinindo paradigmas e catalisando investigações posteriores. Essas descobertas iniciais, documentadas e relatadas com minúcia, constituíram os primeiros passos na compreensão de um espectro de radiações com profundas implicações científicas e práticas.<sup>1</sup>

Atualmente, a aplicação da radiação permeia diversas esferas da sociedade, desempenhando um papel crucial em áreas como medicina, energia, indústria e pesquisa. Na medicina, por exemplo, a radioterapia e a medicina nuclear empregam radiações ionizantes para diagnóstico e tratamento de doenças, garantindo abordagens mais precisas e eficazes. Já na indústria, uma aplicação para a radiação é a radiografia para inspeção de soldas e estruturas, enquanto a geração de energia nuclear proporciona uma fonte confiável de energia limpa.<sup>2</sup>

As fontes radiológicas, carregam consigo o potencial de exposição a radiações ionizantes, que apresentam riscos à saúde humana e ao meio ambiente. A possibilidade de falhas operacionais, acidentes ou uso indevido de tais fontes acende o alerta para os perigos associados, incluindo a disseminação não controlada de radiações, contaminação ambiental e exposição não intencional. Nesse sentido, a preocupação com incidentes envolvendo fontes radiológicas é uma consideração central na gestão da segurança e na regulamentação das atividades relacionadas à radiação. A conscientização sobre a importância da segurança radiológica, aliada ao desenvolvimento de estruturas de resposta a emergências, emerge como um componente vital para prevenir, mitigar e controlar os riscos inerentes às fontes radiológicas.<sup>3</sup>

Nesse tocante, temos no Brasil, uma estrutura de resposta a emergências radiológicas que envolve a colaboração de diversos órgãos e instituições que possuem papéis específicos na gestão e mitigação dos riscos associados a incidentes radiológicos. No topo dessa estrutura, o Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro (SIPRON) configura-se como uma estrutura abrangente e integrada, estabelecida pelo governo brasileiro, voltada para salvaguardar as atividades e materiais inerentes ao programa nuclear do país. Fundamentado em princípios de segurança, proteção radiológica e conformidade normativa, o SIPRON aglutina distintos elementos operacionais e regulatórios dos quais podemos destacar a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e Forças Armadas Brasileiras.<sup>4</sup>

A CNEN é uma autarquia do Governo Federal e ocupa um papel central quanto a regulação, autorização e fiscalização das atividades nucleares e radiológicas afim de garantir a segurança de trabalhadores, população e meio ambiente. Em seu organograma destacamos o IRD (Instituto de Radioproteção e Dosimetria) que é vinculada a CNEN desde 1985 e exerce função crucial na promoção de segurança e proteção radiológica atuando na pesquisa e desenvolvimento, dosimetria e calibração, treinamento e capacitação e monitoramento ambiental. Deste modo, ambas entidades trabalham em sinergia. Enquanto a CNEN estabelece as diretrizes regulatórias, o IRD atua como executor, aplicando as normas de proteção radiológica em todo território brasileiro. <sup>5</sup>

Ademais, a capacidade de resposta a situações de emergência coordenada pelo SIPRON é fortalecida por meio de equipes especializadas das Forças Armadas, abarcando a Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica (Def-NBQR). <sup>4</sup>

Dentro das Forças Armadas, O Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica (SisDef-NBQR) representa uma estrutura interdisciplinar e especializada, dedicada à gestão de ameaças e situações de emergência relacionadas a agentes nucleares, biológicos, químicos e radiológicos. Fundamentado em conhecimentos científicos, técnicos e táticos, o sistema abrange planejamento, treinamento, recursos operacionais e protocolos de resposta. A atuação da Def-NBQR abrange a identificação, análise e contramedidas frente a eventos que envolvam tais agentes, visando proteger a segurança da população, o meio ambiente e o interesse nacional. <sup>6</sup>

No âmbito da Marinha do Brasil (MB), existe o Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da Marinha do Brasil (SisDefNBQR-MB), regulado pelo Estado Maior da Armada (EMA), por meio da portaria n ° 132 de 29 de agosto de 2016. Esse Sistema é o conjunto de organizações da MB que exercem atividades operacionais e de Inteligência, relacionadas ao combate a emergências de natureza NBQR. Neste contexto estão as Operações de Guerra Naval, das Atividades de Emprego Limitado da Força e Atividades Benignas em estreita cooperação com o órgão central do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o SIPRON. <sup>2</sup>

Dito isso, para atuação a uma emergência radiológica, a MB desempenha um papel de extrema relevância, mobilizando recursos e expertise para garantir a segurança pública e a proteção do meio ambiente. Além do mais, o que tange o tratamento as vítimas de exposição à radiação, o Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD), instituição de referência médica da Marinha, assume um papel crucial ao prover essa assistência médica especializada, contribuindo para minimizar os impactos na saúde. Além disso, o Corpo de Fuzileiros Navais

(CFN), com sua habilidade em atuar em diversos ambientes e cenários, amplifica a capacidade de resposta ao prover suporte logístico, controle de áreas afetadas e descontaminação, assegurando uma intervenção eficaz e coordenada em situações de crise radiológica. A colaboração sinérgica entre essas entidades reforça a abordagem multidisciplinar e estratégica que é essencial na mitigação dos riscos e na preservação da segurança da população e da nação em face de desafios radiológicos complexos.<sup>2</sup>

Apesar de não haver registro do emprego de agentes radiológicos em situações de campanha ao longo da história, o desenvolvimento da tecnologia atrelada ao uso destes agentes, como já citado anteriormente, faz com que haja receio e temor acerca do uso da radiação. Assim sendo, qualquer tipo de acidente com material radiológico traz severos impactos para a saúde e meio ambiente. A exemplo disso pode-se citar o acidente com o isótopo radioativo de Césio-137 que ocorreu na cidade de Goiânia e é considerado o maior acidente radioativo do mundo já ocorrido fora de usinas nucleares.<sup>2</sup>

O acidente radiológico de Goiânia, ocorrido em setembro de 1987, constitui um marco significativo na história da segurança radiológica no Brasil. Este evento foi desencadeado pelo manejo inadequado de uma cápsula de césio-137 altamente radioativa, que foi inadvertidamente aberta por catadores de sucata em uma clínica de exame de imagens abandonada na cidade de Goiânia, Estado de Goiás. A dispersão do césio-137 resultou em uma contaminação significativa do ambiente urbano e levou à exposição involuntária de inúmeras pessoas à radiação ionizante. O incidente provocou graves consequências para a saúde das vítimas, incluindo casos de doença aguda por radiação e óbitos, bem como desafios significativos no que diz respeito à descontaminação do local e à gestão dos resíduos radioativos. O acidente de Goiânia teve implicações de longo prazo para a conscientização pública sobre a segurança radiológica e levou a mudanças substanciais nas regulamentações e práticas de manuseio de materiais radioativos no Brasil, destacando a necessidade premente de medidas rigorosas de controle e supervisão de fontes radioativas.<sup>7</sup>

## 1.1 OBJETIVOS

Diante do exposto, tendo em vista a gravidade de um acidente radiológico e a necessidade de haver entidades com expertise no assunto e que possam atuar nesse tipo de desastre, o acidente envolvendo Césio 137 em Goiânia será usado como referência para realizar um estudo que demonstre as capacidades da MB e especificamente do CFN em atuar na resposta a uma emergência radiológica de modo a salvaguardar a vida humana, mitigar danos

ambientais, psicossociais e econômicos. Para isso, será exposto as ações que podem ser desencadeadas pela Força nesse cenário e organiza-lo para que possa servir como fonte de consulta.

O tema em estudo, poderá contribuir para o ensino, gerando conhecimento específico aos discentes que poderão agregar ideias e multiplicar aos seus pares. Para a prática profissional, tal conhecimento poderá ser aplicado nos manuais e cursos ministrados pela MB na área de Defesa NBQR. E na pesquisa, esse estudo poderá ser divulgado na mídia e servir para novos estudos sobre o assunto.

## 2 RADIAÇÃO

### 2.1 UM BREVE HISTÓRICO

A descoberta da radioatividade é intrinsecamente vinculada à virada do século XIX para o século XX, um período de intensa pesquisa científica que culminou em avanços fundamentais na compreensão da natureza da matéria e da estrutura atômica. <sup>8</sup>

Em 1895 o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen descobriu acidentalmente o raio X, enquanto trabalhava em tubos de vácuo que criavam raios catódicos. Roentgen então aprofundou os estudos acerca de sua descoberta e notou a capacidade desses raios em penetrar a matéria, transpassa-la e recriar as imagens do seu interior. Tais propriedades permitiram o uso na medicina, especialmente nos exames de imagens, de forma a se obter detalhes do interior do corpo humano sem a necessidade de intervenção cirúrgica. Esse feito proporcionou ao físico alemão o Premio Nobel de Física em reconhecimento a sua importante descoberta. <sup>9</sup>

Em 1896, o físico francês Henri Becquerel realizou experimentos com compostos de urânio, observando a capacidade desses materiais de emitir radiações de forma espontânea, um fenômeno até então desconhecido. Em sua homenagem a unidade de medida dessa liberação de energia foi batizada de Becqueréis (Bq). <sup>9</sup>

Pouco tempo depois, em 1898, o casal de cientistas Pierre e Marie Curie dando continuidade aos estudos de Becquerel, notaram que ao liberar radiação o urânio se transformava em novos elementos químicos batizados de rádio e polônio. Utilizaram o termo “radioatividade” pela primeira vez para descrever a energia emitida por eles. Em 1903 o casal Pierre e Marie Curie junto com Becquerel dividiram o Prêmio Nobel pelas suas descobertas no campo da radioatividade. <sup>9</sup>

Ernest Rutherford, por sua vez, desempenhou um papel crucial na categorização das diferentes radiações emitidas por elementos radioativos, distinguindo partículas alfa, partículas beta e radiação gama. Essas descobertas coletivas abriram portas para a física nuclear e a química radioativa, dando origem a inúmeras aplicações em medicina, indústria e energia. <sup>1</sup>

### 2.2 TIPOS DE RADIAÇÃO

A radiação é um fenômeno físico intrinsecamente ligado à emissão de energia sob diversas formas, sejam elas ondas eletromagnéticas ou partículas subatômicas, originárias de fontes naturais ou artificiais. A ampla gama de frequências no espectro eletromagnético, que

inclui desde ondas de rádio até raios gama de alta energia, bem como a variedade de partículas subatômicas, como prótons, elétrons e nêutrons, constitui os meios pelos quais a radiação se propaga através do espaço. <sup>10</sup>

A interação da radiação com a matéria é um aspecto crucial no estudo de suas implicações. As partículas carregadas, como elétrons e prótons, podem interagir com átomos e moléculas por meio de colisões, resultando em transferência de energia, excitação ou ionização. Por outro lado, a radiação eletromagnética pode ser absorvida, refletida ou refratada por materiais, dependendo de suas propriedades, como densidade e composição. <sup>11</sup>

Para fins de estudos acerca da interação com a matéria, a radiação é frequentemente dividida em duas categorias principais: radiação ionizante e não ionizante. A radiação ionizante possui energia suficiente para remover elétrons de átomos e moléculas, resultando na formação de íons e potenciais danos biológicos, como mutações genéticas e danos aos tecidos. Isso inclui raios-x, raios gama, partículas alfa, beta e de nêutrons. Por outro lado, a radiação não ionizante não possui energia suficiente para ionizar a matéria e inclui radiação infravermelha, micro-ondas, rádio e luz visível, com riscos à saúde geralmente associados a exposições prolongadas em níveis elevados. <sup>9</sup>

No presente trabalho, direcionaremos nossa atenção apenas a compreensão e efeitos da radiação ionizante bem como suas implicações a saúde dos seres vivos e meio ambiente que forem expostas a tal categoria de radiação.

### 2.3 RADIAÇÃO IONIZANTE

A radiação ionizante é uma forma de energia radiante que desempenha um papel de destaque nas ciências físicas, médicas, industriais e ambientais. <sup>12</sup>

A radiação ionizante é definida por sua capacidade intrínseca de ionizar átomos e moléculas durante a interação com a matéria. Esse processo envolve a remoção de elétrons dos orbitais atômicos, resultando na formação de íons eletricamente carregados. Essa característica singular distingue a radiação ionizante de outras formas de radiação, como a radiação não ionizante. <sup>12</sup>

As radiações ionizantes podem ser classificadas em duas categorias principais: radiações particulares e radiações eletromagnéticas. As primeiras incluem partículas subatômicas carregadas, como partículas alfa (núcleos de hélio), partículas beta (elétrons ou pósitrons de alta energia) e nêutrons. Essas partículas têm a capacidade de ionizar átomos diretamente durante sua interação com a matéria. Dentre as radiações eletromagnéticas, as

únicas que são consideradas ionizantes são as de raios X e raios gama. Elas não são partículas carregadas, mas, em vez disso, ionizam átomos indiretamente por meio da produção de elétrons secundários durante sua interação com a matéria. <sup>13</sup>

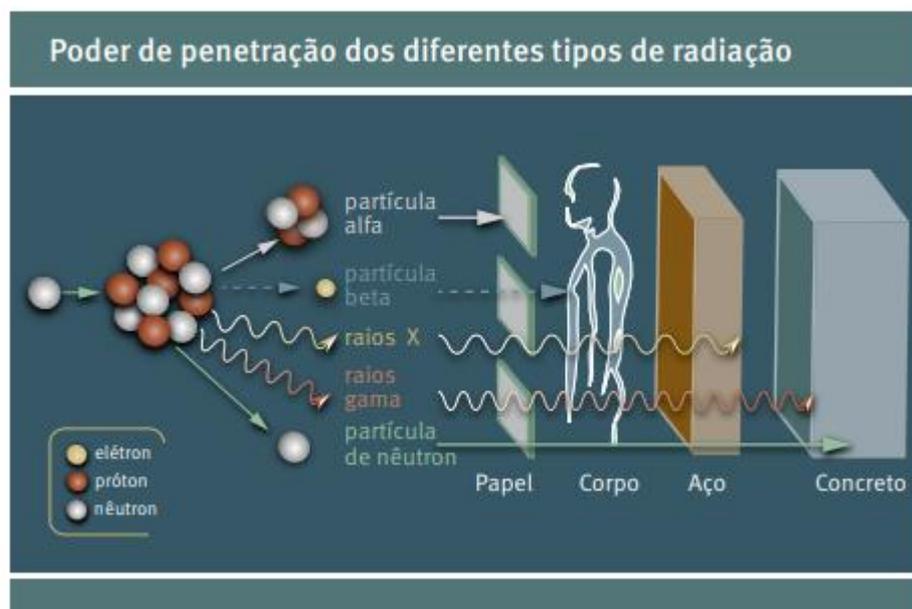
Partículas alfa são compostas por dois prótons e dois nêutrons. São partículas pesadas, carregadas positivamente. Por possuírem massa, as partículas alfas são facilmente bloqueadas e não conseguem penetrar a pele de uma pessoa. <sup>14</sup>

Partículas beta são constituídas por um elétron e um pósitron. Possuem energia para ionizar átomos e moléculas removendo elétrons dos átomos com o qual interage. Elas possuem poder de penetração maior que as partículas alfa e podem causar danos a pele exposta a esse tipo de radiação. <sup>14</sup>

Diferente das radiações alfa e beta que possuem partículas, as radiações por raio X são formadas por ondas eletromagnéticas emitidas por núcleo instáveis gerada por aceleração de elétrons altamente energéticos. Devido sua alta energia e frequência, tem a capacidade de penetrar na matéria, inclusive tecidos biológicos, removendo elétrons dos átomos dessas estruturas de forma a ionizá-los. <sup>13</sup>

Os raios gama, também são emitidas por ondas eletromagnéticas e representam uma forma altamente energética de radiação ionizante. Produzidos nos núcleos dos átomos através de decaimentos radioativos ou reações nucleares de alta energia, possuem alta frequência e energia com grande capacidade de penetração na matéria, podendo ultrapassar matérias de alta densidade como concreto e chumbo o que a faz ser altamente perigosa a saúde humana. <sup>13</sup>

**Figura 1- Penetração dos diferentes tipos de radiação**



Fonte: UNEP. Radiação: efeitos e fontes (1996, p.9) <sup>9</sup>

As fontes de radiação ionizante abrangem uma variedade de origens naturais e artificiais. Fontes naturais incluem isótopos radioativos presentes na Terra, como o urânio e o tório, bem como radiações cósmicas e radônio. Fontes artificiais são produzidas por atividades humanas e incluem usinas nucleares, dispositivos de radioterapia médica, aceleradores de partículas, armas nucleares e até mesmo experimentos científicos de pesquisa em laboratórios.<sup>9</sup>

A interação da radiação ionizante com seres vivos pode ser prejudicial. A ionização de moléculas biológicas, como o DNA, pode causar danos genéticos, mutações e aumentar o risco de câncer. Além disso, a exposição prolongada a níveis elevados de radiação pode ser letal para células e tecidos.<sup>15</sup>

Para entender melhor os efeitos da radiação ionizante nos seres vivos e meio ambiente, alguns conceitos devem ser apresentados.

## 2.4 CONCEITOS BÁSICOS DE SEGURANÇA E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Atividade (A): é uma medida que descreve a taxa de desintegração de núcleos radioativos em uma amostra. Ela quantifica o número de núcleos que se transformam em outras substâncias radioativas ou estáveis em um determinado período de tempo. A unidade padrão para atividade no Sistema Internacional (SI) é o becquerel (Bq), que equivale a desintegração de um átomo por segundo.<sup>1</sup>

Exposição (X): é uma medida que quantifica a quantidade de carga elétrica produzida quando a radiação ionizante incide sobre um volume específico de ar. Ela é usada para descrever a intensidade da radiação na atmosfera ou em um determinado ambiente. A unidade de exposição no Sistema Internacional (SI) é o coulomb por quilograma (C/kg), que representa a carga elétrica gerada por unidade de massa de ar. A exposição é uma medida importante pois auxilia na avaliação da quantidade de radiação presente em um local ou ambiente.<sup>2</sup>

Dose absorvida (D): é uma medida que representa a quantidade de energia depositada em um material, geralmente tecidos humanos, por unidade de massa. Essa medida é fundamental na avaliação dos efeitos da radiação ionizante sobre os organismos vivos, pois permite quantificar o quanto de energia é absorvida pelos tecidos expostos à radiação. No Sistema Internacional (SI), a unidade de medida da dose absorvida é o gray (Gy), que equivale a um joule de energia absorvida por quilograma de massa. A Dose absorvida segue uma relação com a Exposição(X) conforme a seguinte equação  $D = (0,00876 \cdot X)$ .<sup>2</sup>

Dose equivalente (H): é uma medida que leva em consideração não apenas a quantidade de energia absorvida em um material pelos efeitos da radiação ionizante, mas também a

qualidade da radiação e seu potencial de dano biológico. Essa grandeza é especialmente relevante quando diferentes tipos de radiação têm efeitos biológicos variados, como é o caso de radiações alfa, beta, gama e nêutrons. A unidade de medida da dose equivalente é o sievert (Sv), que reflete a dose absorvida ajustada pelo fator de qualidade devido ao tipo de radiação.<sup>2</sup>

Desta maneira, podemos quantificar a dose equivalente segundo a seguinte equação;  
 $H=D.Q$ <sup>1</sup>

Onde H é a Dose equivalente em Sv, D é a Dose absorvida em Gy e Q é o fator de qualidade que depende do tipo de radiação incidente no ponto<sup>1</sup>. Alguns valores do fator de qualidade são mostrados na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1-Fator de Qualidade para diversos tipos de radiação**

TIPO DE RADIAÇÃO	FATOR DE QUALIDADE (Q)
Raio X, Raio Gama	1
Partículas Beta	10
Nêutrons	20
Partículas Alfa	20

Fonte: Princípios básicos de segurança e proteção radiológica (2006, p. 45).<sup>1</sup>

Taxa de dose equivalente: é a razão entre a dose equivalente e o tempo (Sv/h).<sup>2</sup>

Dose efetiva (E): é uma medida que representa a dose média ponderada de radiação ionizante que um indivíduo ou um grupo de pessoas recebeu, levando em consideração os diferentes tecidos e órgãos do corpo humano e sua sensibilidade à radiação. Ela é expressa em sieverts (Sv) e é usada para avaliar o risco biológico da exposição à radiação em todo o corpo. O cálculo da Dose Efetiva é dada pela equação  $E=H.W$ .<sup>2</sup>

Onde (E) é dose efetiva, (H) é dose equivalente em cada tecido ou órgão específico e (W) fatores de ponderação de tecidos a radiação. Os valores de (W) são estabelecidos pela International Commission on Radiological Protection (ICRP).<sup>2</sup>

Calculo de dose total: é o produto da taxa de dose equivalente pelo tempo de exposição. De modo que quanto maior o tempo de exposição à radiação, maior será a dose recebida.<sup>2</sup>

## 2.5 EFEITOS RADIAÇÃO NO CORPO HUMANO

A exposição à radiação ionizante é uma preocupação substancial na sociedade atual, dada a sua ampla gama de aplicações, desde diagnósticos médicos por imagem, produção de

energia nuclear, emergências envolvendo fontes radioativas como o acidente envolvendo Césio 137 em Goiânia, a explosão da usina nuclear de Chernobyl na antiga União Soviética assim como o acidente com a usina Fukushima no Japão. Para compreender plenamente os efeitos da radiação nos seres humanos, é essencial abordar detalhadamente os mecanismos pelos quais a radiação interage com o corpo humano, bem como seus efeitos imediatos e tardios na saúde, incluindo o desenvolvimento de câncer, a síndrome aguda da radiação, efeitos hereditários e a classificação das doses radiológicas.

Os mecanismos de ação da radiação nos seres humanos podem ser divididos em interações diretas e indiretas. As interações diretas ocorrem quando partículas carregadas emitidas pela radiação, como elétrons ou núcleos de átomos, colidem diretamente com átomos ou moléculas nos tecidos humanos. Esse impacto causa ionização, levando à formação de íons e à quebra de ligações químicas. O resultado pode ser danos diretos ao DNA, prejudicando a integridade genética. Por outro lado, as interações indiretas ocorrem quando a radiação ionizante atinge moléculas de água no corpo, gerando radicais livres altamente reativos, que, por sua vez, podem danificar biomoléculas, incluindo o DNA. Esses mecanismos, embora complexos, fornecem insights essenciais sobre como a radiação afeta as células e os tecidos humanos.<sup>15</sup>

Os efeitos imediatos são, em grande parte, dependentes da dose e da taxa de exposição, sendo mais graves com doses mais elevadas e exposições rápidas. Dentre os efeitos imediatos, o mais conhecida é a Síndrome Aguda da Radiação (SAR).<sup>9</sup>

A Síndrome Aguda da Radiação (SAR) é uma condição clínica complexa que se manifesta após a exposição aguda a doses elevadas de radiação ionizante. Essa síndrome é caracterizada por uma série de sintomas debilitantes e potencialmente letais que afetam diferentes sistemas do organismo. A compreensão aprofundada da SAR é crucial, pois ela tem implicações diretas na avaliação de riscos associados à exposição à radiação, bem como na gestão e tratamento de indivíduos afetados. Neste contexto, é essencial explorar as categorias da SAR, que incluem a SAR Hematopoiética, SAR Gastrointestinal e SAR Neurológica.<sup>12</sup>

A SAR Hematopoiética, também conhecida como Síndrome da Medula Óssea, é a categoria mais imediatamente preocupante e potencialmente fatal da SAR. Ela ocorre quando a exposição à radiação resulta em danos significativos à medula óssea, comprometendo a produção de células sanguíneas, incluindo glóbulos vermelhos, glóbulos brancos e plaquetas. Os sintomas incluem anemia, fraqueza, hemorragias e infecções recorrentes devido à supressão do sistema imunológico. A SAR Hematopoiética é dose-dependente, com a gravidade

aumentando com a dose de radiação e a taxa de exposição. Em casos graves, a recuperação é improvável sem transplante de medula óssea.<sup>12</sup>

A SAR Gastrointestinal é outra categoria crítica da síndrome aguda da radiação, que se manifesta quando o trato gastrointestinal é afetado de maneira substancial. Os sintomas incluem náuseas intensas, vômitos, diarreia grave e desidratação, resultando em um estado de deterioração geral da saúde. A SAR Gastrointestinal é frequentemente observada em exposições a doses elevadas de radiação e está associada à alta morbidade e mortalidade. A atenção médica imediata é essencial para a gestão dessa condição.<sup>12</sup>

Por fim, a SAR Neurológica é a menos comum das categorias da síndrome aguda da radiação, mas não menos preocupante. Ela se desenvolve quando a radiação afeta o sistema nervoso central e periférico. Os sintomas podem incluir confusão mental, convulsões, perda de consciência e coma. A SAR Neurológica é geralmente associada a exposições a doses muito elevadas de radiação, como aquelas observadas em acidentes nucleares graves. A mortalidade é alta, e o tratamento é limitado principalmente a medidas de suporte.<sup>12</sup>

Já os efeitos tardios representam uma preocupação substancial, uma vez que podem se desenvolver anos ou décadas após a exposição. Um dos efeitos tardios mais significativos é o desenvolvimento de câncer, resultante de mutações e danos ao DNA causados pela radiação. Os tipos de câncer mais comuns associados à exposição à radiação incluem leucemia, câncer de tireoide, câncer de mama, câncer de pulmão e câncer de cólon. É importante destacar que os riscos de câncer são dose-dependentes e, em muitos casos, não há um limiar abaixo do qual a exposição à radiação seja considerada segura.<sup>11</sup>

Além dos efeitos no indivíduo exposto, a radiação pode ter impactos hereditários, afetando as gerações futuras. Embora esses efeitos hereditários sejam relativamente raros e complexos, eles têm sido observados em estudos epidemiológicos em animais e, em alguns casos, em populações humanas expostas a doses muito elevadas de radiação.<sup>12</sup>

A classificação das doses de radiação é fundamental para entender seus efeitos. As doses são frequentemente categorizadas em doses baixas, moderadas, altas e doses muito altas. As doses baixas e moderadas estão associadas a efeitos estocásticos, que são aqueles que ocorrem aleatoriamente e cuja probabilidade aumenta com a dose. Os principais efeitos estocásticos incluem o aumento do risco de câncer. Por outro lado, as doses altas e muito altas podem resultar em efeitos teciduais determinísticos, onde a gravidade do dano está diretamente relacionada à dose, e geralmente há um limiar para sua ocorrência. Esses efeitos podem incluir síndromes agudas da radiação, danos orgânicos imediatos e, em casos extremos, a morte.<sup>15</sup>

A unidade de medida da dose de radiação absorvida é conhecida como Gy (Gray). Em sessões de radioterapia, é comum administrar uma dose absorvida de 2 Gy em um tumor específico. Para ilustrar os efeitos da exposição à radiação em todo o corpo, é importante mencionar que a dose letal, ou seja, aquela que resulta na morte de 50% dos seres humanos irradiados cerca de 30 dias após a irradiação, é de aproximadamente 4 Gy. <sup>16</sup>

Doses de radiação inferiores a 1 Gy geralmente não causam sintomas imediatos, mas aumentam o risco de desenvolvimento de câncer, o qual pode se manifestar muitos anos ou até décadas após a exposição inicial. Em exposições que variam entre 1 Gy e 2 Gy, é possível observar sintomas como desconforto, fadiga, falta de apetite, náuseas e vômitos, manifestando-se geralmente em um intervalo de 3 a 6 horas após a exposição. <sup>16</sup>

Quando a dose absorvida varia entre 2 Gy e 4 Gy, a função medular pode ser comprometida, levando a uma redução no número de hemácias, leucócitos e plaquetas no sangue. Doses entre 4 Gy e 6 Gy resultam em uma grave disfunção medular, afetando significativamente a produção desses componentes sanguíneos. <sup>16</sup>

À medida que a dose de radiação aumenta para o intervalo de 6 Gy a 7 Gy, podem ocorrer sintomas graves, incluindo diarreia, vômitos e hemorragias, e a morte pode ocorrer após 5 a 6 dias. <sup>16</sup>

Doses ainda mais elevadas, entre 8 Gy e 9 Gy, podem resultar em morte dentro de um período de 12 a 36 horas, geralmente devido à Insuficiência Respiratória Aguda. <sup>16</sup>

Quando a exposição à radiação ultrapassa 10 Gy, as vítimas experimentam distúrbios neurológicos severos, incluindo coma e convulsões, com a morte ocorrendo em questão de horas após a exposição. É importante destacar que a resposta biológica à radiação varia com a dose e o tempo de exposição, sendo essencial considerar esses fatores ao avaliar os efeitos da radiação no corpo humano. <sup>16</sup>

A Tabela-2, traz um resumo dos efeitos da radio exposição em um adulto;

Tabela 2- Efeitos da radio exposição aguda em adultos

FORMA	DOSE ABSORVIDA	SINTOMATOLOGIA
Infra-clínica	Inferior a 1 Gy	Ausência de sintomatologia na maioria dos indivíduos.
Reações gerais leves	1-2 Gy	Astenia, náuseas, vômitos (3 a 6 hs. Após a exposição; sedação em 24 hs.)
Hematopoiética leve	2-4 Gy	Função medular atingida: linfopenia, leucopenia trombopenia, anemia; recuperação em 6 meses.
Hematopoiética grave	4-6 Gy	Função medular gravemente atingida.
DL <sub>50</sub>	4-4,5 Gy	Morte de 50% dos indivíduos irradiados
Gastro-intestinal	6-7 Gy	Diarréia, vômitos, hemorragias, morte 5 ou 6 dias.
Pulmonar	8-9 Gy	Insuficiência respiratória aguda, coma e morte entre 14 e 36 h.
Cerebral	superior a 10 Gy	Morte em poucas horas por colapso

Fonte: Yannick N. Radiações Ionizantes e a vida (2006, p.32) <sup>12</sup>

A diferenciação entre irradiação e contaminação representa um ponto fundamental na compreensão dos riscos associados à exposição à radiação. Irradiação refere-se ao processo pelo qual um corpo ou objeto é exposto a radiações ionizantes externas, mas não entra em contato direto com material radioativo. Isso implica que, após a exposição, o objeto não se torna radioativo por si só. Em contraste, contaminação ocorre quando um corpo ou superfície entra em contato direto com material radioativo, resultando na presença de partículas radioativas aderidas à superfície ou incorporadas ao corpo. Enquanto na irradiação o risco depende principalmente da dose absorvida e da natureza da radiação, na contaminação, há um risco adicional relacionado à ingestão, inalação ou absorção cutânea das partículas radioativas, que podem se depositar em tecidos internos e emitir radiação a partir do interior do corpo. <sup>2</sup>

## 2.6 PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

A Proteção Radiológica, também conhecida como Radioproteção, é um campo essencial que se dedica a um conjunto de medidas destinadas a preservar a saúde humana e proteger o ecossistema de possíveis efeitos adversos provocados pelas radiações ionizantes.<sup>11</sup>

Para quantificar e qualificar esses efeitos potenciais, a proteção radiológica recorre à definição de grandezas radiológicas, unidades de medida, e faz uso de instrumentos de medição específicos. Além disso, detalha procedimentos precisos para o uso seguro das radiações ionizantes.<sup>11</sup>

É de extrema importância estabelecer normas regulatórias e limites permissíveis, bem como criar um sólido plano de Proteção Radiológica para instalações que realizam práticas envolvendo radiação ionizante. Essas medidas têm como objetivo garantir que a utilização dessas tecnologias seja feita de maneira correta e segura.<sup>11</sup>

No Brasil, a regulação da proteção radiológica é responsabilidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). A CNEN é uma autarquia federal vinculada ao Ministério de Minas e Energia que tem como função estabelecer normas, regulamentações e diretrizes para o uso seguro de fontes de radiação ionizante em todas as áreas, incluindo a medicina, indústria, pesquisa e energia nuclear.<sup>3</sup>

A estrutura da CNEN é organizada em diversas diretorias, cada uma com suas responsabilidades específicas, abrangendo desde a regulamentação e licenciamento até a pesquisa e desenvolvimento nuclear. A atuação da CNEN é fundamental para garantir que o uso das radiações ionizantes no Brasil seja seguro, eficiente e em conformidade com padrões nacionais e internacionais.<sup>3</sup>

O Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), criado em 1985, desempenha um papel complementar à CNEN no que diz respeito à pesquisa, desenvolvimento, treinamento e serviços especializados relacionados à radioproteção e dosimetria.<sup>5</sup>

Uma das principais áreas de atuação do IRD é a pesquisa e desenvolvimento em proteção radiológica. O instituto realiza estudos avançados relacionados às interações entre radiações ionizantes e a matéria, o que é essencial para entender os riscos e os efeitos da exposição à radiação e desenvolver medidas de proteção mais eficazes. Além disso, o IRD também se dedica à pesquisa em dosimetria, a ciência que mede as doses de radiação recebidas por pessoas e objetos, o que é fundamental para garantir a segurança nas aplicações de radiação.<sup>17</sup>

Outro aspecto importante da atuação do IRD é o treinamento e a capacitação em proteção radiológica. O instituto oferece cursos, workshops e treinamentos especializados para

profissionais que trabalham com radiações ionizantes, promovendo a disseminação do conhecimento e a adoção de boas práticas em todo o país.<sup>17</sup>

Além disso, o IRD fornece serviços especializados em dosimetria pessoal e ambiental, calibrando dosímetros utilizados por trabalhadores expostos à radiação e monitorando a radiação em áreas onde a exposição é uma preocupação. Esses serviços desempenham um papel vital na garantia de que os limites de dose regulamentares são respeitados e que a saúde dos trabalhadores e do público em geral é protegida.<sup>17</sup>

Em resumo, o IRD complementa as atividades da CNEN, concentrando-se em pesquisa, desenvolvimento, treinamento e serviços especializados relacionados à proteção radiológica e dosimetria. Sua atuação é essencial para a melhoria contínua das práticas de segurança radiológica no Brasil, contribuindo para a proteção da saúde humana e a preservação do meio ambiente em todas as áreas onde as radiações ionizantes desempenham um papel importante.<sup>17</sup>

Os princípios, procedimentos, grandezas e filosofia de trabalho em proteção radiológica estão em constante evolução e são regularmente atualizados pelas publicações da Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP). Além disso, a Comissão Internacional de Unidades e Medidas Radiológicas (ICRU) cuida das grandezas e unidades de medida, aprimorando e atualizando o processo.<sup>11</sup>

### **2.6.1 Princípios da Proteção Radiológica**

**Princípio da Justificação:** Na proteção radiológica ele estabelece que toda exposição a radiações ionizantes deve ser criteriosamente avaliada, considerando os benefícios em relação aos riscos. Seu propósito é garantir que a exposição seja plenamente justificada, seja em procedimentos médicos, pesquisas ou na indústria. Esse princípio exige uma análise crítica e ética constante, ressaltando a responsabilidade de equilibrar a busca pelo conhecimento com a preservação da saúde e segurança humanas, sempre priorizando alternativas menos radiogênicas quando possível.<sup>1</sup>

**Princípio da Otimização:** emerge como um pilar fundamental, complementando o Princípio da Justificação. Enquanto o Princípio da Justificação enfatiza a necessidade de avaliar cuidadosamente se a exposição às radiações ionizantes é justificada pelos benefícios esperados, o Princípio da Otimização se concentra em minimizar as doses de radiação a níveis tão baixos quanto razoavelmente possíveis, mantendo ao mesmo tempo a qualidade dos resultados. Esse princípio é conhecido pela comunidade internacional da área de proteção radiológica pela sigla

ALARA ( As Low As Reasonably Achievable), que significa “tão baixo quanto razoavelmente exequível”<sup>2</sup>

Para Isso, deve-se adotar práticas, técnicas e tecnologias que reduzam ao máximo possível as doses de radiação sem comprometer a qualidade dos resultados pretendidos. Seja na medicina, indústria ou pesquisa, a otimização é aplicada de forma personalizada a cada situação, levando em consideração a natureza da exposição, a sensibilidade dos indivíduos envolvidos e as alternativas disponíveis.<sup>1</sup>

Princípio da Limitação de Dose: esse princípio desempenha um papel central na salvaguarda da saúde humana e na minimização dos riscos associados à exposição às radiações ionizantes. Ele estabelece limites máximos de exposição que não devem ser ultrapassados, seja para trabalhadores expostos ou para o público em geral.<sup>11</sup>

Os limites de dose são estabelecidos com base em sólidas evidências científicas e em considerações de segurança. Eles variam dependendo do tipo de exposição e da natureza da atividade, mas todos têm como objetivo fundamental garantir que as doses de radiação permaneçam em níveis seguros, minimizando o risco de efeitos adversos à saúde.<sup>11</sup>

A exposição típica das pessoas deve ser controlada de maneira a garantir que nem a dose efetiva nem a dose equivalente em órgãos ou tecidos de interesse, resultantes da possível acumulação de exposições provenientes de práticas autorizadas, ultrapassem os limites estabelecidos pela CNEN conforme a Figura a seguir.<sup>11</sup>

Figura 2- Limites anuais de dose Efetiva e Equivalente

Grandeza		Indivíduo Ocupacionalmente Exposto (mSv)	Indivíduo do Público (mSv)	Aprendiz ou Estudante (16 a 18 anos) (mSv)	Visitante ou Acompanhante (mSv)
Dose Efetiva ou de Corpo inteiro		20 <sup>a, b</sup>	1 <sup>c</sup>	6	5 <sup>d</sup>
Dose Equivalente	Cristalino	150	15	50	
	Extremidades (mãos e pés) Pele	500 <sup>e</sup>	50 <sup>e</sup>	150 <sup>e</sup>	

<sup>a</sup> Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar temporariamente uma mudança na limitação de dose, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano, o período temporário de mudança não ultrapasse 5 anos consecutivos, e que a dose efetiva média nesse período temporário não exceda 20 mSv por ano.

<sup>b</sup> Mulheres grávidas (IOE) não podem exceder a 1 mSv por ano.

<sup>c</sup> Em circunstâncias especiais, a CNEN poderá autorizar um valor de dose efetiva de até 5 mSv em um ano, desde que a dose efetiva média em um período de 5 anos consecutivos não exceda a 1 mSv por ano.

<sup>d</sup> Por período (diagnóstico + tratamento).

<sup>e</sup> Valor médio numa área de 1 cm<sup>2</sup> da parte mais irradiada.

Fonte: Tauhata, L., Salati, I. P. A., Di Prinzio, R., Di Prinzio, M. A. R. R. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos (2014, p. 239) <sup>11</sup>

## 2.7 FATORES BÁSICOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

Os fatores básicos desempenham um papel crucial na minimização da exposição a radiações ionizantes, garantindo que as práticas envolvendo radiações sejam seguras e eficientes. Estes fatores (tempo, distância e blindagem) são fundamentais para a aplicação dos princípios da proteção radiológica vistos acima. <sup>2</sup>

Tempo: o fator tempo de exposição é um dos pilares essenciais para garantir que a exposição a radiações ionizantes seja mantida em níveis seguros, minimizando o risco para a saúde humana. <sup>2</sup>

O tempo de exposição refere-se à duração durante a qual uma pessoa é exposta a uma fonte de radiação. Reduzir o tempo de exposição é uma maneira eficaz de minimizar a dose recebida. A dose acumulada por uma pessoa que está exposta a uma taxa de dose radioativa é diretamente proporcional ao tempo de exposição e é dada pela equação Dose = Taxa .Tempo. <sup>11</sup>

Em algumas situações que envolvem atividades em locais com altos níveis de radiação, pode ser necessário implementar um sistema de revezamento para os profissionais, devido ao tempo limitado que eles podem permanecer expostos à radiação. <sup>2</sup>

Distância: o fator distância desempenha um papel crucial na minimização dos riscos associados à exposição a radiações ionizantes. Esse conceito se baseia em um princípio simples: quanto maior a distância entre uma fonte de radiação e um indivíduo, menor será a exposição à radiação.<sup>11</sup>

No caso de fontes puntiformes, é válida a Lei do Inverso do Quadrado da Distância, que significa que ao dobrar a distância, a dose diminui para razão de  $\frac{1}{4}$ . Por conseguinte, é imperativo a utilização de ferramentas ou dispositivos disponíveis, como pinças, hastes ou outros mecanismos, para a manipulação remota de fontes radioativas.<sup>1</sup>

Blindagem: A utilização de materiais de blindagem adequados é fundamental para proteger as pessoas da exposição desnecessária à radiação. Barreiras de proteção, como paredes de chumbo ou vidro plumbífero, são usadas em ambientes onde se manipulam fontes de radiação. A espessura e o tipo de material de blindagem dependem do tipo de radiação e da energia envolvida.<sup>11</sup>

É importante enfatizar que as diversas formas de radiação interagem de maneiras distintas com a matéria. Portanto, os materiais adequados para a blindagem variarão de acordo com o tipo específico de radiação. Na tabela a seguir, são fornecidos exemplos de materiais apropriados para a blindagem, adaptados às características de cada tipo de radiação.<sup>2</sup>

**Tabela 3- Materiais para blindagem de acordo com o tipo de radiação**

Tipo de radiação	Blindagem
Radiação gama ou os raios-X	O chumbo é uma escolha apropriada. Há outros materiais bastante utilizados como o concreto, as argamassas baritadas (argamassa com proteção radiológica) e o tungstênio
Radiação beta	Materiais de número atômico baixo, tais como acrílico, plásticos, madeira e até mesmo água
Radiação alfa	Uma simples folha de papel é suficiente como blindagem, bem como alguns centímetros de ar;
Radiação por nêutrons	Conforme sua energia, materiais hidrogenados como parafina ou água são escolhas adequadas. Cádmiu também pode ser um material adequado

Fonte: Manual de defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica: CGCFN-10.3 (2020, p. 3-11)<sup>2</sup>

Em resumo, os fatores básicos da proteção radiológica desempenham um papel crítico na minimização dos riscos associados à exposição a radiações ionizantes. Eles são aplicados em conjunto com os princípios da proteção radiológica para garantir que a exposição seja mantida em níveis seguros, protegendo a saúde das pessoas e o meio ambiente. <sup>11</sup>

## 2.8 EXPOSIÇÃO EM SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA RADIOLÓGICAS

Diante das considerações expostas e em consonância com os princípios fundamentais e os fatores inerentes à proteção radiológica, é possível afirmar que, no contexto das atividades relacionadas à resposta em situações de emergência radiológica, os objetivos da Proteção Radiológica incluem minimizar a exposição de pessoas às radiações ionizantes, assegurando que essa exposição seja a menor possível e garantir que os membros militares envolvidos na resposta a emergências radiológicas não ultrapassem os limites de tolerância estabelecidos pela CNEN, salvo em circunstâncias que visem: <sup>2</sup>

a) Preservar vidas ou prevenir danos significativos à saúde;

- b) Executar ações que evitem uma dose coletiva elevada; ou
- c) Realizar ações destinadas a prevenir o desenvolvimento de situações catastróficas.

Durante a realização de intervenções para lidar com emergências sob as condições mencionadas, as doses efetivas dos membros da equipe devem ser mantidas abaixo de cem milisieverts (mSv), exceto em ações voltadas para a preservação de vidas, quando os limiares associados a efeitos determinísticos devem ser sempre respeitados. A participação em ações que possam resultar em doses efetivas superiores a cinquenta mSv é restrita a voluntários devidamente informados previamente sobre os riscos à saúde, os quais devem ser treinados para as atividades necessárias. <sup>2</sup>

## 2.9 REJEITOS RADIOATIVOS E DEPÓSITOS DE REJEITOS

Rejeitos radioativos referem-se a materiais radioativos para os quais não se vislumbra qualquer aplicação atual ou futura. Originados de diversos processos, tais como fontes de radioterapia esgotadas (com radioatividade abaixo do recomendado para tratamentos), materiais contaminados em atividades com fontes radioativas abertas, materiais radioativos utilizados em pesquisas e não passíveis de reutilização, bem como materiais contaminados na operação de centrais nucleares, como filtros que purificam a água do reator para seu uso regular, entre outros. Incluem-se também para-raios radioativos fora de uso e materiais produzidos em diversas etapas da indústria de combustíveis nucleares, desde a mineração até a produção do elemento combustível. As concentrações de radionuclídeos e suas características físicas e químicas oferecem uma ampla gama de opções para o gerenciamento e destino desses rejeitos. <sup>11</sup>

Alguns rejeitos radioativos podem atingir níveis de segurança que permitem sua liberação como resíduos normais. Essa decisão depende dos tipos de radionuclídeos presentes, de sua forma física, da concentração no material e da meia-vida. As condições para essa dispensa estão estabelecidas em normas da CNEN e devem ser estritamente seguidas. <sup>11</sup>

Quando os rejeitos radioativos não alcançam níveis adequados para liberação, devem ser armazenados de maneira segura, de modo a não prejudicar os trabalhadores expostos ocupacionalmente, o público ou o meio ambiente. A legislação brasileira estabelece três tipos de depósitos para rejeitos radioativos: o depósito inicial, próximo à instalação geradora do rejeito e sob sua responsabilidade; o depósito intermediário, sob responsabilidade da CNEN, para rejeitos aguardando destino final; e o depósito final, também sob responsabilidade da CNEN, para a deposição definitiva dos rejeitos. Além desses, pode-se estabelecer o depósito

provisório, destinado a armazenar temporariamente rejeitos gerados em caso de acidentes radiológicos ou nucleares.<sup>11</sup>

Adicionalmente, é fundamental definir procedimentos de emergência para situações em que a operação regular de uma instalação ou prática radiológica seja comprometida. Cada instituição que faça uso de materiais radioativos deve ter suas condutas e planos de gestão de emergência pautados nas normas e regulamentações brasileiras. Mais à frente este trabalho mostrará como a Marinha do Brasil e o Corpo de Fuzileiros Navais atuaram numa situação de emergência radiológica, tendo como base o acidente com césio-137 ocorrido em 1987 em Goiânia.

### 3 ACIDENTE RADIOLÓGICO EM GOIÂNIA

O acidente radiológico ocorrido em Goiânia, em setembro de 1987, envolvendo o elemento radioativo césio-137, representa um marco significativo na história da proteção radiológica no país. Este capítulo se propõe a analisar esse evento, de modo que possa servir como tema base para realizar um estudo de como o a Marinha do Brasil e o Corpo de Fuzileiros Navais atuaram em resposta a uma emergência radiológica dessa magnitude.

#### 3.1 UMA ANÁLISE HISTÓRICA

O acidente radiológico envolvendo o césio-137 (Cs-137) ocorrido na cidade brasileira de Goiânia, em setembro de 1987, é um evento marcante na história da proteção radiológica e serve como um importante estudo de caso em segurança radiológica e gestão de materiais radioativos. Este acidente teve origem na negligência no manuseio e descarte inadequado de equipamentos médicos contendo uma fonte de Cs-137, desencadeando uma série de consequências significativas para a saúde pública, meio ambiente e regulamentação de segurança radiológica no país.

#### 3.2 CONTEXTO E ORIGEM DO ACIDENTE

Em 1985, o Instituto Goiano de Radioterapia (IGR), que tinha sua sede num terreno emprestado pela Santa Casa de Misericórdia, tomou a decisão de mudar suas instalações para um novo prédio, deixando para trás o antigo edifício onde operava desde 1971. Tal atitude foi tomada pois a Santa Casa da Misericórdia entrou com ação de despejo contra o IGR alegando a quebra de um acordo para a concessão do terreno. O edifício, gradualmente foi abandonado e se tornou alvo de vandalismo. Ao mudar de sede, o IGR deixou para trás toda mobília e equipamentos, incluindo um aparelho de radiologia que continha uma cápsula de Cs 137.<sup>18</sup>

Em setembro de 1987, a presença de equipamentos negligenciados e abandonados nas ruínas do antigo IGR atraiu a atenção de dois moradores locais. Esses dois indivíduos, temporariamente desempregados, perceberam na pilha de metal e chumbo uma oportunidade de obter algum ganho financeiro. Wagner Mota Pereira e Roberto Santos Alves encontraram o aparelho radiológico que continha 100kg de chumbo envolvendo uma cápsula com 19,6g de Cs-137 e o transportaram até um ferro velho e também residência de Devair Alves Ferreira. Nesse local, os três homens com auxílio de uma marreta, abriram a contenção de chumbo e

chegaram a cápsula de Cs-137, que se assemelhava a um pó branco como sal de cozinha mas que brilhava no escuro com uma luz azul.<sup>19</sup>

Ivo Alves Ferreira, ao visitar seu irmão de Devair, fica maravilhado com a luz azul emitida pelo pó branco e leva para casa para mostrar a sua família. Leide das Neves de 6 anos, filha de Ivo, brinca com o pó sobre a mesa onde se alimenta e acaba ingerindo parte do pó.<sup>15</sup>

O pó luminescente de Cs-137, não apresentando quaisquer odores ou emissões de gases, tampouco apresentando temperaturas extremas, criou uma ilusão de inofensividade. Encantados pelo brilho azul e de propriedades aparentemente inócuas, indivíduos de todas as idades manusearam-no, compartilhando-o com familiares e amigos. Numerosas partículas de Cs-137 foram espalhadas, contribuindo para a disseminação do pó. Este, por sua vez, encontrou seu caminho por qualquer local em que pessoas tocassem, pousassem os pés ou se assentassem.<sup>18</sup>

O pó radiativo foi amplamente distribuído entre os moradores locais e levado para dentro das casas, muitas vezes utilizado como enfeite devido a característica brilhante da luz azul. Foi também colocado em recipientes de vidro, envelopes e até mesmo guardado nos bolsos das calças. Além disso, ele foi varrido para debaixo de móveis e espalhado pela cozinha e quintal das residências. Dessa forma, a contaminação avançava sorrateiramente, afetando um número cada vez maior de pessoas e o meio ambiente circundante.<sup>18</sup>

Através da ação da chuva e do vento, o pó radiativo também se infiltrou no solo, contaminou fontes de água, afetou frutas, hortaliças e animais, resultando em uma disseminação generalizada dos elementos radioativos.<sup>18</sup>

Após um período de quinze dias desde a violação da cápsula que continha o cézio-137, a vida na localidade aparentou normalidade, com exceção de um peculiar surto de sintomas gastrointestinais, tais como náuseas, vômitos, diarreia, cefaleia e febre, que afetou uma parcela da população residente na região. No entanto, até a data de 28 de setembro, não havia sido estabelecida uma correlação entre esses sintomas e o misterioso pó de cor azul.<sup>18</sup>

Foi somente nesse contexto que Maria Gabriela Ferreira, esposa do proprietário do ferro-velho no qual parte da cápsula contaminada estava armazenada, passou a suspeitar que o aumento no número de indivíduos apresentando sintomas semelhantes poderia estar relacionado com o material em questão. Ela tomou a decisão de entregar a peça à Vigilância Sanitária de Goiânia. No entanto, esta ação, infelizmente, inadvertidamente contribuiu para uma disseminação mais ampla da contaminação.<sup>18</sup>

Maria Gabriela e Geraldo, um funcionário do ferro-velho, embarcaram em um ônibus enquanto transportavam a fonte radioativa. Durante a viagem, o veículo, seus assentos e todas as áreas frequentadas por eles foram igualmente contaminados, assim como todas as pessoas

que compartilharam o mesmo espaço. No interior do edifício da Vigilância Sanitária, várias pessoas também foram inadvertidamente expostas às radiações emitidas pela fonte de césio, sem que, em momento algum, suspeitassem da natureza radioativa do material em questão. Somente no dia seguinte, em 29 de setembro, um técnico da Vigilância Sanitária e um médico do Centro de Informações Toxicológicas da Secretaria de Saúde de Goiânia começaram a considerar a possibilidade de o material ser radioativo. Prontamente, eles estabeleceram contato com a CNEN, o que permitiu a implementação das primeiras medidas de contenção.<sup>18</sup>

### 3.3 RESPOSTA E MITIGAÇÃO

O acidente mobilizou uma resposta de emergência das autoridades locais, estaduais e federais, incluindo a CNEN, Defesa Civil e Forças Armadas. Uma operação de descontaminação foi iniciada para limpar áreas afetadas e recolher os materiais radioativos. A população foi evacuada de áreas críticas e medidas de proteção radiológica foram implementadas.<sup>20</sup>

As ações iniciais tomadas em resposta ao acidente foram fundamentais para mitigar os riscos e minimizar os danos à população e ao meio ambiente. Estas medidas foram orientadas pela necessidade de identificar, monitorar, descontaminar e tratar as pessoas afetadas.<sup>20</sup>

No relatório do acidente radiológico de Goiânia feito após o acidente pela CNEN, são descritos as ações tomadas para mitigar a emergência radiológica. São listadas;

**Busca e isolamento:** A primeira providência foi identificar as áreas que representavam os principais focos de contaminação. Essas áreas foram isoladas para evitar a exposição adicional de pessoas.<sup>20</sup>

**Triagem e atendimento das pessoas:** Paralelamente, foi iniciada a triagem das pessoas afetadas, que foram encaminhadas para locais seguros, como o Estádio Olímpico, onde puderam receber atendimento e monitoramento médico.<sup>20</sup>

**Monitoração Ambiental:** Simultaneamente, realizou-se uma extensa campanha de monitoração ambiental para avaliar a dispersão do Cs-137 no ambiente. Foram conduzidas análises do solo, vegetação, água e ar nas áreas afetadas.<sup>20</sup>

Através dessas análises, foi possível identificar e isolar sete locais onde ocorreu a contaminação tanto de pessoas quanto do ambiente. Nessas áreas, foram registradas altas doses de exposição.<sup>15</sup> A Figura 3 mostra um esboço desses locais.

**Figura 3- Região de Goiânia com principais focos de contaminação. A – terreno de Roberto onde a fonte foi aberta; B – casa de Ovídio; C – ferro-velho de Devair; D – casa da fossa; E – ferro-velho de Ivo, pai de Leide das Neves; F – ferro-velho de Joaq**



Fonte: Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia (2013, p. 196)<sup>15</sup>

Consta no relatório da CNEN as seguintes ações realizadas para descontaminação desses locais conforme a lista abaixo representada;<sup>20</sup>

- Limpeza da área afetada;
- Remoção da camada de solo, cuja espessura foi definida em cada local pelas medidas de perfilagem;
- Derrubada e remoção das casas e barracões com elevados níveis de contaminação generalizada;
- Remoção de algumas árvores e obstáculos que dificultavam as operações;
- Acondicionamento dos rejeitos em caixas e tambores;
- Medição das taxas de exposição máxima e mínima de cada embalagem de rejeito e identificação com etiqueta apropriada;
- Descontaminação externa das caixas e tambores; e
- Transporte para o depósito transitório das caixas e tambores

O acidente radiológico em Goiânia resultou em consequências significativas em termos de resíduos radioativos e evacuações. Um volume total de 3.500 metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de rejeitos radioativos foi gerado devido à demolição de sete casas, diversas construções e barracões contaminados, bem como a remoção das camadas de solo altamente contaminado de três terrenos afetados. Essa quantidade representou uma considerável carga de resíduos radioativos que precisavam ser gerenciados de forma segura.<sup>15</sup>

Além disso, das 200 pessoas de 41 casas contaminadas, um total de 85 tiveram que ser evacuadas. Essa evacuação foi necessária para garantir a segurança das pessoas, evitando exposições adicionais à radiação e potenciais impactos na saúde. O processo de evacuação foi uma das medidas cruciais tomadas para proteger a população afetada pelo acidente.<sup>15</sup>

O rejeito radioativo resultante do acidente em Goiânia foi temporariamente armazenado em Abadia de Goiás, que está localizada a aproximadamente 23 quilômetros do centro de Goiânia. Para esse fim, foram construídas seis plataformas, cada uma com uma área de 60 metros por 18 metros, onde os rejeitos foram acomodados. O armazenamento incluiu 4.223 tambores de 200 litros cada, 1.347 caixas metálicas com capacidade de 1,7 metros cúbicos cada uma, além de 10 contêineres marítimos com capacidade de 32 metros cúbicos cada e seis embalagens especiais feitas de concreto armado com uma espessura de 20 centímetros.<sup>15</sup>

Posteriormente, em maio de 1997, foi concluída a construção de um depósito permanente para os rejeitos em Abadia de Goiás. Esse depósito foi projetado para acomodar esses materiais de forma segura por um período de aproximadamente 300 anos. Sobre o depósito permanente, foram aplicadas camadas de terra e realizado o plantio de grama, proporcionando uma cobertura vegetal que ajuda na contenção e na proteção a longo prazo desses materiais radioativos.<sup>15</sup>

A CNEN utilizou em Goiânia no período de setembro a dezembro de 1987, 244 profissionais dos seus quadros, sendo 110 na área de proteção radiológica, 18 na área de rejeitos, 38 na área de descontaminação e monitoração ambiental e 69 na coordenação, manutenção e apoio. Foram utilizados mais de 130 mil homens hora, incluindo-se 125 profissionais de FURNAS, NUCLEBRAS, CDTN, NUCLEI, EsIE e Ministério da Marinha.<sup>20</sup>

### 3.4 IMPACTO NA SAÚDE HUMANA

Centenas de pessoas foram expostas à radiação ionizante como resultado direto da contaminação pelo Cs-137. Os efeitos imediatos incluíram a ocorrência de sintomas agudos de radiação em alguns casos, resultando em graves lesões e óbitos. As vítimas sofreram de

sintomas como náuseas, vômitos, perda de cabelo e danos nas células do corpo. Além dos efeitos agudos, houve preocupações substanciais em relação à exposição crônica devido à longa meia-vida do Cs-137.<sup>18</sup>

Durante o período entre 30 de setembro e 22 de dezembro de 1987, uma extensa operação de monitoramento de saúde foi realizada em Goiânia, abrangendo um total de 112.800 pessoas. Dentro desse grupo, 249 indivíduos foram identificados com taxas de exposição indicativas de contaminação tanto interna quanto externa por radiação.<sup>20</sup>

Desse contingente, 120 pessoas apresentaram contaminação apenas em suas roupas e calçados, enquanto 129 indivíduos exibiram contaminação tanto interna quanto externa. Um total de 49 dessas pessoas precisaram ser internadas em unidades médicas devido aos níveis de exposição à radiação. Dentre essas, 21 casos exigiram cuidados médicos intensivos, enquanto 14 indivíduos enfrentaram complicações adicionais em seus quadros clínicos, incluindo radiodermites. Esses 14 casos graves foram transferidos para o Hospital Naval Marcílio Dias.<sup>20</sup>

Lamentavelmente, quatro pessoas que estavam entre os pacientes mais gravemente afetados pelo acidente acabaram falecendo. Além disso, uma das vítimas foi submetida à amputação do antebraço direito devido às complicações causadas pela exposição à radiação. Os demais pacientes receberam tratamento de descontaminação interna e externa e permaneceram sob acompanhamento médico em Goiânia.<sup>20</sup>

Entre as quatro vítimas fatais, incluíam-se Maria Gabriela Ferreira e Leide das Neves Ferreira, que eram, respectivamente, esposa e sobrinha de Devair Alves Ferreira, o proprietário do ferro-velho. Adicionalmente, perderam suas vidas dois funcionários de Devair, Israel Baptista dos Santos e Admilson Alves de Souza.<sup>15</sup>

### 3.5 IMPACTO NAS POLÍTICAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA E LIÇÕES APRENDIDAS

O acidente com o Cs-137, é classificado como um acidente radiológico de nível internacional, sendo um dos mais graves do gênero na história. Ele é frequentemente referido como um incidente de nível 5 na Escala Internacional de Eventos Nucleares (INES), que varia de 0 (incidente sem significância de segurança) a 7 (acidente nuclear maior).<sup>21</sup>

Este evento teve um impacto duradouro nas políticas de proteção radiológica no Brasil. Ele destacou a necessidade de regulamentações mais rigorosas para o manuseio, armazenamento e descarte de materiais radioativos. A CNEN reforçou seus esforços para

promover a conscientização pública sobre a segurança radiológica e expandiu as medidas de fiscalização e regulamentação em todo o país.<sup>20</sup>

Em conclusão, o acidente de Goiânia representa um evento histórico de grande significância no contexto da proteção radiológica no Brasil e serve como um exemplo vívido dos riscos associados à exposição à radiação. Suas lições continuam a influenciar políticas de segurança radiológica e práticas de gestão de materiais radioativos em todo o mundo.

A Tabela 4, traz um resumo dos impactos causados.

**Tabela 4- Impactos causados pelo Césio 137 em Goiânia**

Vítimas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 249 pessoas (das 112.800 monitoradas pela CNEN) apresentaram níveis de radiação acima do normal para a região;</li> <li>• 49 pessoas foram hospitalizadas, sendo 21 de modo intensivo (tendo uma delas o antebraço direito amputado);</li> <li>• 4 mortos nos primeiros 2 meses após o acidente e outros 3 mortos alguns anos depois.</li> </ul>
Impacto Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 animais domésticos sacrificados;</li> <li>• Contaminação de plantas, verduras, ervas, raízes e frutos a um raio de aproximadamente 50 metros dos principais focos de contaminação. Árvores foram arrancadas e uma grande quantidade de solo, altamente contaminado, foi escavada e substituída por “solo limpo”;</li> <li>• Contaminação pelo Cs-137, por meio da rede de águas pluviais e de esgotos, de trechos do curso dos rios, córregos e ribeirões situados nas circunvizinhanças dos locais contaminados. Felizmente, a água que abastece a região não foi afetada;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cerca de 1.700 toneladas de lixo radioativo (acondicionado em contêineres e tambores) foram gerados em decorrência do acidente, tendo sido armazenados temporariamente e, cerca de dez anos depois, depositados em repositório construído em Abadia de Goiás, a 20 km de Goiânia.</li></ul>
Impacto Econômico	<ul style="list-style-type: none"><li>• Diversos produtos oriundos do Estado de Goiás foram rejeitados nos demais Estados;</li><li>• A exportação de produtos brasileiros foi prejudicada;</li><li>• A construção e o controle do depósito de Abadia de Goiás custou ao país cerca de 15 milhões de dólares;</li><li>• Vítimas do acidente vêm recebendo auxílio financeiro do governo.</li></ul>

Fonte: Princípios básicos de segurança e proteção radiológica (2006, p. 148).

## **4 A MARINHA DO BRASIL NA RESPOSTA A EMERGÊNCIAS**

### **4.1 LEGISLAÇÃO E ESTRUTURA**

As Forças Armadas do Brasil desempenham um papel de destaque na guarda da soberania e integridade do território nacional, além de estarem aptas a cumprir suas missões constitucionais de defesa da pátria e de garantia dos poderes constitucionais. Concomitante a essas funções primordiais, ela também têm atribuições subsidiárias que abrangem uma série de atividades de apoio à sociedade civil, particularmente em situações de resposta a emergências e calamidades públicas.<sup>22</sup>

O Ministério da Defesa (MD), como o órgão superior responsável pela condução das políticas de defesa, desempenha um papel central na coordenação e orientação das ações das Forças Armadas para essas situações de emergência. Esse compromisso abrange a capacidade de resposta a uma ampla gama de eventos, incluindo aqueles relacionadas a agentes radiológicos, como forma de garantir a segurança da população e a preservação do meio ambiente. Nesse contexto, é essencial analisar a estrutura institucional e as medidas tomadas pelas Forças Armadas e pelo Ministério da Defesa na preparação para resposta a emergências de caráter Nuclear, Biológica, Químico e Radiológico.

No ano de 2010, o Chefe do Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas (CEMCFA), órgão subordinado ao MD, publicou o Ofício nº 874/2010 propondo a implementação de um Sistema de Defesa NBQR no âmbito das Forças Armadas.<sup>23</sup>

Em 7 de março de 2013, o Ministério da Defesa emitiu a Portaria Normativa nº 585, atribuindo às Forças Armadas a responsabilidade de desenvolver ações e atuar em casos de catástrofes relacionadas aos agentes NBQR. Cada uma das Forças deveria cumprir suas funções específicas, mas atuando de forma coordenada em situações de desastres, atos terroristas e eventos epidemiológicos no território nacional.<sup>23</sup>

### **4.2 SISTEMA DE DEFESA NBQR DA MB**

A Marinha do Brasil formalizou a implantação do seu Sistema de Defesa NBQR através da Portaria do Estado-Maior da Armada (EMA) nº 83, datada de 05 de maio de 2011. Esse sistema, conhecido como SisDefNBQR-MB, tem como principal propósito lidar com emergências decorrentes de eventos de natureza nuclear, biológica, química e radiológica. Ele é aplicado tanto no contexto de operações navais quanto em ações de Garantia da Lei e da

Ordem (GLO), e em coordenação com o órgão central do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro (SIPRON). Destaca-se que a função de Coordenador-Geral do Sistema de Defesa NBQR da Marinha do Brasil foi designada ao Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais.<sup>2</sup>

#### **4.2.1 Requisitos**

O SisDefNBQR-MB deve atender a diversos requisitos e critérios para garantir sua eficácia e prontidão. Dos quais elencamos:<sup>2</sup>

- a. Preparo Operacional: O sistema deve estar constantemente preparado para atuar em situações de emergência envolvendo agentes NBQR com ações de Comando e Controle, prevenção, detecção e resposta.
- b. Capacitação: As equipes envolvidas no sistema devem receber treinamento adequado e contínuo para lidar com ameaças NBQR, abrangendo desde a identificação até a resposta apropriada.
- c. Ciência e tecnologia: Esse requisito se relacionam diretamente com a capacidade de identificar, analisar, prevenir e responder a ameaças NBQR de maneira eficaz.
- d. Inteligência: A inteligência envolve a coleta de informações relevantes e confiáveis assim como a análise e avaliação de riscos. É também crucial para a coordenação de uma resposta eficaz, pois fornece informações em tempo real que permitem a alocação de recursos, o direcionamento de equipes e a tomada de decisões estratégicas.
- e. logística: A MB deve contar com uma logística eficiente para mobilizar recursos e equipes rapidamente em caso de emergência, provendo mobilidade, suprimento e saúde.

#### **4.2.2 Níveis do Sistema**

O Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica (NBQR) da Marinha do Brasil (MB) é organizado em diferentes níveis, cada um com suas responsabilidades e propósitos bem definidos.<sup>2</sup>

O primeiro nível é voltado para atender a requisitos relacionados à capacitação, ciência e tecnologia, inteligência e logística, com um foco significativo na prevenção de incidentes NBQR. Este nível é composto por diversas Organizações Militares (OM) da MB, cuja principal função é proporcionar formação básica e capacitação de profissionais especializados em assuntos relacionados à defesa NBQR.<sup>2</sup>

O Centro de Instrução Almirante Sylvio de Camargo (CIASC) e Centro de Adestramento Almirante Marques de Leão (CAAML) são as OM responsáveis por capacitar pessoal em áreas específicas relacionadas à Defesa NBQR. Sua atuação pode incluir treinamento em táticas, procedimentos de resposta a incidentes e manuseio de equipamentos especializados. Elenca-se também o Centro de Medicina Operativa da Marinha (CMOpM) que desenvolve a capacitação de pessoal médico e de saúde em questões relacionadas à Defesa NBQR. Isso envolve treinamento para o diagnóstico e tratamento de pessoas que tiveram exposição a agentes NBQR. <sup>2</sup>

O segundo nível do SisDefNBQR-MB é projetado para atender aos requisitos operacionais relacionados à detecção, identificação e descontaminação no âmbito dos Comandos Distritais (regionais). Neste nível, o foco principal é a capacidade de detectar a presença de agentes NBQR, identificar o tipo de ameaça e conduzir operações de descontaminação por meio da utilização de "Equipes de Resposta Distritais". Essas equipes desempenham papéis fundamentais, incluindo o reconhecimento inicial, a detecção e a identificação de agentes NBQR, bem como a transmissão das informações coletadas para instâncias superiores do Sistema. <sup>2</sup>

A detecção é uma parte crucial da resposta a incidentes NBQR, uma vez que a identificação precoce dos agentes envolvidos permite a implementação de medidas de proteção e tratamento adequadas. Isso pode incluir o uso de sensores especializados e sistemas de vigilância para monitorar áreas vulneráveis, como instalações estratégicas ou áreas urbanas. <sup>2</sup>

A identificação é igualmente importante, uma vez que agentes NBQR podem variar amplamente em termos de riscos e consequências. A capacidade de identificar com precisão o tipo de agente envolvido ajuda a orientar as ações de resposta e a determinar o nível de ameaça. <sup>2</sup>

A descontaminação é uma etapa crítica na gestão de incidentes NBQR. Uma vez que os agentes NBQR podem aderir a superfícies e pessoas, é essencial remover ou neutralizar essas substâncias para evitar a propagação da contaminação. Isso envolve procedimentos rigorosos e equipamentos especializados para limpar e descontaminar áreas e pessoas afetadas. <sup>2</sup>

O terceiro nível tem como principal objetivo atender aos requisitos operacionais da resposta em situações de emergência, particularmente quando o Segundo Nível não consegue lidar com a magnitude da crise. Isso envolve a manutenção de um Batalhão de Defesa NBQR, composta por especialistas, para ações específicas em áreas com possível presença de agentes NBQR. Além disso, a capacitação contínua, a mobilidade estratégica, a logística eficiente e a prontidão dessas unidades são considerações essenciais. <sup>2</sup>

Nesse nível opera-se sob uma célula de Comando e Controle pelo Comando de Operações Navais (ComOpNav) que coordena as ações em tempo real e se conecta a outras Forças e entidades governamentais envolvidas em eventos de grande magnitude. A exemplo podemos destacar o SINPDEC já citado anteriormente e no caso específico de agentes radiológicos, tema desse trabalho, pode-se mencionar também órgãos como o SIPRON, CNEN e IRD.<sup>2</sup>

Também leva-se em conta a preparação das equipes de saúde e o material necessário para o atendimento médico das vítimas dessas ameaças pelo Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD), Unidade Médica da Esquadra (UMEsq), Centro de Medicina Operativa da Marinha (CMOpM), Unidade Médica Expedicionária da Marinha (UMEM) e Laboratório Farmacêutico da Marinha (LFM) subordinadas ao Sistema de Saúde da Marinha (SSM). A capacidade de transporte aéreo, marítimo e terrestre é uma consideração fundamental para permitir a evacuação de áreas afetadas, sendo o HNMD o último estágio da cadeia de evacuados.<sup>2</sup>

Desde abril de 2012, o HNMD, em colaboração com o IRD da CNEN, foi designado como um Centro Colaborador da Organização Mundial de Saúde (OMS) para a proteção radiológica e preparativos médicos em situações envolvendo radiações ionizantes. Dessa forma, o hospital foi reconhecido como a principal instituição de referência para o atendimento de vítimas de acidentes radioativos, tanto no Brasil como em toda a América Latina.<sup>5</sup>

Finalmente, o quarto e último nível do sistema concentra-se em atender única e exclusivamente às instalações sensíveis da Marinha do Brasil do Programa Nuclear da Marinha (PNM) que tem o propósito de dominar o ciclo do combustível nuclear e desenvolver e construir uma planta nuclear de geração de energia elétrica.<sup>2</sup>

## 5 ANÁLISE DA MB E DO CFN EM RESPOSTA A EMERGÊNCIA RADIOLÓGICA

No âmbito das possíveis situações de emergência radiológica, é crucial considerar o papel desempenhado pelas instituições especializadas e preparadas para atuar de forma coordenada e eficaz na mitigação dos riscos e na proteção da população e do meio ambiente. Após explorar o histórico da radiação, seus impactos no ser humano e no meio ambiente e analisar o emblemático caso do acidente envolvendo o césio-137 em Goiânia, foi apresentada a relevância das equipes especializadas em resposta a emergências radiológicas no cenário brasileiro. Nesse contexto, a Marinha do Brasil e o Corpo de Fuzileiros Navais surgem como atores de destaque, com suas estruturas e capacidades específicas.

No acidente de Goiânia em 1987, após 15 dias do início das contaminações, um técnico da Vigilância Sanitária e um médico do Centro de Informações Toxicológicas da Secretaria de Saúde de Goiânia estabeleceram contato com a CNEN, dando assim início às ações de resposta a emergência radiológica.

Este capítulo tem como propósito explorar o cenário hipotético em que a Marinha do Brasil e o Corpo de Fuzileiros Navais são convocados para atuar em uma situação semelhante àquela ocorrida em Goiânia. Neste contexto, será delineado um passo a passo que ilustrará a atuação coordenada dessas instituições, destacando a integração entre os diferentes níveis do Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da Marinha do Brasil (SisDefNBQR-MB). Além disso, serão considerados os aspectos operacionais, logísticos e de coordenação necessários para assegurar uma resposta efetiva e a minimização dos impactos em situações de emergência radiológica, demonstrando a importância dessas capacidades e recursos em cenários de crise.

Nesse contexto, é fundamental compreender como a Marinha do Brasil e Corpo de Fuzileiros Navais se preparariam para atuar em situações de emergência radiológica, contribuindo para a segurança do país e o bem estar da sociedade e do meio ambiente. Essa análise oferecerá uma visão abrangente da capacidade de resposta e das medidas adotadas para garantir que tragédias como o acidente de Goiânia possam ser enfrentadas de maneira eficaz e coordenada.

Salienta-se que serão usados como base norteadora das ações desencadeadas pela MB e do CFN as atribuições conferidas as Forças Armadas pela legislação brasileira conforme já citados nesse trabalho, aspectos doutrinários da Marinha do Brasil quanto a resposta a emergências e defesa NBQR, além da expertise desse autor referente ao assunto, adquiridos

durante os anos de atuação como Tenente do CFN, no Curso Especial de Defesa NBQR e no presente curso de Gestão de Emergência e Desastres Naturais e Humanitários.

## 5.1 FASES DE UM ACIDENTE RADIOATIVO

Diante de um acidente envolvendo material radioativo, é imperativo seguir um conjunto de fases operacionais para lidar com a situação de maneira eficaz e segura. Essas fases são essenciais para proteger vidas, minimizar danos e conter a disseminação de material radiológico.

Serão abordadas três fases contendo cada uma delas diversas ações características, que seriam analisadas sob o ponto de vista de atuação da Marinha do Brasil e do Corpo de Fuzileiros frente a resposta desencadeada nessa emergência.

### 5.1.1 Fase Inicial

A fase inicial de uma resposta a acidentes radiológicos envolve ações de primeiros socorros e uma avaliação preliminar para determinar a gravidade do evento, considerando as características de cada fonte radioativa envolvida. Isso é fundamental para orientar as medidas subsequentes que visam retomar o controle da situação e minimizar os riscos. Durante essa fase, a segurança das vítimas e da equipe de resposta é prioridade, juntamente com a contenção da disseminação de materiais radioativos. Essa avaliação inicial é essencial para direcionar adequadamente a resposta e garantir a eficácia na gestão do incidente.

#### a. Avaliação inicial e reconhecimento da situação de emergência

O propósito da análise da situação inicial dentro da Marinha do Brasil consiste em criar o primeiro contato das forças militares com a área de operações. Esse contato inicial visa a coleta de dados e informações essenciais para uma condução criteriosa e eficaz da utilização dos recursos humanos e materiais disponíveis.

Dentro deste contexto do caso esquemático do Césio-137 de Goiânia envolvendo atuação hipotética da MB e do CFN, os órgãos governamentais como SIPRON e SINPDEC serão notificados pela CNEN e estabelecerão contato com o Ministério da Defesa, que por sua vez acionará a Marinha do Brasil.

Será acionado o segundo nível do Sistema de Defesa NBQR da Marinha do Brasil (SisDefNBQR-MB) do respectivo Distrito Naval (DN). No caso de Goiânia, uma Equipe de Resposta NBQR (EqRspNBQR) do 7º DN composta por um Oficial, três Sargentos e doze Cabos/Soldados se deslocará imediatamente para região do sinistro para realizar ações de reconhecimento para uma avaliação preliminar do evento.

Os militares da Marinha e em especial os do Corpo de Fuzileiros Navais que atuarão nessa e demais etapas da resposta a emergência radiológica deverão possuir Equipamento de Proteção Individual (EPI) que deverão incluir elementos para prover sua proteção física individual, executar descontaminação imediata, permitir detecção radiológica (dosímetro tático de uso individual e detectores radiológicos portáteis para uso coletivo) e equipamentos para sinalização de área contaminada.

Na cidade de Goiânia, a equipe se deslocará juntamente com membros da Defesa Civil e da CNEN para os locais onde presumivelmente haverá contaminação por radiação.

Após realizar varredura de busca e detecção, a avaliação inicial que a EqRspNBQR reportará ao Escalão Superior contém as seguintes informações:

1. Uma fonte órfã contendo radioisótopo Césio-137 na forma de cloreto de césio foi violada.
2. A partir das medições radiométricas do local, oito regiões foram identificadas com altos níveis de radiação ionizante dos tipos alfa e gama.
3. A taxa de radiação média nestas áreas são de 110 R/h a distância de um metro.
4. Será necessário blindar as partes da fonte violada com extrema urgência.
5. Deverá ser realizada evacuação e isolamento das áreas analisadas.
6. Algumas pessoas foram expostas diretamente as partículas de cloreto de césio e necessitarão de atendimento médico especializado.
7. Será necessário realizar monitoramento ambiental afim de analisar contaminação de solo, córregos, lençol freático e vegetação nas proximidades das áreas atestadas contaminadas.
8. Devido as características químicas do radioisótopo, da alta taxa de exposição e do tempo decorrido entre a violação da fonte e a chegada da EqRspNBQR o número de pessoas e a áreas contaminadas poderão ser maiores do que foram inicialmente averiguadas.

O Comando do 7ºDN de posse da situação reportada pela EqRspNBQR, comunicará o Escalão Superior.

O Comando de Operações Navais (ComOpNav), órgão da MB responsável pela coordenação das ações da Força em conjunto com o SINPDEC, acionará o terceiro nível do

SisDefNBQR-MB e notificará o Comando Geral do Corpo de Fuzileiros Navais e o Sistema de Saúde da Marinha(SSM) a se prontificarem para agir frente ao sinistro.

O Comando da Força de Fuzileiros da Esquadra (ComFFE), para cumprir suas tarefas na missão assumida pelo ComOpNav, designará a seus Comandos Subordinados a tarefa de prontificar um Grupamento Operativo de Fuzileiros Navais (GptOpFuzNav) para deslocar-se, pelo modal rodoviário, marítimo ou aéreo para área do acidente. Este Grupamento ficará em condições de instalar e operar um centro de triagem, montar um hospital de campanha, resgatar pessoal e transportar pessoal e material, evacuar e isolar áreas determinadas e realizar descontaminação de área, pessoal e material. Destaca-se dentro deste grupamento a Unidade Tarefa de DefNBQR (UTDefNBQR) composta por três equipes distintas. Uma Equipe de Descontaminação NBQR (EqDesconNBQR), Equipe de Reconhecimento NBQR (EqRecNBQR) e Equipe de Resposta a Emergência (EqRspEmerg) provenientes do Batalhão de Defesa NBQR (BtlDefNBQR).

Concomitantemente, o Sistema de Saúde da Marinha proverá equipes de saúde e o material necessário para o atendimento médico as vítimas. Serão mobilizados o Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD), Unidade Médica da Esquadra (UMEsq), Unidade Médica Expedicionária da Marinha (UMEM) e Laboratório Farmacêutico da Marinha (LFM).

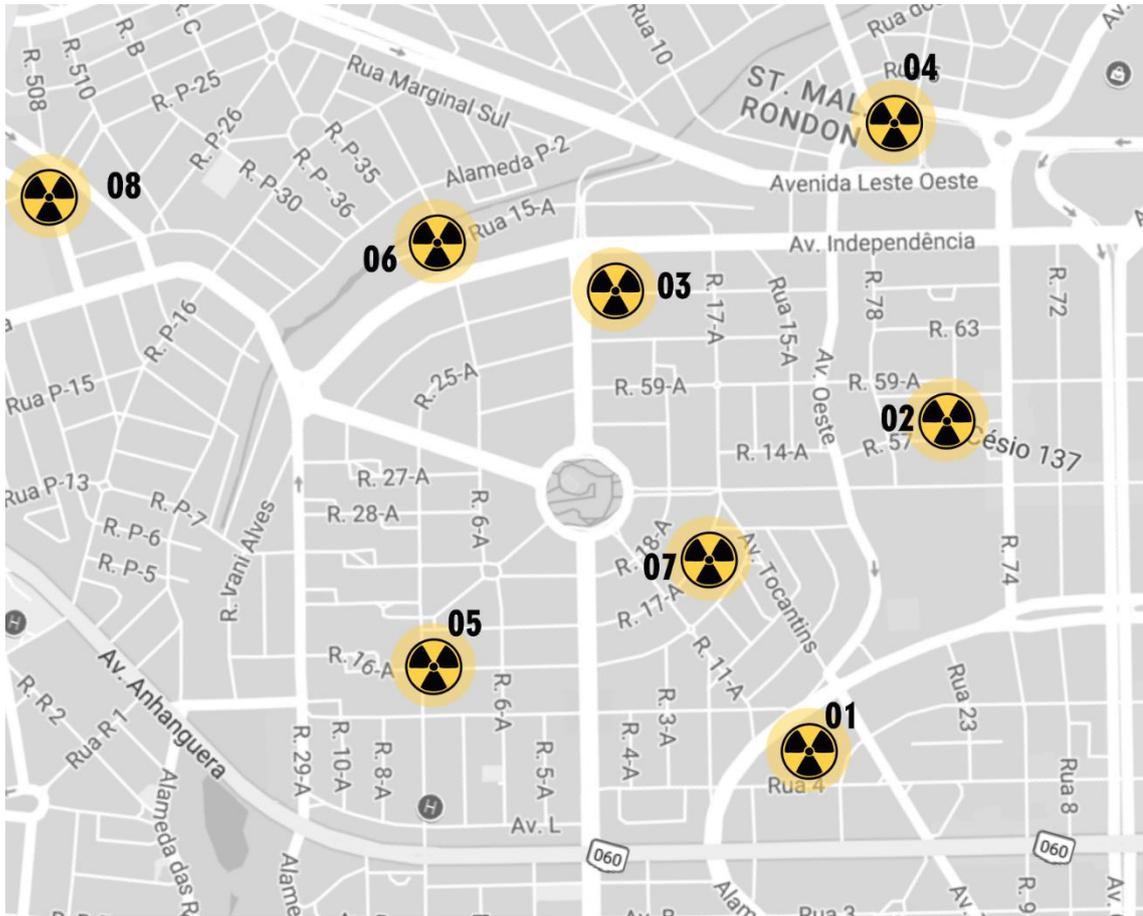
#### b. isolamento e evacuação das áreas afetadas

A etapa de isolamento e evacuação de áreas afetadas pela radiação é um componente crítico e bem-estabelecido nos procedimentos de resposta a emergências radiológicas. Essa etapa desempenhará um papel fundamental na minimização de riscos à saúde pública, na proteção de pessoas, na contenção da contaminação radioativa, na manutenção da ordem pública e na gestão dos impactos ambientais associados a materiais radioativos.

No caso esquemático, o isolamento dessas áreas compreenderá a criação de perímetros de segurança determinadas pela EqRecNBQR. Equipes de Fuzileiros Navais estabelecerão zonas de isolamento claramente sinalizadas e monitoradas nas oito áreas delimitadas por meio da colocação de barreiras físicas, como cercas, tapumes, fitas de isolamento e placas de advertência.

A figura 4, mostra no mapa de Goiânia onde serão realizadas ações de isolamento e evacuação.

**Figura 4- (01) Avenida Paranaíba com Avenida Tocantins, (02) Rua 57, Casa 68, (3) Rua Francisco da Costa Cunha,(04) Avenida Oeste, (05) Rua 16-A , (06) Rua 15-A, (07) Rua 17-A, (08) Rua P.19**



Fonte: Césio 137: 30 anos de traumas na pele e na alma <sup>24</sup>

Essas zonas de isolamento irão garantir o controle e circulação de pessoas não autorizadas nas áreas afetadas com o intuito de evitar a disseminação de partículas e materiais radioativos para áreas não afetadas, manter a ordem pública inibindo vandalismo e furtos, bem como em minimizar a exposição desnecessária das pessoas a níveis perigosos de radiação ionizante.

Paralelamente ao isolamento, a evacuação será implementada para retirar as pessoas das áreas contaminadas. Esse processo reduzirá a exposição à radiação e garantirá a segurança dos residentes ou ocupantes desses locais. A evacuação será realizada pelos Fuzileiros Navais de maneira escalonada, priorizando-se primeiramente os grupos mais vulneráveis, como crianças, idosos e pessoas com mobilidade reduzida. A tropa empregada se valerá do seu sistema logístico de viaturas leves e pesadas para efetuar a retirada, realizará o direcionamento das pessoas para áreas seguras e realizará gestão do tráfego.

Serão empregados nessas ações o Pelotão de Reconhecimento NBQR (PelRecNBQR) do BtlDefBNQR, Batalhão Logístico de Fuzileiros Navais (BtlLogFuzNav), Companhia de Polícia e militares do 7ºDN. Se necessário, os Batalhões de Infantaria subordinados a FFE, em particular o Segundo Batalhão de Infantaria Humaitá, proverá apoio de pessoal e meios.

c. resgate e socorro médico às vítimas

Na sequência da evacuação e isolamento das áreas afetadas por radiação, a etapa de resgate e socorro médico às vítimas assumirá um papel crucial na resposta a situações de emergência radiológica. Essa fase será essencial para garantir a saúde e o bem-estar das pessoas afetadas e minimizar os impactos à medida que equipes de resposta se deslocam para o local.

Um dos elementos-chave dessa etapa é a implementação de um sistema de triagem do público. A triagem é um processo de avaliação médica que classifica as vítimas em categorias com base na gravidade de seus ferimentos ou exposição à radiação. Essa etapa geralmente começará com a convocação da população para centros de triagem designados, onde equipes especializadas conduzirão as avaliações necessárias. Em casos de acidentes com materiais radioativos, a rapidez na identificação das vítimas é crucial, uma vez que a exposição prolongada à radiação pode aumentar os riscos à saúde.

A EqRecNBQR será responsável pela seleção de uma área adequada para realização da triagem e posterior montagem de um Posto de Descontaminação (PDescon) pela EqDesconNBQR. No caso esquemático do Césio-137 em Goiânia, tal área será o Estádio Olímpico de Goiânia pois o mesmo possui espaço físico, acessibilidade, instalações logísticas e segurança necessárias para realizar as ações de triagem.

A triagem será realizada pela EqRspEmerg e utilizará equipamentos para detecção e monitoração sensíveis e leves que permitem medições rápidas e precisas da exposição à radiação. Além das medições de exposição à radiação, as equipes conduzirão entrevistas com as vítimas ou seus familiares para obter informações adicionais, como tempo de exposição, distância da fonte de radiação, sintomas clínicos e histórico médico além de cadastramento para posterior acompanhamento.

Uma vez detectada a radiação, o contaminado será encaminhado para o PDescon para realizar sua descontaminação externa e sequencialmente será encaminhado para a instalação médica apropriada, como hospitais de campanha ou unidades de tratamento especializadas em radiação.

A Unidade Médica Expedicionária da Marinha (UMEM) tem um papel crucial na prestação de cuidados médicos de emergência e apoio logístico em situações de crise. Dentro

da estrutura de Defesa NBQR da MB caberá a UMEM montar o Hospital de Campanha (HCamp) que irá realizar as operações de apoio médico e poderá auxiliar na evacuação e tratamento de contaminados por radiação. No caso esquemático do Césio 137 de Goiânia, poderão apoiar com material e pessoal as demais OM que pertencem ao Sistema de Saúde da Marinha e integram o SisDefNBQR-MB. Como já citadas anteriormente, são elas: HNMD, UMEsq, CMOpM, e LFM.

As pessoas que passarem pela triagem e que continuarem a manifestar níveis significativos de radiação mesmo após a descontaminação inicial no PDescon, serão encaminhados para o HCamp. Neste local, os pacientes passarão por exames clínicos que serão realizados no Laboratório Móvel (LabMov) do BtlDefNBQR ou por clínicas particulares levantadas pela EqRecNBQR. Essas avaliações terão o propósito de determinar a extensão da contaminação, bem como se ela é predominantemente interna ou externa. Este processo será fundamental para guiar o tratamento subsequente.

O tratamento das vítimas de radiação no HCamp da MB coordenado pela UMEM e seus apoios contemplará uma série de medidas e procedimentos. Elenca-se a descontaminação tanto externa quanto interna dos acidentados e o tratamento das radiodermites.

A lavagem externa será realizada de maneira sucessiva com água morna e sabão neutro de modo a reduzir as partículas radioativas na pele. Após o banho de descontaminação será realizado novo monitoramento radiométrico.

Para a descontaminação interna, serão administrados fármacos específicos, como o Azul da Prússia (Ferrocianeto de Ferro e Potássio) que irá acelerar a eliminação de materiais radioativos do corpo do paciente contaminado. Esse fármaco poderá ser rapidamente produzido pelo Laboratório Farmacêutico da Marinha (LFM) que possui expertise para tal. Essas intervenções buscam minimizar os danos causados pela exposição à radiação e acelerar o processo de recuperação.

Os contaminados deverão ficar internados no HCamp até que indicadores objetivos não mais existam e assim possam receber alta hospitalar. Dentre estes indicadores, cita-se a redução à níveis aceitáveis de contaminação interna, eliminação da contaminação externa e boa evolução das radiodermites.

Os pacientes que tiveram envolvimento direto com a fonte violada ou com partículas de cloreto de césio, bem como aqueles que apresentarem radiodermatite acentuada, ou intensa contaminação interna e externa detectada pela monitorização da superfície corporal e demonstrarem comprometimento do sistema hematopoiético, requererão cuidados mais intensivos e especializados e deverão ser evacuados para o HNMD.

Como já dito anteriormente, o terceiro nível do SisDefNBQ-MB, requer condições logísticas de transporte aéreo, marítimo e terrestre para viabilizar as cadeias de evacuação dos radioacidentados que são iniciadas em qualquer DN e finalizadas no HNMD. Neste estudo de caso, serão utilizadas aeronaves de asa rotativa da Força Aérea Naval. Optar-se-á pela utilização dos modelos UH-15 do Esquadrão HU-2 por possuírem capacidade de realizar evacuação aeromédica. Essa escolha também se dá pelo fato de que militares da UMEM realizam periodicamente treinamento de envelopamento deste tipo de aeronave, de maneira que possam proteger equipamentos e o meio de transporte das contaminações radiológicas durante o processo de evacuação para o HNMD.

O Hospital Naval Marcílio Dias desempenhará um papel central no tratamento de pacientes nessas condições críticas, pois é equipado com uma equipe multidisciplinar altamente especializada e uma estrutura médico-hospitalar preparada para situações envolvendo pacientes expostos a radiações ionizantes, onde poderão receber tratamento para a Síndrome Aguda da Radiação, tratamento destinado à recuperação de radiação graves, tratamento destinado a acelerar a eliminação do Césio-137 do organismo e atendimento multiprofissional, destinado a promover suporte psicológico.

#### d. descontaminação de pessoal

A descontaminação de pessoal é um procedimento de extrema importância em diversas situações, especialmente em emergências NBQR. Em situações envolvendo radiação, como o acidente com césio 137 em Goiânia, a descontaminação da população exposta será essencial para remover partículas radioativas da superfície da pele e das roupas a fim de prevenir maior severidade à saúde dos indivíduos contaminados.

O PDesconNBQR desempenhará um papel fundamental nessa situação, pois é projetado para fornecer um ambiente controlado onde, após o processo de triagem, as vítimas ou materiais contaminados poderão ser efetivamente descontaminados, ajudando assim a reduzir a exposição contínua de radiação ionizante.

Após a seleção da área pela EqRecNBQR, cabe a EqDesconNBQR instalar e operar o PDesconNBQR. O BtlEngFuzNav poderá ser requerido para efetuar a preparação do terreno com o objetivo de estabelecer áreas destinadas à instalação de estações de descontaminação. Isso envolverá melhorias na acessibilidade, bem como a construção de canais e fossas, com a finalidade de assegurar o correto escoamento da água utilizada, evitando o acúmulo de resíduos nas proximidades das estações de descontaminação.

O procedimento de descontaminação de pessoal terá como propósito a eliminação progressiva da contaminação superficial por meio da utilização de estações de descontaminação, visando alcançar, ao término do processo, um nível satisfatório de descontaminação.

Na primeira estação (Detecção de Entrada), será realizada a monitorização do indivíduo para determinar o nível de radiação.

Já na segunda estação (Retirada de Equipamento), as pessoas deverão entregar qualquer material que estiverem portando, como aparelhos eletrônicos, chaves, carteira, etc. Esses equipamentos serão enviados ao setor de descontaminação de materiais, e os alimentos serão descartados.

Prosseguindo para a estação três (Retirada de Roupas), será efetuada a remoção das vestimentas, obedecendo à sequência da cabeça para os pés. É importante ressaltar que a retirada das vestimentas resultará na significativa redução dos níveis de contaminação radiológica. Esse método é frequentemente denominado "descontaminação a seco".

Na quarta estação (Banho), será realizado o banho dos indivíduos com a utilização de água e agentes descontaminantes, com o intuito de eliminar resíduos de contaminação que possam persistir na superfície corporal após a remoção das roupas e equipamentos.

Por fim, na estação cinco (detecção de saída), será conduzida a monitorização do indivíduo a fim de determinar se alguma contaminação remanescente estará presente após o processo de descontaminação. Aqueles que forem considerados satisfatoriamente descontaminados prosseguirão por um corredor previamente demarcado até a área de reunião, onde receberão roupas, alimento e orientações para prosseguirem ao HCamp no Estádio Olímpico de Goiânia. Indivíduos que apresentarem um grau de descontaminação inadequado serão direcionados de volta à Estação 4, onde serão submetidos a um novo ciclo de descontaminação.

É importante destacar que a área designada para o posicionamento do PDesconNBQR passará por um processo de descontaminação após o encerramento das operações, com o objetivo de restaurar as condições iniciais da região. Antes da instalação do PDesconNBQR, um registro do nível de radiação local será efetuado, permitindo uma comparação que garantirá a restauração eficaz das condições originais.

e. estabelecimento de canal de comunicação entre o local do acidente e as Autoridades Competentes

O estabelecimento de um canal de comunicação eficaz entre a população e as autoridades competentes desempenhará um papel de extrema importância em situações de acidentes como o caso esquemático de Goiânia. A necessidade de comunicação transparente e coordenada será fundamental para a gestão eficaz da crise, minimização de riscos à saúde pública e resposta adequada a esse tipo de incidente.

A transparência na comunicação será fundamental para ganhar a confiança da população nessa situação, pois os eventos radiológicos têm o potencial de gerar medo e incerteza, e é responsabilidade das autoridades competentes, fornecer informações claras e precisas para manter a calma e a cooperação da população. A falta de informações concisas poderá levar ao pânico, exposições desnecessárias e desorganização da resposta.

O Centro de Comunicação Social da Marinha (CCSM) poderá exercer um papel crucial neste cenário de resposta a emergência radiológica. Suas funções deverão incluir a disseminação de informações precisas e atualizadas à população, fornecendo orientações sobre medidas de segurança, locais de isolamento e áreas de evacuação, locais de postos de descontaminação e assistência médica disponível. Além disso, o CCSM deverá esclarecer dúvidas, educar a população sobre os riscos da exposição à radiação afim de colaborar com outros órgãos envolvidos na resposta ao acidente.

### **5.1.2 Fase Intermediária ou de Controle**

A Fase de Controle é a etapa da resposta ao acidente radiológico que se inicia após a estabilização da situação e a redução dos riscos imediatos. Nesta fase, o objetivo é controlar e monitorar as áreas contaminadas, avaliar os danos ambientais e sanitários, recuperar os materiais radioativos, e implementar medidas de recuperação. Desta forma, é possível minimizar os riscos à saúde humana e ao meio ambiente, bem como preparar as condições para a Fase Final ou de Restabelecimento.

#### **a. Varredura especializada de contaminação e níveis de irradiação**

Após a avaliação inicial e reconhecimento da situação de emergência da fase anterior, deverá ser realizado um estudo mais detalhado em toda região de Goiânia afim de localizar todos os pontos em que possa ter havido dispersão e contaminação pelo céscio 137. Este levantamento terá como propósito realizar medições e amostragens para avaliar e acompanhar os níveis de radiação ionizante no ambiente, bem como objetos e áreas afetadas. Essas

informações serão importantes para avaliar os riscos, definir as medidas de proteção e recuperação, e acompanhar a evolução da situação.

A monitoração deverá ser registrada em formulários específicos, que deverá conter os dados das medições, as condições do local, as medidas tomadas e as recomendações para a continuidade da atividade.

A atividade de Reconhecimento NBQR (RecNBQR) será responsável por detectar, identificar, marcar e sinalizar a presença de radiação ionizante nas áreas e objetos analisados através de atividades de reconhecimento, monitoramento e coleta de amostras. Essas tarefas deverão ser executadas através do emprego de elementos constituídos, sendo o Grupo de Reconhecimento NBQR (GpRecNBQR) a menor fração de trabalho.

O GpRecNBQR será constituído por um Comandante de Grupo, uma EqRecNBQR a duas sessões afim de realizar revezamento das atividades e de uma Equipe de Descontaminação Técnica (EqDesconTec) composta por elementos de descontaminação, desequipagem e coletores de amostras.

O BtlDefNBQR disponibilizará aos GpRecNBQR equipamentos para coleta de amostras, LabMov para análise de amostras e identificação e viaturas de reconhecimento equipadas com dispositivos de detecção e monitoramento, afim de prover mobilidade as ações de rastreamento terrestre. Estes levantamentos poderão ser realizados nas modalidades do tipo Reconhecimento de Zona e Reconhecimento de Ponto.

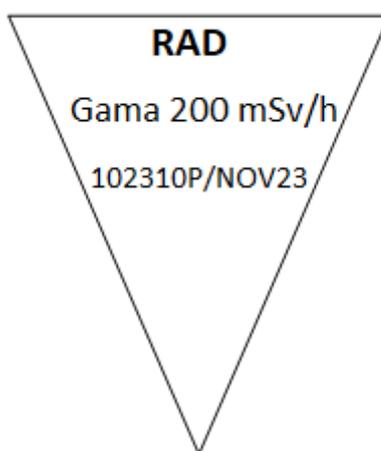
O RecNBQR de Zona terá por finalidade a aquisição de informações detalhadas acerca dos níveis de contaminação presentes em uma área delimitada, e irá fornecer dados necessários ao planejamento e execução das operações. Por outro lado, o RecNBQR de Ponto concentrará-se na obtenção minuciosa de informações relativas a locais específicos, tais como edifícios e estruturas de pequeno porte, visando fornecer dados específicos sobre esses pontos determinados do terreno.

Para varredura de áreas extensas será realizado levantamento aeroradiométrico com o uso de aeronaves de asa rotativa disponibilizadas pela Força Aérea Naval. Além da sua notável rapidez, oferecerão a vantagem de minimizar a exposição do pessoal em comparação com os reconhecimentos terrestres. Contudo, é importante notar que os reconhecimentos aéreos serão menos precisos e detalhados do que os reconhecimentos terrestres e poderão sofrer limitações por condições meteorológicas desfavoráveis.

Imediatamente a uma detecção positiva, será imprescindível a colocação de sinalização padronizada que possibilitará a visualização física da área contaminada. A sinalização deverá ser clara e padronizada para evitar confusões e permitir que qualquer pessoa a reconheça. No

caso de agentes radiológicos, a sinalização terá a forma de um triângulo isósceles, com fundo branco, informações em cor preta e será posicionada a 50 metros antes do ponto onde sejam medidas doses equivalentes de 10 mSv/h. Deverá incluir detalhes como o tipo de agente NBQR, a maior intensidade registrada no local de varredura e o grupo Data Hora do momento da leitura. A Figura 5 demonstra um exemplo desse modelo de sinalização.

**Figura 5 - Sinalização padronizada para agente radiológico**



Fonte: Elaborado pelo autor

#### b. Avaliação dos danos ambientais e sanitários

Paralelamente aos trabalhos de varredura, a monitoração do ambiente será realizada para determinar a extensão da contaminação radiológica. Isso envolve a coleta de amostras que abrangem uma variedade de meios, incluindo ar, água, solo, lençol freático, vegetação e até mesmo amostras biológicas, como animais.

A coleta de amostras desempenhará um papel importante na resposta ao acidente radiológico na região de Goiânia. Assim, a qualidade e a segurança do processo de coleta serão essenciais, uma vez que as amostras serão vitais para a identificação e confirmação do césio 137 no ambiente afim de avaliar os riscos, monitorar a contaminação e implementar ações de resposta.

O planejamento e execução da coleta de amostras será responsabilidade da EqRecNBQR, supervisionada pelo CDefNBQR-MB. As amostras iniciais serão transportadas para o Laboratório Móvel do BtlDefNBQR e, posteriormente, poderão ser divididas e enviadas a laboratórios de referência para análise.

A verificação da dosimetria da EqRecNBQR participante será essencial para monitorar a exposição à radiação, garantindo sua segurança durante o processo de coleta. Os níveis de

exposição de cada elemento envolvido será calculada com base na Dose Máxima Autorizada e na Taxa de Dose. A Dose Máxima Autorizada deve obedecer aos limites de Dose Equivalente (H) estabelecidos pela CNEN, de 25 mSv/h e 20 mSv/ano para indivíduos operacionalmente expostos.

A disponibilidade de materiais e equipamentos adequados, incluindo detectores, roupas de proteção, blindagem e pinças, será crucial para a manipulação segura de material radioativo e será fornecida pelo BtlDefNBQR e apoiada pela Diretoria-Geral do Material da Marinha (DGMM) e Comando de Material de Fuzileiros Navais (CMatFN).

Como já mencionado, diversos tipos de amostras ambientais poderão ser coletadas afim de que se tenha uma maior consciência situacional do acidente e servir de subsídio para o melhor planejamento e execução dos trabalhos de resposta e recuperação. Abaixo, será comentando sobre cada uma delas, tendo como base o caso de estudo de Goiânia.

A coleta de amostras de ar será importante para determinar a presença de partículas radioativas em suspensão na cidade de Goiânia. A coleta será realizada diariamente usando mostradores de ar que capturam partículas radioativas em filtros instalados seguido a orientação preferencial do vento. Mostradores contínuos serão instalados perto dos principais focos de contaminação e mostradores descontínuos em unidades volante espalhadas pela região.

A água é um meio comum de transporte de material radioativo. A coleta fará a medição de radionuclídeos dissolvidos e suspensos na água. Portanto, deverá ser coletado amostras de águas de superfície, águas subterrâneas e água de abastecimento público.

A EqRecNBRQ fará coleta de sedimentos e de água no rio João Leite que serve de fonte de captação na cidade de Goiânia e em diversos pontos da rede de água potável do município. Também deverá ser coletado amostras nas galerias de esgoto e águas pluviais visto que partículas de césio 137 poderão se espalhar através delas para os demais rios e córrego da região.

Devido as características do solo da região, a água das chuvas pode acabar carregando as partículas de material radioativo para os lençóis freáticos, fazendo com que seja importante realizar coleta de água nos poços próximos as regiões contaminadas.

O solo poderá ser contaminado pela deposição de partículas radioativas. A amostragem de solos deverá ser realizada de modo a representar toda a área potencialmente contaminada. Por isso, amostras de solo serão coletadas em locais estratégicos para avaliar a contaminação e determinar a profundidade da penetração do material radioativo. O LabMob fará as análises laboratoriais para medir a concentração do radionuclídeo no solo.

As plantas podem absorver partículas radioativas da atmosfera e do solo. A coleta de amostras da vegetação e frutas permitirá avaliar a extensão da contaminação. As amostras serão analisadas para determinar os radionuclídeos presentes e o grau de contaminação.

Animais que vivem nas áreas afetada também poderão estar contaminados. A coleta de amostras de tecidos de animais, como peixes, aves ou mamíferos, será realizada para avaliar o nível de contaminação radiológica e seu impacto na cadeia alimentar.

Conclui-se que a análise das amostras coletadas fornece informações cruciais para a tomada de decisões sobre a extensão da contaminação e a implementação de medidas de proteção, como evacuações, restrições alimentares e descontaminação. Além disso, a coleta de amostras contínuas é essencial para monitorar a evolução da situação e garantir a segurança a longo prazo das áreas afetadas.

### **5.1.3 Fase de Recuperação**

A Fase de Recuperação, também conhecida como Fase Final, representará a etapa subsequente à Fase Intermediária na resposta a acidentes radiológicos. Nesta fase, após o levantamento de dados na fase anterior acerca das áreas contaminadas e intensidade da contaminação nos diversos segmentos analisados, será iniciado os trabalhos de descontaminação e restauração das áreas afetadas, gerenciamento dos rejeitos radioativos gerados, culminando por fim na desmobilização de pessoal e material utilizados durante todo o ciclo de resposta.

#### **a. Operação de descontaminação**

Na Fase de Recuperação, grande parte dos resultados obtidos por meio dos levantamentos realizados na Fase de Controle, serão detalhadas com a finalidade de direcionar as operações de descontaminação dos locais afetados.

Na fase preparatória para a descontaminação dos principais focos, serão instalados e operados Áreas de Descontaminação sob a responsabilidade das EqDesconNBQR do BtlDefNBQR. Essas áreas abrangerão diversas atividades, como a coordenação e recepção de pessoal e material, linha de descontaminação completa (pessoal, material e viaturas), controle das equipes de trabalho que entram e saem das áreas contaminadas. Essas áreas também serão dotadas de almoxarifado com equipamentos, ferramentas e material de radioproteção.

Cada área contará com um ponto de controle, que será atendido por um canal de comunicação via rádio que estabelecerá uma rede interna para coordenação. Tais equipamentos de comunicação serão disponibilizado pelo Batalhão de Comando e Controle (BtlCmndoCt).

Além disso, esses locais serão equipados com veículos para otimizar a logística e os trabalhos de descontaminação. Serão empregados viaturas leves e pesadas provenientes do BtlLogFN e maquinários de serviço pesado como caçambas, retroscavadeiras, moto niveladoras, rolo compactador, empilhadeira, guincho, equipamento de corte e poda de árvores fornecidos pelo BtlEngFN.

A efetivação das operações nas áreas de descontaminação será influenciada por uma série de fatores logísticos. Isso inclui a disponibilidade de suprimentos como água, agentes descontaminantes e Equipamentos de Proteção Individual (EPI). Além disso, será fundamental considerar a prontidão de detectores e equipamentos de descontaminação.

Outros elementos que deverão ser levados em conta são os ciclos de trabalho, que serão afetados pela degradação fisiológica dos militares que operarão nas linhas de descontaminação e das doses de exposição à radiação, que como já discutido anteriormente, não deverá exceder os limites estabelecidos pela CNEN para indivíduos operacionalmente expostos.

A descontaminação dos principais focos será executada após uma fase de preparação, com colaboração da equipe de assessoria técnica do CDefNBQR-MB.

Durante o processo de descontaminação, serão empregados procedimentos técnicos que envolvem o uso de produtos químicos adequados ou a remoção mecânica da contaminação.

As principais operações no processo de descontaminação dos locais ocorrerão em diversas etapas:

1. Inicialmente, se procederá com limpeza minuciosa da área afetada, removendo detritos e materiais contaminados.
2. Subsequentemente, haverá a necessidade de retirar a camada de solo contaminada, cuja espessura será determinada em cada local a partir de medidas de perfilagem obtidas durante a etapa de coleta de amostras de solo.
3. Para as residências identificadas com baixo índice de radioatividade, será optado pela sua descontaminação. Nesse processo, portas e janelas, que tendem a apresentar níveis mais elevados de contaminação devido ao manuseio, serão removidas. Além disso, as paredes passarão por raspagem, enquanto o piso será submetido a tratamento mecânico e químico a fim de eliminar o Césio remanescente.
4. Caso edificações, como casas e barracões, estejam identificadas com elevados níveis de contaminação, será realizada sua derrubada e subsequente remoção.

5. Após a demolição, será realizada a remoção de camadas de solo, seguida do preenchimento do terreno utilizando material similar ou brita e argila, culminando na aplicação de concreto.
6. Eventuais árvores e obstáculos que possam obstruir as operações de descontaminação também serão eliminados.
7. a vegetação contaminada será arrancada, as camadas superficiais de terra serão removidas e todo o terreno será concretado
8. Para o acondicionamento dos rejeitos gerados durante o processo, será utilizado caixas e tambores apropriados.
9. Para cada embalagem de rejeito, será realizado a medição das taxas de exposição máxima e mínima, seguida da identificação por meio de etiquetas adequadas.
10. Será promovida a descontaminação externa das caixas e tambores, visando minimizar qualquer risco residual de contaminação.
11. Finalmente, será efetuado o transporte das embalagens para um depósito transitório, onde serão gerenciadas de acordo com as diretrizes estabelecidas.

Para verificar a eficácia de cada procedimento de descontaminação, será conduzido um levantamento radiométrico minucioso, com subsequente remoção de quaisquer pontos residuais de contaminação. A restauração dos locais afetados manterá o compromisso de manter a taxa equivalente de dose de radiação residual abaixo de 1  $\mu\text{Sv/h}$ .

Após a conclusão da descontaminação em cada área, será iniciado o processo de monitoramento das residências e espaços circunvizinhos, com o intuito de identificar a necessidade de ações complementares de descontaminação. Todas essas operações serão conduzidas estritamente de acordo com critérios rígidos de proteção radiológica e ambiental.

A eficácia dessas operações serão cruciais não apenas para mitigar a contaminação e seus efeitos imediatos, mas também para assegurar a segurança a longo prazo da população e do meio ambiente, contribuindo assim para a resiliência e recuperação efetiva dos danos causados pelo acidente radiológico.

#### b. Destinação de Rejeitos Radioativos

A destinação adequada dos rejeitos radioativos representa uma etapa crítica na resposta dessa emergência. A destinação correta destes rejeitos busca mitigar os riscos de contaminação e reduzir a exposição a radiações ionizantes, salvaguardando a saúde pública e ambiental da

região. Essas ações refletem um compromisso com a segurança e sustentabilidade, visando não apenas o controle imediato da situação, mas também a proteção a longo prazo da comunidade.

A EqRecNBRQ do BtlDefNBRQ junto com especialistas do CDefNBQR-MB poderão prestar assessoria técnica a CNEN acerca da escolha do local para deposição dos rejeitos radioativos gerados durante todas as fases e etapas da resposta a emergência, incluindo rejeitos sólidos, líquidos, biológicos e hospitalares. Vale ressaltar que, como já descrito no capítulo 2, será CNEN o órgão responsável pela gerência dos depósitos de rejeitos, seja ele temporário, intermediário ou final.

As equipes de reconhecimento da área de depósito deverão observar um local afastado da área urbana mas que contenha bom acesso e malha rodoviária próxima, com capacidade de armazenamento adequada, área de manobra com dimensões que permitam manobras de veículos de grande porte e segurança contra ação de eventos induzidos por fenômenos naturais.

Após a escolha do local, o BtlEngFN prestará serviços de engenharia necessários como terraplanagem, remoção de obstáculos, instalação de concertinas, construção de piso de concreto, fossas e valetas para canalização de água.

Militares da CiaPol ficarão à disposição para realizar a segurança do local, controlando o acesso de pessoas não autorizadas e realizando serviço de bloqueio e balizamento de trânsito no local.

EqRecNBRQ farão a monitoração do local afim de garantir que a taxa de exposição externa na área de exclusão não ultrapasse as taxas limite para o público. Para isso instalará dosímetro de área em volta das instalações, além de realizar coleta de amostras de solo, vegetação, sedimento, água de superfície, água de chuva, lençol freático e aerossóis para posterior análise pelo LabMov do BtlDefNBQR.

Além disso, a transparência nas práticas do gerenciamento de rejeitos radioativos será crucial, assegurando a confiança da comunidade e promovendo a prestação de contas das autoridades competentes. O Centro de Comunicação Social da Marinha deverá se valer de estratégias de comunicação eficazes que deverão ser empregadas para informar a população sobre as medidas adotadas, os critérios de segurança aplicados e os potenciais impactos ambientais.

Os rejeitos gerados nos trabalhos de descontaminação de pessoas e locais serão armazenados em tambores de aço carbono, caixas metálicas e containers, que serão fornecidos pelo DGMM e CMatFN.

Após acondicionamento do material radioativo dentro das embalagens citadas, elas serão acomodadas ainda dentro de caixas de concreto armado e posteriormente o BtlEng fará a concretagem de modo que se torne um estrutura monolítica.

Por fim, será realizado uma descontaminação externa da estrutura pela EqDesconNBQR, e o rejeito seguirá para área de deposição escoltada por unidades de Fuzileiros Navais que proverão segurança durante o deslocamento.

### c. desmobilização

A fase de desmobilização, após as distintas etapas da resposta a emergência radiológica, desempenhará um papel crucial no encerramento ordenado e seguro das operações. Nesta etapa, será realizada uma avaliação minuciosa da situação pela EqRecNBQR com o apoio técnico do CDefNBQR-MB para assegurar a conclusão eficaz de todas as atividades de resposta, incluindo a verificação do controle de todas as fontes de radiação, áreas descontaminadas conforme necessário e a mitigação dos riscos identificados.

A desativação do postos de comando e centros de operações temporários como PDescon, HCam, estabelecidos durante a emergência serão uma parte essencial do processo de desmobilização. Esses locais serão desativados de acordo com um plano predefinido do ComOpNav, e a transferência adequada de responsabilidades será efetuada para as autoridades locais.

À medida que os militares envolvidos nas operações de resposta for retirado gradativamente, seguindo um plano de desmobilização coordenado, a desmobilização de equipamentos especializados, veículos e outros recursos também será realizada. Esses recursos serão desativados ou retornarão às condições normais de operação, com a necessidade de descontaminação se necessário.

A etapa subsequente, de responsabilidade do CDefNBQR-MB, envolverá uma avaliação pós-emergência abrangente, visando revisar o desempenho durante a resposta do acidente, identificar lições aprendidas e áreas que demandam aprimoramento seja ele de treinamento de pessoal, necessidade de melhoria de material e aspectos doutrinários. Esses insights contribuirão significativamente para a contínua melhoria dos planos de resposta e para o fortalecimento da capacidade da Marinha e do Corpo de Fuzileiros Navais em lidar com futuras emergências radiológicas.

Durante todo o processo de desmobilização, o Centro de Comunicação Social da Marinha (CCSM) manterá uma comunicação eficaz com o público e outras partes interessadas,

informando sobre a conclusão bem-sucedida das operações e fornecendo orientações adicionais, se necessário, de modo a tranquilizar a população local acerca do fim das operações.

O BtlLogFN será responsável pela coordenação do início da desmontagem das estruturas e do embarque dos materiais e equipamentos, e deverá seguir procedimentos detalhados conforme o Plano de Embarque (PE). Durante essa fase, uma verificação meticulosa será conduzida em relação ao material utilizado, levando em consideração resquícios de possível contaminação. Materiais contaminados serão submetidos a procedimentos de descontaminação apropriados, enquanto aqueles que não puderem ser recuperados serão descartados no depósito designado para rejeitos, garantindo uma gestão adequada desses materiais.

## 6 CONCLUSÃO

A trajetória da radiação desde sua descoberta no final do século XIX até suas aplicações contemporâneas na sociedade reflete uma evolução notável no conhecimento científico e nas práticas tecnológicas. As descobertas pioneiras sobre fenômenos radioativos no século XIX foram os alicerces para a compreensão do vasto espectro de radiações, estabelecendo os fundamentos para suas aplicações posteriores nas áreas de medicina, energia, indústria e pesquisa.

O atual panorama de utilização da radiação em diversas esferas sociais destaca seu papel vital, desde a radioterapia na medicina até a radiografia na indústria e a geração de energia nuclear. Contudo, a disseminação dessas fontes radiológicas também implica riscos à saúde humana e ao meio ambiente, exigindo uma gestão rigorosa e regulamentação efetiva para prevenir incidentes e controlar possíveis impactos adversos.

No contexto brasileiro, a estrutura de resposta a emergências radiológicas, liderada pelo Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro, ilustra a colaboração eficaz entre órgãos e instituições, como a Comissão Nacional de Energia Nuclear e as Forças Armadas Brasileiras. Essa estrutura, ancorada em princípios de segurança e proteção radiológica, desempenha um papel central na regulação, autorização, fiscalização e resposta a incidentes radiológicos no país.

A legislação e a estrutura estabelecidas para a defesa contra ameaças nucleares, biológicas, químicas e radiológicas nas Forças Armadas do Brasil representam um compromisso sólido com a segurança da população e a preservação do meio ambiente.

Destaca-se a relevância do papel da Marinha do Brasil nesse contexto, evidenciada pelo Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da Marinha do Brasil. A atuação coordenada desse sistema, envolvendo o Corpo de Fuzileiros Navais, o Hospital Naval Marcílio Dias e outras Organizações Militares da Marinha, fortalece a capacidade de resposta a emergências radiológicas.

A organização em diferentes níveis do SisDefNBQR-MB, cada um com funções específicas, demonstra uma abordagem abrangente. A capacidade de resposta é aprimorada desde a formação básica nas Organizações Militares até a atuação especializada em situações críticas. A coordenação efetiva, evidenciada pelo Comando de Operações Navais, conecta os diversos componentes do sistema em tempo real, promovendo uma resposta integrada e eficaz.

O estudo sobre o acidente radiológico de Goiânia, ocorrido em 1987, destaca-se como um marco significativo na história da segurança radiológica no Brasil. Esse evento trágico não

apenas ressaltou os perigos associados ao manuseio inadequado de materiais radioativos, mas também catalisou mudanças substanciais nas regulamentações e práticas de segurança radiológica no país. A análise desse incidente serve como base para entender as capacidades da MB, especialmente do CFN, na resposta a emergências radiológicas, visando salvaguardar vidas, mitigar danos e contribuir para a conscientização pública.

A abordagem compreensiva apresentada neste conjunto de informações delinea um plano estratégico elaborado para a gestão de emergências radiológicas, destacando a sinergia indissociável entre a Marinha e o Corpo de Fuzileiros Navais, conforme evidenciado no estudo de caso em Goiânia. Cada fase do ciclo de resposta, desde a avaliação inicial até a desmobilização, foi minuciosamente discutida, revelando um modelo operacional que integra diversos elementos para lidar com incidentes dessa natureza.

A avaliação inicial e a determinação da extensão da contaminação radiológica são fundamentais, e a coleta sistemática de amostras, abrangendo ar, água, solo, vegetação e até mesmo amostras biológicas, destaca-se como uma prática crucial para embasar decisões informadas. A coordenação entre unidades especializadas, como EqRecNBQR e EqDesconNBQR, revela uma abordagem multidisciplinar, garantindo não apenas a segurança das operações, mas também a proteção ambiental e da saúde pública.

A fase de recuperação, envolvendo operações de descontaminação, reflete uma resposta estruturada e eficiente, com ênfase em procedimentos técnicos abrangentes, desde a limpeza inicial até a restauração das áreas afetadas. A destinação adequada de rejeitos radioativos é tratada como uma etapa crítica, incorporando medidas que buscam mitigar riscos de contaminação e preservar a saúde pública e ambiental.

A fase de desmobilização, por sua vez, não apenas sinaliza o encerramento das operações, mas se destaca como uma etapa crucial na avaliação pós-emergência. Esta avaliação, conduzida pelo CDefNBQR-MB, proporciona insights valiosos para melhorias contínuas nos planos de resposta, treinamento de pessoal e aprimoramento de equipamentos.

Em síntese, este estudo oferece uma visão holística e aprofundada da resposta militar a emergências radiológicas, destacando a importância de abordagens integradas, treinamento especializado e comunicação transparente. O comprometimento demonstrado com as melhores práticas é fundamental para fortalecer a resiliência e a capacidade de resposta diante de desafios radiológicos futuros, consolidando a importância da preparação estratégica e da colaboração interinstitucional em cenários de crises complexas.

Em última análise, este estudo não apenas ofereceu uma compreensão aprofundada da evolução histórica e das estruturas contemporâneas relacionadas à radiação no Brasil, mas

também destaca a importância do conhecimento especializado, da colaboração interinstitucional e da conscientização pública na promoção da segurança radiológica. Os resultados deste trabalho têm implicações significativas para o ensino, a prática profissional e a pesquisa, contribuindo para o desenvolvimento contínuo das medidas de segurança e resposta a emergências radiológicas no contexto nacional.

## REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> Xavier AM, Moro JT, Heilbron PF. Princípios básicos de segurança e proteção radiológica. 3ª Edição rev. ed. Porto Alegre: UFRS; 2006. 227 p.
- <sup>2</sup> Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais. Manual de defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica: CGCFN-10.3. 1ª Edição rev. ed. Rio de Janeiro: MB; 2020. 454 p.
- <sup>3</sup> CNEN. Emergência Radiológica [Internet]. [place unknown]; 2015 Mar 20 [revised 2022 Apr 8; cited 2023 Sep 23]. Available from: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/emergencia-radiologica>.
- <sup>4</sup> GSI. Proteção e Desenvolvimento do Programa Nuclear Brasileiro [Internet]. [place unknown]; 2020 Mar 03 [revised 2023 Oct 5; cited 2023 Oct 27]. Available from: <https://www.gov.br/gsi/pt-br/assuntos/sipron>.
- <sup>5</sup> IRD. Sobre o IRD [Internet]. [place unknown]; 2021 Sep 30 [revised 2021 Oct 29; cited 2023 Oct 19]. Available from: <https://www.gov.br/ird/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/sobre-o-ird>
- <sup>6</sup> BRASIL. Estado Maior do Exército. Nota de Coordenação Doutrinária NR 01/2013 – A Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear em Apoio à Força Terrestre. Brasília, DF, 2013a.
- <sup>7</sup> Secretária de Estado de Saúde. História do Césio 137 em Goiânia [Internet]. [place unknown]; 2020 Jan 20 [revised 2021 Feb 25; cited 2023 Oct 28]. Available from: <https://www.saude.gov.br/cesio137goiania/historia>
- <sup>8</sup> Becquerel H. El descubrimiento de la radioactividad. Introdução e trad. De Cortés Pla. Buenos Aires: espasa-Calpe, 1946.
- <sup>9</sup> UNEP. Radiação: efeitos e fontes. Vienna.1996. 68 p.
- <sup>10</sup> Tipler PA, Llewellyn RA. Física Nuclear e de Partículas. 1ª ed. São Paulo: Editora LTC; 2010.
- <sup>11</sup> Tauhata, L., Salati, I. P. A., Di Prinzio, R., Di Prinzio, M. A. R. R. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos - 10ª revisão abril/2014 - Rio de Janeiro - IRD/CNEN. 344p.
- <sup>12</sup> Yannick N. Radiações Ionizantes e a vida. Rio de Janeiro: CNEN; 2006. 42 p.
- <sup>13</sup> Okuno E., Yoshimura, EM. Física das radiações. São Paulo: Oficina de Textos, 2010
- <sup>14</sup> Pinto GT., Marques DM. Uma proposta didática na utilização da história da ciência para a primeira série do ensino médio: a radioatividade e o cotidiano, 1, 2010.
- <sup>15</sup> Okuno E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente radiológico de Goiânia. Estudos Avançados. 2013 Jan 31:185-189.

<sup>16</sup> Frutuoso RAM, Ferreira GRD. Marinha do Brasil: pronta ação de segurança no acidente radioativo em Goiânia: 30 anos. Arq Bras Med Naval. 2017 jan/dez;78(1):6-10.

<sup>17</sup> IRD. Sobre o IRD [Internet]. [place unknown]; 2021 Sep 30 [revised 2021 Oct 29; cited 2023 Oct 19]. Available from: [Institucional — Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD \(www.gov.br\)](http://www.gov.br/institucional)

<sup>18</sup> Rocha SF. Acidente radioativo com o céσιο<sup>137</sup>: a participação da Marinha no atendimento às vítimas. Navigator. 2008 dez[acesso em 08 ago. 2023] [Ed. Especial] Vol 4. Disponível em: [http://revistanavigator.com/navig8/N8\\_index.htm](http://revistanavigator.com/navig8/N8_index.htm)

<sup>19</sup> Vieira SA. Césio-137, um drama recontado. Estudos avançados (USP. Impresso), v. 27, p. 217-236, 2013.

<sup>20</sup> Alves RN. "Relatório do acidente radiológico em Goiânia." Apresentado à CPI do Senado federal em 18 (1988).

<sup>21</sup> IAEA. The radiological accident in goiania. Vienna: Internacional Atomic Energy Agency; 1988. 149 p.

<sup>22</sup> Brasil. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Senado Federal; 1988.

<sup>23</sup> Melo MLC. Biosegurança: Ações nacionais de defesa no âmbito das Forças Armadas [Monografia]. Rio de Janeiro: UFRJ; 2016

<sup>24</sup> Rodrigues K. Césio 137: 30 anos de traumas na pele e na alma [Internet]. 2017 Sep 13 [cited 2023 Oct 18]. Available from: <https://www.aredacao.com.br/noticias/91961/cesio-137-30-anos-de-traumas-na-pele-e-na-alma>